

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**DINÂMICA DO NITROGÊNIO NO SISTEMA LATOSSOLO-MILHO SOB
PLANTIO DIRETO E PREPARO CONVENCIONAL, PLANTAS DE
COBERTURA DE INVERNO E ADUBAÇÃO NITROGENADA**

Carlos Andrés Leguizamón Rojas
(Tese)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**DINÂMICA DO NITROGÊNIO NO SISTEMA LATOSSOLO-MILHO SOB
PLANTIO DIRETO E PREPARO CONVENCIONAL, PLANTAS DE
COBERTURA DE INVERNO E ADUBAÇÃO NITROGENADA**

CARLOS ANDRÉS LEGUIZAMÓN ROJAS

Engenheiro-Agrônomo (UNA)

Mestre em Ciência do Solo (UFRGS)

Tese apresentada como
um dos requisitos à obtenção do
Grau de Doutor em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil

Julho de 2009

PÁGINA DE HOMOLOGAÇÃO

*Aos meus pais, Andrés e Nelly, por me ensinarem a caminhar
na procura do objetivo; aos meus filhos Andrea, Daniel e
Alejandra maiores motivadores na caminhada,
dedico este trabalho.*

AGRADECIMENTOS

Ao Estado e Povo Brasileiro pelo investimento na Universidade Pública e nas bolsas de estudos de pós-graduação.

À Universidade Nacional de Asunción, Faculdade de Ciências Agrárias pelo apoio para a realização do curso.

À Cooperativa Agrária e à Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA) pela abertura e apoio para a condução dos experimentos.

A Cimélio Bayer por construir tanto o relacionamento pessoal como o profissional, de Amigo e Professor Orientador.

A Sandra Fontoura e equipe pelo apoio na execução dos trabalhos na FAPA.

Aos Professores da UFRGS, especialmente do Departamento de Solos pelos ensinamentos e a disponibilidade.

A Mirla Weber pelas sugestões e correções, na redação da Tese.

Aos membros da banca examinadora Frederico Costa Beber Vieira, Sandro José Giacomini e Celso Aita por ter se envolvido com o material apresentado e aportado valiosas sugestões, meu agradecimento.

A Renato Moraes da FAPA, Tiago Pedroso, Fernando Vieiro e Luiz Antônio da Silveira da UFRGS pelo auxílio nos trabalhos de campo e laboratório.

Aos colegas de curso pela amizade, ajuda e o zero estresse compartilhados.

À equipe de manejo do solo (2005-2008) pela solidariedade no trabalho, aquele RU compartilhado, o chimarrão do dia a dia, algum tererê e o apoio decidido, meu sincero agradecimento.

A Luiz Antônio, Jader, Adão, José e Jorge por estar sempre dispostos para auxiliar o Carlitos.

A Michele Tomazi e Analu Mantovani obrigado pelo encaminhamento da tese.

Aos proprietários do apartamento 302, ano 2005-2008: Edir, Paulo Cesar, Edicarlos, Eric, Vanessa e a Laurinha, por compartilhar a vida.

Aos Professores Enrique González, Oscar López e Patrocínio Alonso, aos Colegas do Departamento de Solos e aos Estudantes da FCA-UNA pelo continuo incentivo durante a realização do curso.

À minha Família, especialmente a Maria, torcida maravilhosa nos desafios.

Às comunidades neocatecumenais de Virgem de Fátima de Iapei Porto Alegre, pela acolhida e as experiências compartilhadas.

Meu muito obrigado a Porto Alegre, RS e Entre Rios, PR – Brasil.

DINÂMICA DO NITROGÊNIO NO SISTEMA LATOSSOLO-MILHO SOB PLANTIO DIRETO E PREPARO CONVENCIONAL, PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO E ADUBAÇÃO NITROGENADA ^{1/}

Autor: Carlos Andrés Leguizamón Rojas

Orientador: Prof. Cimélio Bayer

RESUMO

Os sistemas de preparo do solo e as plantas de cobertura afetam a dinâmica de nitrogênio do solo condicionando o manejo do N no milho. Os objetivos principais desta pesquisa foram (i) avaliar o efeito do preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) consolidado na dinâmica de N no sistema Latossolo-milho; (ii) caracterizar o efeito das plantas de cobertura na dinâmica do N mineral do solo e na produção de milho, em PD; (iii) avaliar o resultado de diferentes plantas de cobertura no manejo da adubação nitrogenada do milho; (iv) avaliar o N mineral do solo como ferramenta para o manejo do N no milho. A pesquisa se realizou em Latossolo Bruno Alumínico típico, com alto potencial de suprimento de N ao milho, no Centro-Sul do Paraná, Brasil. O efeito dos sistemas de preparo do solo foi estudado em experimento iniciado em 1978, avaliando a safra 2006/07. O efeito das plantas de cobertura foi avaliado em parcelas com gramínea, leguminosa, crucífera, consórcio gramínea/leguminosa, pousio e solo descoberto, nas safras 2005/06 e 2006/07. Parâmetros do solo, das plantas de cobertura e do milho foram avaliados. Maior estoque de N total e C orgânico foi verificado na camada 0-0,05 m do solo em PD o qual foi contrabalanceado pelo maior estoque destes elementos na camada de 0,1-0,2 m no solo em PC. Na camada superficial em PD determinou-se também maior estoque de N na biomassa microbiana e maior atividade da amidase e urease. Maiores teores de N mineral foram verificados primeiramente na camada superficial do solo em PD e posteriormente na camada revolvida do solo em PC. A volatilização de N-NH₃ foi superior no solo em PD e alcançou 18% do N aplicado. O potencial de lixiviação de nitrato no solo em PC foi evidenciado pelo incremento nos teores deste elemento até a camada de 0,4-0,6 m com aplicação de 160 kg ha⁻¹ de N-uréia. As leguminosas e o consórcio gramínea/leguminosa mineralizaram maior quantidade de N em relação às gramíneas, e determinaram maior rendimento em grãos do milho; determinou-se requerimento de 90, 150 e 150 kg ha⁻¹ de N-uréia, respectivamente, sob leguminosa, gramínea e nabo forrageiro, sendo a eficiência da adubação nitrogenada sob as mesmas, respectivamente, de 12, 33 e 30 kg grão kg⁻¹ de N-uréia. Na cultura do milho o N-nitrato do solo pode ser utilizado como ferramenta complementar na definição da necessidade de N-fertilizante, da época de aplicação e no controle de perdas por lixiviação.

^{1/} Tese de Doutorado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (181 p.) Julho, 2009. Trabalho realizado com apoio financeiro da CAPES.

NITROGEN DYNAMICS IN A OXISOL-MAIZE SYSTEM AS AFFECTED BY TILLAGE SYSTEMS, WINTER COVER CROPS AND MINERAL FERTILIZATION ^{1/}

Author: Carlos Andrés Leguizamón Rojas

Adviser: Prof. Cimélio Bayer

ABSTRACT

Tillage and cover crops have influence on soil nitrogen (N) dynamics with reflexes on the management of mineral N fertilization. The main objectives of this study were to evaluate: (i) the effect of conventional (CT) and no-tillage (NT) systems on soil N dynamics; (ii) the influence of winter cover crops species on soil N dynamics and maize yield; (iii) verify the necessity of adaptation of N fertilization of maize in succession to different cover crops species; (iv) the use of soil mineral N as an auxiliar tool of mineral N fertilization of maize. The research was carried out on a Brown Oxisol with high potential of N supply, in the Middle-Shouth region of Paraná, Brazil. Long-term tillage effect was evaluated in a 28 years-old experiment that began in 1978 and it was sampled in 2006/07. The cover crops effect was evaluated in experiments carried out in 2005/06 and 2006/07 involving grasses, legumes, grasses-legumes consortium, fallow and bare soil plots. Soil, cover crops and maize variables were evaluated. The effect of no-tillage increasing total soil N and C stocks in surface soil layer (0-0.05 m) was counterbalanced by the accumulation of these elements in sub-surface soil layer (0.1-0.2 m) under conventional tillage system. Biological components of N cycle, like N-microbial biomass and activity and amidase and urease enzymes activity, were improved in the surface layer of no-tillage soil. Mineral N content in surface soil layers were improved in beginning stages of maize under notillage, while conventionally-tilled soil showed higher mineral N content some time later in the arable soil layer. The NH₃ volatilization was higher in no-tillage soil attaining 18% of the applied N. Potential of N lixiviation was verified under conventional tillage under high N fertilization rates (160 kg ha⁻¹), as evidenced by the increase of mineral N content in the 0.4-0.6 m soil layer. Legumes and consortium white oat-vetch improved N availability to maize, decreasing the reccomended N fertilization rates in comparison to the fallow or grasses cover crops. Soil nitrate can be a usefull tool for the management of mineral Nfertilization of maize crop under no-tillage system.

^{1/} Doctoral thesis in Soil Science – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (181 p.) July, 2007. This work had financial support from CAPES-Brazil.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Dinâmica do nitrogênio em sistemas de preparo	4
2.1.1 Estoque de nitrogênio no solo	4
2.1.2 Mineralização – imobilização de nitrogênio no solo	6
2.1.3 Volatilização de amônia	13
2.1.4 Lixiviação de nitrogênio	17
2.2 Dinâmica do nitrogênio durante o ciclo do milho cultivado após diferentes plantas de cobertura de inverno em sistema plantio direto	20
2.3 Adubação nitrogenada para a cultura do milho em sistema plantio direto	24
2.3.1 Avaliação da adubação nitrogenada do milho	24
2.3.2 Ferramentas complementares para o manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho	31
3. ESTUDO I DINÂMICA DO NITROGÊNIO EM LATOSSOLO BRUNO AFETADA POR SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO EM EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO	
3.1 Introdução	33
3.2 Material e métodos	35
3.2.1 Localização e clima	35
3.2.2 Geomorfologia e solo	36
3.2.3 Delineamento experimental, tratamentos e manejo do experimento.....	37
3.2.4 Determinações realizadas e amostragem do solo	39
3.2.5 Análise estatística	44
3.3 Resultados e Discussão	46
3.3.1 Produção do milho em diferentes sistemas de preparo do solo	46
3.3.2 Variação do nitrogênio e do carbono total do solo em diferentes sistemas de preparo do solo	49
3.3.3 Biomassa microbiana e atividade enzimática em diferentes sistemas de preparo do solo	52
3.3.4 Volatilização de N-NH ₃ pela aplicação de uréia em diferentes sistemas de preparo do solo	61
3.3.5 Nitrogênio mineral do solo durante o ciclo do milho submetido a diferentes sistemas de preparo do solo	64
3.3.6 Balanço de nitrogênio no ciclo do milho cultivado em preparo convencional e plantio direto	77
3.4 Conclusões	80

4. ESTUDO II DINÂMICA DO NITROGÊNIO DURANTE O CICLO DO MILHO EM SUCESSÃO A DIFERENTES PLANTAS DE COBERTURA EM PLANTIO DIRETO NO CENTRO-SUL DO PARANÁ	
4.1 Introdução	81
4.2 Material e métodos	83
4.2.1 Localização, clima e solo.....	83
4.2.2 Delineamento experimental, tratamentos e manejo do experimento	83
4.2.3 Determinações realizadas e amostragem do solo	84
4.2.4 Análise estatística	87
4.3 Resultados e Discussão	88
4.3.1 Aporte de nitrogênio pelas plantas de cobertura à cultura em sucessão em plantio direto	88
4.3.2 Dinâmica do nitrogênio na camada superficial do solo sob diferentes plantas de cobertura	94
4.3.3 Milho em sucessão a diferentes plantas de cobertura em sistema plantio direto	104
4.4 Conclusões	113
5. ESTUDO III ADUBAÇÃO NITROGENADA DO MILHO CULTIVADO APÓS PLANTAS DE COBERTURA EM PLANTIO DIRETO NO CENTRO-SUL DO PARANÁ	
5.1 Introdução	114
5.2 Material e métodos	116
5.2.1 Localização, clima e solo	116
5.2.2 Delineamento experimental, tratamentos e manejo do experimento	117
5.2.3 Determinações realizadas e amostragem do solo	118
5.2.4 Análise estatística	120
5.3 Resultados e discussão	121
5.3.1 Caracterização das plantas de cobertura	121
5.3.2 Adubação nitrogenada no milho cultivado após diferentes plantas de cobertura	123
5.3.3 Avaliação do nitrogênio mineral do solo como ferramenta para o manejo da adubação nitrogenada no milho	142
5.4 Conclusões	155
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	156
7. ANEXOS	173
8. APÊNDICES	179

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
3.1. Caracterização física do solo nas camadas 0-5, 5-10 10-20 e 20-40 cm nos tratamentos PC-PC ¹ calcário incorporado e PD-PD calcário em superfície	37
3.2. Caracterização química do solo nos tratamentos PC-PC calcário incorporado e PD-PD calcário em superfície	37
3.3. Culturas e doses de calcário utilizadas no experimento de sistemas de preparo do solo de 1978 a 2007	38
3.4. População, rendimento de grãos e peso de mil sementes do milho cultivado em preparo convencional (PC) e em plantio direto (PD)	47
3.5. Concentração e estoque de C e de N total do solo em mata, preparo convencional (PC) e plantio direto (PD)	50
3.6 Nitrogênio na biomassa microbiana do solo com mata, PC e PD, em diferentes datas, profundidades e sem aplicação de uréia	53
3.7. Nitrogênio da biomassa microbiana do solo em preparo convencional (PC) e em plantio direto (PD), em diferentes doses de N aplicadas na cultura do milho	55
3.8. Atividade da amidase do solo em mata, preparo convencional e plantio direto em diferentes datas e profundidades	57
3.9. Atividade da amidase do solo em preparo convencional e plantio direto em diferentes doses de N aplicadas na cultura do milho.	59
3.10. Atividade da urease em mata, preparo convencional e plantio direto em diferentes datas e profundidades	60
3.11. Volatilização acumulada de N-NH ₃ pela aplicação de uréia na adubação de cobertura do milho em sistema de preparo convencional e plantio direto	61

3.12.	Teor de nitrogênio mineral do solo nas profundidades 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), durante o ciclo do milho	66
3.13.	Teor nitrogênio mineral do solo sob preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), 21 e 39 dias após aplicação de doses de N-uréia, nas profundidades 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m	72
3.14.	Teor de N mineral do solo na camada 0-0,6 m, 39 e 83 dias após a adubação nitrogenada em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD)	75
3.15.	Balanço de N em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) com 160 kg ha ⁻¹ de adição de N-uréia no ciclo do milho	77
4.1.	Características químicas e teor de argila na camada 0-0,1 m da área experimental das safras 2005/06 e 2006/07	83
4.2.	Manejo do experimento nas safras 2005/06 e 2006/07	84
4.3.	Produção de matéria seca e nitrogênio absorvido pelas plantas de cobertura e pousio no momento do manejo das mesmas. Safras 2005 e 2006	89
4.4.	Nitrogênio remanescente nos resíduos e mineralizado pelas plantas de cobertura e pousio. Safras 2005/06 e 2006/07	93
4.5.	Nitrogênio remanescente nos resíduos e mineralizado pelas plantas de cobertura em Latossolo no Centro-Sul do Paraná	94
4.6.	Nitrogênio mineral nas camadas 0-0,05 e 0,05-0,1 m do solo sob plantas de cobertura e pousio durante o ciclo do milho. Safra 2006/07	96
4.7.	Nitrogênio disponibilizado por plantas de cobertura 40 dias após o manejo em plantio direto, estimado a partir do N remanescente nos resíduos e do N mineral do solo. Safra 2006/07	101
4.8.	Nitrogênio na biomassa microbiana do solo na camada 0-10 cm, 16 e 40 dias após o manejo das plantas de cobertura e pousio. Safra 2006/07	102

4.9.	Atividade da urease no solo na camada 0-5 cm, 40 e 62 dias após o manejo das plantas de cobertura e pousio. Safra 2006/07	103
4.10.	Matéria seca e N acumulado pelo milho após diferentes plantas de cobertura e em parcelas com pousio e descoberta. Safras 2005/06 e 2006/07	105
4.11.	Recuperação aparente e recuperação aparente ajustada de nitrogênio pelo milho em sucessão a diferentes plantas de cobertura	110
4.12.	Rendimento de grãos de milho em sucessão a diferentes plantas de cobertura e pousio e parcela descoberta. Safras 2005/06 e 2006/07	112
5.1.	Análise de solo da área experimental nas safras 2005/06 e 2006/07, na profundidade de 0-0,1 m	116
5.2.	Tratamentos e manejo do experimento nas safras 2005/06 e 2006/07	117
5.3.	Matéria seca e nitrogênio nas plantas de cobertura no momento do manejo. Safras 2005 e 2006	122
5.4.	Nitrogênio mineralizado pelas plantas de cobertura nas safras 2005/06 e 2006/07	123
5.5.	Volatilização total de N-NH ₃ pela adubação nitrogenada de cobertura do milho com uréia, aplicadas em duas vezes, sob aveia branca e ervilhaca, em plantio direto. Safra 2006/07	124
5.6.	Volatilização acumulada de N-NH ₃ por data pela adubação nitrogenada da cobertura do milho com uréia, em duas vezes, sob de aveia branca e ervilhaca comum, em plantio direto. Safra 2006/07	125
5.7.	Rendimento de grãos e concentração de N na planta de milho no estágio grão pastoso, em diferentes doses de N, com e sem aplicação de N na semeadura e sob diferentes plantas de cobertura. Safra 2005/06	129

5.8.	Rendimento de grãos do milho em diferentes doses de N, com e sem aplicação de N na semeadura e sob diferentes plantas de cobertura. Safra 2006/07	129
5.9.	Concentração de nitrogênio no milho no enchimento de grãos em diferentes doses de N, com e sem N na semeadura. Safra 2006/07	130
5.10.	Máxima eficiência técnica e econômica da adubação nitrogenada no milho cultivado após diferentes plantas de cobertura. Safra 2005/06	133
5.11.	Produtividade máxima, produtividade relativa de 90% do milho e respectiva dose de nitrogênio após diferentes plantas de cobertura. Safra 2006/07	135
5.12.	Produtividade e concentração de N no enchimento de grãos do milho (estádio grão pastoso) cultivado após diferentes plantas de cobertura, sem adubação nitrogenada. Safras 2005/06 e 2006/07.	137
5.13.	Equivalência em N mineral das plantas de cobertura. Safra 2005/06 e 2006/07	138
5.14.	Comparação das doses de N para o milho determinada neste estudo e indicadas pelo manual de recomendação do RS e SC e por Fontoura & Bayer (2008). Safras 2005/06 e 2006/07	139
5.15.	Eficiência da adubação nitrogenada no milho após diferentes plantas de cobertura calculada a partir do rendimento em grãos. Safra 2005/06	141
5.16.	Eficiência da adubação nitrogenada no milho após diferentes plantas de cobertura calculada a partir do rendimento em grãos do. Safra 2006/07	141
5.17.	Nitrogênio mineral na camada 0-0,1 m do solo em diferentes datas após o manejo de plantas de cobertura. Safra 2006/07	143
5.18.	Nitrogênio mineral na camada 0,1-0,2 m do solo após cultivo de diferentes plantas de cobertura, 38 dias após o manejo. Safra 2006/07	144

5.19.	N-mineral na camada 0-0,1 m após cultivo de aveia branca e ervilhaca em diferentes doses de N, 70 dias após o manejo das plantas de cobertura e 21 dias após a primeira cobertura de N ¹ . Safra 2006/07	150
5.20.	Nitrogênio mineral na camada 0-0,1 m após cultivo diferentes plantas de cobertura, 83 dias após o manejo e 13 dias após a segunda cobertura. Safra 2006/07	150
5.21.	Nitrogênio mineral na camada 0-0,1 m do solo após cultivo de diferentes plantas de cobertura, 134 dias após semeadura do milho e 78 dias após a segunda cobertura. Safra 2006/07	152
5.22.	Nitrogênio absorvido pelo milho cultivado após diferentes plantas de cobertura, 149 dias após semeadura ¹ . Safra 2006/07	152
5.23.	N-mineral na camada 0-0,6 m após cultivo de ervilhaca e em doses de 0 e 200 kg ha ⁻¹ de N, 134 dias após semeadura do milho e 78 dias após a segunda cobertura ¹ . Safra 2006/07	153

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
3.1. Dados meteorológicos históricos (1976-2006) da Estação Experimental da FAPA	36
3.2. Concentração de N durante o ciclo do milho cultivado em preparo convencional (PC) e em plantio direto (PD), sem aplicação de N	49
3.3. Estoque de carbono e nitrogênio total do solo em diferentes profundidades em mata, preparo convencional (PC) e plantio direto (PD)	51
3.4. Estoque de nitrogênio na biomassa microbiana do solo com mata, preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), nas profundidades 0-0,1 e 0,1-0,2 m	54
3.5. Taxa volatilização de N-NH ₃ nas doses 80 e 160 kg ha ⁻¹ de N-uréia aplicadas na adubação de cobertura do milho, nos sistemas de preparo do solo, PC (a) e PD (b)	62
3.6. Concentração de amônio no solo durante o ciclo do milho em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) em parcelas com cobertura (PC-C e PD-C) e descoberta (PC-D e PD-D), nas profundidades 0-0,05 m (a), 0,05-0,1 m (b) e 0,1-0,2 m (c)	65
3.7. Concentração de nitrato no solo durante o ciclo do milho em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) em parcelas com cobertura (PC-C e PD-C) e descoberta (PC-D e PD-D), nas profundidades 0-0,05 m (a), 0,05-0,1 m (b) e 0,1-0,2 m (c)	69
4.1. Estoque de nitrato na camada 0-0,1 m do Latossolo sob plantas de cobertura e pousio no ciclo do milho. Safra 2006/07	99
4.2. Matéria seca e nitrogênio absorvido durante o ciclo do milho. Média das safras 2005/06 e 2006/07	106
4.3. Concentração de nitrogênio no milho durante seu ciclo de desenvolvimento nas safras 2005/06 (a) e 2006/07 (b)	107

5.1.	Taxa de volatilização de N-NH ₃ pela adubação nitrogenada fracionada do milho com N-uréia, após a primeira (a) e segunda cobertura (b). Média da aveia branca e ervilhaca ...	125
5.2.	Precipitação e temperatura de novembro de 2006 em Entre Rios, Guarapuava. A primeira e segunda adubação de cobertura do milho foram em 31/10 e 21/11	127
5.3.	Rendimento de grãos do milho cultivado após diferentes plantas de cobertura, com doses de N de 0 a 200 kg ha ⁻¹ aplicadas totalmente em cobertura (a), e, 0 a 250 kg ha ⁻¹ , com 40 kg ha ⁻¹ em semeadura (b). Safra 2005/06	133
5.4.	Rendimento de grãos do milho cultivado após diferentes plantas de cobertura com doses de 0 a 200 kg ha ⁻¹ de N, aplicadas totalmente em cobertura (a), e, com 40 kg ha ⁻¹ em semeadura (b). Safra 2006/07	135
5.5.	Relação entre o nitrato do solo 38 dias após o manejo das plantas de cobertura e o rendimento do milho, nas profundidades 0-10 cm (a) e 0-20 cm (b). Safra 2006/07	146
5.6.	Relação entre o nitrato do solo 40 dias após o manejo das plantas de cobertura e o rendimento do milho, na profundidade 0-0,1 m. Estudo II e III, safra 2006/07	148

RELAÇÃO DE ANEXOS

	Página
1. Teor de N, matéria seca e N absorvido pelo milho em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD)	174
2. Nitrogênio da biomassa microbiana do solo em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) em diferentes datas e profundidades	175
3. Atividade da amidase do solo em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) em diferentes datas e profundidades	175
4. Estoque de N mineral do solo em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), 21 e 39 dias após aplicação de doses de N-uréia, na camada 0-0,2 m	175
5. Estoque de N mineral do solo na camada 0-0,6 m, 39 e 83 dias após a adubação nitrogenada em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD)	176
6. Estoque de nitrogênio mineral na camada 0-0,1 m do solo, sob diferentes plantas de cobertura e pousio durante o ciclo do milho. Safra 2006/07	177
7. Atividade da urease no tecido das plantas de cobertura	177
8. Taxa de volatilização de N-NH ₃ após cultivo de aveia branca e ervilhaca, nas doses 100 e 200 kg ha ⁻¹ de N-uréia, aplicadas em duas vezes como adubação de cobertura do milho, em sistema de plantio direto (PD). Safra 2006/07	178

RELAÇÃO DE APÊNDICES

	Página
1. Precipitação durante o ciclo do milho nas safras 2005/06 e 2006/07. Entre Rios, Paraná	180
2. Caracterização química do Latossolo em PC-PC calcário incorporado e PD-PD calcário em superfície considerando as repetições, em 01/2007	181

1. INTRODUÇÃO GERAL

O nitrogênio (N) é um elemento muito dinâmico nos sistemas agrícolas, sendo essa dinamicidade influenciada por fatores climáticos, pelas propriedades do solo e pelo conjunto de práticas que fazem parte do manejo do solo. O efeito de uma determinada prática na dinâmica N está condicionado pelo clima e solo e deve ser avaliado considerando os diferentes caminhos do N no sistema solo – planta, assim como suas potenciais perdas.

A utilização eficiente do N no setor agrícola possui não só interesse no setor rural, mais sim na sociedade toda, tendo em conta que pode contaminar a água superficial e subsuperficial e contribuir no incremento de gases de efeito estufa, e também, considerando que o Brasil não é auto-suficiente em fertilizante nitrogenado.

O manejo do solo na produção de grãos no Brasil tem experimentado mudanças importantes nas últimas décadas, sendo uma das mais importantes a mudança do preparo convencional para o sistema plantio direto, já estabelecido na região Sul, em expansão no Cerrado e adotado pela totalidade dos produtores de grãos do Centro-Sul do Paraná. O fim do revolvimento do solo, com a incorporação dos resíduos ao solo deve propiciar uma dinâmica diferente do nitrogênio do solo.

O sistema de plantio direto produz mudanças graduais nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, sendo também a variável tempo uma condicionante. Experimentos de preparo do solo de longa duração incorporam este fator e podem informar sobre a evolução das diferentes propriedades do solo e suas conseqüências e relações com a dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta, em plantio direto.

Em sistema plantio direto uma premissa fundamental é manter o solo com cobertura vegetal. Neste sentido as plantas de cobertura se constituem numa opção para o desenvolvimento da cobertura do solo, e, além disso, na rotação de culturas, no corte dos ciclos de pragas e doenças, na reciclagem de nutrientes. Também, as plantas de cobertura segundo a espécie têm efeito na dinâmica do N do solo, seja por fixação biológica de N, reciclagem de N, taxa de mineralização diferenciada de N e, em consequência, podem afetar diferenciadamente a cultura em sucessão.

É interessante determinar o efeito das diferentes espécies de plantas de cobertura na dinâmica de N do solo, na tentativa de obter benefícios da dinâmica de N na produção de grãos de milho, assim como, aumentar a eficiência do manejo da adubação nitrogenada nesta cultura, no sistema de plantio direto. O milho é uma cultura de alto rendimento, de grande aporte de carbono e forma parte do sistema de rotação de cultura no Centro-Sul do Paraná. Esta cultura é muito exigente em nitrogênio constituindo-se numa planta indicadora ideal para verificar a influencia dos sistemas de preparo e das plantas de cobertura na dinâmica de N.

Na região Sul do Brasil, o manejo da adubação nitrogenada no milho é realizado considerando a expectativa de rendimento, a cultura antecedente e a matéria orgânica do solo. No Estado de São Paulo baseia-se no requerimento de N, classe de resposta esperada a N e produtividade esperada do milho. O amônio e nitrato do solo podem constituir-se em ferramenta complementar do manejo da adubação nitrogenada do milho, seja na determinação da dose, como da época de aplicação de N ou nas potencias perdas de N no ciclo da cultura, tornando esta prática mais eficiente. Este fato deriva de que o amônio e nitrato do solo é resultado dos processos de adição de N, perda de N e da mineralização – imobilização do N do solo, e são as formas de absorção de N pelas plantas.

O entendimento da dinâmica do N do solo sob diferentes plantas de cobertura em plantio direto, no ciclo do milho, contribuirá ajustar o manejo do N no milho e aumentar a eficiência da adubação nitrogenada na produção do milho. Além disso, possibilitará verificar o potencial do N mineral do solo como indicador do manejo do N no milho. Todos estes fatores podem diminuir

os custos para o produtor e limitar potenciais fontes de contaminação do ambiente.

O presente trabalho se realizou nas condições de solo, clima e manejo da agricultura mecanizada do Centro-Sul do Paraná, especificamente na Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA) dependente da Cooperativa Agrária Agroindustrial, sendo composto de três estudos. No Estudo I avalia-se o efeito dos sistemas de preparo na dinâmica do nitrogênio no sistema Latossolo Bruno - Milho, em experimento instalado em 1978; no Estudo II estima-se a dinâmica do N mineral na camada superficial do solo e a absorção de N pelo milho sob diferentes plantas de cobertura, em plantio direto; no Estudo III se focaliza o efeito de diferentes plantas de cobertura na adubação nitrogenada do milho e se estabelece o potencial do N mineral do solo como ferramenta complementar para o manejo de N no milho em sistema de plantio direto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Dinâmica do nitrogênio do solo em sistemas de preparo

2.1.1 Estoque de nitrogênio no solo

Na produção agrícola, o estoque de N do solo é resultado do balanço entre o aporte de N via planta e adubo e das perdas gasosas e por lixiviação e/ou da exportação pela colheita. Estes processos encontram-se condicionados pelo solo, clima e sistema de manejo. Sainju et al. (2007) indicam que existe limitada informação do efeito dos sistemas de manejo de longa duração no acúmulo de N no solo.

O preparo oxigena o solo, fraciona os resíduos orgânicos, mistura a camada superficial do solo que recebe o aporte de resíduos orgânicos com camadas mais profundas, afeta o regime de temperatura do solo e acelera a secagem do solo (Doran, 1980). Também, o contínuo preparo do solo promove a liberação e subsequente degradação de matéria orgânica protegida (Adu & Oades, 1978; Salinas Garcia et al., 1997), a diminuição da capacidade de imobilizar N devido à diminuição na disponibilidade de C e à produção de nitrato pelo favorecimento da nitrificação (Smith & Young, 1975; Woods, 1989). Estas condições conduzem à perda de N dos sistemas agrícolas produzindo contaminação do ar e/ou da água.

Os solos tropicais e subtropicais em sistema plantio direto (PD) apresentam maior conteúdo de N total no solo em relação ao preparo convencional (PC) (aração e gradagens), principalmente nas camadas superficiais (Bayer, 1996; Mielniczuk et al. 2003). Fatores diretamente

relacionados com o maior estoque de N total do solo em PD são a menor perda por erosão hídrica e a maior proteção física da matéria orgânica no interior dos agregados, o que diminui o acesso dos microrganismos aos substratos orgânicos, limitando a sua mineralização. Amado (1997) acrescenta que o acúmulo de N total no solo nos sistemas sem preparo está relacionado à manutenção de maior umidade na camada superficial, menor aeração e menor temperatura do solo que criam um ambiente menos oxidativo, além da maior concentração superficial de raízes. Também em PD se reduz a exposição dos agregados superficiais a ciclos de umedecimento e secagem que induzem à desagregação do solo e, conseqüentemente, à exposição do material orgânico protegido no interior dos agregados (Amado, 1997).

Por outro lado, os sistemas de rotação de culturas afetam marcadamente o conteúdo de N do solo, pois definem a adição de N ao solo (Mielniczuk et al., 2003). Percebe-se que sistemas que incluem leguminosas na rotação possibilitam maior estoque de N total no solo em relação a seqüências de gramíneas, principalmente, quando associados a sistemas de preparo de menor revolvimento do solo (Bayer, 1996; Lovato, 2001). Lovato (2001) comparando os sistemas aveia/milho em PC e aveia+ervilhaca/milho+caupi em PD sem adubação nitrogenada, encontrou diferença no estoque de N total de 1068 kg ha^{-1} a favor do segundo sistema de manejo, após 13 anos do início do experimento, na camada 0-0,175 m de um Argissolo. No entanto, Varvel (1994), em estudo de rotação de culturas e aplicação de N de oito anos, observou que ocorreram mudanças mínimas no estoque de N total do solo nos sistemas de monocultura de soja e de sucessão milho-soja. Neste sentido, Havlin et al. (1990) observaram que quanto mais freqüente o uso da soja na rotação, menor foi a concentração de N total do solo, o que deve estar relacionado à baixa quantidade de resíduo orgânico desta cultura que retorna ao solo, aproximadamente $3,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e índice de colheita do N na soja que aproxima-se a 80%. Estes resultados indicam a necessidade de planejar a rotação de culturas de maneira a alcançar altas adições de resíduos, assim como a inclusão de leguminosas.

Elfstrand et al. (2007) determinaram que a incorporação ao solo a cada dois anos, e num período de 47 anos, de 4 Mg C ha^{-1} como adubo verde, serragem+fertilizante nitrogenado e esterco bovino, possibilitaram

respectivamente, incrementos de 0,2, 0,6 e 0,6% na concentração de C em relação ao início do experimento, na camada 0-0,15 m. No entanto, os tratamentos sem adubação orgânica e com aplicação de fertilizantes nitrogenados ocasionaram diminuição na concentração de C em relação ao teor inicial deste elemento. Neste mesmo experimento o estoque de N total do solo foi inferior nas parcelas sem adubação orgânica e somente com aplicação de fertilizante nitrogenado, e superior nos tratamentos com serragem+fertilizante nitrogenado e esterco bovino, obtendo-se concentração intermediária nas parcelas com aplicação de adubo verde. Estes dados indicam que a aplicação isolada de N na forma de fertilizante mineral pode não manter os níveis de C e N no solo e apresentar comportamento menos eficiente do que a adição de N na forma orgânica.

2.1.2 Mineralização - imobilização de nitrogênio no solo

O N do solo está sujeito a processos simultâneos de mineralização e imobilização. A mineralização resulta no aumento do N mineral e a imobilização microbiana consiste na assimilação do N mineral pela população microbiana (Aita, 1997). Quando a mineralização é superior à imobilização ocorre incremento no teor de N mineral do solo, resultando em mineralização líquida, e, em caso contrário ocorre imobilização líquida (Aita, 1997).

2.1.2.1 Nitrogênio da biomassa microbiana do solo

A biomassa microbiana é responsável pela reserva lábil de C e nutrientes, ciclagem de nutrientes, decomposição da matéria orgânica, fluxo de energia e é sensível às mudanças que ocorrem no solo, sendo, portanto, uma boa indicadora da qualidade do solo (Jackson et al., 2003). Sparling (1992) cita que quanto maior a relação N da biomassa microbiana e N total do solo melhor é a qualidade da matéria orgânica. Anderson & Domsh (1989) citam inclusive 100 kg ha⁻¹ de N imobilizadas na biomassa microbiana. Vargas et al. (2005) encontraram valores de N da biomassa microbiana de 14,1 e 33,5 kg ha⁻¹, respectivamente, em PC e PD 23 dias após a rolagem da aveia e 10 dias após o preparo, em Argissolo Vermelho distrófico. O N imobilizado é disponibilizado

para as plantas com a morte dos microrganismos e sua posterior mineralização pela população microbiana restante (Mary et al., 1996).

Vargas et al. (2005) não encontraram relação entre as flutuações do N da biomassa microbiana e o N mineral do solo durante o ciclo da cultura do milho e concluíram que a biomassa microbiana atuou como agente de mineralização do N orgânico do solo e não como fonte de N mineralizável. Deng et al. (2000) observaram que o potencial de mineralização e o N mineral do solo estiveram estreitamente relacionados com o N da biomassa microbiana e não com o N total do solo, obtendo-se aumentos de três ou mais vezes no N potencialmente mineralizável por cada unidade de aumento de N na biomassa microbiana. A limitada relação entre N potencialmente mineralizável e N total seria resultado do fato de que grande parte do N total é composto por formas altamente estabilizadas, e que não participam da mineralização de N a curto prazo. Por outro lado, apesar de encontrarem maior correlação entre o C da biomassa e o componente ativo de N do solo (N mineral, N mineralizável e N na biomassa microbiana), o coeficiente angular das equações de regressão foram maiores quando feitas regressões entre o C orgânico do solo e o componente ativo de N do solo, resultando em mudanças na ordem de 10,6 vezes no N potencialmente mineralizável pela variação de uma unidade do C orgânico, e somente 0,8 vezes pela variação de uma unidade do C na biomassa microbiana. Segundo os autores estes resultados são indícios do efeito da atividade enzimática na mineralização do N. Deng et al. (2000) sugerem que a mineralização do N, além da atividade microbiana do solo, é controlada pela atividade enzimática. Neste sentido, estes autores obtiveram significativa correlação entre a atividade da amidase e o componente ativo de N do solo.

Maior estoque de N na biomassa microbiana na camada superficial do solo em PD em relação ao PC é geralmente citado na literatura (Follet & Shimel, 1989; Vargas & Scholles, 2000; Vargas et al., 2005). Segundo Vargas & Scholles (2000) este resultado se deve ao efeito cumulativo dos anos de manejo sobre a quantidade e qualidade do N total do solo e pela sua disponibilidade à microbiota. Na camada superficial do solo em PD, além da maior concentração de matéria orgânica, a mesma é mais rica em frações lábeis, como carboidratos, compostos nitrogenados e na própria biomassa

microbiana e seus metabólitos (Carter & Rennie, 1982; Angers et al., 1993). No solo em PC predominam formas de N mais estáveis, de menor acesso à população microbiana (Menguel, 1996). Também em PC verificam-se condições ambientais negativas para o crescimento da biomassa microbiana, tais como maior temperatura e processos de secagem mais intensos na camada superficial do solo, em relação ao PD (Vargas & Scholles, 2000). Vaughan & Evanylo (1998) destacam que a biomassa microbiana é maior em sistemas com alta entrada de material orgânico e com resíduos facilmente decomponíveis. Estas considerações evidenciam que o PD apresenta vantagens em relação ao PC como sistema de preparo para desenvolver maior biomassa e atividade microbiana.

O maior estoque de N na biomassa microbiana e de matéria orgânica na camada superficial do solo em PD poderiam ser indícios de menor disponibilidade N mineral para as culturas em relação ao PC. Neste sentido Sá (1999) destaca que o PD expressa característica de dreno ou de fonte de N em função do tempo de adoção, sendo predominante a imobilização de N em sistema de recente instalação (<3 anos) e de fonte de N em sistemas com mais de 10 anos de adoção. Vaughan & Evanylo (1998) salientam que a quantidade suplementar necessária de N no PD varia com a quantidade de cobertura morta, com a composição química do resíduo e com o período em que a palha é dessecada em relação à semeadura da cultura subsequente. A menor oxigenação do solo em PD é outro fator responsável pela necessidade de maior quantidade de N nesse sistema em relação ao PC, pois resulta em menor mineralização do N nativo presente na matéria orgânica do solo (Bayer et al., 2000). Segundo Doran (1980) as maiores quantidades de N imobilizado pelos microrganismos em PD podem indicar menor eficiência de utilização de N pelas plantas, porém segundo Salinas Garcia (1997) baixos valores de N na biomassa microbiana é frequentemente uma resposta à disponibilidade de N à microbiota do solo.

Por outro lado, a incorporação diferenciada dos resíduos culturais em função dos preparos de solo, sendo incorporada no solo em PC e distribuída em superfície do solo em PD, também deve produzir processos diferenciados de mineralização e imobilização. Ernani et al. (2002) observaram que quando a palha é incorporada ao solo, espera-se maior imobilização de N

do que quando deixado sobre a superfície pelo aumento do contato dos resíduos com os microrganismos. Aulakh et al. (1991) citam que ao incorporar ao solo resíduo de trigo, milho e soja com relação C/N de 82, 39 e 43, respectivamente, verificaram aos 17 dias diminuição na quantidade de N mineral no solo em relação à testemunha sem resíduo, não havendo esta diferença, quando colocados na superfície, indicando que a incorporação de resíduos possibilita inicialmente maior imobilização de N em resíduos com alta relação C/N. Na avaliação aos 35 dias, não houve diferença entre os tratamentos com incorporação e aqueles em que o resíduo foi deixado na superfície, sendo que a testemunha apresentou maior quantidade de N mineral. Ao utilizarem ervilhaca com relação C/N igual a 8, encontraram mais N no tratamento incorporado em relação ao deixado na superfície, e em ambos mais N que na testemunha, sendo que este comportamento em relação à ervilhaca foi observado aos 17 e 35 dias. Estes resultados indicam interação entre o sistema de preparo e o tipo de resíduo, devendo evitar-se generalizações.

Os processos de imobilização microbiana também podem influenciar a disponibilidade de N oriundo da adubação nitrogenada, podendo ter efeito negativo quando limita a absorção de N pela planta ou positivo quando há decréscimo nas perdas de N por lixiviação. Pela adição de N através de fertilizantes é reportado incremento na biomassa microbiana (Omay et al., 1997), apesar de existirem resultados contrários (Moore et al., 2000). Sainz Rozas et al. (2004) encontraram incremento no N na biomassa microbiana pela adubação nitrogenada com uréia em três das quatro safras avaliadas. Estes autores indicam a falta de C disponível no solo como a causa da ausência de imobilização na primeira safra, observando que a cultura antecedente foi a soja e nas outras safras o milho. Também Salinas Garcia et al. (1997) verificaram limitado efeito da adubação nitrogenada sobre o C da biomassa microbiana e sugeriram que foi resultado da limitada disponibilidade de C. Estes resultados indicam que a influência da disponibilidade de N sobre o crescimento microbiano está na dependência da disponibilidade de C. Segundo Zaman et al. (2002) e Blankenau et al. (2000) adições de resíduos orgânicos concomitantemente com fertilizantes nitrogenados aumentaram o estoque de N da biomassa microbiana.

Lara Cabezas & Couto (2007) e Lara Cabezas et al. (2005) com aplicação de 80 kg ha⁻¹ de N-uréia em pré-semeadura do milho determinaram, respectivamente, máxima imobilização de N-uréia aos 11 e 40 dias após a aplicação, sendo o N imobilizado 58 e 17% do adicionado. Quando a aplicação foi realizada em cobertura, a imobilização encontrada foi inferior a 12,5% do N aplicado, nas diferentes fases do crescimento do milho. Estes valores dão à magnitude de imobilização do N-uréia encontrado em solos do Cerrado.

Com o objetivo de limitar a lixiviação de nitrato originado da aplicação de dejetos suíno, Aita et al. (2006) e Aita & Giacomini (2008) aplicaram este dejetos na sucessão aveia/milho em PD. Estes pesquisadores não encontraram imobilização significativa de N e indicaram como possíveis causas o limitado contato solo-resíduo em PD, que poderia ter limitado a atividade da população microbiana, diminuindo o seu potencial de imobilização de N. Também indicaram que a elevada taxa de nitrificação e o rápido deslocamento do N-nitrato no solo podem ter limitado a disponibilidade de N nos sítios de decomposição dos resíduos culturais e concluíram que a estratégia para reduzir a lixiviação de nitrato do solo através da aplicação de resíduos de aveia preta em PD objetivando o estímulo à imobilização microbiana mostrou-se ineficiente.

Considerando esta discussão deve-se indicar que a utilização de microrganismos como indicador de mudanças produzidas pelos sistemas de manejo deve ser realizada com precaução, pois as variações temporais podem ser mais significativas do que as determinadas pelos sistemas de manejo estudados, limitando as conclusões obtidas (Spedding et al. 2004).

2.1.2.2 Nitrogênio mineral do solo

O N mineral do solo encontra-se, principalmente, na forma de amônio e nitrato. O nitrato é pouco retido no solo, devido à baixa energia de ligação aos argilominerais, podendo ser lixiviado. O amônio permanece no complexo trocável do solo, podendo ser absorvido pelas plantas ou oxidado a nitrato (Poletto et al., 2008). A predominância de amônio, em relação ao nitrato, na solução do solo foi observada em ambientes com baixo pH ou baixa temperatura ou alta umidade. A taxa de nitrificação é próxima de zero em solos com excesso de água e em solos com temperaturas inferiores a 5°C ou

superiores a 40 °C; faixa de temperatura mais favorável para o processo de nitrificação corresponde a 26 a 32°C (Moreira & Siqueira, 2006).

As variações na concentração de amônio e nitrato também estão relacionadas ao aporte de N pelas plantas de cobertura, às doses de fertilizante, à remoção pelas culturas e às variações estacionais de temperatura e precipitação (Sainju et al., 2007). Poletto et al. (2008) em avaliação sazonal dos teores de amônio e nitrato em Argissolo Vermelho distrófico, em parcelas destinadas à produção de grãos em PD e em campo nativo, encontraram incremento nos teores de N mineral no início da primavera alcançando valores máximos no verão e teores mínimos no inverno. Esta variação sazonal foi acompanhada pelas oscilações na temperatura média, sendo que os teores médios de amônio e nitrato no outono-inverno foram, respectivamente, de 6,9 e 7,4 mg kg⁻¹, enquanto que, na primavera e no verão, foram, respectivamente, de 14,9 e 12,6 mg kg⁻¹, sendo a proporção de N-amônio e N-nitrato de 1:1.

Segundo Sainju & Singh (2001) o preparo do solo acelera a mineralização de resíduos das culturas e incrementa a concentração do nitrato no perfil do solo (Halvorson et al., 2001; Al-kaisi & Licht, 2004). No entanto, Soon et al. (2001) encontraram 50 kg ha⁻¹ a mais de N absorvido pelo trigo em PD em relação ao PC, o que sugere que a utilização de N no PC foi menos eficiente e/ou que podem ter ocorrido maiores perdas neste sistema. A maior quantidade de N acumulado pelo trigo esteve relacionada com os maiores estoques de N na biomassa microbiana, de N total e de N mineralizável na camada superficial em PD. O teor de nitrato foi superior em PC no período de semeadura, o qual foi atribuído à maior mineralização de N pelo preparo, ao passo que em PD o teor foi superior próximo à colheita, na camada 0,15-0,6 m. Vargas & Sholles (2000) encontraram maior mineralização de N em PD em relação ao PC na camada 0-0,05 m e o contrário na camada 0,05-0,15 m em incubação por 60 dias. Estes pesquisadores atribuíram estes resultados, respectivamente, ao maior teor de maior matéria orgânica na superfície em PD e à incorporação em profundidade dos resíduos vegetais em PC. Doran (1980) discute que as taxas de mineralização poderão ser maiores em PC, porém as quantidades de N mineralizadas tendem a ser maiores em preparos conservacionistas de longa duração.

O preparo do solo pode interagir com a planta de cobertura e a fertilização nitrogenada, resultando em diferenciada mineralização de N e conteúdo de N mineral do solo, afetando o potencial de lixiviação e a disponibilidade de N para as culturas. Nas culturas de sorgo e algodão, Sainju et al. (2007) concluíram que o PD, com ervilhaca+centeio e 60 a 65 kg ha⁻¹ de N, otimizou a quantidade de N mineral no solo e a absorção de N pelas culturas, reduziu o custo da fertilização de N e as potenciais perdas de N por erosão e lixiviação, quando comparado com o sistema PC com ou sem planta de cobertura e 120-130 kg ha⁻¹ de N. Por outro lado, estes pesquisadores salientam que o consórcio ervilhaca+centeio acumulou quantidade igual ou superior de N em relação à ervilhaca, porém determinou menor teor de nitrato no solo, tendo, entretanto, resultado em similar absorção de N seja no algodão como no sorgo com ambos resíduos vegetais. Groffman et al. (1987) encontraram incremento na disponibilidade de N em sistemas com resíduos de leguminosas em PC em relação ao PD, porém estes pesquisadores atribuíram este fato ao maior N acumulado pelas leguminosas em PC. Vargas et al. (2005) encontraram, em avaliação realizada 23 dias após a rolagem da aveia preta e 10 dias após o preparo, valores de N na biomassa de 33,5 e 14,1 kg ha⁻¹, respectivamente, para PD e PC, porém a quantidade de N mineral foi semelhante e muito baixa (2 kg ha⁻¹) em ambos sistemas de preparo.

O pH do solo pode modificar a dinâmica das formas de N mineral do solo. Segundo Silva et al. (1994a) as taxas de nitrificação caem rapidamente em valores de pH inferiores a 6,0, tornando-se bastante reduzidas em solo com pH abaixo de 5,0. Silva & Vale (2000) avaliando cinco solos determinaram uma produção média de 11,6 mg kg⁻¹ de N-nitrato quando não foi adicionado calcário e de 62,7 mg kg⁻¹ onde a acidez foi corrigida. Arora et al. (1986) discutem que a disponibilidade de amônio para os microrganismos nitrificadores e o efeito de fertilizantes sobre o pH do solo e sobre a população de nitrificadores são os principais fatores que governam a variação na velocidade de transformação do N suprido pelos adubos nitrogenados.

Melo (1987) e Wickramasinghe et al. (1985) demonstraram que a taxa de nitrificação é reduzida em solos ácidos, mas quando há aplicação de uréia poderá ser alta, pela elevação do pH em consequência da hidrólise desse fertilizante, cujo aumento de pH é temporário, porém suficiente para favorecer a

nitrificação. Silva & Vale (2000) encontraram que, em quatro dos cinco solos avaliados, o N adicionado como uréia foi nitrificado mais intensamente, para níveis similares de pH do solo, do que aquele oriundo do sulfato de amônio. Entretanto, a elevação do pH no local de aplicação da uréia dificulta a imobilização temporária do N-amoniaco produzido, o que favorece a nitrificação (Rodriguez & Kiehl, 1992). Já o urânio, por apresentar maior difusão no solo e baixa incidência na variação do pH no local de aplicação, estaria favorecendo uma imobilização mais expressiva de N pela biomassa do solo (Trivelin et al., 1996). Segundo Melo (1987) a menor eficiência da uréia em relação a outras fontes de N pode, em parte, estar relacionada com as maiores taxas de nitrificação do N desse fertilizante com conseqüente maior lixiviação de nitrato.

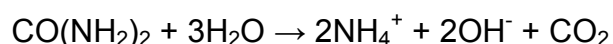
Um adequado manejo do N favorece a absorção de N pelas culturas e diminui a concentração do nitrato no perfil do solo, especialmente, em camadas profundas, nas quais a presença de N potencializaria as perdas por lixiviação (Sainju et al., 2007).

2.1.3 Volatilização de amônia

Neste item é focada a volatilização de N-NH₃, porém outras vias de perdas gasosas de N são a desnitrificação e a perda direta de N das partes aéreas das plantas (Moreira & Siqueira, 2006).

A volatilização consiste na perda de N na forma de NH₃, relacionada, principalmente, com a aplicação da uréia. A volatilização também pode acontecer com a aplicação de outros fertilizantes nitrogenados que possuam N na forma amoniacal, principalmente, em solos com pH maior que 7,5 (Volk, 1959). O N do solo também pode ser perdido por volatilização durante o processo de mineralização da matéria orgânica do solo ou de restos de materiais orgânicos adicionados ao solo, processo que pode ser favorecido pelo enriquecimento de N (Lara Cabezas & Trivelin, 1990).

Para que ocorra a volatilização do N da uréia, primeiramente, esta ao ser aplicada ao solo sofre hidrólise pela ação da enzima urease, segundo a seguinte reação (Bolan & Hedley, 2003):



Esta reação origina elevação temporal do pH na zona de aplicação (Overrein & Moe, 1967), o que afeta o equilíbrio NH_3 e NH_4^+ ($\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \leftrightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$), sendo que quando menor o valor do pH alcançado na zona de aplicação menor proporção de N-NH_3 se forma, diminuindo o potencial de volatilização.

Fatores citados na literatura relacionados com a volatilização de N-NH_3 , quando da aplicação da uréia, são a atividade da urease, solo, clima, e manejo da adubação nitrogenada (Bouwmeester et al., 1985; Rodriguez & Kiehl, 1986). Entre as propriedades de solo relacionadas à volatilização citam-se o pH, a capacidade troca de cátions, a umidade e a textura (Bouwmeester et al., 1985).

A urease existe em plantas e microrganismos (principalmente em bactérias) e tem sido detectada na mucosa gástrica do homem e dos animais (Longo & Melo, 2005). A taxa de hidrólise da uréia é influenciada por vários fatores como tipo do solo, concentração do substrato, teor de matéria orgânica, estoque de N total, textura e pH do solo (Santos et al., 1991). Deng & Tabatabai (1996) encontraram correlação positiva entre a atividade da urease e o C e N total do solo, com diminuição progressiva na atividade da urease com o decréscimo da temperatura. Palma & Conti (1990) encontraram aumento da atividade enzimática durante o verão e diminuição no inverno. Silva & Vale (2000) encontraram que os teores de uréia remanescente mostraram-se altamente dependentes dos estoques de matéria orgânica do solo, sendo maior a conversão do N-amídico a amônio nos solos mais ricos em carbono. Estes pesquisadores indicam que a atividade da urease é determinada pela habilidade dos colóides em efetuar a proteção desta enzima, porém, por se originar de metabólitos de plantas e microrganismos, a urease é também dependente da quantidade e tipo de resíduos vegetais e da atividade e diversidade microbiana. Estes resultados indicam que maior atividade da urease espera-se em PD e que as plantas de cobertura podem influenciar a atividade desta enzima.

Em relação ao pH do solo, Longo & Melo (2005) citam que a velocidade de hidrólise da uréia aumentou significativamente do pH 2,2 até o 8,0. Por outro lado, Al-Kanani et al. (1991) mencionam que um solo com maior conteúdo de argila e, conseqüentemente, maior capacidade de troca de

cátions, em relação a outro mais arenoso, apresenta redução na volatilização de N-NH₃ pela adsorção do íon NH₄⁺.

Em relação ao efeito da umidade do solo na volatilização de N-NH₃, consideram-se dois aspectos, a umidade do solo no momento da aplicação do fertilizante e o processo de secagem do solo após a aplicação. Vlek & Carter (1983) citam que baixa umidade do solo no momento da aplicação limita a dissolução e hidrólise da uréia, limitando posteriormente a volatilização de amônia. Por outro lado, menor perda de N-NH₃ é citada em condições extremas de secagem do solo, altas ou muito baixas, em relação a processo de secagem de intensidade intermediária (Ernst & Massey, 1960; Bouwmeester et al., 1985).

Fatores climáticos relacionados com o processo de volatilização de amônia são vento, umidade relativa do ar, temperatura do ar e precipitação.

Existem várias citações que reportam incremento na volatilização de amônia com o aumento da velocidade do vento (Chao & Kroontje, 1964). Ernst & Massey (1960) obtiveram maiores e semelhantes taxas de volatilização de N-NH₃ com umidade relativa do ar de 85-90 e 50-55% e menores com 100 e 0% (condições extremas de secagem do solo). Bouwmeester et al. (1985), com 80-95% de umidade relativa e em solo úmido contínuo gerado por aplicações de água com vaporizador, obtiveram as maiores taxas de volatilização. Em relação à temperatura, Ernst & Massey (1960) determinaram incremento na volatilização de N-NH₃ de 1% para cada 8°C de aumento de temperatura do ar, avaliando o efeito de temperatura numa faixa de 7 a 32 °C.

A precipitação tem o potencial de transportar a uréia em profundidade no solo, reduzindo a perda por volatilização e aumentando a adsorção de amônio no solo, mas por outro lado, se a precipitação for de pouca intensidade pode aumentar a perda ao favorecer a dissolução e hidrólise da uréia, sem incorporá-la em profundidade (Bouwmeester et al. 1985).

O manejo da adubação, dose e forma de aplicação da uréia, também tem efeito na volatilização. À medida que aumenta a dose aplicada de uréia maior é o potencial de perda de N por volatilização (Overrein & Moe, 1967; Rodriguez & Kiehl, 1986). Por outro lado, maior volatilização de N acontece quando a uréia é aplicada em superfície do que quando é incorporada. Overrein & Moe (1967), ao incorporarem uréia a 0; 0,64; 1,28;

1,92 e 2,54 cm de profundidade, obtiveram relação linear inversa entre volatilização e profundidade de incorporação, sendo a volatilização reduzida em 15 e 23% por cm de profundidade incorporada a 10 e 20% de umidade do solo, respectivamente. Além de diminuir a perda, a incorporação do fertilizante atrasa os picos de volatilização (Rodriguez & Kiehl, 1986) sendo que qualquer atraso é benéfico por aumentar a possibilidade da incorporação natural do N pela água da chuva.

Alternativas para controlar a volatilização de amônia pela aplicação de uréia são o uso de inibidores da urease, que retardam a hidrólise da uréia (Bremner & Douglas, 1971; Fillery & De Datta, 1986), o uso de enxofre elementar ou NH_4Cl , que geram ácidos no solo e impedem excessiva elevação do pH, e o revestimento dos grânulos de uréia com produtos que retardam a sua dissolução no solo (Sengik & Kiehl, 1995). Avaliando diversos sais inorgânicos, Sengik & Kiehl (1995) encontraram reduções da volatilização de N-NH_3 pela adição de uréia com uso de superfosfato simples, sulfato ferroso e cloreto férrico, verificando-se reduções acentuadas no pH do meio por efeito dos mesmos. Entretanto a aplicação conjunta de resíduos orgânicos (turfa, esterco de curral e composto de lixo) com uréia ocasionou aumento significativo na volatilização de N-NH_3 , provavelmente pelo aumento da quantidade de urease, enzima usualmente abundante em resíduos orgânicos (Zantua & Bremner, 1977).

O efeito diferenciado do manejo da palha entre os sistemas PC e PD apresenta efeitos significativos na umidade do solo, temperatura do solo e evaporação (Zhai et al., 1990; Bragagnolo & Mielniczuk, 1990), fatores estes relacionados com a volatilização. Maior valor de temperatura do solo em PC, em relação ao PD (Bragagnolo & Mielniczuk, 1990), pode aumentar a taxa da hidrólise da uréia e da evaporação, potencializando a volatilização de N-NH_3 . Já a formação em menor tempo de uma pequena camada seca na superfície do solo preparado em PC, em relação ao PD, pode atuar como barreira à difusão do vapor e à ascensão capilar da água, reduzindo a evaporação a longo prazo (Linden, 1982; Mwendera & Feyen, 1994), podendo limitar a volatilização.

Em sistema PD a cobertura vegetal pode limitar o contato direto dos grânulos da uréia com o solo, limitando sua difusão no solo (Rodrigues &

Kiehl, 1992) e favorecendo sua volatilização (Lara Cabezas et al., 1997). Este processo intensifica-se nas lavouras em que o calcário é aplicado na superfície do solo, sem incorporação (Howard & Essington, 1998), pelo aumento do pH nesta camada (Ernani et al., 2001). Por outro lado, em PD, o aumento da matéria orgânica nas camadas superficiais do solo favorece a adsorção de NH_4^+ pelo incremento da capacidade de troca de cátions do solo e limita o aumento do pH ao aumentar a capacidade de tamponamento do solo, podendo, deste modo, limitar a volatilização de N-NH_3 .

Da Ros et al. (2005) não encontraram diferença significativa na volatilização de uréia entre tratamento com cobertura de aveia preta e solo descoberto, ao avaliar de forma conjunta três aplicações de 50 kg ha^{-1} de N na cultura do milho, sendo 17% a perda média determinada. Lara Cabezas et al. (1997) encontraram perdas de 78; 37,2; 10,2 e 7,9% do N aplicado na forma de uréia, uran, sulfato de amônio e nitrato de amônio, respectivamente, em PD, ao passo que em PC, na mesma seqüência de fontes, as perdas foram de 30,7; 9,8; 3,7 e 2,5%, respectivamente. Estes resultados indicam que, independentemente das fontes, as perdas foram maiores em PD quando os fertilizantes foram aplicados na superfície com palhada, o que pode estar relacionado à maior atividade de urease na camada de resíduos (Silva & Vale, 2000). Quando incorporados entre 5 e 7 cm de profundidade, as perdas foram drasticamente diminuídas, sendo as diferenças entre aplicação superficial e incorporada aumentadas no sistema de PD, e a perda por volatilização diminuiu de 78 para 2,1%.

3.1.4 Lixiviação de nitrogênio

A lixiviação é um processo de perda de N, preferencialmente, na forma de nitrato (N-NO_3^-), com o movimento da água em profundidade, ficando fora da zona de absorção das raízes e com potencialidade de chegar ao lençol freático, contaminando as águas subterrâneas (Ernani et al., 2002).

O potencial de lixiviação de N-nitrato para a água subterrânea é função do tipo do solo, condições climáticas e manejo do sistema de cultura (Alva & Wang, 1996). Maior lixiviação de nitrato pode ocorrer em PD, em comparação ao PC, pela maior infiltração de água no solo (Hill, 1990) e porosidade contínua (Azooz et al., 1996), principalmente em períodos muito

úmidos. Segundo (Sainz Rozas et al. (2000) o fluxo preferencial de água no solo é através dos macroporos e, pode transportar significativa quantidade de N-nitrato de recente adição ao solo, no entanto, o fertilizante que se difundiu entre os agregados, nos microporos, estaria mais protegido de subseqüentes lixiviações, principalmente, em solos argilosos. Este processo pode ser melhor reproduzido em PD pelo não revolvimento do solo e pode resultar em menor lixiviação neste sistema de preparo. Em solos arenosos, que em geral não apresentam fluxo preferencial, a lixiviação de nitrato pode ocorrer de forma uniforme através do perfil do solo (Sainz Rozas et al. 2000).

Sogbedji et al (2000) avaliando dois solos, em três safras de milho e em três doses de N, encontraram semelhante lixiviação de N no primeiro ano de experimento nas três doses de N aplicadas (22, 100 e 134 kg ha⁻¹ de N), porém na segunda e terceira safras a lixiviação foi diferente segundo o tipo de solo. Em solo franco argiloso, a lixiviação foi superior na maior dose de N, e correspondeu a 13,1 e 34,1 kg ha⁻¹ de N, já no solo de textura areia franca, as perdas aumentaram em função das doses de N aplicadas, e na maior dose de N foram de 20,4 e 55,3 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, na segunda e terceira safra. Os autores concluíram que a lixiviação foi consistentemente superior no solo de textura mais arenosa, que o nitrato foi superior no perfil do solo na maior dose de N aplicada e que a eficiência da adubação nitrogenada decresceu com aplicação de 134% do N recomendado. Es et al. (2006) também encontraram o dobro da concentração de N-NO₃⁻ na água de drenagem em solos de textura areia franca (20 mg L⁻¹) em relação a solo franco argiloso (10 mg L⁻¹) pela aplicação de esterco de bovinos.

Por outro lado, Es et al. (2006) encontraram maior concentração de N-NO₃⁻ em cultivo contínuo de milho em relação ao seu cultivo intercalado com pastagens, principalmente no solo de textura areia franca, pela aplicação esterco bovino. Randall et al. (1997) sugerem para reduzir as perdas de nitrato, a incorporação de espécies perenes nos sistemas de rotação de culturas e ressaltam que o manejo da adubação nitrogenada não evita as perdas de nitrato, observando a existência de outras fontes de N, como a mineralização do N orgânico do solo.

Em relação à época de aplicação de N e à lixiviação de N, Sainz Rozas et al. (2004), ao adicionarem mesmas doses de N em semeadura e em cobertura (V6), encontraram maior absorção de N pelo milho na aplicação em cobertura e associaram-na à maior lixiviação de N proveniente da adubação em semeadura, considerando que foi semelhante o estoque de N na biomassa microbiana (camada 0-0,2 m), assim como a perda gasosa (desnitrificação + volatilização), em um Mollisol na Argentina. Estes autores também encontraram significativa maior concentração de N-NO_3^- na camada 0-1,0 m na maior dose de N-uréia aplicada em V6 (210 kg ha^{-1}), em relação à mesma dose adicionada na semeadura e também em relação às menores doses de N-uréia aplicados seja em V6, como em semeadura. Estes dados indicam, por um lado, que a maior dose aplicada em V6 foi superior ao requerimento da cultura, e por outro lado, que existe maior potencial de perda de N quando sua aplicação é realizada na semeadura, pela menor recuperação de N-NO_3^- no final do ciclo da cultura. Fernandes (2006) na instalação de PD em Latossolo Vermelho Amarelo (160 a 200 g kg^{-1} de argila) encontrou perdas por lixiviação de 96 e 68 kg ha^{-1} de N-NO_3^- com aplicação de 120 kg ha^{-1} de N-sulfato de amônio em forma parcelada, respectivamente, com 60 e 30 kg ha^{-1} de N na semeadura e o restante em cobertura, considerando como camada limite $0,8 \text{ m}$. As perdas do N-fertilizante corresponderam, respectivamente, a 3 e 1 kg ha^{-1} , determinados a partir da técnica de ^{15}N . Estes dados indicam importante perda de N durante o ciclo do milho em condições da região de Piracicaba, sendo maior quando maior a quantidade de N-uréia aplicada na semeadura, porém as perdas corresponderam principalmente ao N mineralizado do solo.

Maior potencial de lixiviação em parcelas com leguminosas em relação a outras plantas de cobertura não leguminosas são reportados por vários trabalhos (McCracken et al., 1994; Bergstrom & Kirchmann, 2004). Este potencial pode ser minimizado pelo consórcio da leguminosa com outras famílias. Aita et al. (2004) encontraram maior quantidade de N mineral com ervilhaca solteira em relação à aveia preta e nabo forrageiro solteiro, assim como em relação a consórcios de aveia + ervilhaca e aveia + nabo na camada $0,6-0,9 \text{ m}$, indicando maior potencial de lixiviação com a utilização de leguminosa quando semeada em forma solteira.

O estudo da dinâmica do N no solo com o uso de plantas de cobertura deve envolver não apenas o monitoramento da evolução das quantidades de N mineral, mas também a sua distribuição no perfil do solo (Aita et al., 2004). Alta concentração de N mineral no perfil do solo no final do ciclo do milho indica potencial de lixiviação de N e, além disso, é um indicador de que as doses de N ou a época de aplicação não foram adequadas (Sainz Rosas et al. 2004). Dauden & Quílez (2004) relataram que a absorção de água e de nitrato pelo milho foi insignificante, abaixo de 0,9 m.

Dinnes et al. (2002) destacam como estratégias para reduzir a lixiviação de N a adequação da época de aplicação e da dose a ser aplicada do fertilizante nitrogenado, a utilização de testes de solo e monitoramento das plantas para determinação da concentração de N, a diversificação das rotações de culturas, o uso de plantas de cobertura, o uso de preparo reduzido, a otimização de técnicas de aplicação de N e o uso de inibidores de nitrificação. Outra medida para minimizar as perdas de N por lixiviação seria o uso de plantas com sistema radicular profundo que reciclem o nitrato que desceu no perfil do solo (Aulakh et al., 2000).

2.2 Dinâmica do nitrogênio durante o ciclo do milho cultivado após diferentes plantas de cobertura de inverno em sistema plantio direto

Em sistema de PD a planta de cobertura é uma ferramenta que cumpre diversos objetivos. Entre estes destaca-se a cobertura do solo, o aporte de carbono, a ciclagem e/ou aporte de nutrientes, a descompactação biológica do solo, o manejo dos ciclos de pragas, doenças e invasoras e a rotação de culturas (Derpsch et al., 1991; Nicoloso et al., 2008).

Em relação ao N, as plantas de cobertura das famílias gramínea e brassicácea absorvem o N disponível no solo segundo a profundidade de exploração radicular e posteriormente, uma vez incorporada na superfície do solo, disponibilizam para a cultura em seqüência (reciclam). As leguminosas, além do citado para as outras famílias, possuem o potencial de incorporar N atmosférico ao sistema solo – planta, através da simbiose com bactérias específicas (Silva et al., 2006a). O consórcio (leguminosa+gramínea ou leguminosa+brassicácea) apresenta essas duas funções, reciclagem de N

pelas não leguminosas e a fixação biológica de N pelas leguminosas, sendo esta última favorecida devido à absorção de N pela gramínea e/ou crucífera do consórcio (Silva et al., 2006a).

A partir de estudos realizados na região Sul do Brasil com plantas de cobertura de inverno constatam-se faixas de acúmulo de N de 27 a 224 kg ha⁻¹ para aveia preta, 77 a 92 kg ha⁻¹ para aveia branca, 42 a 107 kg ha⁻¹ para nabo forrageiro e 65 a 316 kg ha⁻¹ para a ervilhaca (Oliveira, 1994; Gonçalves et al, 2000; Borkert et al., 2003; Giacomini et al., 2003; Aita & Giacomini, 2003; Giacomini et al., 2004; Aita et al., 2004; Fontoura, 2005; Silva et al, 2006a). O N aportado pelas raízes das plantas de cobertura raramente é estudado, uma exceção é o trabalho de Da Ros & Aita (1996) que encontraram que 7% da quantidade total do N adicionado pela ervilhaca provém da raiz. Este N acumulado nas plantas de cobertura posteriormente será disponibilizado à cultura em sucessão, incorporado ao solo ou perdido do sistema solo – planta.

O processo de decomposição de resíduos vegetais e de liberação de N acumulado é influenciado por vários fatores que atuam de forma conjunta os determinando. Por um lado, são afetados pelos fatores ambientais, solo e clima, por outro, pelas características intrínsecas do resíduo vegetal e também do sistema de manejo. Aita & Giacomini (2003) trabalhando com ervilhaca, nabo forrageiro e aveia preta, em PD, encontraram que a decomposição e liberação de N dos resíduos culturais foi inversamente proporcional à relação C/N e Lignina/N e diretamente proporcional à concentração de N total e N e C da fração solúvel em água dos resíduos. Outras características citadas na literatura relacionadas à taxa de mineralização dos resíduos de plantas são conteúdo de polifenóis solúveis e condensados, hemicelulose, celulose, relações polifenóis/N e lignina+polifenol/N (Vanlauwe et al. 1997). Segundo Henriksen & Breland (1999) os resíduos das culturas podem ser divididos em frações facilmente decomponível, estrutural e resistente, sendo estas frações equivalentes, respectivamente, à celulose, hemicelulose e lignina, na determinação da parte solúvel em detergente neutro. As duas primeiras formas são utilizadas pela biomassa ativa de microrganismos, ao passo que a fração resistente não é utilizada no crescimento microbiano e é estabilizada no solo (Stott et al., 1983).

Um fator chave para o aproveitamento do N acumulado pelas plantas de cobertura é a sincronia entre a liberação de N e a demanda da cultura em sucessão. Stute & Posner (1995) encontraram que 50% do N de leguminosas (trevo vermelho e ervilhaca peluda) foram liberados quatro semanas após sua incorporação em preparo convencional e muito pouco após 10 semanas. Aita & Giacomini (2003) encontraram que a maior parte do N foi liberada durante os primeiros 15 dias de decomposição nos sistemas com ervilhaca e aveia+ervilhaca, em PD. O consórcio reduziu a decomposição de resíduos, porém o efeito sobre a velocidade de liberação de N na fase inicial de decomposição foi pequeno. Aita et al. (2004) salientam que o desafio está no estabelecimento de consórcios de plantas de cobertura de outono/inverno que permitam atender a demanda de N pelas culturas comerciais de forma equilibrada.

Observando que o N liberado das plantas de cobertura pode ser re-imobilizado no solo ou permanecer na forma mineral, a adição de diferentes resíduos vegetais promove uma dinâmica característica de N do solo, que precisa ser caracterizada e entendida para alcançar um manejo mais eficiente dos sistemas de manejo e rotação de culturas. Aita et al. (2004), em Argissolo Vermelho distrófico arênico, não encontraram diferença na quantidade de N mineral do solo com aveia preta e pousio invernal e observaram a não imobilização de N pela adição de palha de aveia, em PD. Neste mesmo solo, Basso (2000) e Almeida (2000) tampouco encontraram efeito significativo da palhada de aveia na imobilização microbiana de N, quando adicionado em superfície. No entanto, Aita et al. (2004) encontraram em consórcio de aveia e ervilhaca que o N mineral do solo diminuiu em 0,18, 0,30 e 0,28 kg ha⁻¹ por cada 1% de incremento de aveia no consórcio, respectivamente, aos 10, 28 e 42 dias após o manejo em PD. Estes mesmos pesquisadores obtiveram acúmulo de N semelhante com ervilhaca e consórcio (45% aveia + 55% ervilhaca), porém verificaram 16 kg ha⁻¹ a mais de N mineral na camada 0-0,9 m com leguminosa solteira nos primeiros dois meses após o manejo, evidenciando, processos diferenciados de mineralização do N acumulado pelas plantas de cobertura. Estes resultados indicam uma maior disponibilidade de N mineral após o manejo das leguminosas, produto da mineralização do N acumulado pela planta de cobertura ou do efeito da mesma na mineralização do N do solo,

não existindo resultados conclusivos pela adição de consórcios e outros resíduos que precisam ser mais bem caracterizados.

Uma metodologia para avaliar o aproveitamento do N liberado das plantas de cobertura pelo milho é a partir da recuperação de N pelo milho, ou seja, verificar a relação do N efetivamente absorvido pelo milho das plantas de cobertura em relação ao N encontrado na massa das plantas de cobertura. Amado et al. (1999) encontraram porcentagens de recuperação de N pelo milho de 25, 2,9 e -23% após ervilhaca, aveia + ervilhaca e aveia, respectivamente. O valor negativo para aveia significa que o N provavelmente foi imobilizado e não esteve disponível para a cultura em sucessão. Beutler et al. (1997) encontraram que o milho recuperou maior quantidade de N quando cultivado após tremoço azul (34%) em relação ao consórcio aveia + ervilhaca, mucuna cinza e canavalia que determinaram recuperação de 14, 16 e 13%, respectivamente. No entanto, o N das plantas de cobertura efetivamente absorvido pela cultura em sucessão somente é possível de ser determinado a partir de técnicas isotópicas. Scivittaro et al. (2003) verificaram em Latossolo Vermelho (Piracicaba) que o aproveitamento pelo milho do N proveniente de mucuna preta (*Mucuna aterrima*) foi em média de 12%, sendo recuperado no solo 50% do N adicionado. Silva et al. (2006) trabalhando em Latossolo Vermelho do Cerrado observaram que o N absorvido pelo milho proveniente da crotalaria (*Crotalaria juncea*) e milheto (*Pennisetum americanum*) foi de apenas 12 e 6%, respectivamente, indicando que o N absorvido pelo milho foi disponibilizado em sua maior parte pelo solo. Figueredo et al. (2005) salienta a predominante absorção do N nativo do solo pelo milho em estudos no Latossolo Vermelho do Cerrado, podendo ser o solo o principal destino do N adicionado via plantas de cobertura (Silva et al., 2006b).

Apesar da limitada absorção de N proveniente da planta de cobertura, vários autores encontraram efeito diferenciado da cultura antecedente na absorção de N e no rendimento do milho. Amado et al. (1999) encontraram que o milho absorveu 42 kg ha⁻¹ a mais de N após ervilhaca em relação à aveia preta. Quanto ao rendimento de grãos, os autores verificaram incrementos de 82 e 58%, respectivamente, para a ervilhaca e o consórcio aveia + ervilhaca, em relação à aveia. Stute & Posner (1995) encontraram rendimento de milho semelhante após trevo vermelho e ervilhaca peluda, em

relação, à aplicação de 179 kg ha^{-1} de fertilização mineral em dois anos de estudo, sendo os rendimentos médios encontrados de $10,89$ e $11,52 \text{ Mg ha}^{-1}$. Giacomini et al. (2004) encontraram que a ervilhaca e o nabo, tanto em culturas solteiras como consorciados à aveia, proporcionaram maior produtividade de milho em relação ao pousio e à aveia solteira. Por outro lado, o rendimento de grãos do milho foi semelhante após ervilhaca solteira e consórcio de aveia + ervilhaca até a participação de 30% da aveia no consórcio, sendo este rendimento 70% do alcançado com 180 kg ha^{-1} de N uréia em pousio. Também Sainju et al. (2007) concluíram que a ervilhaca peluda pode reduzir a dose do fertilizante nitrogenado e sustentar a demanda de N pelo sorgo e algodão, porém que o consórcio ervilhaca peluda + centeio propicia semelhante absorção de N pelo sorgo e algodão em sucessão e reduz o risco de lixiviação de N, independentemente do sistema de preparo e da fertilização nitrogenada. Estes resultados destacam o efeito residual positivo das plantas de cobertura, especialmente das leguminosas ou dos consórcios com participação de leguminosas, no rendimento do milho e no manejo da adubação nitrogenada.

Apesar da análise de ^{15}N indicar limitada absorção de N proveniente das plantas de cobertura, a adição destes materiais deve gerar processo de mineralização e imobilização diferenciada no solo que resulta em variação na disponibilidade de N mineral no solo e, em consequência, de absorção de N pela cultura em sucessão. A caracterização do comportamento do N mineral pelo efeito das plantas de cobertura também é importante para ajustar a época de aplicação de N objetivando otimizar a absorção de N pelas culturas comerciais e a redução das perdas para o ambiente.

2.3 Adubação nitrogenada para a cultura do milho em sistema plantio direto

2.3.1 Avaliação da adubação nitrogenada do milho

O balanço do N consiste no princípio geral para abordar um sistema de recomendação de N (Meisinger et al., 1992). O mesmo permite a visualização da dinâmica do N no sistema solo-milho, incluindo o N contido na parte aérea do milho, no sistema radicular e nas formas orgânicas e inorgânicas do solo. Valores típicos da eficiência da adubação nitrogenada

nesta abordagem se situam na faixa de 0,65-0,85 e é apresentado por Meisinger et al. (1992) segundo a seguinte equação:

$$N_{\text{fertilizante}} - N_{\text{lixiviação}} - N_{\text{gasoso}} - N_{\text{colheita}} = \Delta N_{\text{orgânico}} + \Delta N_{\text{inorgânico}}$$

Um balanço de N simplificado consiste em considerar como limite inferior do sistema de estudo a superfície do solo. Assim, o sistema consiste na parte aérea do milho que absorve N fertilizante, N mineral e N mineralizado da fração orgânica do solo, tendo como saída do sistema o N da colheita de grãos e o N acumulado no resíduo da planta, não existindo armazenamento de N no sistema (Meisinger et al., 1992). Neste balanço todas as transformações de N do solo permanecem fora do sistema e a eficiência da adição de N situa-se na faixa de 0,3-0,6. Este balanço pode ser representado pela seguinte equação:

$$N_{\text{fertilizante}} + N_{\text{orgânico absorvido}} + N_{\text{inorgânico absorvido}} = N_{\text{colheita}} + N_{\text{resíduo milho}}$$

Por outro lado, Sogbedji et al. (2000) na tentativa de realizar o balanço de N para avaliar a lixiviação de N durante o ciclo do milho, não recuperaram entre 44,1 a 203 kg ha⁻¹ de N em solo franco argiloso e, 17,4 a 106,4 kg ha⁻¹ de N em solo de textura arena franca, considerando três safras e três doses de N avaliadas. Lara Cabezas et al. (2000), avaliando a aplicação da uréia através do balanço global de N, não encontraram no sistema solo-milho em média 13,7 e 50,3% do N-uréia aplicado, respectivamente, em superfície e incorporado ao solo. Gava et al. (2006) observaram recuperação de 45% e 30% do N-uréia aplicado, respectivamente, na planta do milho e no solo, sendo que não encontraram o destino de 25% do N aplicado, médias dos tratamentos PC e PD. Estes dados revelam que apesar do balanço ser uma ferramenta que permite visualizar os diferentes compartimentos de N, existe dificuldade na determinação devido à dinâmica complexa do N.

Apesar das limitações salientadas, um balanço simples de entrada e saída (exportação do nutriente pela colheita) de N pode indicar o efeito a longo prazo do sistema de produção. Um balanço negativo em que a saída é maior que entrada pode induzir à diminuição das reservas de N da matéria orgânica do solo, sendo que um balanço positivo poderia acarretar perda de N por lixiviação ou outros processos, quando o sistema não estiver imobilizando N (Alves et al., 2004).

Um resumo da abordagem encontrada na literatura para avaliar a necessidade de adubação nitrogenada no milho é apresentado por Meisinger et

al. (1992). Estes pesquisadores a dividem em três enfoques: avaliação da necessidade de N pela cultura, estimação do N mineral do solo e a determinação da mineralização do N orgânico do solo, tendo cada enfoque suas diversas alternativas de determinações. Segundo estes conceitos, o enfoque da adubação nitrogenada para o milho no Estado de São Paulo (Raij et al., 1996) baseia-se na avaliação do requerimento de N pela cultura, considerando que utiliza conceitos de requerimento de N pelo milho, classe de resposta esperada a N e produtividade esperada. Já na recomendação do Sul do Brasil (CQFS-RS/SC, 2004) utilizam-se conceitos de produtividade esperada e, como indicadores de N mineral do solo e/ou do potencial de mineralização de N orgânico do solo, adotasse a matéria orgânica do solo e a cultura antecedente. Além destas variáveis, para a definição da dose de N em ambas recomendações é considerada a eficiência da adubação nitrogenada.

A adubação nitrogenada do milho em PD requer respostas quanto à época, dose, fonte e forma de aplicação. A época de aplicação de N em PD no Brasil abrange a aplicação de N em pré-semeadura, distribuição entre semeadura e cobertura ou somente em cobertura (Argenta et al., 1999; Sá et al., 1999; Mar et al., 2003; Silva et al., 2005; Gomes et al., 2007). A aplicação em cobertura pode ainda ser em uma, duas ou até em mais vezes. A época de aplicação de N requer atenção pela alta dinâmica deste elemento e objetiva disponibilizar N segundo as necessidades da planta, limitar perdas de N do sistema solo-planta e considerar a operacionalidade da prática de adubação.

O milho requer N desde o desenvolvimento vegetativo até o enchimento de grãos. Após a emergência, a planta requer pouca quantidade de N, porém a disponibilidade de N para a planta durante este período é crítica pois nesta fase define-se o potencial de rendimento e a mesma possui limitado desenvolvimento radicular (Sangoi et al., 2007a). Posteriormente, a quantidade demandada de N aumenta a partir do período reprodutivo V6 a V7 (escala Ritchie) e continua até a fase de enchimento de grãos. Limitada disponibilidade de N na fase de enchimento grãos levará à senescência antecipada das folhas, resultando em diminuição da atividade fotossintética e do rendimento em grãos (Sangoi et al., 2007a). Silva et al. (2005) observaram que aproximadamente 50% do N acumulado pelo milho foi absorvido durante o enchimento de grãos.

Na determinação da melhor época para a adubação nitrogenada dever-se-á considerar estes requerimentos do milho.

A partir da extensiva utilização da aveia preta como cultura antecedente ao milho na região sul do Brasil surgiu a proposta de aplicar N antes da semeadura (Sá, 1996). Esta prática se baseia no fato de que poderia ser produzida imobilização inicial do N adicionado pela incorporação na superfície do solo de resíduo com alta relação C/N (Ceretta, 1997). Diekow et al. (2006) com aplicação de aveia em superfície sem incorporação verificaram processos de imobilização apenas 40 a 60 dias após da aplicação e processos de remineralização entre os 60 e 80 dias, indicando que uma aplicação antecipada de N pode estar fazendo com que o N sofra processos de nitrificação, determinando potenciais perdas do sistema solo planta, constituindo-se, então, numa prática de risco.

Nas condições de Goiás, Silva et al (2005) concluíram que a aplicação de N em pré-semeadura, 20 dias antes da semeadura do milho não é recomendável, indicando como causa a ocorrência de elevada precipitação pluviométrica entre a aplicação e os estádios iniciais do milho. No entanto, na mesma região, Gomes et al. (2007) não encontraram diferença no rendimento estudando diferentes épocas de adubação nitrogenada. O resultado deste último estudo deve estar influenciado pela limitada resposta do milho à adubação nitrogenada, considerando que a dose recomendada foi de 25 kg ha⁻¹ de N em semeadura. No Centro-oeste, em Mato Grosso do Sul, Mar et al. (2003) para milho de safrinha obtiveram a melhor resposta com 1/3 do N aplicado na semeadura e 2/3 em cobertura, quando as plantas apresentaram 4 a 8 folhas totalmente expandidas para doses de 90 e 120 kg ha⁻¹ de N. No entanto, estes autores verificaram que dose de até 60 kg ha⁻¹ de N poderia ser aplicada em totalidade na semeadura. Saintz Rozas et al. (2004) encontraram maior rendimento de grãos e acúmulo de N pelo milho quando as doses de N foram aplicadas em V6 em relação à aplicação em semeadura, principalmente, na menor dose, ao avaliar quatro safras em PD, em Mollisol com 32 g kg⁻¹ de C orgânico.

Na região Sul do Brasil, Sangoi et al. (2007b) em solos com alto conteúdo de matéria orgânica, em três anos de experimento observaram que o milho em sucessão à aveia preta não necessitou de adição de N em pré-

semeadura nem em cobertura, e obtiveram a melhor resposta do milho quando todo o N foi aplicado em cobertura no estágio V5. Estes autores ressaltam que a aplicação de N em pré-semeadura possibilitou maior produção de matéria seca e N absorvido nos estádios iniciais do milho, porém isto não ocorreu em estádios mais avançados. No Rio Grande Do Sul, Bortolini et al. (2002) também encontraram maior produção de matéria seca e acúmulo de N pelo milho quando o N foi aplicado em cobertura em relação à aplicação em pré-semeadura, sendo que estas diferenças aumentaram durante o ciclo da cultura. Argenta et al. (1999), em PD com cultura antecedente de aveia preta, obtiveram maior rendimento do milho quando parte do N (30 kg ha^{-1}) foi adicionado em semeadura e o restante em cobertura em solo arenoso e de baixo conteúdo de matéria orgânica, porém em solo argiloso com mais matéria orgânica (Passo Fundo), não houve diferença em aplicar parte do N em semeadura ou todo em cobertura. Outros estudos relacionam a redução do rendimento com a aplicação de N em pré-semeadura com o alto regime de chuva (Basso & Ceretta, 2000), porém Wolschick et al. (2003) não verificaram diminuição do rendimento por esta prática. Segundo os trabalhos citados, verifica-se efeito do solo e do regime de precipitação na resposta à época de aplicação do N, existindo, em geral, melhor resposta à aplicação de N em cobertura. Considerando o regime de chuvas nas condições do Centro-Sul do Paraná, com médias mensais históricas de 171 mm e 217 mm, respectivamente, nos meses de setembro e outubro, e solo com alto potencial de prover N, não seria aconselhável a aplicação de N em pré-semeadura, devendo-se trabalhar a época de aplicação de N no milho entre a semeadura e cobertura ou inclusive inteiramente em cobertura.

Por outro lado, Strieder et al. (2006) discutem a necessidade de adequar a primeira dose de cobertura de N em relação à cultura antecedente e, a partir de estudos em casa de vegetação, concluem que há a possibilidade de atrasar a aplicação da cobertura em milho cultivado após plantas de cobertura de baixa relação C/N. Argenta et al. (1999) encontraram resposta ao atraso em 20 dias da semeadura do milho após aveia preta em solo arenoso e de baixo teor de matéria orgânica, fato que não aconteceu em solo argiloso com maior teor de matéria orgânica. Estes fatos salientam que a cultura antecedente é

outro fator que deverá ser considerado na definição da época de aplicação de N, e que o mesmo apresenta interação com o tipo de solo.

Contribuições significativas para a adequação da adubação nitrogenada para o milho no Sul do Brasil encontram-se nos trabalhos de Amado & Mielniczuk (2000) e Amado et al. (2002). No primeiro trabalho os autores desenvolveram uma equação para estimar a recomendação do N a ser aplicado considerando o sistema de preparo e a cultura antecedente. No segundo trabalho é apresentada uma tabela de recomendação de N considerando, além da matéria orgânica e da expectativa de rendimento, a contribuição da cultura antecedente, sendo esta contribuição condicionada pela produção da matéria seca. Baseado neste trabalho foi desenvolvida a atual recomendação de N para o milho para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

Na literatura existe estimativa da eficiência da adubação nitrogenada através do método da diferença (eficiência aparente). Nesta, a eficiência é obtida pela diferença entre a absorção de N entre a parcela fertilizada e não fertilizada, sendo a diferença dividida pela quantidade de N-fertilizante adicionado e o resultado é expresso em porcentagem (Fried et al., 1975). O método da diferença assume que a mineralização - imobilização e outras transformações do N são as mesmas em áreas fertilizadas e não fertilizadas. Fried et al. (1975) salientam que a adição de N ao solo acelera a mineralização do N orgânico, aumentando a disponibilidade do N-nativo do solo e, conseqüentemente, leva a superestimar a quantidade de N-fertilizante absorvido pela planta. A este fenômeno dá-se o nome de “efeito priming”. O efeito priming também pode ocorrer devido à adição de uma fonte de C facilmente decomponível que estimularia a população microbiana acelerando a mineralização da matéria orgânica do solo. Assim, estimativas da mineralização de N de resíduos de plantas pelo método da diferença também podem ser superestimadas (Kuzyakov et al., 2000, Aita et al., 2004).

A técnica considerada de maior precisão para avaliar a eficiência da adubação nitrogenada é a técnica isotópica com uso de ^{15}N . Gava et al. (2006), a partir de uma revisão de trabalhos em PC e PD, concluem que, em média, a eficiência da adubação nitrogenada é de 43% e 28%, considerando, respectivamente, a planta e os grãos. Lara Cabezas et al. (2000) encontraram

recuperação na planta de milho de 29,5% e 20,8% do N-uréia, respectivamente, quando o adubo foi incorporado ao solo e aplicado em superfície. Lara Cabezas et al. (2005) encontraram que do N absorvido pelo milho, 21% e 19% eram oriundos da uréia, respectivamente, com aplicação em pré-semeadura e em cobertura, sendo nestes dois estudos aplicados 80 kg ha^{-1} de N-uréia e utilizado a técnica de ^{15}N . Gava et al. (2006) observaram que a quantidade média de N no milho proveniente do fertilizante foi de 43 kg ha^{-1} e representou 27% e 23% do N total acumulado na parte aérea do milho, respectivamente, em PD e PC. Estes resultados indicam a limitada quantidade de N-fertilizante absorvido pelo milho e, por outro lado, indicam que a maior proporção de N absorvido pelo milho teve sua origem no solo, bem como a limitada absorção de N proveniente da planta de cobertura, como discutido anteriormente.

Gava et al. (2006) observaram recuperações de 44% e 45% do N-uréia no sistema planta e de 25% e 35% no sistema solo, com conseqüente recuperação total no sistema solo – planta de 69% e 80% do N-uréia aplicado em cobertura no milho, respectivamente, em PC e PD. Assim, o N não recuperado proveniente da uréia foi de 31% em PC e 20% em PD. Segundo Gava et al. (2006), embora a técnica isotópica do ^{15}N possa ser considerada a mais precisa para se determinar a eficiência de uso de N em um agroecossistema, em muitos casos o N adicionado como fertilizante pode ser trocado com o N orgânico do solo pelo ciclo de reações de mineralização - imobilização, gerando uma subestimativa do aproveitamento do fertilizante quando se considera apenas o N-fertilizante absorvido pela planta. Segundo Tobert et al. (1992) o mais correto é calcular a eficiência de uso de N-fertilizante considerando o sistema solo – planta, e não apenas o sistema planta.

A técnica de ^{15}N permitiu verificar que a maior parte do N absorvido pelo milho teve sua origem no solo. Lara Cabezas et al. (2000) encontraram valores de 116 e 129 kg ha^{-1} de N nativo do solo quando foram aplicados 80 kg ha^{-1} de N-uréia em cobertura e, respectivamente, em superfície e com incorporação ao solo. Lara Cabezas et al. (2005) encontraram que de 106 kg ha^{-1} de N absorvido pelo milho, 84 kg ha^{-1} proveio do solo. Lara Cabezas & Couto (2007) indicaram que 78% (166 kg ha^{-1}) do N absorvido pelo

milho era oriundo da matéria orgânica do solo. Gava et al. (2006) encontraram que, em média, 25% do N absorvido pelo milho veio dos fertilizantes e 75% de outras fontes. Sampaio et al (1995) discutem que a mineralização do N-orgânico do solo constitui-se em importante fonte de N para as plantas. Estes resultados indicam a necessidade de ter especial consideração com o potencial de mineralização do solo, especialmente em solos com alto teor de matéria orgânica do solo.

2.3.2 Ferramentas complementares para o manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho

Um sistema de recomendação de adubação nitrogenada deveria incluir ferramentas para o ajuste do manejo da adubação, de maneira a torná-lo mais preciso e flexível (Rambo et al., 2004a), observando a alta dinâmica do N, a sua alta dependência da condição climática e a possibilidade de perda do N fertilizante aplicado antes que a planta o absorva. Entre estas ferramentas encontram-se variáveis da planta e do solo.

Rambo et al. (2008), nas condições de Eldorado do Sul (RS) em Argissolo Vermelho distrófico típico, considerando dois anos agrícolas, verificaram que as características da planta em V3 que apresentaram melhor consistência para predizer a dose ótima de N a aplicar em cobertura foram a matéria seca e o N acumulado pela planta, seguidas pelo teor relativo de clorofila na folha. Considerar apenas a matéria seca como ferramenta para indicação de dose ótima de N em cobertura, pode levar ao erro, considerando que esta variável é afetada por outros estresses como deficiência de fósforo, estresse hídrico e limitação térmica. Com o N acumulado que integra a matéria seca e o teor de N na planta alcançar-se-ia melhor resultado. Por outro lado, a determinação do teor relativo de clorofila através do clorofilômetro apresenta praticidade e economia na predição da adubação nitrogenada em cobertura (Rambo et al, 2008). Argenta et al. (2003) salientam a eficiência do clorofilômetro para separar plantas com deficiência e com nível adequado de N.

Entre as variáveis de solo utilizadas como indicador do nível de N no solo, destaca-se a determinação do N-nitrato, sendo as razões a disponibilidade de testes rápidos para sua determinação e de que grande proporção do N mineral do solo encontra-se nesta forma (Rambo et al.,

2004ab). No entanto, como ponto negativo, expressa-se que o íon nitrato é repellido pelas cargas negativas dos colóides do solo, tendendo a permanecer em solução com potencial de ser lixiviado com a água de percolação (Dy尼亚 & Camargo, 1999).

Entre os testes de solo mais citados para indicar a necessidade de adubação nitrogenada encontra-se o PSNT (pre-sidedress soil nitrate test) ou TPNC (teste de pré-aplicação de N em cobertura). Este teste determina a quantidade de N-nitrato na camada 0-0,3 m quando o milho alcança 0,15 a 0,3 m de altura (aproximadamente V4 a V6), indicando a intensidade de mineralização do N do solo antes do início da alta taxa de absorção de N pelo milho (Madoff et al., 1984; Rambo et al., 2004b). Segundo Rambo et al. (2004b) vários estudos têm sido realizados com o presente teste para determinar os níveis críticos de nitrato no solo, sendo os resultados na faixa de 15 a 30 mg kg⁻¹ de N-nitrato. Dentre os fatores que principalmente podem afetar este teste, destacam-se a precipitação pluvial e a textura do solo, pois estes fatores afetam a lixiviação de N-nitrato (Magdoff et al., 1984). Outros testes de solo são o PPNT (preplant soil nitrate test) ou TPS (teste de pré-semeadura) e o teste PHNT (post-harvest soil nitrate test) ou TPC (teste de pós-colheita). O TPS determina a concentração de nitrato antes da semeadura do milho na profundidade de 0-0,6 a 0-1,2 m (Bundy & Malone, 1988) e foi desenvolvido em condições semiáridas do oeste americano. O TPC visa avaliar o manejo da adubação nitrogenada, com ênfase na verificação do excesso de adubação nitrogenada (Rambo et al., 2004b).

A utilização das variáveis de planta e solo apresenta potencial para ajustar as doses de N a serem utilizadas para a adequada adubação nitrogenada de cobertura e tornar o manejo desta técnica mais flexível, significando incremento na eficiência de uso do N, menor custo de produção e maior proteção ao ambiente (Rambo, et al., 2008). Estes estudos requerem ser realizados a partir de uma rede de ensaios regionais, considerando condições de solo, clima e sistemas de manejo.

3. ESTUDO I

DINÂMICA DO NITROGÊNIO EM LATOSSOLO BRUNO AFETADA POR SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO EM EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO

3.1 Introdução

Os sistemas de preparo no decorrer do tempo afetam diferentemente o solo, nas suas propriedades físicas (Sidiras et al., 1984; Salton & Mielniczuk, 1995; Costa, 2001;), químicas (Eltz et al., 1989; Bayer & Mielniczuk, 1997; Ciotta, 2001) e biológicas (Calderón et al., 2000; Vargas & Scholles, 2000; Vargas et al., 2005). Estas alterações no solo afetam a dinâmica da matéria orgânica do solo e, conseqüentemente, a dinâmica do nitrogênio (N) e sua disponibilidade às plantas.

Existe limitada informação do efeito de sistemas de manejo de longa duração na acumulação do N no solo, assim como do efeito do consórcio de leguminosas e não leguminosas no N mineral do solo e na absorção de N pela cultura cultivada em sucessão (Sainju et al., 2007). Além disso, as dificuldades no estudo do N pelo fato de ser um elemento extremadamente dinâmico na natureza, fortemente afetado pelas condições de solo e clima, conduz muitas vezes a experimentos de laboratório, nos quais dificilmente é reproduzido o efeito do sistema de manejo.

Experimentos de longa duração de sistemas de manejo incorporam o efeito integrado do solo-clima-manejo no tempo, permitindo caracterizar os efeitos dos tratamentos em processos relacionados à dinâmica

do N no sistema solo-planta: imobilização – mineralização, lixiviação, desnitrificação, volatilização e absorção pelas plantas. A avaliação da dinâmica do N durante o ciclo de uma cultura em experimentos de longa duração pode fornecer subsídios para o adequado manejo da adubação nitrogenada, possibilitando uma contribuição à rentabilidade da propriedade agrícola e à qualidade ambiental.

Perguntas que nortearam este trabalho foram: afeta o sistema de preparo o acúmulo de N no solo e a sua disponibilidade para as culturas?; qual o efeito do sistema de preparo na dinâmica do N mineral em Latossolo Bruno no ciclo do milho?; qual a influência do sistema de preparo na absorção de N pelo milho em Latossolo?; existe efeito dos sistemas de preparo na volatilização de N-NH₃ pela adição de uréia?; o sistema de preparo influencia as perdas de N do sistema solo-planta?; existe resposta diferenciada do milho à fertilização nitrogenada com uréia no preparo convencional e plantio direto?

Este estudo baseia-se nas seguintes hipóteses:

O sistema de plantio direto consolidado propicia maior acúmulo de N total, N na biomassa microbiana e atividade enzimática na camada superficial do solo, o qual disponibiliza N mineral em maior quantidade e em condição contínua durante o ciclo do milho, resultando em maior acúmulo de N pela planta, em relação ao preparo convencional. O preparo convencional disponibiliza maior quantidade de N mineral logo após o preparo, quando o milho apresenta baixa demanda de N, potencializando perdas de N-nitrato no início do ciclo da cultura e limitando sua disponibilidade posteriormente, resultando em menor absorção de N pela planta.

O maior estoque de matéria orgânica no solo, de biomassa microbiana e de palha da cultura antecedente na camada superficial do solo em plantio direto promove maior atividade da urease do solo, que determina uma maior volatilização da uréia em plantio direto do que em preparo convencional, na adubação de cobertura do milho aplicada em superfície.

Os objetivos deste estudo foram:

-Avaliar o efeito dos sistemas de preparo do solo, preparo convencional e plantio direto consolidado, no estoque de N total e de N da biomassa microbiana de um Latossolo Bruno.

-Determinar nestes sistemas de preparo a atividade da urease e amidase no solo.

-Determinar nestes sistemas de preparo o acúmulo de N pela planta e o rendimento de grãos da cultura do milho.

-Avaliar em preparo convencional e plantio direto consolidado a dinâmica do N mineral no solo, na camada 0-0,2 m e o movimento do nitrato na camada 0-0,6 m.

-Avaliar o efeito do preparo convencional e plantio direto na volatilização de N-NH₃ pela aplicação da uréia em superfície.

-Estimar em preparo convencional e plantio direto consolidado o balanço de N no ciclo da cultura de milho.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Localização e clima

O estudo foi desenvolvido na Estação Experimental da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA) da Cooperativa Agrária Mista Entre Rios Ltda., localizada na Colônia Vitória, Distrito de Entre Rios, Município de Guarapuava, Paraná. As coordenadas geográficas da FAPA são 25° 33' Sul e 51° 29' Oeste.

O clima da região segundo a classificação climática de Köeppen é subtropical úmido – Cfb, sem estação seca durante o ano e com geadas severas e freqüentes. A temperatura média anual é de 16,8°C, com uma variação de 20,5 a 12,5°C entre as temperaturas médias mensais, respectivamente, nos meses de janeiro e julho. A precipitação média anual é de 1955 mm, com variações médias mensais de 98 a 218 mm, respectivamente, para os meses de agosto e outubro (Figura 3.1, Apêndice 1).

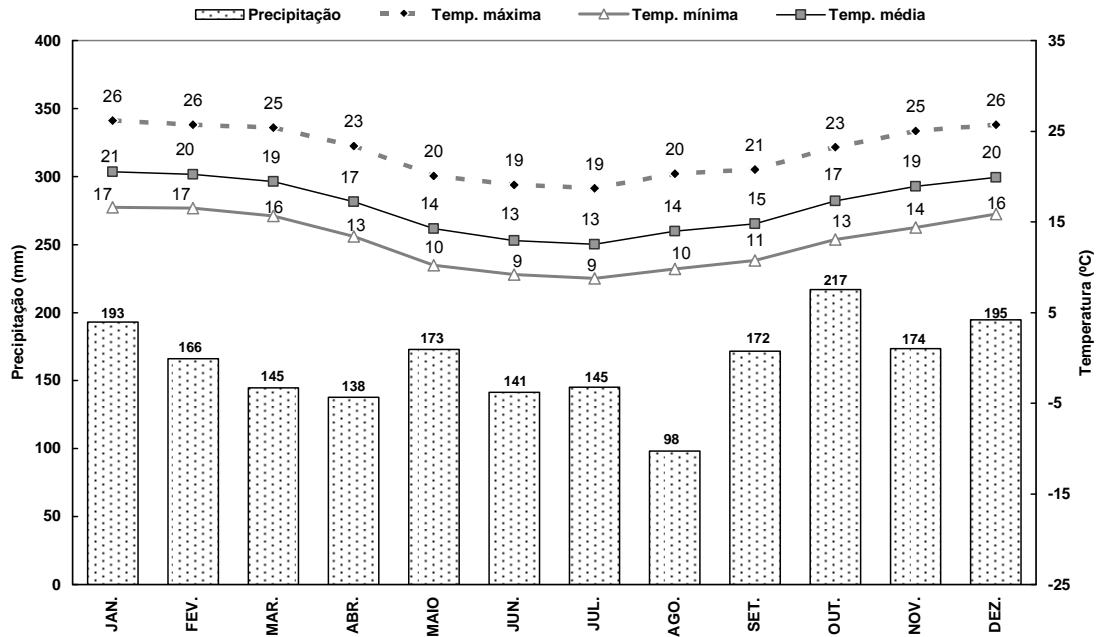


FIGURA 3.1 Dados meteorológicos históricos (1976-2006) da Estação Experimental da FAPA.

3.2.2 Geomorfologia e solo

A área dos estudos se situa no terceiro planalto Paranaense a 1100 m de altitude, sendo os solos originados de basalto. O solo predominante na região pertence à classe Latossolo Bruno Alumínico típico, com relevo suave ondulado, perfil profundo, com horizonte A proeminente, textura argilosa, com baixa saturação de bases e alto teor de alumínio trocável (Embrapa, 1999). Em relevo mais ondulado ou nas encostas de vertentes curtas, ocorrem associações do Latossolo Bruno com Cambissolo e variações e inclusões de outras classes de solo, com perfis mais rasos e/ou com granulometria mais grosseira (Jaster et al., 1993). Na fração argila do solo ocorre predomínio de caulinita e gibsitita e, em menor quantidade, minerais 2:1 com hidróxi-Al nas entrecamadas, hematita e goethita (Costa, 2001).

Algumas propriedades físicas e químicas do solo nos tratamentos avaliados são apresentadas nas Tabela 3.1 e Apêndice 2. Os dados de carbono orgânico e N total são apresentados em resultados e discussão e no Apêndice 2.

TABELA 3.1 Caracterização física do solo nas camadas 0-5, 5-10 10-20 e 20-40 cm nos tratamentos PC-PC¹ calcário incorporado e PD-PD² calcário em superfície.

Prof.	Ds ³	Porosidade			Ks ⁴	Argila	Silte	Areia
		Total	Macro	Micro				
m	Mg m ⁻³	m ³ m ⁻³			mm h ⁻¹	g kg ⁻¹		
----- PC - PC - calcário incorporado -----								
0-0,05	1,00	0,62	0,20	0,42	110	539	394	67
0,05-0,1	0,96	0,63	0,21	0,43	151	538	399	64
0,1-0,2	1,04	0,6	0,15	0,45	41	604	333	63
0,2-0,4	0,88	0,67	0,17	0,50	31	705	237	58
----- PD - PD - calcário em superfície -----								
0-0,05	1,01	0,61	0,16	0,45	231	542	384	74
0,05-0,1	1,00	0,61	0,14	0,47	49	578	367	55
0,1-0,2	0,90	0,65	0,15	0,48	25	632	315	53
0,2-0,4	0,86	0,67	0,18	0,49	37	648	300	53

¹Preparo convencional em verão e inverno; ²plantio direto em verão e inverno, o calcário foi aplicado em 1978, 1987 e 1995 em ambos sistemas de preparo; ³Densidade do solo; ⁴condutividade hidráulica saturada. Fonte: Costa (2001)

TABELA 3.2 Caracterização química do solo nos tratamentos PC-PC¹ calcário incorporado e PD-PD² calcário em superfície³.

Prof.	pH	Índice SMP	Al ⁺⁺⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	P
m							
----- PC-PC - calcário incorporado -----							
0-0,05	4,8	5,3	1,6	3,9	0,44	0,26	4
0,05-0,1	4,8	5,2	1,3	4,4	0,74	0,27	4
0,1-0,2	4,9	5,3	1,1	4,6	0,73	0,27	3
0-0,2 ⁴	4,9	5,3	1,3	4,4	0,66	0,27	4
----- PD-PD - calcário em superfície -----							
0-0,05	5,3	5,6	0,2	11,2	3,33	0,57	10
0,05-0,1	5,0	5,3	1,0	5,3	1,14	0,50	9
0,1-0,2	5,0	5,3	1,3	4,0	0,41	0,40	3
0-0,2 ⁴	5,1	5,4	1,0	6,1	1,32	0,47	6

¹Preparo convencional em verão e inverno; ²plantio direto em verão e inverno, o calcário foi aplicado em 1978, 1987 e 1995 em ambos sistemas de preparo; ³Amostragem em 01/2007; ⁴média ponderada.

3.2.3 Delineamento experimental, tratamentos e manejo do experimento

Este estudo foi realizado em experimento instalado em 1978. Os tratamentos consistiram em cinco sistemas de preparo do solo com diferentes níveis de revolvimento no inverno e verão: -PC-PC, consiste em preparo convencional nas safras de outono/inverno e primavera/verão; -PC-PD, consiste em preparo convencional na safra de outono/inverno e plantio direto na safra primavera/verão; -PD-PC, consiste em plantio direto na safra de outono/inverno e plantio direto na safra primavera/verão; -PD-PD consiste em plantio direto nas safras de outono/inverno e primavera/verão; -PR-PD, consiste em preparo reduzido na safra de outono/inverno e plantio direto na safra primavera/verão.

O delineamento experimental foi de blocos casualizados com quatro repetições até o ano 1982, em que passou a ter três repetições. As parcelas mediam 12 m x 100 m, sendo realizado o manejo do experimento com implementos e máquinas de lavouras comerciais.

Em 1987 foi introduzido no experimento o fator calagem em cada sistema de preparo do solo: sem calcário, calcário em superfície e calcário incorporado, passando o experimento a ter o delineamento experimental de blocos casualizados com parcelas subdivididas com três repetições. As subparcelas mediam 12 m x 30 m. Na Tabela 3.3 é apresentado o histórico das culturas e da aplicação de calcário do experimento.

TABELA 3.3 Culturas e doses de calcário utilizadas no experimento de sistemas de preparo do solo de 1978 a 2007.

Ano agrícola	Cultura		Calcário aplicado (Mg ha ⁻¹)	
	Outono/inverno	Primavera/verão		
1978-79	--	Soja	1,5	
79-80	Trigo	Soja		
80-81	Cevada	Soja		
81-82	Trigo	Soja		
82-83	Cevada	Soja		
83-84	Trigo	Soja		
84-85	Cevada	Soja		
85-86	Ervilhaca	Milho		
86-87	Aveia	Soja		
87-88	Trigo	Soja		4,5
88-89	Cevada	Soja		
89-90	Trigo	Soja		
90-91	Cevada	Soja		
91-92	Ervilhaca	Milho		
92-93	Aveia	Soja		
93-94	Cevada	Soja		
94-95	Trigo	Soja		
95-96	Nabo forrageiro	Milho	3,0	
96-97	Aveia	Soja		
97-98	Trigo	Soja		
98-99	Cevada	Soja		
99-2000	Nabo forrageiro	Milho		
2000-01	Aveia	Soja		
01-02	Trigo	Soja		
02-03	Cevada	Soja		
03-04	Nabo forrageiro	Milho		
04-05	Aveia	Soja		
05-06	Trigo	Soja		
06-07	Nabo forrageiro ¹	Milho		

¹Semeado consórcio (Nabo forrageiro + Ervilhaca), porém predominou a crucífera. Fontes: Costa (2001); Fontoura et al. (2007).

Neste estudo foram avaliados os tratamentos mais contrastantes quanto ao sistema de preparo, PC-PC com calcário incorporado e PD-PD com

calcário em superfície. Na safra 2006/07 foi introduzida modificações nestes tratamentos.

Em ambos sistemas de preparo (PC-PC e PD-PD) foram implantadas sub-subparcelas com e sem manutenção da palhada de nabo forrageiro. Nas sub-parcelas sem palhada, ao final de agosto foi realizada a remoção da palhada sobre o solo numa superfície de 12 X 6 m, a qual correspondeu a parcela descoberta. A área restante de 12 m x 24 m permaneceu com a palhada de nabo forrageiro sobre o solo. Nestas sub-parcelas foi semeada a cultura do milho, sendo a parcela com palhada de nabo forrageiro sub-subdividida em três sub-subparcelas de 12 x 8 m, as quais receberam doses de 0, 80 e 160 kg ha⁻¹ de N, na ocasião da adubação nitrogenada de cobertura aplicada na cultura do milho.

O manejo do nabo forrageiro foi realizado em 4/09/06. O preparo do solo foi realizado em 12/09 e a semeadura do milho em 27/09. A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada em uma única aplicação (9/11) com uréia, distribuída de forma manual a lanço. O manejo das plantas de cobertura foi realizado com rolo faca em ambos sistemas de preparo. Posteriormente no PC o solo foi arado e gradeado com implementos de disco e a biomassa do nabo foi incorporada ao solo. A semeadura foi realizada com semeadora/adubadora com disco de corte.

3.2.4 Determinações realizadas e amostragem do solo

As amostragens do solo para todas as determinações foram realizadas após o manejo das plantas de cobertura e quando o milho já estava estabelecido. Foram obtidas nove amostras simples de solo, coletadas no centro das fileiras de milho, nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m, enquanto cinco amostras simples de solo foram coletadas nas camadas de 0,2-0,3, 0,3-0,4 e 0,4-0,6 m. Estas amostras simples foram posteriormente misturadas para a obtenção de uma amostra composta. A exceção da amostra destinada para N mineral do solo o restante do solo foi embalado em sacos plásticos, fechados imediatamente, rotulados e colocados em caixa térmica com gelo. A amostragem foi realizada com trado calador.

3.2.4.1 Carbono orgânico do solo

O carbono orgânico (CO) do solo foi determinado considerando as parcelas principais do experimento ocupadas pelos sistemas de preparo (PC-PC e PD-PD) nas profundidades 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m. Também foi determinado em mata, nas mesmas profundidades, utilizada como referência da condição natural do solo.

O carbono orgânico do solo foi analisado por combustão seca em equipamento SHIMADZU TOC-V CSH. Os estoques de C orgânico foram calculados utilizando o método da camada equivalente, por considerar os valores de densidade do solo muito próximos entre os tratamentos e próximos a 1000 kg m^{-3} (Tabela 3.1) (Ellert & Bettany, 1995; De Bona, 2005).

3.2.4.2 Nitrogênio total do solo

O N total do solo foi determinado considerando as parcelas principais do experimento ocupadas pelos sistemas de preparo (PC-PC e PD-PD) nas profundidades 0-0,05, 0,05-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3, 0,3-0,4 e 0,4-0,6 m. Também foi determinado na mata nas três profundidades mais superficiais.

O N total do solo foi analisado por digestão ácida e destilação de arraste de vapor em semimicro Kjeldhal, conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). A partir da concentração do N total foram calculados os estoques, utilizando o método da camada equivalente (Ellert & Bettany, 1995; De Bona, 2005).

3.2.4.3 Nitrogênio da biomassa microbiana do solo

O N da biomassa microbiana do solo foi determinado nas subparcelas do experimento: subparcela descoberta sem N-uréia, subparcelas com nabo forrageiro nas doses 0, 80 e 160 kg ha^{-1} de N-uréia, em ambos sistemas de preparo PC-PC e PD-PD. Esta determinação foi realizada em amostras de quatro datas (22/09, 10/10, 27/10 e 30/11/2006) e nas profundidades 0-0,1 e 0,1-0,2 m.

As amostras para determinação de N da biomassa microbiana foram armazenadas sem peneiramento a umidade de campo, mantendo-as refrigeradas a $\pm 4^\circ\text{C}$, por aproximadamente sete meses. Antes da análise as amostras foram peneiradas (2 mm) e incubadas a 25°C por cinco dias com

espaço poroso preenchido com água entre 40 e 60%, de modo a aumentar a atividade microbiana (Elfstrand et al. 2007).

O N da biomassa foi analisado pela metodologia de fumigação-extração (Brookes et al., 1985; Vargas, 2002), sendo a determinação de N realizada por digestão ácida e destilação de arraste de vapor em semimicro Kjeldhal, conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). A partir da concentração de N na biomassa microbiana foi determinado o estoque de N neste compartimento do solo, utilizando o método da camada equivalente.

3.2.4.4 Atividade da amidase no solo

A atividade da amidase no solo foi determinada nas subparcelas do experimento: subparcela descoberta sem N-uréia, subparcelas com nabo forrageiro com doses 0, 80 e 160 kg ha⁻¹ de N-uréia, em ambos sistemas de preparo PC-PC e PD-PD. Esta determinação foi realizada em amostras de três datas (10/10, 27/10 e 18/12/2006) e em duas profundidades 0-0,05 e 0,05-0,1 m.

As amostras utilizadas para a determinação da atividade da amidase foram armazenadas a umidade de campo a $\pm 4^{\circ}\text{C}$, por aproximadamente sete meses sem peneiramento. Antes da análise as amostras foram peneiradas (2 mm), armazenadas em sacolas fechadas até adquirir temperatura ambiente e pesadas para a determinação. Foi retirada uma subamostra para a determinação da umidade e expresso os resultados em solo seco em estufa a 105°C.

A atividade da amidase foi determinada conforme metodologia descrita por Dick et al. (1996) e Schimtz (2003). O amônio produzido foi determinado por destilação de arraste de vapor em semimicro Kjeldhal, conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

3.2.4.5 Atividade da urease no solo

A atividade da urease no solo foi determinada em todas as subparcelas do experimento em ambos sistemas de preparo PC-PC e PD-PD. Esta determinação foi realizada em amostras de quatro datas (22/09, 10/10, 27/10 e 30/11/2006) e em duas profundidades 0-0,05 e 0,05-0,1 m.

As amostras de solo para a determinação da atividade da urease foram submetidas ao mesmo armazenamento e procedimentos descritos na determinação da atividade da amidase.

A atividade da urease foi determinada conforme metodologia descrita por Dick et al. (1996) e Schimtz (2003). O amônio produzido foi determinado por destilação de arraste de vapor em semimicro Kjeldhal, conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

3.2.4.6 Nitrogênio mineral do solo

O N mineral do solo, amônio e nitrato, foi determinado em todas as subparcelas do experimento em ambos sistemas de preparo PC-PC e PD-PD. Esta determinação foi realizada em seis datas (23/09, 10/10, 27/10, 30/11, 18/12/2006 e 31/01/2007) nas profundidades 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m e em três ocasiões (23/09, 18/12/2006 e 31/01/2007) nas profundidades 0,2-0,3, 0,3-0,4 e 0,4-0,6 m.

As amostras foram colocadas já no momento da amostragem em frasco “snap cap” com KCl 1 mol L⁻¹, previamente pesados. Outra parte das amostras foi colocada em sacos plásticos hermeticamente fechados e acondicionadas em caixa térmica com gelo para posterior determinação da umidade, de maneira a expressar os resultados em base de solo seco.

Os teores de amônio e nitrato foram discriminados conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995), sendo determinados por destilação de arraste de vapor em semimicro Kjeldhal. As concentrações de nitrito foram consideradas mínimas e os resultados expressos como amônio e nitrato. A partir da concentração destas formas de N mineral foi determinado o estoque de N neste compartimento do solo, utilizando o método da camada equivalente.

3.2.4.7 Volatilização de N-NH₃

A volatilização de N-NH₃ foi avaliada nas subparcelas do experimento com nabo forrageiro nas doses 0, 80 e 160 kg ha⁻¹ de N-uréia, em ambos sistemas de preparo PC-PC e PD-PD.

As perdas de N-NH₃ foram quantificadas utilizando coletores do tipo semi-aberto estático, adaptado de Nommik (1973) por Lara Cabezas & Trivelin (1990).

A absorção de N-NH₃ nos coletores foi realizada através de esponja absorvedora embebida numa solução de ácido sulfúrico 0,2 M + glicerina 2%. A coleta das esponjas foi realizada aos 1, 3, 5, 11 e 20 dias após a aplicação da uréia (9/11/06). Após cada coleta de esponja foi imediatamente instalado o coletor com novas esponjas sob uma seguinte base, sendo instaladas cinco bases em cada parcela experimental. O amônio retido na esponja foi extraído por lavagem sucessiva com KCl 1 M, até completar o volume de 500 mL. A partir de uma alíquota de 20 mL foi determinado o teor de amônio, segundo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

3.2.4.8 Matéria seca da planta de cobertura e do milho

A produção de matéria seca do nabo forrageiro foi determinada considerando os sistemas de preparo, a partir da coleta de amostras em 0,25 m² no momento do manejo da planta de cobertura.

A produção de matéria seca do milho foi determinada nas subparcelas do experimento: subparcela descoberta sem N-uréia, subparcelas com nabo forrageiro com doses 0, 80 e 160 kg ha⁻¹ de N-uréia, em ambos sistemas de preparo PC-PC e PD-PD. Para esta determinação foram avaliadas uma a duas plantas de milho, em quatro ocasiões (24/11, 21/12/2006, 23/01 e 16/02/2007).

O material coletado das plantas de cobertura ou de milho foi seco em estufa a 65 °C até massa constante e pesado, sendo os resultados expressos em Mg ha⁻¹ baseado na área de coleta (planta de cobertura) ou na população de plantas por ha (milho).

3.2.4.9 Nitrogênio total acumulado pela planta de cobertura e pelo milho

O N total acumulado pelas plantas de cobertura e pelo milho foi avaliado nas amostras utilizadas na determinação da produção de matéria seca. Estas amostras foram trituradas em moinho de facas, obtendo-se uma moagem inicial, posteriormente, foram homogeneizadas, subamostradas e

moídas novamente em moinho de facas, peneirando-as a 1,00 mm. Desse material, utilizou-se 0,200 g para a determinação do N total.

Os teores de N total no milho e na planta de cobertura foram determinados por digestão ácida e destilação de arraste de vapor em semimicro Kjeldhal, conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

A partir da concentração do N total e da produção de matéria seca, no consórcio e no milho, foi estimado o N absorvido. Com os dados de carbono total determinados no nabo forrageiro no segundo estudo foi estimada a relação C/N.

3.2.4.10 Rendimento em grãos, população e peso de mil grãos do milho

O rendimento de grãos de milho foi avaliado nas subparcelas do experimento: subparcela descoberta sem N-uréia, subparcelas com nabo forrageiro com doses 0, 80 e 160 kg ha⁻¹ de N-uréia, em ambos sistemas de preparo PC-PC e PD-PD. Foi determinado por colheita manual em área central de cada subparcela (16 m²), sendo os resultados expressos com 13% de umidade.

A população de plantas de milho em cada subparcela foi estimada na superfície demarcada para a colheita e calculada em plantas ha⁻¹. O peso de mil grãos de milho foi estimado a partir da contagem e pesagem de 300 sementes, sendo expressos os resultados com 13% de umidade.

3.2.5 Análise estatística

Os resultados das análises de solo, volatilização de N-NH₃ e plantas foram avaliados estatisticamente por análise de variância, sendo as médias dos tratamentos comparados pelos testes de Tukey e Scott-Knott (P<0,05) ou por regressão no caso das doses de N quando a análise de variância acusou diferença significativa.

O carbono orgânico e N total foram analisados por camadas segundo um delineamento em blocos casualizados com dois tratamentos PC e PD. Por outro lado, para avaliar estas mesmas variáveis no perfil do solo em cada sistema de preparo foram analisados segundo um delineamento em

blocos casualizados com parcelas subdivididas, sendo os sistemas de preparo as parcelas e as profundidades as subparcelas.

O N da biomassa microbiana, a atividade da amidase e a atividade da urease nos tratamentos sem adição de N-uréia foram analisados por data segundo um delineamento em blocos casualizados com parcelas subdivididas. Os sistemas de preparo com e sem cobertura foram considerados as parcelas e as profundidades as subparcelas.

Nos tratamentos com adição de N-uréia, o N da biomassa microbiana, a atividade da amidase, o N mineral do solo e a volatilização acumulada foram analisados por data e profundidade segundo um delineamento em blocos casualizados com parcelas subdivididas, sendo as parcelas os sistemas de preparo e as subparcelas as doses de N-uréia. As variáveis do milho, concentração de N, matéria seca e N acumulado também foram analisadas desta mesma forma, por data de avaliação.

A análise geral do milho, em relação à população de plantas, rendimento de grãos e peso de mil grãos foi inicialmente realizada considerando todas as subparcelas do delineamento experimental, parcela descoberta, parcelas com planta de cobertura e doses 0, 80 e 160 kg ha⁻¹. Isto devido à variação significativa encontrada na população de plantas do milho.

O N mineral nas camadas 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m, nos tratamentos sem adição de N-uréia foi analisado por camada e data segundo um delineamento em blocos casualizados, sendo os tratamentos, os sistemas de preparo com presença e ausência de cobertura vegetal. O N mineral no perfil de solo (0-0,6 m) foi analisado segundo um delineamento em blocos casualizados em parcelas subdivididas, sendo os sistemas de preparo as parcelas e as profundidades as subparcelas.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SISVAR versão 4.6, desenvolvido na Universidade Federal de Lavras (Ferreira, 2000).

3.3 Resultados e discussão

3.3.1 Produção do milho em diferentes sistemas de preparo do solo

A cultura antecedente ao milho, o nabo forrageiro, foi influenciado pelo sistema de preparo. A produção de matéria seca, a concentração de N, o N total acumulado e a relação C/N da cultura de cobertura em PC e PD foram, respectivamente, 4,23 ($\pm 0,87$) e 9,47 ($\pm 2,93$) Mg ha⁻¹ de matéria seca, 1,45 ($\pm 0,02$) e 1,14 ($\pm 0,03$) % de N, 61 (± 13) e 108 (± 34) kg ha⁻¹ de N e 32 e 40, valores determinados no momento do manejo do nabo. Este comportamento diferenciado do nabo forrageiro entre os sistemas de preparo pode estar relacionado às diferenças, principalmente, nas condições químicas do solo. Observou-se em PD maior disponibilidade de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, maior pH e menor concentração de alumínio trocável, principalmente, na camada 0-0,05 m (Tabela 3.2 e Apêndice 2).

A população de plantas de milho foi diferente entre os tratamentos e condicionou a comparação das variáveis avaliadas no milho, assim, foram discutidos tratamentos que não apresentaram diferença significativa nesta variável (Tabela 3.4). Sangoi et al. (2007a) indicam que a população de plantas é o primeiro e mais importante componente do rendimento de grãos no milho. A comparação entre os sistemas de preparo quanto ao seu efeito no rendimento de grãos e na concentração de N do milho foi feita nas parcelas PC e PD em parcela descoberta e PC e PD com nabo forrageiro e sem adubação nitrogenada. A avaliação da resposta do milho à adubação nitrogenada em PC também foi prejudicada pela variação da população de plantas, o que não ocorreu em PD (Tabela 3.4)

Em relação ao rendimento, não foi observada diferença significativa entre os sistemas de preparo nas parcelas sem adubação nitrogenada, seja entre as parcelas descobertas (média 10,73 Mg ha⁻¹), bem como nas parcelas com cobertura de nabo forrageiro (média 9,24 Mg ha⁻¹), e os rendimentos obtidos destacam o alto potencial de produtividade da cultura do milho na região (Tabela 3.4). Neste mesmo experimento, Fontoura & Bayer (2008) não encontraram diferenças significativas quando avaliaram por safra o rendimento do milho entre PD e PC, porém ao avaliar de forma conjunta as

seis safras de milho, observaram maior rendimento de milho em PD. Por outro lado, de 23 safras de soja em 14 ocasiões o rendimento foi superior em PD e em duas oportunidades em PC, sendo iguais estatisticamente em sete ocasiões. Em relação às culturas de inverno trigo, cevada e aveia branca, as mesmas não apresentaram diferença significativa no rendimento nas diferentes safras. A partir destes resultados conclui-se que o PD propiciou maior rendimento na cultura de primavera-verão e os sistemas de preparo não apresentaram efeito significativo no rendimento da cultura de inverno nas condições de solo e clima do Centro-Sul do Paraná (Fontoura & Bayer, 2008).

TABELA 3.4 População, rendimento de grãos e peso de mil sementes do milho cultivado em preparo convencional (PC) e em plantio direto (PD).

Tratamento	Milho		
	População plantas ha ⁻¹	Rendimento grãos Mg ha ⁻¹	Peso mil sementes g
Preparo convencional			
PC-descoberto ¹ -0N ³	62500 ab ⁴	10,90 abc	347 de
PC-cobertura ² -0N	54167 b	8,92 bcd	385 bc
PC-cobertura-80N	36458 c	8,05 d	408 ab
PC-cobertura-160N	37500 c	8,21 cd	424 a
Plantio direto			
PD-descoberto ¹ -0N ³	69583 a	10,57 abcd	326 e
PD-cobertura ² -0N	54167 b	9,57 abcd	369 cd
PD-cobertura-80N	60625 ab	11,84 a	394 b
PD-cobertura-160N	54792 b	11,02 ab	405 ab
Média geral	53724	9,88	381
CV (%)	8	10	2

^{1,2}A matéria seca do nabo forrageiro foi retirado e deixado na parcela, respectivamente; ³dose de N-uréia aplicada; ⁴letras minúsculas comparam médias na coluna (teste de Tukey P≤0,05).

Ao avaliar o efeito das doses de N no rendimento de milho em PD verificou-se que não houve diferença entre as duas doses de N-uréia e a testemunha (Tabela 3.4). Em PC, pela diferença na população de plantas de milho entre a testemunha (54000 plantas ha⁻¹) e os tratamentos com 80 e 160 kg ha⁻¹ de N-uréia (média de 37000 plantas ha⁻¹), é difícil obter conclusões. Por outro lado, analisando o peso de mil grãos em PD, constata-se que a adição de N-uréia produziu incremento no peso das sementes, verificando-se diferença entre os tratamentos com e sem adubação nitrogenada, porém o peso de mil sementes não apresentou diferença entre os tratamentos 80 e 160 kg ha⁻¹ de N-uréia. Estes resultados de rendimento e peso de mil grãos destacam limitado efeito da adubação nitrogenada na presente safra em PD, podendo ser recomendada 80 kg ha⁻¹ de N-uréia para população de aproximadamente

60000 plantas ha⁻¹, quando a cultura antecedente é o nabo forrageiro. No Estudo III é abordado com maior detalhe a adubação nitrogenada do milho e a influência das plantas de cobertura no manejo da mesma, em PD.

A concentração do N no tecido do milho apresentou tendência de ser maior em PC do que em PD durante todo o ciclo do milho, considerando o tratamento sem aplicação de N e com nabo forrageiro como cultura antecedente, apresentando diferença significativa apenas na primeira avaliação aos 58 dias após a semeadura (Das) (Figura 3.2). Esperava-se resultado contrário, ou seja, maior concentração de N no milho em PD já no início do ciclo desta cultura, considerando a maior concentração de N mineral (amônio + nitrato) na camada 0-0,05 m no período inicial do desenvolvimento do milho neste sistema de preparo, o que será discutido posteriormente. Uma possível explicação para este comportamento pode ser a maior produção de matéria seca do milho em PD em relação ao PC, 1 Mg ha⁻¹ a mais, o que ocasionou a diluição do N absorvido, que foi 25 kg ha⁻¹ maior em PD (Anexo 1). Sainju et al. (2007) reportaram que o preparo do solo (PD e PC) não afetou a absorção de N pelo algodão e sorgo. Aos 58 Das também foi observada uma resposta linear da concentração de N no milho à adubação nitrogenada em PD ($y=2,43+0,0019X$ $R^2=0,99^{**}$) (Anexo 1). A equação indica acréscimo de 0,0019% de N no milho aos 58 Das por Kg de N-uréia adicionado.

Cabe ressaltar que não se trabalhou extensivamente com os resultados de N absorvido pelo milho devido ao alto coeficiente de variação da produção de matéria seca e pela limitação na amostragem de plantas. Nas parcelas sem aplicação de N e com cultura antecedente, que apresentaram mesma população, determinou-se no milho 0,92 e 0,81% de N na matéria seca aérea, 23,4 e 21,6 Mg ha⁻¹ de matéria seca aérea, 217 e 174 kg ha⁻¹ de N acumulado e 8,92 e 9,57 Mg ha⁻¹ de rendimento em grãos do milho, respectivamente, para PC e PD (Tabela 3.4 e Anexo 1). Estas variáveis avaliadas foram iguais estatisticamente entre os sistemas de preparo, evidenciando que, com cultura antecedente de nabo forrageiro e sem adubação nitrogenada, o milho em PC e PD alcançou produtividade similar.

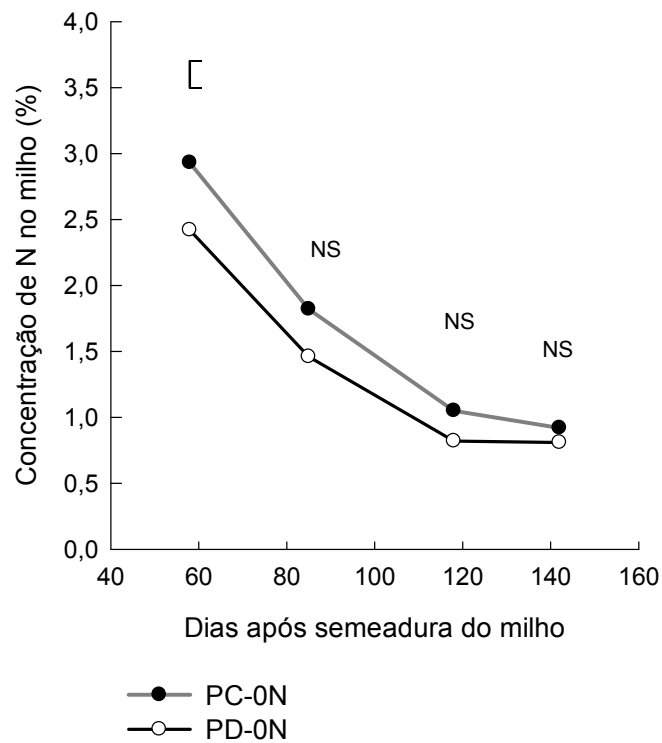


FIGURA 3.2 Concentração de N durante o ciclo do milho cultivado em preparo convencional (PC) e em plantio direto (PD), sem aplicação de N. As barras verticais indicam a diferença mínima significativa segundo teste de Tukey $P \leq 0,05$.

3.3.2 Variação do nitrogênio e do carbono total do solo em diferentes sistemas de preparo do solo

A concentração de C e N total no solo foi maior em mata em relação aos sistemas de preparo em todas as profundidades, obtendo-se, na camada 0-0,2 m, média superior a 3,8 e 3,2 vezes para o N total e 1,5 e 1,4 vezes para o C total, respectivamente, em relação ao PC e PD (Tabela 3.5). Considerando o estoque de C e N total do solo, em PC foi perdido $6,95 \text{ Mg ha}^{-1}$ de N e $31,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ de C, em 50 anos, levando em conta que a parcela foi manejada por 18 anos neste sistema de preparo, antes da instalação do experimento. Estes resultados indicam que foram perdidos 57 e 29%, respectivamente, do N total e do C total e evidencia perda de N total de aproximadamente duas vezes superior a do C total. Os dados são coerentes com os resultados da relação C/N para mata e PC que foram, respectivamente, de 8,4 e 14,2 na camada 0-0,2 m. Por outro lado, em PD verifica-se incremento da relação C/N com a profundidade, sendo 11,3, 13,1 e 14,7, respectivamente,

nas camadas 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m, indicando maior enriquecimento de N total nas camadas mais superficiais do solo neste sistema de preparo e, sendo esta mesma a tendência verificada na mata. Estes resultados indicam dinâmica diferente na perda e na recuperação de N em relação ao C, pelos sistemas de preparo.

TABELA 3.5 Concentração e estoque de C e de N total do solo em mata, preparo convencional (PC) e plantio direto (PD).

Profundidade	Carbono total do solo			Nitrogênio total do solo		
	Mata	PC	PD	Mata	PC	PD
Concentração						
kg Mg ⁻¹						
m						
0-0,05	68,9	ns ¹ 37,3 B ¹	a 55,7 A	9,04	a 2,60 B	a 4,91 A
0,05-0,1	60,4	38,3 NS	b 38,0	6,99	a 2,70 NS	b 2,90
0,1-0,2	47,6	37,7 NS	b 35,7	5,39	a 2,64 NS	c 2,43
0,2-0,3	--	--	--	--	a 2,44 NS	cd 2,36
0,3-0,4	--	--	--	--	b 1,94 NS	e 1,92
0,4-0,6	--	--	--	--	b 1,61 NS	de 1,97
Média 0-0,2 ²	56,1	37,7 NS	41,3	6,70	1,76 NS	2,11
Média 0-0,6 ²	--	--	--	--	2,15 NS	2,43
Estoque ³						
Mg ha ⁻¹						
0-0,05	34,8	18,7 B ¹	28,0 A	4,02	1,30 B	2,48 A
0,05-0,1	30,2	18,5 NS	19,0	3,25	1,30 NS	1,45
0,1-0,2	42,8	38,9 A	32,4 B	5,01	2,74 A	2,19 B
0,2-0,3	--	--	--	--	2,15 NS	2,03
0,3-0,4	--	--	--	--	1,70 NS	1,65
0,4-0,6	--	--	--	--	2,84 NS	3,40
Total 0-0,2	107,8	76,1NS	79,3	12,29	5,34 NS	6,12
Total 0-0,6	--	--	--	--	12,03 NS	13,19

¹Letras minúsculas e "ns" comparam médias na coluna e letras maiúsculas e "NS" na linha entre os sistemas de preparo (teste de Tukey P≤0,05); ²Média ponderada; ³calculado em camadas equivalentes.

Mielniczuk et al. (2003) citam redução de 0,91 Mg ha⁻¹ no estoque de N do solo, na camada 0-0,175 m, pelo cultivo de 15 anos em PC de um Argissolo Vermelho que originalmente encontrava-se sob campo nativo, indicando que a diminuição observada no Latossolo é alta. Entretanto, o coeficiente de decomposição da matéria orgânica deste deve ser menor que o valor de 4,0% estimado para o Argissolo Vermelho em preparo convencional (Bayer et al., 2006) pelo maior conteúdo de argila e mineralogia do Latossolo, assim como pela menor temperatura média. Por outro lado, a análise disponível do solo na implantação do experimento mostra concentração de C total de 28 g kg⁻¹ na camada 0-0,2 m (Fontoura & Bayer, 2008), concentração inferior à encontrada na camada 0,1-0,2 m em PD, menor valor de C determinado neste estudo, que poderia sugerir que as parcelas já experimentaram grande perda de C antes da instalação do experimento. Também é importante salientar que os teores de C orgânico neste trabalho

foram determinados por combustão seca, enquanto os teores relativos ao período de instalação do experimento foram determinados por combustão úmida, devendo ser realizada o ajuste de uma equação para comparar os resultados de ambos métodos de análise para este solo.

Em relação aos sistemas de preparo, o PD propiciou acúmulo de 1,16 Mg ha⁻¹ de N total na camada 0-0,6 m, em relação ao PC; já na camada 0-0,2 m o acúmulo foi superior em 0,78 Mg ha⁻¹ para N total e 3,2 Mg ha⁻¹ para C total em PD, em 28 anos de experimento (Tabela 3.5). Estas diferenças não foram estatisticamente significativas, seja na camada 0-0,2 m para o C e o N total, como na camada 0-0,6 m para o N total (Tabela 3.5, Figura 3.3). Amado et al. (1999) encontraram maior estoque de N total na camada 0-0,175 m em PD em relação ao PC, nos três sistemas de cultura avaliados em experimento com nove anos de duração em Argissolo Vermelho.

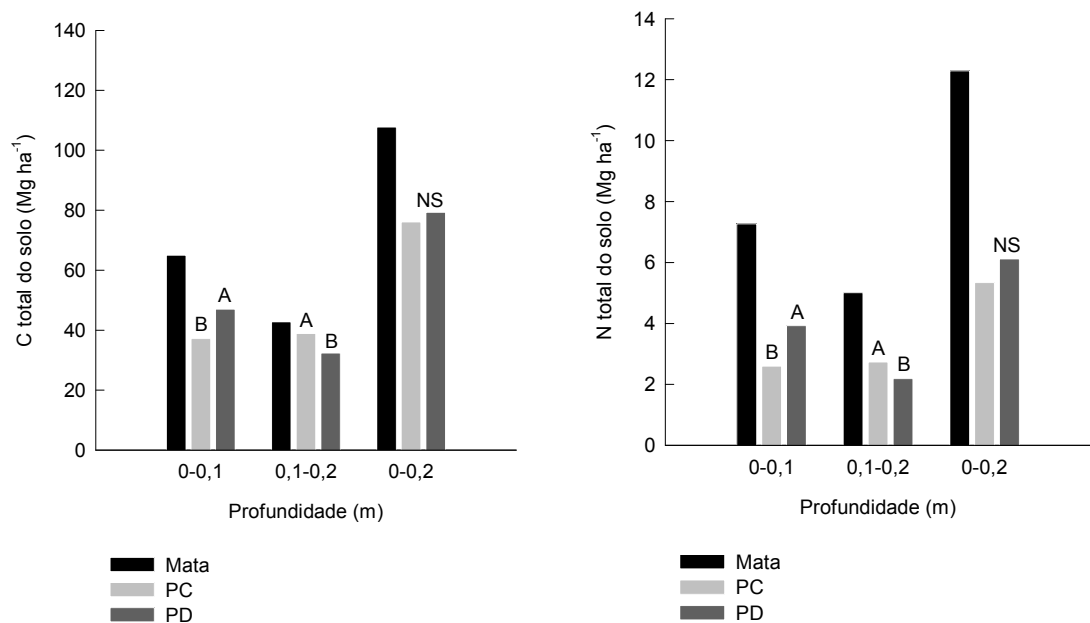


FIGURA 3.3 Estoque de carbono e nitrogênio total do solo em diferentes profundidades em mata, preparo convencional (PC) e plantio direto (PD). As letras comparam médias entre os sistemas de preparo para cada profundidade.

Ao analisar o perfil do solo por camadas nos sistemas de preparo verificou-se maior concentração de C e N total em PD na camada mais superficial (0-0,05 m) (Tabela 3.5). Nesta camada o acréscimo foi de 1,18 e 9,3 Mg ha⁻¹, respectivamente, de N e C total, obtendo-se uma relação de acúmulo

destes elementos (C/N) de 7,9. Por outro lado, verificou-se tendência de aumento na concentração de C e N na camada 0,1-0,2 m em PC, o qual foi significativo ao analisar os estoques destes elementos, superando em 0,55 e 6,50 Mg ha⁻¹, respectivamente, o PD. Este comportamento pode ser devido ao revolvimento do solo, pois em PD os resíduos ficam sobre a superfície do solo favorecendo o acúmulo de C e N na camada mais superficial, já em PC devido ao revolvimento do solo os resíduos da superfície bem como o C da camada mais superficial são distribuídos dentro do perfil. Ciotta (2001) no mesmo experimento também verificou incremento de C total na camada mais superficial em PD em relação ao PC. No PC o teor de C não apresentou diferença significativa entre as diferentes camadas estudadas na profundidade de 0-0,2 m, porém já se observa tendência de incremento na camada 0,1-0,15 e 0,15-0,2 m.

Entre as demais profundidades não foram encontradas diferenças significativas no N total do solo. A partir destes resultados considera-se pertinente para comparar estes sistemas de preparo, quanto ao C e N total do solo, a camada 0-0,2 m, de maneira a integrar a adição na superfície do PD e a incorporação dos resíduos vegetais na camada preparada pelo PC.

3.3.3 Biomassa microbiana e atividade enzimática em diferentes sistemas de preparo do solo

3.3.3.1 Nitrogênio da biomassa microbiana do solo

O N na biomassa microbiana foi maior no solo de mata em relação às parcelas com uso agrícola. A concentração no solo de mata foi 9 e 4 vezes maior na profundidade 0-0,1 m e 6 e 7 vezes maior na profundidade de 0,1-0,2 m, respectivamente, em relação ao PC e PD (Tabela 3.6). Avaliando o estoque de N na biomassa microbiana verifica-se na camada 0-0,2 m valores de 215, 29 e 49 kg ha⁻¹, respectivamente, para mata, PC e PD, média das análises de amostras obtidas em quatro datas avaliadas durante o ciclo do milho nos sistemas de preparo (Figura 3.4).

Em relação ao efeito dos sistemas de preparo, verificou-se que a concentração de N na biomassa microbiana apresentou tendência de ser superior em PD em relação ao PC, na camada 0-0,2 m (Tabela 3.6). Ao avaliar

a camada 0-0,1 m, verificou-se que o N na biomassa microbiana foi consistentemente superior em todas as datas avaliadas no PD em relação ao PC, não se diferenciando na camada 0,1-0,2 m (Anexo 3.2). Mesma tendência é citada por Follet & Shimel (1989), Vargas & Sholles (1998) e Vargas et al. (2005). Entretanto, Spedding et al. (2004) em experimento com 10 anos não encontraram efeito significativo de sistemas de preparo no C e N na biomassa microbiana, na profundidade 0-0,1 m, podendo ser causas a textura arenosa do solo e a monocultura do milho no experimento avaliado pelos autores. Segundo Vargas & Sholles (2000) a menor biomassa microbiana em PC está relacionado com a menor concentração de C orgânico, às maiores temperaturas e os processos de secagem mais intensos, em relação ao PD. Por outro lado, na camada superficial do solo em PD, além do maior estoque de matéria orgânica, a mesma é mais rica em frações lábeis, como carboidratos, compostos nitrogenados e a própria biomassa microbiana e seus metabólicos, do que a matéria orgânica do PC (Carter & Rennie, 1982; Angers et al., 1993), o que possibilita maior atividade microbiana. Estas mesmas razões justificam o maior estoque de N na biomassa microbiana na condição natural, além da condição própria de ausência de influência antrópica através das práticas de produção agrícola. Pode-se observar que o comportamento da biomassa microbiana seguiu a tendência do C e N total do solo (Figura 3.3).

TABELA 3.6 Nitrogênio na biomassa microbiana do solo com mata, PC e PD, em diferentes datas, profundidades e sem aplicação de uréia.

Profundidade m	Nitrogênio da biomassa microbiana					Média
	Mata	PC-C ¹	PC-D	PD-C	PD-D	
	----- mg kg ⁻¹ -----					
	----- 22/09 (10 Dap) ⁶ -----					
0-0,1	136,2	14,4 ns ²	11,1 ns	34,0 a	39,6 a	24,8 ³
0,1-0,2	79,2	11,5	17,6	10,6 b	13,2 b	13,2
0-0,2	107,7	13,0 B ²	14,4 B	22,3 AB	26,4 A	
	----- 10/10 ⁵ (28 Dap) -----					
0-0,1	--	8,3 B	8,1 B	29,9 A	27,5 A	18,4
	----- 27/10 (45 Dap) -----					
0-0,1	--	22,4 ns	17,5 ns	36,7 a	45,6 a	30,6 ³
0,1-0,2	--	13,9	15,1	16,1 b	19,5 b	16,1
0-0,2	--	18,2 BC	16,3 B	26,4 AB	32,5 A	
	----- 30/11 (79 Dap) -----					
0-0,1	--	15,2 ns	15,0 ns	42,6 a	26,0 a	24,7 ³
0,1-0,2	--	16,0	15,0	13,5 b	15,3 b	15,0
0-0,2	--	15,6 B	15,0 B	28,1 A	20,7 B	

¹Preparo convencional e plantio direto com cobertura dos resíduos de nabo forrageiro (PC-C, PD-C) e descoberto, onde os resíduos de nabo forrageiro foram removidos (PC-D, PD-D); ²letras minúsculas comparam médias na coluna e letras maiúsculas na linha (teste de Tukey P≤0,05); ³houve interação entre tratamentos e profundidade; ⁴não houve interação entre tratamentos e profundidade; ⁵avaliado somente a camada 0-0,1 m; ⁶dias após o preparo do solo.

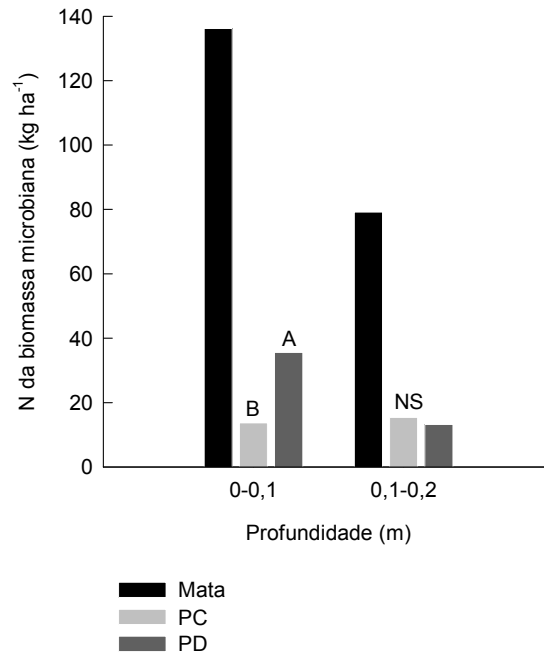


FIGURA 3.4 Estoque de nitrogênio na biomassa microbiana do solo com mata, preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), nas profundidades 0-0,1 e 0,1-0,2 m. Média das parcelas com e sem resíduos de nabo forrageiro e sem aplicação de N-uréia. As letras comparam médias entre sistemas de preparo em cada profundidade.

Por outro lado, os sistemas de preparo apresentaram comportamento diferente em relação à profundidade. Em PD o N na biomassa microbiana diminui com a profundidade (entre 0-0,1 e 0,1-0,2 m), já em PC não foi observada diferença significativa entre as profundidades (Tabela 3.6). Vargas & Sholles (1998) também encontraram esta mesma tendência observando a profundidade do solo em ambos sistema de preparo em um Argissolo Vermelho distrófico. Novamente este comportamento é semelhante ao C orgânico e N total nos sistemas de preparo.

A presença dos resíduos de nabo forrageiro não afetou significativamente o N na biomassa microbiana, na camada 0-0,2 m (Tabela 3.6) e na camada 0-0,1 m nos sistemas de preparo (Anexo 2), sendo que esperava-se incremento no N da biomassa nas parcelas com disponibilidade deste substrato mineralizável. Neste sentido Spedding et al. (2004) verificaram na camada 0-0,1 m, incrementos de 96% e 61%, respectivamente, em N e C da biomassa microbiana, em parcelas com resíduo (palha de milho) em relação ao tratamento sem resíduo (retirada da palha de milho) em experimento de 10 anos.

Na análise das amostras obtidas 21 dias após a adubação nitrogenada (30/11), verificou-se relação negativa entre o N da biomassa microbiana na camada 0-0,1 m e a dose de N-uréia aplicada em PD e relação positiva entre estas variáveis em PC considerando a camada 0,1-0,2 m (Tabela 3.7). A equação ajustada para o PD ($y=42,57-0,12X$ $R^2=0,99^{**}$) destaca diminuição de $0,12 \text{ kg ha}^{-1}$ de N da biomassa microbiana por kg ha^{-1} de N-uréia aplicado, enquanto em PC a equação ($y=14,27+0,056X$ $R^2=0,70^*$) demonstra um aumento de $0,056 \text{ kg ha}^{-1}$ de N da biomassa por kg ha^{-1} de N-uréia adicionado. A resposta positiva para o preparo convencional na camada 0,1-0,2 m pode estar relacionada à limitação de N mineral para o processo de mineralização dos resíduos incorporados nesta profundidade. Rodriguez & Kiehl (1992) citam que a uréia eleva o pH no local de aplicação dificultando a imobilização temporária do N-amoniaco produzido, o que favorece a nitrificação; este processo também pode ter contribuído a limitar a imobilização na camada superficial e favorecê-la na profundidade 0,1-0,2 m.

TABELA 3.7 Nitrogênio da biomassa microbiana do solo em preparo convencional (PC) e em plantio direto (PD), em diferentes doses de N aplicadas na cultura do milho.

N-uréia	Nitrogênio da biomassa microbiana ¹					
	0-0,1 m			0,1-0,2 m		
	PC	PD	Média	PC	PD	Média
kg ha^{-1}	----- mg kg^{-1} -----					
0	15,2 ns ²	42,6 a	28,9 ³	16,0 ns	13,5 ns	14,7 ³
80	8,4	32,5 ab	20,5	15,4	16,9	16,2
160	18,4	22,9 b	20,7	25,0	11,2	18,1
Média	14,0 B ²	32,7 A		13,8 A	18,8 A	

¹Amostras de 30/11, 21 dias após a adição de N-uréia; ²letras minúsculas comparam médias na coluna e letras maiúsculas na linha (teste de Tukey $P \leq 0,05$); ³houve interação entre tratamentos e dose de N.

Efeitos pela aplicação de N-fertilizante nas propriedades biológicas do solo são contraditórios (Ladd et al. 1994; Omay et al. 1997). Segundo Mary et al. (1996) a mineralização do C e a imobilização de N aumentam com a adição de fertilizante nitrogenado apenas até atingir uma taxa máxima, a partir de qual o N deixa de limitar a degradação do resíduo e a imobilização permanece constante, não havendo imobilização significativa do nutriente com o aumento da sua disponibilidade. Sainz Rozas et al. (2004) encontraram incremento no N da biomassa microbiana pela adubação nitrogenada com uréia em três das quatro safras avaliadas; em média o N imobilizado foi de $13,4 \text{ kg ha}^{-1}$, sendo este valor obtido pela diferença entre o N

imobilizado sobre os tratamentos com adubação nitrogenada e a testemunha. Coser et al. (2007) não encontraram diferença na imobilização de N na biomassa microbiana com aplicação de doses de 90 e 120 kg ha⁻¹ de N-uréia em relação à testemunha em experimento com um ano de PD em Latossolo Vermelho Amarelo argiloso do Cerrado.

Os valores de N da biomassa microbiana corresponderam a 1,75, 0,54 e 0,80% do N total do solo, respectivamente, para mata nativa, PC e PD. Considerando a faixa na proporção de N microbiano/N total de 1% a 7% apresentada por Anderson & Domsch (1989) os valores encontrados neste estudo foram baixos nos sistemas de preparo, e podem estar relacionados ao tempo transcorrido entre amostragem e análise, o qual será discutido posteriormente. A relação entre N na biomassa microbiana e N total do solo indica uma estimativa da quantidade de nutriente, disponibilidade de substrato e a dinâmica da matéria orgânica no solo, pois, quanto maior esta relação, melhor será a qualidade da matéria orgânica (Sparling, 1992). Por outro lado, Moore et al. (2000) concluíram que o N microbiano é uma fração distinta, e não necessariamente relacionada com o tamanho do N total do solo. Coser et al. (2007) determinaram uma relação N da biomassa microbiana e N total do solo em Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa, de 1,0 a 3,6% no ciclo da cultura da cevada.

Em relação à análise do N da biomassa microbiana cabe salientar que a análise não foi realizada imediatamente após a amostragem como amplamente recomendado na literatura, mas sete meses após a primeira amostragem, sendo as amostras guardadas sem peneiramento em geladeira ($\pm 4^{\circ}\text{C}$). Em adição, o menor N da biomassa microbiana, em todos os tratamentos, na data 10/10, deve estar relacionado com a menor temperatura na fumigação com clorofórmio $\pm 15^{\circ}\text{C}$ (temperatura ambiente), em relação às demais determinações que foram realizadas a temperatura controlada (25°C) (Brookes et al. 1985).

Apesar do tempo transcorrido entre amostragem e análise os resultados discriminaram os sistemas de preparo e a mata dos sistemas de preparo. Maior estoque de N na biomassa microbiana foi observado em PD na camada 0-0,1 m, correspondendo ao maior estoque de N e C total neste sistema de preparo na camada superficial do solo. Entretanto não foi

observada diferença na camada 0,1-0,2 m, na qual fora determinada maior estoque N e C total em PC.

3.3.3.2 Atividade da amidase em diferentes sistemas de preparo do solo

A atividade da amidase foi superior no solo com mata em relação ao PC e PD, respectivamente, em 7 e 2,6 vezes na profundidade de 0-0,05 m e em 5 e 3 vezes a 0,05-0,1 m. (Tabela 3.8). Dick et al., (1996) citam valores de atividade da amidase de 22 a 422 mg N-NH₄⁺ kg⁻¹ S 2 h⁻¹ quando as amostras foram analisadas a umidade de campo e, 114 a 406 mg N-NH₄⁺ kg⁻¹ S 2 h⁻¹ quando realizadas em amostras secas ao ar. O resultado obtido na mata foi superior a estes valores nas duas profundidades, estando os resultados dos sistemas de preparo na faixa apresentada por Dick et al. (1996).

TABELA 3.8 Atividade da amidase do solo em mata, preparo convencional e plantio direto em diferentes datas e profundidades.

Profundidade m	Atividade da amidase					Média
	Mata	PC-C ¹	PC-D	PD-C	PD-D	
	----- mg N-NH ₄ ⁺ kg ⁻¹ S 2 h ⁻¹ -----					
	----- 10/10 (28 Dap ⁵) -----					
0-0,05	648	82 ns ²	101 ns	338 a	252 ns	193 ³
0,05-0,1	562	107	142	180 b	197	156
0-0,1	605	94 B ²	122 B	259 A	224 AB	
	----- 27/10 (45 Dap) -----					
0-0,05	--	98	105	214	186	150 ns ⁴
0,05-0,1	--	104	123	176	235	160
0-0,1	--	101 B ²	114 B	195 A	210 A	
	----- 18/12 (97 Dap) -----					
0-0,05	--	79 ns ²	86 ns	269 a	212 a	162 ³
0,05-0,1	--	97	95	185 b	135 b	128
0-0,1	--	88 B ²	90 B	227 A	173 AB	

¹Preparo convencional e plantio direto com cobertura dos resíduos de nabo forrageiro (PC-C, PD-C), descoberto, onde os resíduos de nabo forrageiro foram removidos (PC-D, PD-D), sem N na cobertura (PC-C-0, PD-C-0) e com 160 de N em cobertura (PC-C-160, PD-C-160); ²letras minúsculas comparam médias na coluna e letras maiúsculas na linha (teste de Tukey P≤0,05); ³houve interação entre tratamentos e profundidade; ⁴não houve interação entre tratamentos e profundidade; ⁵dias após o preparo.

Analisando os sistemas de preparo, verificou-se maior atividade da amidase em PD em relação ao PC (Tabela 3.8), sendo esta diferença determinada pelo maior valor da camada mais superficial (0-0,05 m) do PD (Anexo 3). Dick (1984) também reportou maior atividade da amidase na camada 0-0,075 m em PD em relação ao PC. Outros estudos reportaram maior atividade enzimática no solo sob sistemas conservacionistas de manejo em relação ao preparo convencional (Doran, 1980; Dick, 1984; Angers et al.,

1993), a qual tem sido relacionada ao incremento dos teores de matéria orgânica e melhoria generalizada das condições físicas e químicas do solo. Neste sentido, Miller & Dick (1995) encontraram que 60 a 70% da atividade enzimática esteve associada a macroagregados, sendo que a formação destes é favorecida em sistemas conservacionistas.

Em relação à profundidade, a atividade da amidase foi superior na camada superficial em PD, não sendo encontrada diferença no PC entre as camadas 0-0,05 e 0,05-0,1 m. Estes resultados devem estar relacionados com a maior concentração de matéria orgânica na camada 0-0,05 m em relação à de 0,05-0,10 m no PD, comportamento que não foi observado no PC. Alta correlação entre a atividade enzimática com a concentração de C no solo e com a biomassa microbiana é citada na literatura (Miller & Dick, 1995; Elfstrand et al., 2007). Estes mesmos fatos justificam a diferença encontrada na atividade enzimática entre os sistemas de preparo.

Por outro lado em cada sistema de preparo não foi detectada diferença na atividade da amidase pelo efeito da cobertura com nabo forrageiro em relação à parcela descoberta, seja considerando a camada 0-0,1 m (Tabela 3.8) como as camadas 0-0,05 e 0,05-0,1 m (Anexo 3). Este mesmo comportamento foi detectado no N da biomassa microbiana.

A adubação nitrogenada apesar de não produzir efeito significativo na atividade da amidase em cada sistemas de preparo e nas duas profundidades avaliadas (Tabela 3.9), foi observada em PD na camada 0-0,05 m diminuição da atividade da amidase com o aumento da dose de N, ajustando-se a esta relação uma equação de primeiro grau com declividade negativa ($y=271-0,268X$ $R^2=0,97^*$). Esta mesma tendência foi encontrada no N da biomassa microbiana neste sistema de preparo. Maior discriminação poderia ter sido obtida em avaliação mais próxima à adubação nitrogenada, considerando que as amostras avaliadas neste estudo foram obtidas 39 dias após a adição de N-uréia. Dick et al (1988) observaram que a atividade da amidase e da urease diminuiu com o incremento da aplicação de N-amônio. Esta mesma tendência foi encontrada por Bandick & Dick (1999) que indicaram que a adição de fertilizante na forma de N-amônio, produto da atividade desta enzima, limita a síntese das mesmas. Entretanto, no presente estudo a adição de N ocorreu na forma de uréia.

TABELA 3.9 Atividade da amidase do solo em preparo convencional e plantio direto em diferentes doses de N aplicadas na cultura do milho.

N-uréia	Atividade da amidase ¹					
	0-0,05 m			0,05-0,1 m		
	PC	PD	Média	PC	PD	Média
kg ha ⁻¹	----- mg N-NH ₄ ⁺ kg ⁻¹ S 2 h ⁻¹ -----					
0	79 ns ²	269 ns	174 ³	96 ns	185 ns	141 ns ⁴
80	94	254	174	128	154	141
160	110	226	168	108	154	131
Média	94 B ²	249 A		111 A	164 A	

¹Amostras de 18/12, 39 dias após a adição de N-uréia; ²letras minúsculas comparam médias na coluna e letras maiúsculas na linha (teste de Tukey P≤0,05); ³houve interação entre tratamentos e dose de N; ⁴não houve interação entre tratamentos e dose de N.

3.3.3.3 Atividade da urease no solo em diferentes sistemas de preparo do solo

A atividade da urease na mata nativa apresentou um valor 20 e 7 vezes maiores aos obtidos, respectivamente, para preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), na camada 0-0,1 m (Tabela 3.10). Schmitz (2003), na mesma profundidade, em Argissolo Vermelho distrófico típico, também encontrou maior atividade da urease em condição de campo nativo (120 mg N-NH₄⁺ kg⁻¹ S 2 h⁻¹) em relação a parcelas com diferentes rotações de culturas em sistema PD. Dick et al. (1996) citam como faixa de variação da atividade da urease 22 a 442 mg N-NH₄⁺ kg⁻¹ S 2 h⁻¹, quando as amostras foram analisadas a umidade de campo, e 22 a 305 mg N-NH₄⁺ kg⁻¹ S 2 h⁻¹, em amostras secas ao ar. No presente estudo foi observada média ligeiramente superior em mata nativa em ambas profundidades (0-0,05 e 0,05-0,1 m), enquanto nos sistemas agrícolas os valores encontram-se dentro da faixa citada.

Entre os sistemas de preparo constatou-se maior atividade da urease em PD, seja com ou sem resíduos de nabo forrageiro, bem como com ou sem adição de N, em todas as datas avaliadas (Tabela 3.10). Dick (1984) também reportou maior atividade da urease na camada 0-0,075 m em PD em relação ao PC. Entretanto, Vargas et al. (2005) não discriminaram sistemas de preparo quanto à atividade da urease, devido, principalmente, à variação encontrada nos resultados no solo em PC.

Analisando cada sistema de preparo por profundidade, verifica-se que a atividade da urease em plantio direto foi superior na camada superior, já no PC não foram encontradas diferenças entre as profundidades (0-0,05 e 0,05-0,1 m). Estes resultados devem estar relacionados com a maior concentração de matéria orgânica na camada 0-0,05 m no PD, comportamento

não observado no PC, e também à palha que é depositada na superfície do solo em PD. Deng & Tabatabai (1996) encontraram correlação positiva entre a atividade da urease, C orgânico e N total do solo. Segundo Martens et al. (1992) a maior concentração de matéria orgânica no solo pode aumentar a atividade das enzimas devido ao maior grau de estabilização das enzimas pelas substâncias húmicas e pelo incremento da biomassa microbiana resultante do incremento da concentração de C orgânico no solo.

TABELA 3.10 Atividade da urease em mata, preparo convencional e plantio direto em diferentes datas e profundidades.

Profundidade m	Atividade da urease					Média
	Mata	PC-C ¹	PC-D	PD-C	PD-D	
	mg N-NH ₄ ⁺ kg ⁻¹ S 2 h ⁻¹					
	----- 22/09 (10 Dap) ⁵ -----					
0-0,05	468	32 ns ²	34 ns	120 a	73 a	64 ³
0,05-0,1	546	31	30	83 b	59 b	52
0-0,1	507	31 C ²	32 BC	102A	66B	
	----- 10/10 (28 Dap) -----					
0-0,05	--	27 ns	25 ns	109 a	81 a	61 ³
0,05-0,1	--	24	32	47 b	43 b	36
0-0,1	--	25 B	29 B	78 A	62 A	
	----- 27/10 (45 Dap) -----					
0-0,05	--	19	17	49	37	31 ns ⁴
0,05-0,1	--	19	18	46	41	31
0-0,1	--	19 B	18 B	47 A	39 A	
	----- 30/11 (79 Dap) -----					
		PC-C-0 ¹	PC-C-160	PD-C-0	PD-C-160	
0-0,05	--	22 ns	14 ns	73 a	67 a	44 ³
0,05-0,1	--	25	17	34 b	31 b	27
0-0,1	--	23 B	16 B	54 A	49 A	

¹Preparo convencional e plantio direto com cobertura dos resíduos de nabo forrageiro (PC-C, PD-C), descoberto onde os resíduos de nabo forrageiro foram removidos (PC-D, PD-D), sem N em cobertura (PC-C-0, PD-C-0) e com 160 kg ha⁻¹ de N em cobertura (PC-C-160, PD-C-160); ²letras minúsculas comparam médias na coluna e letras maiúsculas na linha (teste de Tukey P≤0,05; ³houve interação entre tratamentos e profundidade; ⁴não houve interação entre tratamentos e profundidade; ⁵dias após o preparo do solo.

Por outro lado, a cobertura do solo com resíduos de nabo forrageiro aumentou a atividade da urease, sendo este efeito restrito à camada superficial na primeira avaliação (22/09) em PD, não afetando a atividade desta enzima no solo em PC (Tabela 3.10). Incremento da atividade enzimática pela utilização de adubos verdes foi citado por Bandick & Dick (1999). Bolton et al. (1985) destacaram aumento da atividade enzimática em sistema de rotação de cultura que incluem leguminosas como planta de cobertura, o qual pode ser devido à disponibilidade de material vegetal de melhor qualidade, que possibilita alta atividade microbiana.

Em relação à adição de N mineral (fertilizante) não foi identificado nenhum efeito na atividade da urease em ambos sistemas de preparo do solo (Tabela 3.10), o que pode estar relacionado, ao menos em parte, ao período de 21 dias transcorrido da aplicação de N a amostragem de solo.

3.3.4 Volatilização de N-NH₃ pela aplicação de uréia em diferentes sistemas de preparo do solo

A volatilização de N-NH₃ foi superior em PD em relação ao PC (Tabela 3.11). No PC não houve diferenças na volatilização entre as doses de N aplicadas, alcançando uma média de 2,5 kg ha⁻¹, porém em PD houve um incremento de 0,18 kg ha⁻¹ de N-NH₃ volatilizado por kg ha⁻¹ de N-uréia adicionado ($y=0,47+0,18X$ $R^2=0,99^{**}$). Este comportamento em parte deve estar relacionado à maior atividade da urease encontrada no solo em PD (Tabela 3.10). A maior atividade da urease produz uma maior taxa de hidrólise da uréia que conduz à elevação do pH e potencializa a volatilização de N-NH₃.

TABELA 3.11 Volatilização acumulada de N-NH₃ pela aplicação de uréia na adubação de cobertura do milho em sistema de preparo convencional e plantio direto.

Dose N-uréia ¹ --- kg ha ⁻¹ ---	Volatilização acumulada de N-NH ₃				
	Preparo convencional		Plantio direto		Média ³
		% ²	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹
0	0,7 ns ⁴	--	1,1 c	--	0,9
80	1,3	1	13,5 b	14	7,4
160	5,6	3	29,8 a	18	17,7
Média	2,5 B ⁴		14,8 A		

¹N-uréia aplicadas numa vez; ²Percentual de N volatilizado da dose aplicada; ³houve interação entre sistema de preparo e dose de N; ⁴letras minúsculas comparam médias na coluna e letras maiúsculas na linha (teste de Tukey $P \leq 0,05$).

Na Figura 3.5 verifica-se a maior taxa de volatilização no sistema PD, nas duas doses de N avaliadas, em relação ao PC. Esta maior taxa de volatilização produziu a maior volatilização acumulada verificada no PD (Tabela 3.11). Além da maior atividade da urease verificada no PD, a presença de palha na superfície do solo neste sistema de preparo poderia estar limitando o contato uréia – solo, restringindo a sua dissolução e difusão no solo, potencializando a volatilização (Rodrigues & Kiehl, 1992).

Os picos de volatilização aconteceram entre o terceiro e quinto dia no PC e entre o primeiro e terceiro dia no PD após a aplicação da adubação nitrogenada (Figura 3.5). Assim, considerando as duas doses

adicionadas, 37 e 63% da volatilização acumulada já tinha ocorrido aos cinco dias, e, 74 e 91% aos dez dias, respectivamente, para PC e PD. Vários pesquisadores citam que as perdas de $N-NH_3$ ocorrem a partir das primeiras horas da aplicação da uréia, alcançando taxas máximas nos primeiros dias após a aplicação (Volk, 1959; Ernst & Massey, 1960; Da Ros et al., 2005).

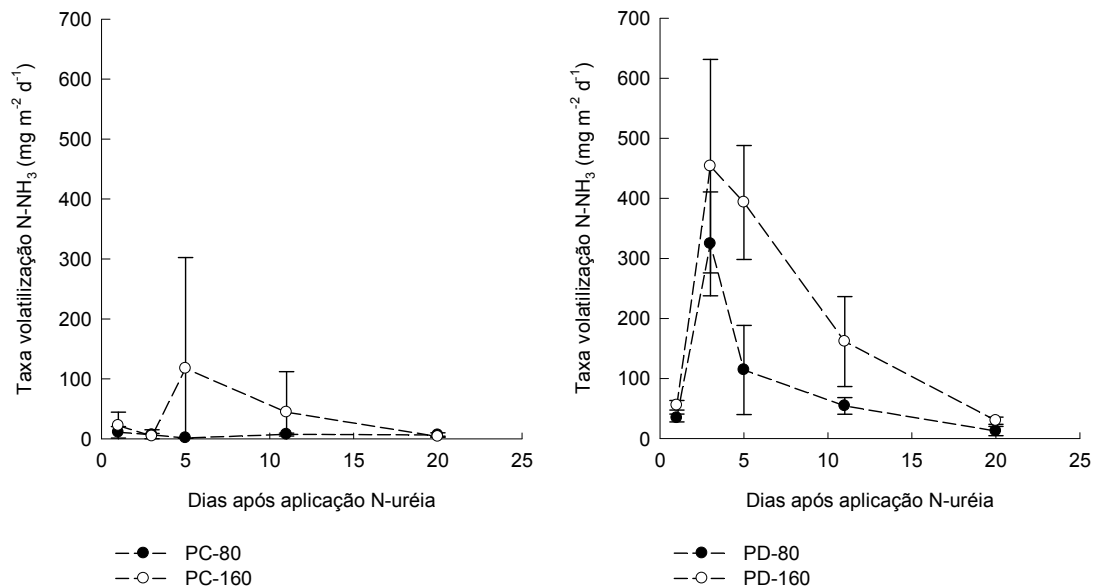


FIGURA 3.5 Taxa de volatilização de $N-NH_3$ nas doses 80 e 160 $kg\ ha^{-1}$ de N-uréia aplicadas na adubação de cobertura do milho, nos sistemas de preparo do solo, PC (a) e PD (b). Barras verticais, em cada data, representa o desvio padrão da média.

Considerando a precipitação, a avaliação da volatilização de $N-NH_3$ ocorreu em condições meteorológicas favoráveis para este processo, pois o primeiro evento de chuva ocorreu aos 10 dias após a aplicação da uréia (18,2 mm), não existindo o efeito de incorporação do adubo no solo via chuva até essa data (Apêndice 1). Bouwmeester et al. (1985) não detectaram nenhuma perda de N por volatilização aplicando uréia em superfície com solo relativamente seco, sendo realizada posteriormente uma irrigação de 24 mm num período de 15 minutos.

Por outro lado, a umidade do solo na camada 0-0,05 m no momento da aplicação foi de 0,55 e 0,34 $m^3\ m^{-3}$ e a umidade média nos primeiros cinco dias após a aplicação de 0,458 e 0,261 $m^3\ m^{-3}$, respectivamente, para PD e PC. A partir dos dados da umidade foi determinada uma evaporação teórica de 7,8 e 5,5 mm da camada 0-0,05 m,

respectivamente, para estes sistemas de preparo. Vlek & Carter (1983) citam que baixa umidade do solo no momento da aplicação da uréia limita a sua dissolução e hidrólise, reduzindo a volatilização de amônia. Por outro lado Stanley & Smith (1956) citam a necessidade da umidade do solo como meio de transporte do $N-NH_3$ até a superfície do solo, para sua posterior perda na atmosfera. Além da cobertura da palha e da maior atividade da urease, a maior umidade do solo e de evaporação também pode ter contribuído para a maior taxa de volatilização determinada no PD.

As médias das temperaturas mínimas e máximas e a temperatura média nos primeiros dez dias de avaliação foram, respectivamente, 12,5, 24,6 e 18°C, não existindo condições significativas de limitação tanto na hidrólise da uréia como na volatilização da amônia. Neste sentido, Fisher & Park (1958) reportaram que após duas semanas de aplicação da uréia, 50% foi hidrolisada a 10°C e 85% entre 20 e 30°C. Em relação à volatilização de $N-NH_3$ e o efeito da temperatura, Ernst & Massey (1960) determinaram incremento de 1% por cada 8°C de aumento, avaliado numa faixa de temperatura de 7 a 32°C. Entretanto, no presente estudo, a maior temperatura média do solo a 0,025 m de profundidade em PC (28,0°C) em relação ao PD (24,6°C) não determinou maior volatilização para o PC, indicando que outros fatores foram mais importantes e ocasionaram maior perda de $N-NH_3$ pela aplicação de uréia em PD. Também foi verificado que a temperatura do solo a 0,025 m aumentou em 1,3°C dentro do coletor, em relação à área adjacente sem coletor, na média dos sistemas de preparo.

Utilizando metodologia semelhante, maior volatilização acumulada em PD, em relação ao PC, também foi encontrada por Lara Cabezas et al. (1997), sendo os percentuais de perdas, respectivamente, de 78 e 30,7%, superiores aos encontrados neste trabalho. Os percentuais de volatilização acumuladas citados por Da Ros et al. (2005) de 17% com cobertura de aveia e solo descoberto se aproximam dos valores encontrados neste trabalho.

3.3.5 Nitrogênio mineral do solo durante o ciclo do milho submetido a diferentes sistemas de preparo do solo

3.3.5.1 Dinâmica do nitrogênio mineral na camada superficial do solo sem adubação nitrogenada

O teor de amônio foi superior em PD em relação ao PC na camada 0-0,05 m, em quatro das seis datas avaliadas (Tabela 3.12 e Figura 3.6). Este resultado possivelmente seja relacionado à maior concentração de matéria orgânica, N na biomassa microbiana, atividade enzimática e N total na camada superficial no sistema PD. A matéria orgânica aumenta a capacidade de troca de cátions e, em consequência, a adsorção de amônio trocável, e, conjuntamente com as outras variáveis, incrementam o potencial de mineralização de N (Vargas & Sholles, 2000; Soon et al., 2001). Na camada 0,05-0,1 m foi encontrada concentração de amônio significativamente maior ($P \leq 0,05$) em PD apenas aos 53 dias após o manejo da planta de cobertura (Dam). Já na camada 0,1-0,2 m não foi detectada diferença entre os sistemas de preparo durante o ciclo do milho. As limitadas diferenças nas profundidades 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m podem dever-se à ausência de diferença na concentração de C e N total do solo entre os sistemas de preparo para estas camadas (Tabela 3.5).

A maior concentração de amônio na camada superficial do tratamento PD é coerente com a manutenção na superfície dos resíduos das culturas, ao passo que em PC, os mesmos foram incorporados na camada 0-0,2 m. Além disso, a quantidade de matéria seca e de N total incorporado pelo nabo forrageiro em PC foram inferiores, respectivamente, em 5 Mg ha^{-1} e 47 kg ha^{-1} . A partir dos resultados verifica-se que em PD com resíduo do nabo com relação C/N de 40 e mantido na superfície propiciou mineralização adicional de N a partir dos 36 Dam na camada 0-0,05 m em relação ao PD descoberto e ao PC (Tabela 3.5). Por outro lado, diferença significativa na concentração do amônio pelo efeito do nabo forrageiro, que antecedeu o milho em relação à parcela descoberta, foi identificada apenas em PD e na camada 0-0,05 m aos 36 e 53 Dam, não sendo encontradas diferenças em PC nas três profundidades estudadas e a pesar que o resíduo de nabo apresentasse menor relação C/N (32) neste sistema de preparo (Tabela 3.12 e Figura 3.6). Sainju et al. (2007)

verificaram incremento na concentração de amônio após a incorporação de plantas de cobertura, demonstrando que é próprio da mineralização do N retido na massa vegetal.

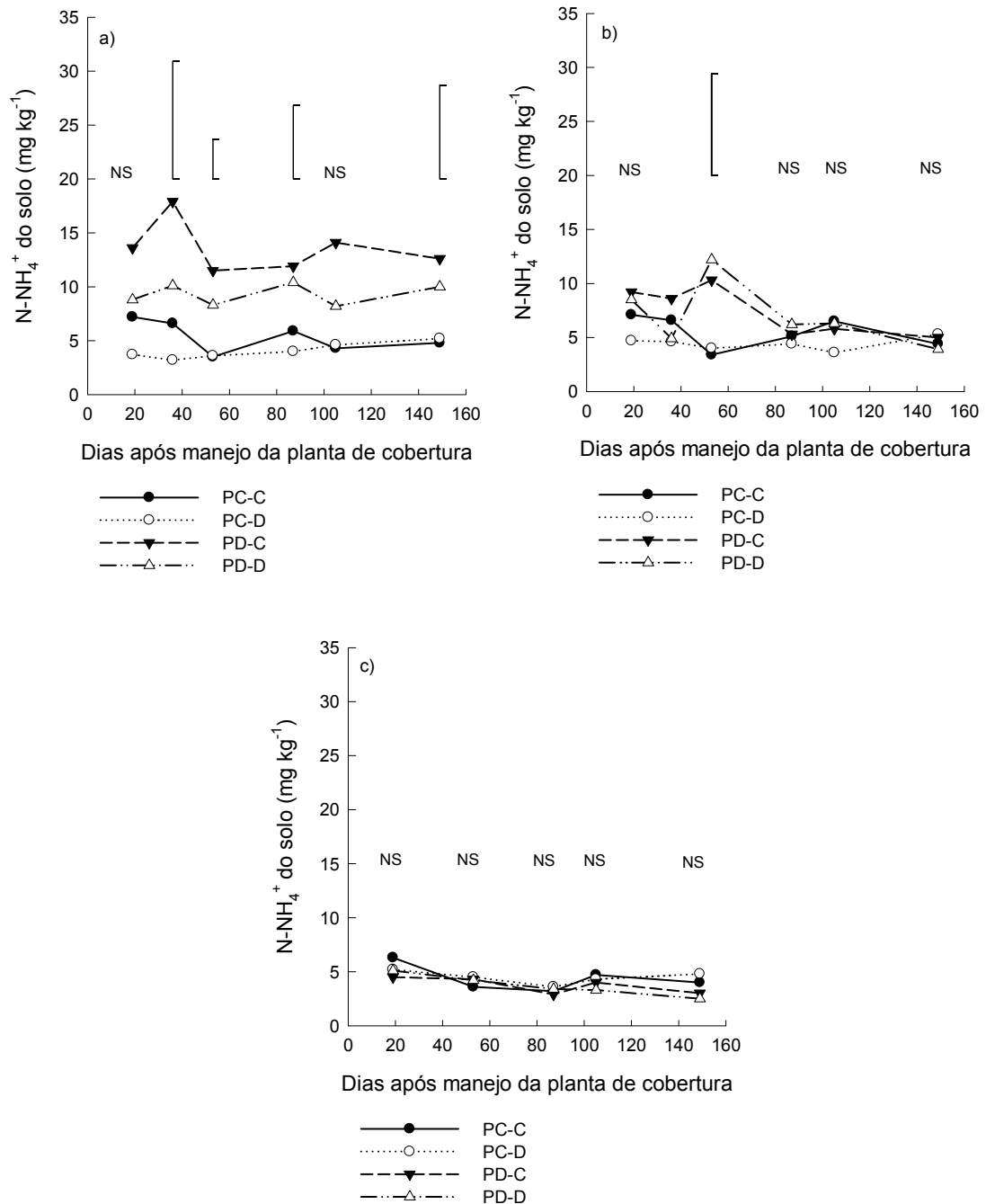


FIGURA 3.6 Concentração de amônio no solo durante o ciclo do milho em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) em parcelas com cobertura (PC-C e PD-C) e descoberta (PC-D e PD-D), nas profundidades 0-0,05 m (a), 0,05-0,1 m (b) e 0,1-0,2 m (c). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa segundo teste de Tukey $P \leq 0,05$.

TABELA 3.12 Teor de nitrogênio mineral do solo nas profundidades 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), durante o ciclo do milho.

Trat.	N mineral do solo																	
	Dias após manejo do nabo forrageiro						Dias após manejo do nabo forrageiro						Dias após manejo do nabo forrageiro					
	19 ²	36	53	87	105	149	19	36	53	87	105	149	19	36	53	87	105	149
	0-0,05 m						0,05-0,1 m						0,1-0,2 m					
----- mg kg ⁻¹ -----																		
N-NH ₄ ⁺																		
PC-C ¹	7,2ns	6,6 b ³	3,5 c	5,9 b	4,3ns	4,8 b	7,1ns	6,6ns	3,4 b	5,1ns	6,5ns	4,4ns	6,3ns	--	3,6ns	3,2ns	4,7ns	4,9ns
PC-D	3,7	3,2 b	3,6 c	4,0 b	4,6	5,2 b	4,7	4,6	4,0 b	4,4	3,6	5,3	5,2	--	4,5	3,6	4,3	4,8
PD-C	13,6	17,9 a	11,5 a	11,9 a	14,1	12,6 a	9,2	8,6	10,3 a	5,3	5,8	5,0	4,5	--	4,3	2,9	4,0	3,0
PD-D	8,8	10,1 b	8,3 b	10,4 a	8,2	10,0 a	8,5	4,9	12,2 a	6,2	6,3	3,9	5,1	--	4,2	3,4	3,3	2,5
Média	8,3	9,4	6,7	8,0	7,8	8,1	7,4	6,2	7,5	5,2	5,6	4,6	5,3	--	4,2	3,3	4,0	3,8
CV %	51	41	20	30	54	38	35	79	45	45	39	36	20	--	24	35	18	37
N-NO ₃ ⁻																		
PC-C	4,1 b ³	16,6 b	18,5 b	10,4ns	5,6 ns	1,5ns	3,5 b	13,5ns	16,9ns	22,1 a	3,2ns	1,0ns	4,4 b	--	20,0ns	23,6 a	3,7ns	1,0ns
PC-D	2,2 b	13,6 b	19,8 b	7,9	4,0	0,4	3,5 b	9,1	15,1	11,1 b	1,4	0,5	4,5 b	--	18,5	6,3 b	1,7	0,5
PD-C	6,8 a	32,3 a	54,3 a	5,1	6,0	1,0	5,8 b	14,8	30,1	5,5 b	4,8	1,4	3,5 b	--	15,8	4,4 b	2,1	0,7
PD-D	9,2 a	30,8 a	51,8 a	5,9	4,1	2,3	9,7 a	16,6	29,7	8,1 b	1,9	1,3	9,0 a	--	21,1	8,6 b	2,5	0,5
Média	5,6	23,3	36,1	7,3	4,9	1,3	5,6	13,5	22,9	11,7	2,8	1,0	5,4	--	18,8	10,7	2,5	0,6
CV %	36	27	27	47	95	48	39	19	37	46	115	80	11	--	36	25	70	71
N-NH ₄ ⁺ + N-NO ₃ ⁻																		
PC-C	11,3 b	23,2 b	22,1 b	16,1ns	10,0ns	6,3 b	10,7 b	20,0ns	20,3ns	27,2ns	9,7ns	5,4ns	10,7 b	--	23,5ns	26,8 a	8,4ns	5,9ns
PC-D	5,9 b ³	16,7 b	23,4 b	11,9	8,6	5,6 b	8,2 b	13,8	19,1	15,5	5,0	5,8	9,7 b	--	23,0	9,9 b	6,0	5,3
PD-C	20,4 a	50,2 a	65,8 a	16,9	20,0	13,5 a	14,9 a	23,4	40,4	10,8	10,5	6,4	8,0 c	--	20,1	7,2 b	6,1	3,7
PD-D	18,0 a	40,9 a	60,1 a	16,3	12,3	12,2 a	18,2 a	21,4	41,9	14,2	8,2	5,2	14,1 a	--	25,4	11,9 b	5,9	3,0
Média	13,9	32,7	42,8	15,3	12,7	9,4	13,0	20,0	30,4	16,9	8,4	5,7	10,6	--	23,0	14,0	6,6	4,5
CV %	29	20	23	31	56	35	16	29	38	43	49	42	7	--	31	26	35	27

¹Preparo convencional e plantio direto com cobertura dos resíduos de nabo forrageiro (PC-C, PD-C), descoberto onde os resíduos de nabo forrageiro foram removidos (PC-D, PD-D); ²respectivamente, 23/09, 10/10, 27/10, 30/11, 18/12/2006 e 31/01/2007; ³letras minúsculas comparam médias na coluna (teste de Scott-knott P≤0,05).

Também se verificou que o teor de amônio apresentou tendência de permanecer constante durante o ciclo do milho em ambos sistemas de preparo nas três camadas avaliadas (0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m). Em relação à profundidade, em PD o teor de amônio diminuiu com a profundidade, sendo que em PC permaneceu invariável. A diminuição do amônio com a profundidade em PD corresponde com a diminuição da matéria orgânica, do N total, do N da biomassa microbiana e da atividade enzimática, ao passo que em PC os teores destas variáveis não apresentaram diferenças significativas entre as profundidades (0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m).

O teor de nitrato foi superior no PD na camada 0-0,05 m aos 19, 36 e 53 Dam (respectivamente 11, 28 e 45 dias após o preparo - Dap), sendo que sua concentração foi 2 e 2,8 vezes superior nestas duas últimas datas, em relação ao PC (Tabela 3.12 e Figura 3.7). Estes resultados indicam maior mineralização do N total do solo e/ou do N do resíduo vegetal adicionado e/ou da nitrificação do amônio em PD. Esta tendência pode estar relacionada com a melhor condição química do solo como o pH (Tabela 3.2), maior estoque de N total, do N na biomassa microbiana, da atividade enzimática e da umidade do solo na camada mais superficial do solo em PD. Também em PD com maior matéria orgânica na camada superficial, a disponibilidade de amônio deve ser contínua, favorecendo a atividade e os níveis da população de nitrificadores. Salet (1994) avaliando a mesma camada em experimento com 8 anos, sobre um Latossolo, também encontrou maior concentração de N mineral na solução do solo até antes da primeira adubação nitrogenada de cobertura em PD em relação ao PC. Soon et al. (2001) encontraram que foi mineralizado aproximadamente 50 kg ha^{-1} a mais de N em PD em relação ao PC durante o período de crescimento do trigo e indicam que este resultado correspondeu com a maior biomassa microbiana, estoque de N orgânico e N mineralizável na camada superficial do solo em PD.

Nas camadas 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m em PD, verifica-se a mesma tendência encontrada na camada superficial, de incremento do nitrato nas mesmas datas (19, 36 e 53 Dam), porém já sem diferença significativa em relação ao PC (Tabela 3.12). Em PC verificou-se maior teor de nitrato aos 87 Dam (79 Dap) somente na parcela com planta de cobertura, em relação ao PD e ao PC sem planta de cobertura, seja a 0,05-0,1 m, bem como a 0,1-0,2 m.

Este pico de teor de nitrato nas camadas mais profundas do tratamento PC deve estar relacionado à mineralização e nitrificação do N do resíduo incorporado em profundidade pelo preparo. Este pico de nitrato em PC ocorreu em época mais tardia 87 Dam (79 dap) daquela identificado no PD na camada superficial, provavelmente, devido a menor taxa de mineralização e nitrificação ou por imobilização inicial de N pela incorporação ao solo de resíduo de relação C/N igual a 32, seguida de remineralização para esta data.

Aulakh et al. (1991) ao incorporar ao solo resíduos vegetais com relação C/N de 82, 39 e 43, verificaram aos 17 dias diminuição de N mineral do solo em todos os tratamentos em relação à testemunha sem resíduo, não havendo esta diferença, quando colocados na superfície, indicando que a incorporação de resíduos de alta relação C/N possibilitou inicialmente maior imobilização de N. Já aos 35 dias não houve diferenças entre os tratamentos incorporados e deixados em superfície e a testemunha apresentou maior concentração de N mineral. Por outro lado, ao utilizarem ervilhaca com relação C/N igual 8, encontraram maior concentração de N mineral no tratamento incorporado em relação ao deixado na superfície, e em ambos os casos observaram maiores teores de N mineral do que na testemunha, aos 17 e 35 dias. Estes resultados indicam a existência de interação entre o tipo de resíduo e a forma de manejo realizado (incorporado ou mantido em superfície).

O teor de N mineral do solo (amônio + nitrato) foi superior na camada 0-0,05 m em PD em 11, 26 e 40 mg kg⁻¹ aos 19, 36 e 53 Dam, em relação ao PC, período anterior à alta absorção de N pelo milho (Tabela 3.12). Deng et al. (2000) encontraram que o potencial de mineralização de N e o N mineral do solo, estiveram estreitamente relacionados com o N da biomassa microbiana, obtendo-se aumentos de três ou mais vezes do N potencialmente mineralizável por cada unidade de aumento de N biomassa. No PC com planta de cobertura, a concentração do N mineral foi superior na profundidade 0,1-0,2 m aos 87 Dam (79 dap), pelas causas já discutidas anteriormente.

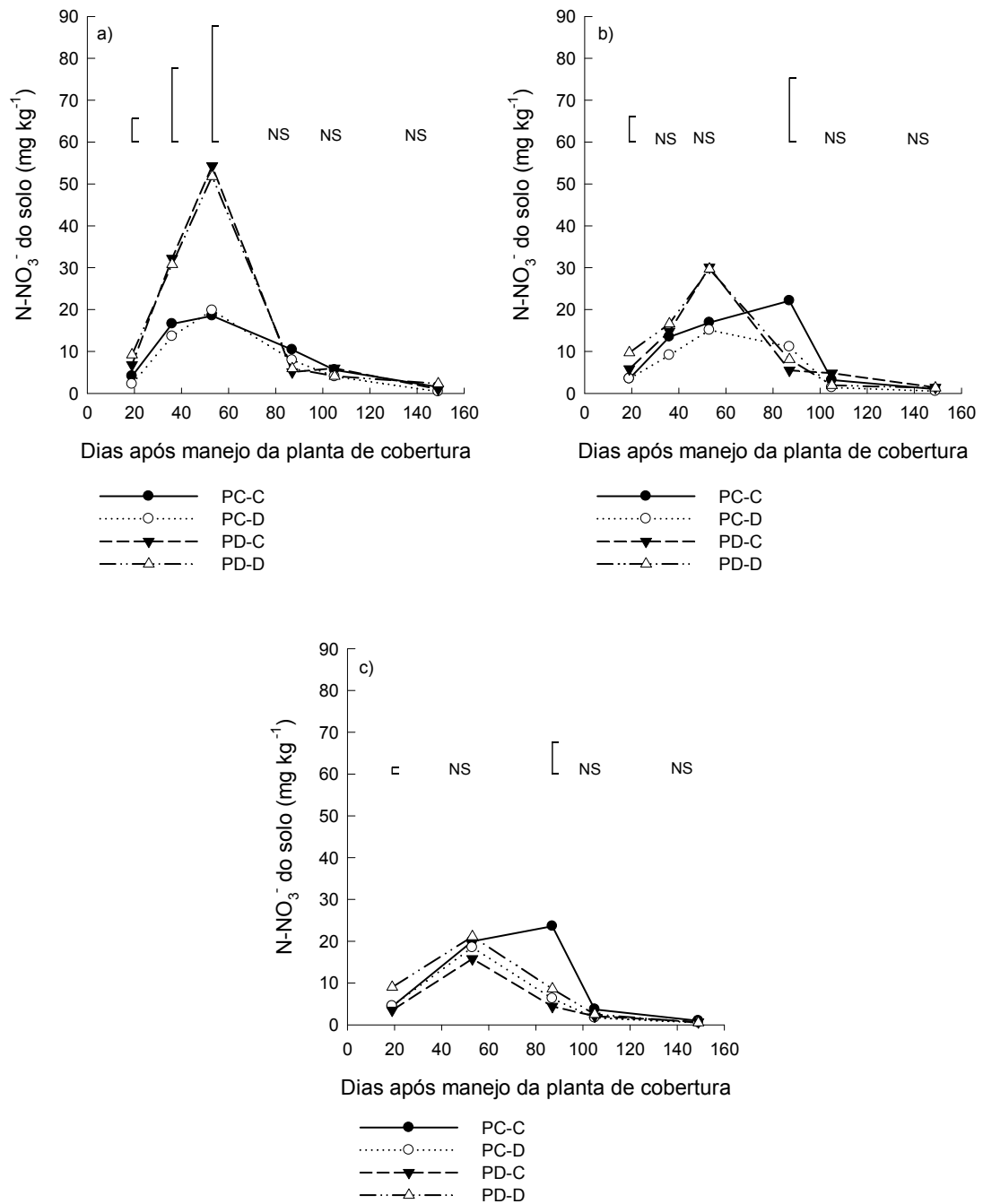


FIGURA 3.7 Concentração de nitrato no solo durante o ciclo do milho em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) em parcelas com cobertura (PC-C e PD-C) e descoberta (PC-D e PD-D), nas profundidades 0-0,05 m (a), 0,05-0,1 m (b) e 0,1-0,2 m (c). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa segundo teste de Tukey $P \leq 0,05$.

As variações apresentadas na concentração de N mineral no solo (amônio + nitrato) foram, principalmente, devido à dinâmica do nitrato, indicando que o amônio gerado no processo de mineralização é rapidamente nitrificado, não sendo constatados picos de produção de amônio e sim de

nitrito. Estes dados evidenciam processos de nitrificação apesar do baixo pH, 5,3 e 4,9, respectivamente, em PD e PC na camada 0-0,05 m. O menor pH em PC pode ter contribuído para a menor concentração nitrito e no pico de nitrito mais tardio neste sistema de preparo. Segundo Silva et al. (1994) as taxas de nitrificação caem rapidamente em valores de pH menores que 6,0, tornando-se bastante reduzidas em solo com pH abaixo de 5,0. Neste sentido Silva & Vale (2000) avaliando cinco solos encontraram uma produção média de 11,6 mg kg⁻¹ de N-nitrito quando não foi adicionado calcário e de 62,7 mg kg⁻¹ de N-nitrito onde a acidez foi corrigida. Também Kreutzer (1995) assinalam que as maiores taxas de nitrificação têm sido obtidas em solos onde a acidez do solo foi corrigida.

Por outro lado, verifica-se que, em ambos sistemas de preparo, o nitrito é o maior componente percentual do N mineral antes do início da alta taxa de absorção de N pelo milho (71 a 84% do N mineral), permanecendo posteriormente em nível mínimo e inferior ao amônio (48 a 14% do N mineral). Menor concentração de amônio no solo pode estar relacionada ao incremento na nitrificação, próprio de incremento da temperatura ou por estiagem que reduz a mineralização do N orgânico do solo a amônio e, por outro lado, reduz o movimento do nitrito no perfil do solo (Sainju et al., 2007). A predominância do amônio em relação ao nitrito é observada, em geral, em ambientes com baixo pH, baixa temperatura e alta umidade. Poletto et al. (2008) em avaliação sazonal dos teores de amônio e nitrito em parcelas destinadas à produção de grãos em PD e em campo nativo, em Argissolo Vermelho, não detectaram diferença no teor de N mineral entre as parcelas avaliadas, sendo a proporção de nitrito e amônio de aproximadamente 1:1. Esta relação observada pode estar influenciada pela profundidade de amostragem que foi 0-0,2 m que pode ter diluído o efeito das concentrações ao longo da camada.

Os resultados obtidos no presente estudo indicam maior e mais rápida liberação de N na camada superficial do solo, do nabo forrageiro e/ou do N orgânico do solo, em PD considerando a maior disponibilidade inicial de N mineral neste sistema de preparo. O nabo forrageiro incorporado no PC produziu o máximo incremento de nitrito aos 87 dias (79 dias), na camada 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m, indicando provável processo de imobilização inicial e remineralização para esta data. A análise do N da biomassa microbiana não

discriminou estas tendências, provavelmente pelas limitações já discutidas. Na camada mais superficial (0-0,05 m) no tratamento PC não detectou-se este pico de nitrato provavelmente pela absorção de N pelo milho, considerando que esta data corresponde aos 64 dias após a semeadura do milho. Entretanto, as tendências destes dados indicam a necessidade da semeadura do milho próximo ao manejo do nabo forrageiro e ao preparo do solo, observando a alta disponibilidade de N já aos 36 Dam na camada superficial no PD, ao passo que em PC o pico de disponibilidade ocorreu aos 87 Dam, mas com a diferença de que é até a camada 0,1-0,2 m. Semeaduras tardias potencializariam perdas do N em profundidade em ambos sistemas de preparo, pois o nitrato é a forma de N mineral que predomina em ambos sistemas de preparo, antes da alta taxa de absorção de N pelo milho.

3.3.5.2 Dinâmica do nitrogênio mineral do solo após a adubação nitrogenada

A adubação nitrogenada de cobertura do milho realizada com uréia numa única aplicação 43 dias após semeadura do milho (Das) (66 Dam), modificou significativamente a dinâmica de N mineral do solo em ambos sistemas de preparo, em relação às parcelas sem adubação.

A concentração média de amônio 21 dias após da adubação nitrogenada (Dan-U) não foi diferente entre os sistemas de preparo, considerando as três doses de N e as profundidades 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m (Tabela 3.13). Porém, houve um incremento significativo de amônio no solo em PC na camada 0-0,05 m com o aumento da doses de N, comportamento não observado em PD. A ausência de incremento da concentração de amônio sob PD pela aplicação de N-uréia aos 21 Dan-U pode ser produto da maior taxa de nitrificação, como verificada anteriormente na adição de resíduos do nabo, ou da maior volatilização de N-NH₃ ou também por maior absorção de amônio pelo milho, neste sistema de preparo. Em PC o estoque de amônio da camada 0-0,2 m apresentou relação direta com as doses de N-uréia aplicadas, ($y=8,4+0,31X$ $R^2=0,99^{**}$) (Anexo 4).

TABELA 3.13 Teor nitrogênio mineral do solo sob preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), 21 e 39 dias após aplicação de doses de N-uréia, nas profundidades 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m.

N-uréia	N mineral do solo																	
	----- 21 dias após aplicação N-uréia (30/11) -----									----- 39 dias após aplicação N-uréia (18/12) -----								
	PC	PD	Média	PC	PD	Média	PC	PD	Média	PC	PD	Média	PC	PD	Média	PC	PD	Média
	----- 0-0,05 m -----			----- 0,05-0,1 m -----			----- 0,1-0,2 m -----			----- 0-0,05 m -----			----- 0,05-0,1 m -----			----- 0,1-0,2 m -----		
kg ha ⁻¹	----- mg kg ⁻¹ -----									----- mg kg ⁻¹ -----								
	N-NH₄⁺									N-NH₄⁺								
0	5,9b ¹	11,9ns	8,9 ²	5,1	5,3	5,2ns ³	3,2b	2,9ns	3,0 ²	4,3	14,1	9,2ns ³	6,5	5,8	6,1ns ³	4,7	4,0	4,3ns ³
80	38,7ab	20,7	29,7	12,8	4,9	8,9	6,8a	4,7	5,7	5,5	10,0	7,7	5,0	4,9	5,0	4,4	2,8	3,6
160	73,0a	21,0	47,0	26,6	5,1	15,9	8,4a	2,6	5,5	6,3	10,8	8,6	9,5	5,5	7,5	4,9	3,3	4,1
Média	39,2NS	17,8		14,9NS	5,1		6,1NS	3,4		5,4NS	11,6		7,0NS	5,4		4,6A ¹	3,4B	
	N-NO₃⁻									N-NO₃⁻								
0	10,4b	5,1b	7,8 ²	22,1	5,5	13,8b ³	23,6	4,4	14,0b ³	5,6c	6,0ns	5,8 ²	3,2c	4,8ns	4,0 ²	3,7	2,1	2,9b ³
80	41,5a	20,3b	30,9	78,2	24,7	51,4a	38,8	17,3	28,1a	39,0b	2,7	20,9	33,4b	1,9	17,6	24,1	2,4	13,3b
160	40,8a	49,5a	45,1	80,2	38,6	59,4a	44,5	23,2	33,8a	59,5a	6,6	33,0	54,2a	9,6	31,9	55,0	22,1	38,6a
Média	30,9NS	25,0		60,2A	22,9B		35,6A	15,0B		34,7A	5,1B		30,2NS	5,4		27,6NS	8,9	
	N-NH₄⁺ + N-NO₃⁻									N-NH₄⁺ + N-NO₃⁻								
0	16,1	16,9	16,5b ³	27,2	10,8	19,0b ³	26,8	7,2	17,0b ³	10,0c	20,0ns	15,0 ²	9,7b	10,5ns	10,1 ²	8,4b	6,1ns	7,2 ²
80	80,3	41,0	60,6a	91,1	29,5	60,3a	45,6	21,9	33,8a	44,6b	12,7	28,6	38,4a	6,8	22,6	28,5b	5,2	16,8
160	113,8	70,5	92,2a	106,8	43,7	75,3a	52,9	25,8	39,4a	65,8a	17,4	41,6	63,8a	15,1	39,4	59,9a	25,4	42,7
Média	70,1NS	42,8		75,0A	28,0B		41,8A	18,3B		40,1A	16,7B		37,3NS	10,8		32,2NS	12,2	

¹Letras minúsculas e "ns" comparam médias na coluna e letras maiúsculas e "NS" na linha (teste de Tukey P≤0,05); ²houve interação entre tratamentos e dose de N; ³não houve interação entre tratamentos e dose de N.

Na avaliação realizada aos 39 Dan-U não constatou-se qualquer diferença na concentração de amônio pela aplicação de N em ambos sistemas de preparo, provavelmente pela nitrificação da maior concentração de amônio encontrada no PC na camada superficial aos 21 dias Dan-U (Tabela 3.13).

O teor do nitrato no solo aos 21 Dan-U incrementou-se significativamente em ambos sistemas de preparo nas três profundidades pela adubação nitrogenada (Tabela 3.13), indicando a hidrólise e nitrificação do N adicionado via uréia e o movimento do nitrato em profundidade considerando que o mesmo foi aplicado a lanço sem incorporação. O estoque médio de nitrato da camada 0-0,2 m foi superior em PC aos 21 Dan-U (Anexo 4) e a concentração média do nitrato foi 2,6 e 2,4 vezes superior neste sistema de preparo nas camadas 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m, respectivamente. A maior concentração de nitrato em PC não foi definida exclusivamente pela adubação nitrogenada, observando que este mesmo comportamento foi verificado na parcela sem adubação, pois nesta data ocorreu o pico de nitrato verificado neste tratamento (87 Dam e 79 Dap) (Figura 3.7).

Aos 39 Dan-U verificou-se ainda incremento de nitrato no PC pela adubação nitrogenada nas camadas 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m, sendo este comportamento verificado apenas na última profundidade no PD. Entretanto, ainda foi observada a tendência de maior teor nas três profundidades e maior estoque (camada 0-0,2 m) de nitrato em PC, como constatado aos 21 Dan-U (Tabela 3.13 e Anexo 4), porém com a diferença de que a concentração de nitrato nas testemunhas já eram semelhantes, indicando que o maior nitrato em PC deve-se à adubação nitrogenada. Estes resultados indicam que houve maior absorção de N pelo milho ou maior perda de N aplicado em PD do que em PC.

A concentração média de N mineral (amônio + nitrato), considerando as três doses de N foi superior em PC em relação ao PD, nas profundidades 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m aos 21 Dan-U (87 Dam), não sendo verificada diferença na camada 0-0,05 m entre os sistemas de preparo (Tabela 3.13). No entanto aos 39 Dan-U (105 Dam) o teor médio de N mineral foi superior em PC na camada superficial. Na profundidade 0-0,2 m apesar de não haver diferença significativa, o estoque de N mineral foi 2,2 e 3,2 vezes superior em PC em relação ao PD, respectivamente, aos 21 e 39 Dan-U,

indicando maior disponibilidade de N mineral no PC, quando aplicado N-uréia. Carter & Rennie (1987) e Varco et al. (1993) também reportaram que o PD reduziu a disponibilidade de N dos fertilizantes adicionados, indicando como provável causa maior imobilização microbiana. Entretanto, na avaliação do N da biomassa microbiana, como discutido anteriormente, foi encontrada diminuição nesta variável com o aumento da dose de N-uréia 21 Dan-U (Tabela 3.7), devendo, então, existir outras razões para o comportamento observado para o decréscimo na disponibilidade de N em PD. Uma das causas identificadas para este resultado foi a maior volatilização de N-NH₃ em PD com relação ao PC, más também podem estar influenciando a absorção de N pelo milho e o processo de lixiviação.

Ao avaliar o N mineral do solo (amônio + nitrato) na camada 0-0,6 m, aos 39 Dan-U, verifica-se maior concentração em todas as profundidades em PC com 160 kg ha⁻¹ de N-uréia (PC-160) em relação ao mesmo sistema de preparo sem adubação nitrogenada (PC-0), assim como em relação ao PD com adição de 0 e 160 kg ha⁻¹ de N-uréia (PD-0 e PD-160) (Tabela 3.14). Considerando o estoque de N mineral do solo na camada 0-0,6 m constata-se a maior quantidade em PC-160 em relação ao PD-160, sendo esta diferença de 168 kg ha⁻¹ de N mineral, sendo que o estoque de N mineral em PD-160 não se diferenciou significativamente de PD-0 e PC-0 (Anexo 5).

O menor estoque de N mineral em PD em relação ao PC com a aplicação de uréia, em parte pode ser explicada pelo maior acúmulo de N no milho em PD. O acúmulo de N pelo milho foi superior em PD em 51 e 49 kg ha⁻¹ de N aos 15 Dan-U, ao passo que esta diferença aumentou para 90 e 101 kg ha⁻¹ aos 42 Dan-U, respectivamente, nas doses 80 e 160 kg ha⁻¹ de N-uréia (Anexo 1). Como já discutido, esta diferença na absorção de N pelo milho não foi exclusivamente determinada pelos sistemas de preparo, pois a população de milho nos tratamentos com adubação, em média foram superior em 20.000 plantas ha⁻¹ em PD. Outro fator que contribuiu para o menor estoque de N mineral em PD é a volatilização de N-NH₃, que foi superior em 10,7 e 23,8 kg ha⁻¹, respectivamente, para as doses de 80 e 160 kg ha⁻¹ de N-uréia, em PD em relação ao PC. A soma das diferenças de acúmulo de N no milho (42 Dan-U) e da volatilização de N N-NH₃ do PD em relação ao PC totaliza 125 kg ha⁻¹ de N no tratamento com 160 kg ha⁻¹ de N-uréia, inferior à diferença entre o PD

e PC no estoque de N mineral determinada na camada 0-0,6 m aos 39 Dan-U (168 kg ha⁻¹). A partir destes dados verifica-se que 43 kg ha⁻¹ de N não foram recuperados em PD, o que pode dever-se a processos de desnitrificação, e/ou de imobilização microbiana e/ou incorporação do N-Urêia a formas orgânicas do solo.

TABELA 3.14 Teor de N mineral do solo na camada 0-0,6 m, 39 e 83 dias após a adubação nitrogenada em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD).

Profund.	Teor de N mineral do solo					
	39 dias após aplicação N-urêia (Dan-U)				83 (Dan-U)	
	PC-0	PC-160	PD-0	PD-160	PC-160	PD-160
	----- mg kg ⁻¹ -----					
	----- N-NH ₄ ⁺ -----				----- N-NH ₄ ⁺ -----	
0-0,05	ns 4,3 NS	ns 6,3	a 14,1	a 10,8	ns 4,4 NS	a 11,1
0,05-0,1	6,5 NS	9,5	b 5,8	ab 5,5	4,2 NS	b 4,9
0,1-0,2	4,7 NS	4,9	b 4,0	b 3,3	4,0 NS	b 2,3
0,2-0,3	3,9 B	7,9 A	ab 8,3 A	ab 6,0 AB	3,6 NS	b 2,8
0,3-0,4	4,1 B	7,2 A	b 5,3 AB	b 3,1 B	3,4 NS	b 2,4
0,4-0,6	3,5 NS	4,7	b 4,2	b 4,3	1,1 NS	b 1,3
Média ²	4,2 C	6,2 A	6,0 AB	4,9 BC	2,9 NS	3,0
	----- N-NO ₃ ⁻ -----				----- N-NO ₃ ⁻ -----	
0-0,05	ns 5,6 B	a 59,5 A	ns 6,0 B	ns 6,6 B	b 2,8 NS	ns 3,7
0,05-0,1	3,2 B	a 54,2 A	4,8 B	9,6 B	b 2,4 NS	3,1
0,1-0,2	3,7 B	a 55,0 A	2,1 B	22,1 AB	b 2,9 NS	4,1
0,2-0,3	6,1 B	ab 44,2 A	3,0 B	7,5 B	b 6,4 NS	3,5
0,3-0,4	12,5 B	bc 28,4 A	1,5 B	7,3 B	a 23,1 NS	4,1
0,4-0,6	7,9 B	c 19,3 A	2,1 B	5,8 B	a 34,7 NS	4,3
Média ²	7,1 B	37,2 A	2,7 B	9,4 B	17,4 A	3,9 B
	----- N-NH ₄ ⁺ + N-NO ₃ ⁻ -----				----- N-NH ₄ ⁺ + N-NO ₃ ⁻ -----	
0-0,05	ns 10,0 B	a 65,8 A	ns 20,0 B	ns 17,4 B	b 7,2 NS	ns 14,8
0,05-0,1	9,7 B	a 63,8 A	10,5 B	15,1 B	b 6,5 NS	8,0
0,1-0,2	8,4 B	a 59,9 A	6,1 B	25,4 AB	b 6,8 NS	6,4
0,2-0,3	10,1 B	ab 52,1 A	11,3 B	13,5 B	b 10,0 NS	6,4
0,3-0,4	16,7 B	bc 35,6 A	6,8 B	10,4 B	a 26,5 NS	6,5
0,4-0,6	11,4 B	c 24,0 A	6,3 B	10,1 B	a 35,8 NS	5,6
Média ²	11,3 B	43,4 A	8,7 B	14,3 B	20,3 A	6,9 B

¹Letras minúsculas e "ns" comparam médias na coluna e letras maiúsculas e "NS" na linha em cada data de avaliação (teste de Tukey P≤0,05); ²média ponderada.

Em relação às formas em que permanece o N mineral do solo pela adição de N-urêia verificou-se diferentes tendências nos diferentes sistemas de preparo durante o ciclo do milho. Em PC sem adição de urêia e na camada 0-0,05 m a composição porcentual de amônio e nitrato são semelhantes, ao passo que em PD em média 67% do N mineral correspondeu ao amônio, em avaliações aos 87, 105 e 149 Dam (21, 39 e 83 Dan-U). Quando adicionado N-urêia na dose de 160 kg ha⁻¹, aos 21 Dan-U verificou-se que no PD inverte-se a relação passando a predominar o nitrato, ao passo que no PC predomina o nitrato só a partir dos 39 Dan-U. Quando avaliada a

composição porcentual das formas de N mineral aos 39 Dan-U no perfil 0-0,6 m com adição de uréia, verificou-se que 86% e 66%, respectivamente, em PC e PD encontraram-se na forma de nitrato, indicando a tendência de nitrificação neste solo em ambos sistemas de preparo. Estes dados indicam a necessidade da aplicação em dose e época adequada da adubação nitrogenada de maneira a evitar potenciais perdas de N em forma de nitrato.

Silva & Vale (2000) encontraram que os teores de remanescente da aplicação de uréia se mostraram altamente dependentes dos estoques de matéria orgânica do solo, sendo maior a conversão do N-amídico a amônio nos solos mais ricos em carbono. Estes pesquisadores também indicam que a atividade da urease é determinada pela habilidade dos colóides em efetuar a proteção desta enzima. O solo do presente estudo (Latosolo Bruno) apresenta alto conteúdo de matéria orgânica, assim como de argila, pelo qual a atividade desta enzima deve estar sendo favorecida e em maior grau em PD. A maior atividade da urease pode ter contribuído para a maior composição porcentual de nitrato no N mineral do solo já aos 21 Dan-U em PD, porém esta tendência foi verificada recém aos 39 Dan-U em PC. Além do maior conteúdo de matéria orgânica do solo, o sistema PD apresentou melhor condição de pH, situação que favorece os nitrificadores do solo.

Comparando aos 39 Dan-U as diferentes camadas do perfil do solo (0-0,6 m) no PC, sem e com aplicação de 160 kg ha^{-1} de N-uréia (PC-0 e PC-160), verifica-se maior concentração de nitrato em todas as profundidades avaliadas, inclusive na camada 0,4-0,6 m, no perfil com adubação, e como discutido anteriormente, também foi superior aos teores determinados em PD, seja com ou sem adubação nitrogenada (PD-0 e PD-160) (Tabela 3.14). Por outro lado, nesta mesma data, quando comparadas as diferentes camadas em cada perfil do PC-160, verificou-se maior concentração de nitrato nas camadas 0-0,05, 0,05-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 m, ao passo que no PC-0 não foi detectada diferença significativa entre as diferentes camadas. Já aos 83 Dan-U, no PC-160, as maiores concentrações de nitrato foram determinados nas camadas 0,3-0,4 e 0,4-0,6 m corroborando o movimento do nitrato em profundidade em PC quando aplicadas doses de 160 kg ha^{-1} de N-uréia com $37500 \text{ plantas ha}^{-1}$ de milho. Este resultado indica que neste solo com 570 e 700 g kg^{-1} de argila, respectivamente, nas camadas 0-0,2 e 0,2-0,4 m, podem ocorrer perdas de N

por lixiviação quando adicionado alta dose de uréia no solo em PC. Se considerarmos que o milho encontra-se próximo à maturação fisiológica (126 Das), o estoque de nitrato presente nas camadas 0,3-0,4 e 0,4-0,6 m pode ser perdido por lixiviação e corresponde a 81 kg ha⁻¹ de N-nitrato, 50% do N aplicado (Anexo 5). Por outro lado, em PD com 55000 plantas ha⁻¹ de milho não foi verificado enriquecimento de nitrato no perfil do solo, mesmo quando foi realizada aplicação de 160 kg ha⁻¹ de N-uréia numa única aplicação (Tabela 3.14). Sainju et al. (2007) mostram que um adequado manejo do N favorece a absorção de N pelas culturas e diminui a concentração do nitrato no perfil do solo, especialmente em camadas profundas.

Considerando que a dinâmica de N, especialmente a lixiviação é influenciado pela precipitação, é de destacar que estes processos foram determinados com 127,6 mm de chuva entre a aplicação da uréia e os 39 Dan-U e de 365 mm de chuva no período entre os 39 Dan-U e os 83 Dan-U.

3.3.6 Balanço de nitrogênio no ciclo do milho cultivado em preparo convencional e plantio direto

Na tentativa de visualizar a ponderação dos compartimentos de N determinados no presente trabalho em PC e PD, foi realizado um balanço de N no ciclo do milho (Tabela 3.15).

TABELA 3.15 Balanço de N em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) com 160 kg ha⁻¹ de adição de N-uréia no ciclo do milho.

Variáveis	PC-160	PD-160
	----- N kg ha ⁻¹ -----	
Entrada de N no ciclo do milho	427	482
-N-uréia	160	160
-N mineralizado do solo ¹	222	243
-N mineralizado do nabo forrageiro ²	45	79
Saída de N no ciclo do milho	6	30
-Volatilização de N-NH ₃	6	30
N retido no sistema solo-planta no ciclo do milho	260	240
-Variação de N mineral do solo (0-0,6 m) ³	56	-18
-N acumulado no milho ⁴	188	228
-N remanescente no resíduo de nabo forrageiro ⁵	17	29
Variação de N orgânico, desnitrificação e/ou lixiviação⁶	161	212
N-NO ₃ ⁻ 0,4-0,6 m (com risco de lixiviação)	61	7
Variação de N orgânico, desnitrificação e/ou lixiviação⁷	222	219

¹N absorvido pelo milho na parcela descoberta_{16/02/07}; ²(N acumulado nabo * 0,73); ³(N mineral final_{31/01/07} - N mineral inicial_{23/09/06}), camada 0-0,6 m; ⁴N acumulado milho_{16/02/07}; ⁵(N acumulado nabo * 0,27); ⁶(Entrada - Saída - N retido); ⁷(Entrada - (Saída + N retido + N-NO₃⁻ 0,4-0,6 m)).

Em relação às entradas de N mineral do solo que potencialmente estariam disponíveis para ser absorvido pelo milho, verificou-se valor superior em 55 kg ha⁻¹ para o PD. O maior valor das entradas de N em PD está relacionado com a maior quantidade de matéria seca e acúmulo de N pelo nabo forrageiro e com a maior estimativa do N mineralizado pelo solo em PD. O N mineralizado foi determinado a partir da absorção de N pelo milho na parcela descoberta e sem adubação nitrogenada. Estas parcelas em média apresentaram 62500 e 69500 plantas ha⁻¹ de milho, respectivamente, em PC e PD, e esta diferença na população de milho pode explicar a maior quantidade de N mineralizado no PD, não sendo necessariamente as condições do solo produzidas pelo sistema de preparo as determinantes na maior quantidade de N mineralizado. Porém, destaca-se a alta mineralização de N no Latossolo.

Silva et al. (2006b) obtiveram absorção de N nativo pelo milho de 104 e 114 kg ha⁻¹ em Latossolo Vermelho no Cerrado. Lara Cabezas et al. (2000) encontraram que somente 14,6 e 18,6% do N total assimilado pelo milho eram provenientes da uréia, respectivamente, quando aplicada em superfície e incorporada ao solo, indicando a baixa eficiência do N aplicado e expressando a significativa absorção do N nativo do solo. Por outro lado, estudos com adubos verdes marcados com ¹⁵N determinaram que a maior parte do N contido na matéria seca dessas tem como destino o solo (Harris & Hesterman, 1990) ou pelo menos é limitadamente absorvido pela cultura em sucessão (Scivittaro et al., 2003; Silva et al., 2006bc). Estes resultados indicam que o N absorvido pelo milho é provido em sua maior parte do solo.

Em relação às saídas foi determinada a volatilização que foi seis vezes superior em PD e correspondeu aos 18% do N-uréia aplicado.

Em relação ao N retido no sistema solo-planta, das variáveis contabilizadas, o N foi em grande parte recuperado na planta. A menor quantidade de N acumulado pelo milho na parcelas com adição de 160 kg ha⁻¹ de N-uréia, em relação à parcela descoberta sem adubação, deve estar relacionada à menor população de plantas de milho, que foram de 37500 e 54800 plantas ha⁻¹, respectivamente, em PC-160 e PD-160. Com respeito à diferença de N mineral no perfil do solo, entre o final e o início do ciclo do milho, a mesma foi de 56 kg ha⁻¹ em PC e de -18 kg ha⁻¹ em PD. Cabe destacar que o N mineral no solo em PC foi decorrente principalmente do acúmulo de N

mineral na camada de 0,4-0,6 m, que o torna potencialmente lixiviável, observando que o milho está próximo à maturação fisiológica. O N mineralizado do nabo forrageiro no ciclo do milho foi estimado em 73% do N acumulado, coeficiente determinado no estudo II. Este coeficiente determinado em PD também foi aplicado ao PC.

A partir deste balanço verifica-se que a variação do N orgânico do solo e/ou a desnitrificação e/ou a lixiviação de N e/ou variações nas determinações realizadas alcançou 38% e 43% das entradas de N mineral no ciclo do milho, respectivamente, para PC e PD. Enquanto no PD o N não recuperado não deve estar relacionado com a lixiviação, pois não foi encontrado enriquecimento significativo de nitrato no perfil do solo no ciclo do milho, em PC este processo pode ter ocorrido, considerando como referência a camada 0-0,6 m. Na literatura não são citadas perdas elevadas por desnitrificação, geralmente obtendo-se maior valor em PD. Sainz Rozas et al. (2004) em PD encontraram perdas de N por desnitrificação de 0,05 a 6,8% do N aplicado, respectivamente, para as doses 70 e 210 kg ha⁻¹ de N-uréia. Clough et al. (2001) verificaram N perdido por desnitrificação de 23% quando realizaram um balanço de N em câmara fechada. Estes dados indicam que a maior parte do N não recuperado estaria relacionada ao processo de mineralização-imobilização e às variações nas determinações realizadas.

Lara Cabezas et al. (2000), em balanço global de N com fertilizante marcado com ¹⁵N, determinaram que não foram recuperados em média 13,7 e 50,3% do N-uréia aplicado em superfície e incorporado, respectivamente, no sistema solo-milho, indicando a dificuldade do trabalho com o N devido a sua alta dinâmica.

Apesar das limitações geradas pelas diferentes populações de plantas de milho nos tratamentos, pode-se concluir sobre o alto potencial do Latossolo Bruno em prover N às culturas, o qual deve ser considerado nas recomendações de adubação. Também, apesar da alta porcentagem de argila neste Latossolo pode-se produzir perdas de N por lixiviação em condições de adubação superior às demandas do milho.

Finalmente, os sistemas de preparo com 28 anos de instalação neste Latossolo produziram acúmulo adicional de 1160 kg ha⁻¹ de N total no solo, na camada 0-0,6 m, em PD em relação ao PC, porém os estoques de N

seja na profundidade 0-0,2 m, bem como 0-0,6 m, não se diferenciaram significativamente entre os sistemas de preparo.

3.4 Conclusões

O estoque de N e C total do solo é superior na camada superficial em PD e em PC na profundidade 0,1-0,2 m. O estoque de N e C total do solo não se diferencia entre os sistemas de preparo na camada 0-0,2 m.

O N da biomassa microbiana, a atividade da amidase e da urease é superior em PD na camada superficial.

A volatilização de N-NH₃ pela aplicação de N-uréia é superior em PD em relação ao PC, e alcança 18% na dose de 160 kg ha⁻¹ de N.

O N mineral é superior inicialmente na camada superficial do solo em PD, após o manejo do nabo forrageiro e antes da alta taxa de absorção de N pelo milho. Posteriormente, o N mineral é maior na camada revolvida do solo em PC, sendo o N-nitrato a forma predominante de N mineral do solo em ambos sistemas de preparo. Em PC, significativo enriquecimento de nitrato é determinado na camada 0,4-0,6 m com adição de 160 kg ha⁻¹ de N-uréia, evidenciando potenciais perdas de N por lixiviação. Em PD enriquecimento de nitrato ocorre até a camada 0-0,2 m.

As diferenças identificadas no solo nos sistemas de preparo não afetam o rendimento de milho, quando avaliados sem adubação nitrogenada. Há resposta do milho à adubação nitrogenada até 80 kg ha⁻¹ de N-uréia em PD com nabo forrageiro como cultura antecedente, não podendo obter-se conclusões em PC devido a diferenças ocorridas na população de plantas.

No Latossolo Bruno avaliado se mineraliza em média 232 kg ha⁻¹ de N durante o ciclo do milho, considerando os dois sistemas de preparo, indicando a necessidade de ser considerada esta variável para um manejo adequado do N, observando que existe potencial de lixiviação quando a aplicação supera o requerimento de N do milho.

4. ESTUDO II

DINÂMICA DO NITROGÊNIO DURANTE O CICLO DO MILHO EM SUCESSÃO A DIFERENTES PLANTAS DE COBERTURA EM PLANTIO DIRETO NO CENTRO-SUL DO PARANÁ

4.1 Introdução

As plantas de cobertura afetam o rendimento das culturas cultivadas em sucessão, devido, em grande parte, à modificação ocorrida na dinâmica do nitrogênio (N) mineral no solo (Aita et al., 2004). Devido a esse efeito das plantas de cobertura, foi incluída a cultura antecedente como variável a ser considerada na recomendação da adubação nitrogenada da cultura do milho, no sul do Brasil (Amado et al., 2002).

Entretanto, verifica-se pequeno número de trabalhos objetivando estudar o N do solo e, menor ainda, o N mineral do solo após culturas de cobertura. Este fato é devido às dificuldades encontradas ao se trabalhar com este elemento que possui uma dinâmica muito complexa, que pode ser perdido do sistema solo – planta por volatilização, desnitrificação ou lixiviação, ou ser imobilizado na biomassa microbiana. Esta grande complexidade tem como resultado a não consideração do N mineral do solo na recomendação da adubação nitrogenada e, inclusive, não é considerado qualquer análise de solo.

Nesse sentido, a matéria orgânica do solo tem sido utilizada como referência para a disponibilidade do N no solo em alguns estados do Brasil (Amado et al., 2004; Fontoura & Bayer, 2008). Dificuldades relacionadas ao estudo do N, além de sua dinâmica complexa, são as limitações na

metodologia de análise e as limitações das conclusões dos trabalhos, que possuem apenas alcance regional, condicionadas a solo e clima semelhantes.

Adicionalmente, o sistema plantio direto (PD) encontra-se em processo de consolidação em algumas regiões e de expansão em outras, passando nos últimos 20 anos de 650 mil ha a 25,5 milhões de ha (FEBRAPDP, 2008). Este sistema, o qual é utilizado na totalidade das áreas cultivadas na região Centro-Sul do PR, também altera a dinâmica do N em comparação ao preparo convencional (Sainju et al., 2007) e, portanto, são necessárias informações do efeito desse sistema de manejo na disponibilidade de N em diferentes solos e ambientes.

As perguntas que nortearam o trabalho foram: quanto de N provêm das plantas de cobertura para a cultura do milho?; qual a dinâmica de acúmulo de N pelo milho em sucessão a diferentes plantas de cobertura?; qual a dinâmica das formas de N mineral no Latossolo sob diferentes plantas de cobertura no ciclo do milho?; qual a contribuição de N do Latossolo no ciclo do milho?.

Este estudo baseou-se na seguinte hipótese:

A dinâmica do N mineral na camada superficial do solo durante o ciclo do milho é influenciada pelas plantas de cobertura de inverno, determinando diferente absorção de N e rendimento do milho em sucessão e, condicionando o manejo da adubação nitrogenada no sistema plantio direto.

Os objetivos deste estudo foram:

-Determinar em diferentes plantas de cobertura a mineralização do N sob plantio direto, nas condições de solo e clima do Centro-Sul do Paraná.

-Avaliar em diferentes plantas de cobertura a dinâmica do N mineral do solo, em plantio direto.

-Determinar a absorção de N e o rendimento no milho cultivado após diferentes plantas de cobertura em plantio direto.

-Caracterizar em parcela descoberta a dinâmica de N mineral na camada superficial do solo sob plantio direto.

-Avaliar a atividade da urease e o N na biomassa microbiana do solo após cultivo de diferentes plantas de cobertura em plantio direto.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Localização, clima e solo

A localização, a caracterização do clima e do solo do local do experimento encontra-se em material e método do Estudo I. Na Tabela 4.1, são apresentados o teor de argila e algumas propriedades químicas do solo da área experimental, das safras 2005/06 e 2006/07.

TABELA 4.1 Características químicas¹ e teor de argila na camada 0-0,1 m da área experimental das safras 2005/06 e 2006/07.

Ano	Prof. cm	pH	Índice SMP	Al ⁺⁺⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Al+H	CTC	P	MO	Argila
				----- cmol _c dm ⁻³ -----						mg dm ⁻³	-- g kg ⁻¹ --	
05/6	0-10	5,3	5,5	0,1	5,3	2,2	0,42	7,7	15,7	10,0	59	560
06/7	0-10	4,9	5,3	0,4	6,8	1,9	0,48	9,7	18,9	7,3	52	560

¹Segundo Tedesco et al. (1995).

4.2.2 Delineamento experimental, tratamentos e manejo do experimento

Os tratamentos do experimento consistiram em cinco plantas de cobertura de outono/inverno, pousio e parcela descoberta. As plantas de cobertura utilizadas foram: nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. oleiferus Metzg), ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.), aveia branca (*Avena sativa* L.), aveia preta (*Avena strigosa* Schieb) e o consórcio aveia branca (1/3) + ervilhaca (2/3). A parcela com pousio foi deixada sob vegetação espontânea e a parcela descoberta sem cobertura vegetal a partir da semeadura das plantas de cobertura. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com três repetições. A parcela descoberta não fez parte do delineamento experimental e foi instalada paralelamente aos blocos. Após o manejo das plantas de cobertura foi semeado milho em todos os tratamentos. As parcelas apresentaram dimensão de 4,8 x 6 m.

Este experimento foi conduzido nos anos 2005/06 e 2006/07. Detalhe do manejo experimental é apresentado na Tabela 4.2.

4.2.3 Determinações realizadas e amostragem do solo

As determinações nas plantas de cobertura e no milho foram realizadas nas safras 2005/06 e 2006/07. As avaliações no solo foram realizadas somente na safra 2006/07.

TABELA 4.2 Manejo do experimento nas safras 2005/06 e 2006/07.

Manejo do experimento	Safra 2005/06	Safra 2006/07
Planta cobertura:		
-Sistema de preparo	Plantio direto	Plantio direto
-Adubação	0-0-0	0-0-0
-Semeadura	01/06/2005	26/05/2006
-Data de manejo	21/09/2005, com rolo faca	12/09/2006, com rolo faca
-Manejo: Dias após semeadura.	111	108
-Amostragem dos resíduos remanescentes (0,25 m ²): datas.	21/09, 11/10, 21/10, 31/10, 10/11, 8/12/2005, 9/01, 8/02/2006	12/09, 26/09, 5/10, 16/10, 26/10, 24/11/2006, 23/01, 22/02/2007
-Amostragem dos resíduos remanescentes: Dias após do manejo (Dam).	0, 20, 30, 40, 50, 78, 110, 140	0, 14, 23, 34, 44, 73, 100, 133
Milho:		
-Sistema de preparo	Plantio direto	Plantio direto
-Variedade	P 30P70	P 30P34
-Adubação: N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	0-80-80	0-80-80
-Semeadura	10/10/2005	26/09/2006
-Espaçamento fileiras	0,8 m	0,8 m
-Nº plantas ha ⁻¹	66146 (±2514)	66250 (±8402)
-Amostragem de planta: data	31/10, 10/11, 8/12/2005, 9/01, 20/02/2006	16/10, 26/10, 24/11, 21/12/2006, 23/01, 22/02/2007
-Amostragem de planta: Dias após a semeadura (Das)	21, 31, 59, 91, 133	20, 30, 59, 86, 119
-Colheita	27/03/2006	03/2007

As amostragens de solo para todas as determinações foram realizadas após o manejo das plantas de cobertura e a cultura do milho já estava estabelecida, sendo efetuadas, no centro das entrefileiras, com trado calador. As camadas amostradas foram 0-0,05 e 0,05-0,1 m, obtendo-se seis amostras simples por profundidade, as quais foram misturadas, para a obtenção de uma amostra composta. A exceção da amostra destinada para N mineral do solo o restante do solo foi embalado em saco plástico imediatamente, rotulado e colocado em caixa térmica com gelo.

4.2.3.1 Nitrogênio mineral e nitrogênio na biomassa microbiana no solo

O N mineral do solo foi determinado em cinco datas durante o ciclo do milho (28/09, 20/10, 13/11, 12/12/06 e 27/01/07), nas profundidades 0-0,05 e 0,05-0,1 m.

A avaliação do N na biomassa microbiana foi realizada em duas datas durante o ciclo do milho (28/09 e 20/10) e na camada 0-0,1 m.

Os procedimentos complementares realizados na amostragem, a metodologia de análise e a apresentação dos resultados, nas determinações de N mineral e N na biomassa microbiana, corresponderam às mesmas descritas no Estudo I.

4.2.3.2 Atividade da urease

A atividade da urease foi determinada em duas datas durante o ciclo do milho (20/10 e 13/11) na camada do solo de 0-0,05 m. Também determinou-se a atividade da urease no tecido das plantas de cobertura, utilizando-se a mesma metodologia utilizada para o solo.

A atividade da urease no tecido foi determinada a partir das mesmas amostras preparadas para a análise de N total, sendo utilizadas 1,5 g. A preparação das amostras de tecido é descrita na sequência, no item referente ao N total.

A metodologia de análise aplicada na determinação da atividade da urease corresponde à mesma descrita no Estudo I.

4.2.3.3 Matéria seca das plantas de cobertura e do milho

A matéria seca remanescente dos resíduos das plantas de cobertura foi avaliada em oito ocasiões a partir do momento do manejo das mesmas, sendo a coleta realizada numa superfície de 0,25 m². A produção de matéria seca pelo milho foi determinada em cinco ocasiões com coleta de quatro plantas nas duas primeiras determinações e de uma planta nas seguintes, por parcela. As datas de amostragem das plantas de cobertura e do milho são apresentadas na Tabela 4.2. O material coletado foi seco em estufa a 65 °C até massa constante e, pesado posteriormente, obtendo-se a produção de matéria seca.

4.2.3.4 Nitrogênio acumulado pelas plantas de cobertura e pelo milho

O N acumulado pelas plantas de cobertura e pelo milho foi avaliado nas amostras utilizadas para determinação da produção de matéria seca. Estas amostras foram trituradas em moinho de plantas, obtendo-se uma moagem inicial, posteriormente, foram homogeneizadas, subamostradas e moídas novamente em moinho de facas, peneirando-as a um mm. Desse material, utilizou-se 0,200 g para a determinação do N total.

A metodologia utilizada na determinação dos teores de N total no milho e na planta de cobertura foram as mesmas utilizadas no Estudo I. A partir da concentração do N total e da matéria seca, nas plantas de cobertura (no manejo) e no milho (durante o ciclo), foi calculado o N absorvido em kg ha^{-1} .

4.2.3.5 Carbono orgânico das plantas de cobertura

O carbono orgânico das plantas de cobertura foi determinado a partir das mesmas amostras preparadas para N total. Foi analisada 100 mg de amostra por combustão seca em equipamento SHIMADZU TOC-V CSH.

A partir dos teores de C e N total foi calculada a relação C/N das plantas de cobertura no momento do manejo das mesmas.

4.2.3.6 Nitrogênio remanescente nos resíduos das plantas de cobertura

O N remanescente nas plantas de cobertura durante o ciclo do milho foi determinado a partir da análise de N total das amostras de plantas de cobertura coletadas durante o ciclo do milho, nas quais também foi determinada a matéria seca. A contaminação das amostras com N do solo foi estimada pela determinação das cinzas, sendo corrigido o teor de N encontrado nos resíduos das plantas de cobertura (Christensen, 1985; De Bona, 2005).

A partir do N remanescente nos resíduos das plantas de cobertura foi estimado o N mineralizado oriundo das plantas de cobertura. O N mineralizado foi calculado através diferença entre o N acumulado pela planta de cobertura determinado no manejo e o N determinado nos resíduos da planta

de cobertura durante o ciclo do milho. O N remanescente e o N mineralizado foram expressos em % e kg ha^{-1} , respectivamente.

4.2.3.7 Rendimento de grãos do milho

O rendimento de grãos de milho foi determinado por meio de colheita manual das duas fileiras centrais da parcela, sendo os resultados expressos em Mg ha^{-1} , com 13% de umidade.

A população de plantas de milho foi determinada em cada parcela na superfície demarcada para a colheita e calculada em número de plantas ha^{-1} .

4.2.4 Análise estatística

Os dados de matéria seca, concentração de N, N absorvido e relação C/N das plantas de cobertura e pousio foram analisados por safra segundo um delineamento experimental em blocos casualizados em parcelas subdivididas, sendo as parcelas as safras 2005/06 e 2006/07 e as subparcelas as plantas de cobertura e pousio.

Os dados de N mineral foram analisados por data e profundidade segundo um delineamento experimental em blocos casualizados com três repetições.

Os dados de N da biomassa microbiana e atividade da urease foram analisados segundo um delineamento experimental de blocos casualizados em parcelas subdivididas sendo as parcelas as datas de avaliação e as subparcelas as plantas de cobertura e pousio.

A concentração de N, o N absorvido, matéria seca e rendimento em grãos do milho foram analisados segundo um delineamento experimental em blocos casualizados em parcelas subdivididas e três repetições. As parcelas foram as safras e as subparcelas as plantas de cobertura e pousio.

Quando a análise da variância detectou diferença significativa entre os tratamentos, se realizou a comparação de médias pelo teste Tukey a 5% ou por contrastes ortogonais.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SISVAR versão 4.6, desenvolvido na Universidade Federal de Lavras (Ferreira, 2000).

4.3 Resultados e discussão

4.3.1 Aporte de nitrogênio pelas plantas de cobertura à cultura em sucessão em plantio direto

4.3.1.1 Caracterização das plantas de cobertura

A matéria seca produzida pelas plantas de cobertura e pousio não apresentou diferença significativa em 2005, alcançando uma média de 5,4 Mg ha⁻¹, entanto que em 2006, maiores valores foram encontrados sob as plantas de cobertura em relação ao pousio (Tabela 4.3). Strieder et al. (2006) citam produções de matéria seca de 4,2, 4,65 e 3,3 Mg ha⁻¹, respectivamente, para aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca, média de cinco anos na Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. Estas médias são inferiores para todas as plantas de cobertura obtidas no presente estudo, inclusive no ano de menor produção (2005). Borkert et al. (2003) avaliando a matéria seca de plantas de cobertura em vários experimentos em diferentes safras na mesma região deste estudo (Campo Mourão, Guarapuava e Londrina), citam que na aveia preta (333 amostras analisadas) 58% das amostras corresponderam à faixa de 5 a 10 Mg ha⁻¹, na ervilhaca a produção máxima de matéria seca foi de 6,5 Mg ha⁻¹ (12 amostras), evidenciando o alto potencial de produção de cobertura no outono/inverno na região.

No presente estudo, verificou-se maior produção de matéria seca no ano 2006, considerando a média de todas as plantas de cobertura. Esta diferença não se deve à data de semeadura que foi muito próxima nos dois anos, nem a déficit de precipitação, pois esta foi maior em todos os meses em 2005. Uma das razões para explicar essa diferença poderia ser o excesso de chuva no início do desenvolvimento das plantas de cobertura em 2005 que pode ter prejudicado o estabelecimento e desenvolvimento inicial da cultura, considerando que a precipitação de junho superou em 141 mm ao do mesmo mês de 2006 (62 mm).

Em relação à concentração de N no tecido, considerando as médias das plantas de cobertura das duas safras (2005/06 e 2006/07), verificou-se maior valor na ervilhaca, intermediário no consórcio, e inferior nos demais tratamentos (gramíneas, nabo forrageiro e pousio). Maior teor de N comumente é encontrado na literatura para ervilhaca e nabo forrageiro, em

relação aos determinados neste estudo, inclusive, Strieder et al. (2006) citam em seu estudo que não houve diferença na concentração de N destas espécies e que a concentração de N alcançou um valor médio de 3,2%. Aita & Giacomini (2003) encontraram valores de 2,88 e 1,42% de N, respectivamente, para ervilhaca e nabo forrageiro. Oliveira (1994) em avaliações realizadas por quatro anos menciona concentração de N no nabo forrageiro entre 1,52 a 2,84%. A análise desses resultados confirma a maior concentração de N encontrada para a ervilhaca e indicam variabilidade do teor de N para o nabo forrageiro.

TABELA 4.3 Produção de matéria seca e nitrogênio acumulado na biomassa das plantas de cobertura e na vegetação espontânea do sistema pousio. Safras 2005 e 2006.

Tratamentos	2005		2006	
	Matéria seca		Média ²	
	----- Mg ha ⁻¹ -----			
Pousio	4,15 ns ¹	3,06 b ¹	3,61	
Aveia branca	5,54	7,54 a	6,54	
Aveia preta	5,98	6,09 a	6,04	
Ervilhaca comum	4,53	6,08 a	5,31	
Aveia branca + Ervilhaca comum	6,55	7,67 a	7,11	
Nabo forrageiro	5,66	8,56 a	7,11	
Média	5,40B ¹	6,50 A	5,95	
CV safra (%)			10	
CV tratamentos (%)			17	
	Concentração N		Média ³	
	----- % -----			
Pousio	1,27	0,87	1,07 c ¹	
Aveia branca	1,21	0,96	1,08 c	
Aveia preta	1,36	1,11	1,24 bc	
Ervilhaca comum	1,77	2,04	1,90 a	
Aveia branca+Ervilhaca comum	1,64	1,48	1,56 b	
Nabo forrageiro	1,32	1,10	1,21 c	
Média	1,43 A ¹	1,26 B	1,34	
CV safra (%)			7	
CV tratamentos (%)			14	
	N acumulado		Média ³	
	----- kg ha ⁻¹ -----			
Pousio	52	27	39 c ¹	
Aveia branca	67	72	70 bc	
Aveia preta	81	67	74 b	
Ervilhaca comum	80	127	104 ab	
Aveia branca+Ervilhaca comum	108	112	110 a	
Nabo forrageiro	75	94	84 ab	
Média	77 NS ¹	83	80	
CV safra (%)			27	
CV tratamentos (%)			23	
	Relação C/N		Média ²	
Pousio	38 a	53 a	46	
Aveia branca	39 a	49 ab	44	
Aveia preta	34 ab	43 abc	38	
Ervilhaca comum	26 b	23 d	25	
Aveia branca+Ervilhaca comum	29 ab	32 cd	30	
Nabo forrageiro	35 ab	42 bc	38	
Média	34 B	40 A	37	
CV safra (%)			6	
CV tratamentos (%)			11	

¹Letras minúsculas comparam médias na coluna e letras maiúsculas na linha (teste de Tukey P≤0,05); ²houve interação entre os anos; ³Não houve interação entre os anos.

A partir da matéria seca e da concentração de N determinou-se a quantidade de N acumulado pelas plantas de cobertura nos diferentes tratamentos (Tabela 4.3). Considerando os dois anos de estudo, maior acúmulo de N foi encontrado no consórcio, ervilhaca e nabo forrageiro, intermediário nas aveias e inferior no pousio. Verificou-se que a utilização de plantas de cobertura possibilitou maior ciclagem de N no sistema solo – planta – atmosfera, em relação ao pousio, o que poderá trazer efeito significativo no rendimento das culturas no curto prazo, e/ou acúmulo de N no solo, no longo prazo.

Analisando a média geral das plantas de cobertura entre os anos de estudo, verificou-se que as plantas de cobertura apresentaram maior produção de matéria seca em 2006, e que a concentração de N, em geral, foi superior em 2005. Estes resultados ocasionaram a ausência de diferença do N acumulado pelas plantas de cobertura entre os dois anos alcançando uma média geral de 80 kg ha^{-1} . Por outro lado, estes resultados levaram a um incremento na relação C/N das plantas de cobertura em 2006, com exceção da ervilhaca. A menor relação C/N foi encontrada na ervilhaca e no consórcio, nos dois anos avaliados.

A partir destes resultados espera-se que a ervilhaca (leguminosa) e o consórcio (leguminosa 2/3 + gramínea 1/3) apresentem maior potencial de fornecer N à cultura em sucessão, considerando o maior acúmulo de N e a menor relação C/N da matéria seca. O nabo forrageiro também seria uma alternativa, acumulou semelhante quantidade de N em relação à leguminosa e ao consórcio e maior quantidade em relação às gramíneas, porém apresentou uma relação C/N de 38 que potencializaria inicialmente a imobilização microbiana do N. Processo de imobilização microbiana é citado na literatura quando adicionado ao solo materiais com alta relação C/N (Victória et al., 1992; Vargas et al., 2005). Nesse sentido, Aita (1997) menciona que a incorporação de resíduos com relação C/N maior que 25 causa imobilização líquida na fase inicial da decomposição do resíduo.

Em plantio direto, o consórcio (gramínea + leguminosa) apresenta alto potencial de uso como cobertura de solo, pois apresenta boa produção de resíduos, determinado pela gramínea, e aporte de N para a cultura em sucessão, determinado pela leguminosa. Além disso, a presença da gramínea

favorece a ciclagem do N mineral do solo na profundidade de exploração radicular e a leguminosa, além da ciclagem do N mineral do solo, incorpora N de fora do sistema solo – planta, através da simbiose com bactérias específicas (Silva et al., 2006a). O consórcio também poderia potencializar a fixação biológica de N da leguminosa ao diminuir a disponibilidade de N no solo devido à absorção de N pela gramínea. Silva et al. (2006a) apresentam uma ampla revisão em relação à estratégias de manejo de plantas de cobertura de solo no inverno para cultivo do milho em sucessão no sistema plantio direto, para as condições do Estado do Rio Grande do Sul.

4.3.1.2 Mineralização do nitrogênio das plantas de cobertura

Para verificar a liberação de N das plantas de cobertura e o seu aporte potencial de N à cultura em sucessão, avaliou-se o N remanescente nos resíduos dessas culturas durante o ciclo do milho. Os resultados desta avaliação apresentaram alto coeficiente de variação, que se deve à variação obtida na quantidade de matéria seca nas parcelas. Menor coeficiente de variação esperar-se-ia com o uso de sacos de decomposição, metodologia geralmente utilizada para avaliar a decomposição de resíduos (Amado et al. 2003; Aita & Giacomini 2003). Nesta metodologia uma quantidade conhecida de resíduo vegetal é colocada dentro de um saco de decomposição, o qual é distribuído nas parcelas para sua posterior coleta e análise. A metodologia utilizada no presente estudo pretendeu eliminar problemas associados ao uso do saco de decomposição, os quais estão relacionados à alteração do microclima interno do saco pelo confinamento dos resíduos, a limitação do contato solo-resíduo e da ação da mesofauna (Vanlauwe et al., 1997). Por outro lado, deve-se mencionar que ambas metodologias não discriminam o destino do N mineralizado do resíduo, que poderia ser re-imobilizado pelos organismos do solo ou diretamente passar a ser incorporado à matéria orgânica do solo (Vanlauwe et al., 1997).

Ao considerar as limitações mencionadas, as quais impedem a análise detalhada da disponibilidade de N proveniente das plantas de cobertura durante o ciclo do milho, o N remanescente nas plantas de cobertura será discutido em apenas duas datas, ao início e ao final do ciclo do milho, datas

que apresentaram menor coeficiente de variação dos resultados (dados não apresentados).

Na avaliação realizada no início do ciclo do milho, 40 e 44 dias após o manejo das plantas de cobertura (Dam), respectivamente, para as safras 2005/06 e 2006/07, não se encontraram diferenças significativas nos diferentes contrastes realizados, sendo a média geral do N remanescente nas plantas de cobertura de 51% (Tabela 4.4). A ausência de diferença na taxa de mineralização, especialmente, entre gramíneas e leguminosas no período próximo ao manejo das plantas de cobertura, contrasta com os resultados encontrados na literatura. Aita & Giacomini (2003) encontraram que após 15 dias da distribuição dos sacos de decomposição no campo apenas 50% da quantidade de N acumulado permaneceu nos resíduos culturais da ervilhaca, enquanto que na aveia preta ainda permaneciam 80% do N acumulado. Em relação ao nabo forrageiro Aita & Giacomini (2003) encontraram que o N remanescente teve comportamento semelhante à aveia preta até os 60 dias, a partir desse período o decréscimo foi maior no nabo forrageiro. Já Basso & Ceretta (2000) encontraram N remanescente de 50% para nabo forrageiro aos 30 dias, resultado semelhante ao determinado neste estudo. Strieder et al. (2006) em experimento em vasos constatou, inclusive, maior mineralização de N do nabo forrageiro em relação à ervilhaca, aproximadamente 50 Dam.

A ausência de diferença no N remanescente nas diferentes plantas de cobertura pode estar relacionada à alta concentração de N total e à atividade microbiana do solo deste estudo, à adição dos resíduos na superfície do solo e no alto coeficiente de variação dos resultados. No Latossolo Bruno a necessidade de N para a decomposição dos resíduos de alta relação C/N poderia ser suprida pelo N mineralizado da matéria orgânica do solo. A avaliação do N mineral do solo poderá contribuir para esclarecer esta hipótese e será discutido posteriormente.

TABELA 4.4 Nitrogênio remanescente nos resíduos e mineralizado pelas plantas de cobertura e pousio. Safras 2005/06 e 2006/07.

Tratamentos	Nitrogênio remanescente nas plantas de cobertura						N mineralizado ⁴	
	Início ciclo do milho			Final ciclo do milho			Início	Final
	40 Dam ¹ 2005/06	44 Dam 2006/07	42 Dam Média	140 Dam ¹ 2005/06	163 Dam 2006/07	152 Dam Média	42 Dam	152 Dam
	-----%-----			-----%-----			--- kg ha ⁻¹ ---	
Pousio (P)	50	50	50	29	27	28	19	28
Aveia branca (AB)	50	60	55	33	32	32	31	47
Aveia preta (AP)	50	56	53	41	32	36	35	47
Ervilhaca comum (EC)	34	55	45	24	21	22	57	81
Aveia branca + Ervilhaca comum	40	55	48	27	15	21	57	87
Nabo forrageiro (NF)	53	60	56	30	24	27	37	62
Média	46	56	51	30	25	28	43	64
Contrastes	2005/06	2006/07	Média ³	2005/06	2006/07	Média ³		
P x AB, AP, EC, AB+EC e NF	ns ²	ns	ns	ns	ns	ns		
AB e AP x EC, AB+EC e NF	ns	ns	ns	*	*	**		
AB x AP	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
EC x AB+EC e NF	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
AB+EC x NF	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
CV % parcelas (safras)			12			64		
CV% subparcelas (tratamentos)			16			32		

¹Dias após manejo; ²Diferença significativa por contrastes ortogonais: P≤0,01 (**), P≤0,05 (*), não significativa P>0,05 (ns); ³Não houve interação entre as datas; ⁴médias das duas safras.

A avaliação do N remanescente nos resíduos das plantas de cobertura próximo ao final do ciclo do milho (152 Dam) discriminou dois grupos nos dois anos de estudo, as gramíneas (aveia branca e preta), com média de 34% de N remanescente, e o grupo ervilhaca, consórcio e nabo forrageiro, com média de 23% de N remanescente (Tabela 4.4). Com estes resultados poder-se-á estimar o N das plantas de cobertura de inverno, que potencialmente teria sido disponibilizado para a cultura em sucessão, nas condições de solo, clima e manejo deste estudo (Tabela 4.5). No entanto, resultados de pesquisa utilizando ^{15}N indicam que a maior proporção de N liberado pelas plantas de cobertura tem como destino o solo (Scivittaro et al., 2003; Silva et al., 2006bc) e baixa proporção deste é absorvida pela cultura em sucessão.

TABELA 4.5. Nitrogênio remanescente nos resíduos e mineralizado pelas plantas de cobertura em Latossolo no Centro-Sul do Paraná.

Planta cobertura	N acumulado ¹	N remanescente		N mineralizado	
	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹
		--- 42 Dam ---		--- 42 Dam ---	
Gramínea	72	51	37	49	35
Média (EC, AB+EC e NF)	99	51	50	49	49
		-- 152 Dam --		-- 152 Dam --	
Gramínea	72	34	24	66	48
Média (EC, AB+EC e NF)	99	23	23	77	76

¹Média das safras 2005/06 e 2006/07; EC= Ervilhaca, AB= Aveia branca, NF= Nabo forrageiro.

4.3.2 Dinâmica do nitrogênio na camada superficial do solo sob diferentes plantas de cobertura

4.3.2.1 Nitrogênio mineral no solo

Em relação ao amônio, encontrou-se diferença significativa entre os tratamentos apenas 16 Dam, na camada 0-0,05 m e, 40 Dam na camada 0,05-0,1 m, das cinco datas analisadas durante o ciclo do milho (Tabela 4.6). Na camada superficial do solo as plantas de cobertura apresentaram tendência de maior concentração de amônio em relação ao pousio, sendo que a ervilhaca diferiu estatisticamente. Estes resultados devem estar relacionados com a mineralização do N dos resíduos vegetais, passagem de formas orgânicas de N ao amônio, e corresponde com a menor matéria seca e N acumulado na vegetação espontânea do sistema pousio (Tabela 4.3). A tendência de maior concentração de amônio sob a ervilhaca evidencia mineralização mais rápida

de N nesta, em relação às outras plantas de cobertura, como citado por Aita & Giacomini (2003). A diferença determinada na camada mais profunda (0,05-0,1 m) determinada aos 40 Dam não possui significado prático considerando as baixas concentrações encontradas sob todos os tratamentos, sendo que os resultados variaram de 4,6 a 1,6 mg kg⁻¹. Pode-se concluir que o amônio no solo durante o ciclo do milho apresentou maior concentração apenas na camada mais superficial ao manejo da biomassa das plantas de cobertura, permanecendo posteriormente sem variação significativa na camada 0-0,05 e 0,05-0,1 m. Por outro lado, considerando a média do teor de amônio por data de amostragem, a mesma variou de 16,6 a 3,5 mg kg⁻¹ na camada 0-0,05 m e de 8,9 a 3,1 mg kg⁻¹ na profundidade 0,05-0,1 m, verificando-se tendência de diminuição em profundidade.

A parcela descoberta não foi analisada estatisticamente juntamente com os outros tratamentos, pois foi instalada numa faixa paralela aos blocos do experimento, não fazendo parte do delineamento experimental. Na profundidade 0-0,05 m dessa parcela, a concentração de amônio foi próxima ao do pousio em todas as avaliações, no entanto, a média do amônio nos diferentes tratamentos foram 1,5 a 1,6 vezes maiores às determinadas sob parcela descoberta aos 16 e 40 Dam (Tabela 4.6). Estes resultados devem estar relacionados à mineralização do N dos resíduos adicionados, como já discutido no parágrafo anterior. Na profundidade 0,05-0,1 m, a concentração de amônio sob a parcela descoberta, encontrou-se na faixa das médias obtidas para os demais tratamentos, resultado coerente considerando que o amônio não possui a mobilidade do nitrato (Cantarella, 2007) (Tabela 4.6).

O nitrato apresentou diferença significativa entre os tratamentos nas duas primeiras avaliações, 16 e 40 Dam, na profundidade 0-0,05 m e na segunda data na camada 0,05-0,1 m (Tabela 4.6). Nas duas camadas, quando as diferenças foram significativas, a ervilhaca apresentou a maior concentração de nitrato. Na camada superficial do solo, os demais tratamentos não se diferenciaram aos 16 Dam e o teor de nitrato foi menor sob as aveias (branca e preta) e intermediário sob pousio, consórcio e nabo forrageiro aos 40 Dam. Estes resultados indicam a maior velocidade de mineralização de N da ervilhaca em relação às outras plantas de cobertura e/ou maior mineralização líquida do N do solo pela adição de resíduos desta cultura.

TABELA 4.6 Nitrogênio mineral nas camadas 0-0,05 e 0,05-0,1 m do solo sob plantas de cobertura e pousio durante o ciclo do milho. Safra 2006/07.

Tratamentos	Nitrogênio mineral do solo camada 0-0,05 m (mg kg ⁻¹)					Nitrogênio mineral do solo camada 0,05-0,1 m (mg kg ⁻¹)				
	Dias após o manejo ¹					Dias após o manejo ¹				
	16 ¹	40	62	91	137	16 ¹	40	62	91	137
	-----N-NH ₄ ⁺ -----					-----N-NH ₄ ⁺ -----				
Pousio	10,2 b ²	6,2 ns	5,0 ns	11,3 ns	5,9 ns	4,7 ns	2,7 ab	14,1 ns	5,3 ns	3,0 ns
Aveia branca	17,0 ab	12,2	2,4	14,7	7,2	4,9	4,0 ab	9,2	5,3	3,5
Aveia preta	15,5 ab	13,2	5,7	15,0	6,4	7,2	4,6 a	10,6	5,6	4,2
Ervilhaca comum (EC)	23,7 a	12,1	1,7	16,7	6,1	7,7	1,6 b	5,5	7,7	2,4
Aveia branca+EC	14,4 ab	8,5	3,2	14,6	5,3	7,2	3,4 ab	7,9	7,1	2,9
Nabo forrageiro	18,8 ab	11,5	2,9	15,0	8,3	7,0	3,1 ab	6,2	4,7	2,7
Descoberta ³	11,0	7,5	3,7	10,1	4,2	7,3	3,5	7,9	5,8	3,7
Média	16,6	10,6	3,5	14,6	6,5	6,4	3,2	8,9	6,0	3,1
C.V. (%)	21,4	30,9	47,2	19,0	29,0	21,2	29,4	49,5	37,0	26,0
	-----N-NO ₃ ⁻ -----					-----N-NO ₃ ⁻ -----				
Pousio	16,0 b ²	39,7 b	21,8 ns	4,0 ns	1,2 ns	11,1 ns ²	22,3 bc	38,2 ns	1,7 ns	1,9 ns
Aveia branca	11,3 b	19,0 d	16,5	1,3	2,0	4,2	15,1 c	29,5	2,7	0,8
Aveia preta	11,6 b	20,3 d	19,9	0,8	1,4	5,8	15,1 c	27,0	0,9	1,7
Ervilhaca comum (EC)	48,4 a	56,8 a	20,6	5,5	5,2	12,7	37,1 a	27,2	2,9	1,5
Aveia branca+EC	26,4 ab	28,4 bc	21,4	2,9	0,7	7,4	31,0 ab	39,4	2,4	1,2
Nabo forrageiro	14,8 b	27,5 bc	17,2	1,5	1,5	5,4	22,2 bc	18,8	0,1	1,3
Descoberta ³	40,6	43,6	25,3	0,8	0,4	22,6	24,9	28,6	1,0	0,0
Média	21,4	32,0	19,6	2,6	2,0	7,8	23,8	30,0	1,78	1,38
C.V. (%)	43,9	14,4	40,1	69,9	106,5	40,7	20,7	46,6	65,1	45,6
	-----N-NH ₄ ⁺ + N-NO ₃ ⁻ -----					-----N-NH ₄ ⁺ + N-NO ₃ ⁻ -----				
Pousio	26,2 b ²	46,0 b	26,7 ns	15,3 ns	7,1 ns	15,9 ns	25,0 ab ²	52,3 ns	7,1 ab	5,0 a
Aveia branca	28,4 b	31,2 b	19,0	16,0	9,2	9,1	19,1 b	38,6	7,9 ab	4,3 ab
Aveia preta	27,1 b	33,4 b	25,6	15,7	7,8	16,0	19,7 b	37,6	6,5 ab	5,9 ab
Ervilhaca comum (EC)	72,2 a	68,9 a	22,3	22,2	11,3	20,4	38,7 a	32,6	10,6 a	3,9 b
Aveia branca+EC	40,8 ab	36,8 b	24,5	17,5	6,0	14,6	34,4 a	47,3	9,4 ab	4,0 ab
Nabo forrageiro	33,5 b	39,1 b	20,2	16,6	9,8	12,4	25,3 ab	25,0	4,9 b	4,0 ab
Descoberta ³	51,6	51,4	29,0	10,9	4,5	30,0	28,4	36,5	6,8	3,7
Média	38,0	42,6	23,0	17,2	8,5	14,7	27,0	38,9	7,7	4,5
C.V. (%)	33,0	12,9	31,8	18,8	33,1	34,7	18,4	29,7	25,4	15,2

¹Corresponde as datas 28/09, 20/10, 13/11, 12/12/2006 e 27/01/2007; ²comparam médias na coluna (teste de Tukey P<0,05); ³Analisado separadamente.

Vários autores encontraram maior velocidade na mineralização do N dos resíduos de ervilhaca, especialmente, em relação às gramíneas (Gonçalves et al. 2000; Amado et al., 2003; Aita & Giacomini, 2003; Aita et al., 2004; Strieder et al., 2006). Esta diferença, como discutido no item anterior, não foi detectada pela avaliação de N remanescente nos resíduos das plantas de cobertura.

A parcela descoberta na camada 0-0,05 m apresentou concentração de nitrato 3,5 e 2,2 vezes superior às gramíneas, aos 16 e 40 Dam, respectivamente (Tabela 4.6). Esta mesma tendência, porém, em menor magnitude, encontrou-se no tratamento com nabo forrageiro, consórcio e pousio, comportamento inverso foi encontrado com a ervilhaca. Estes resultados destacam a liberação mais lenta de N dos resíduos, e a ocorrência de imobilização do N na biomassa microbiana especialmente nos sistemas com gramíneas, e a ocorrência de mineralização líquida de N no sistema com ervilhaca. Por outro lado, a diferença na concentração de N sob a parcela descoberta e as gramíneas, nabo forrageiro e consórcio não pode ser devido exclusivamente à imobilização microbiana, podendo também dever-se à absorção de N por estas espécies antes de serem incorporadas, em relação à parcela descoberta. Processo de imobilização quando adicionado material com alta relação C/N é citado por Vargas et al. (2005). Já Aulakh et al. (1991) discutem que a imobilização do N pela biomassa microbiana pode não acontecer ou ser de menor magnitude em plantio direto, pois o resíduo vegetal não é incorporado ao solo. Aos 62 Dam e nas avaliações posteriores, o teor de nitrato não se diferenciou entre os tratamentos, fato que deve estar relacionado com a absorção de N pelo milho.

Enriquecimento significativo de nitrato na profundidade 0,05 – 0,1 m nos tratamentos com plantas de cobertura e pousio foram verificados aos 40 e 62 Dam, constatando-se esta tendência já aos 16 Dam para a ervilhaca. Estes resultados devem estar relacionados com o movimento do nitrato, originado da mineralização e nitrificação do N proveniente dos resíduos das plantas. Aos 40 Dam as maiores concentrações na camada 0,05 – 0,1 m foram encontradas sob ervilhaca e consórcio. Estes resultados são relacionados a maior velocidade de liberação de N pela leguminosa em relação às outras plantas de cobertura e deslocamento desse elemento em profundidade.

A tendência de maior concentração de nitrato na parcela descoberta em relação às plantas de cobertura 16 Dam, na camada 0,05-0,1 m, poderia estar relacionada ao estoque acumulado de nitrato durante a estação invernal nesta parcela, pela ausência de plantas. Nas duas seguintes datas avaliadas, 40 e 62 Dam, a concentração de nitrato nesta parcela permaneceu constante, enquanto que sob as plantas de cobertura incrementou-se. Nas avaliações seguintes 91 e 137 Dam os níveis de nitrato diminuíram a valores mínimos que devem estar relacionados com a absorção de N pelo milho.

Estes resultados indicam que para aproveitar o N gerado pela adição na superfície da ervilhaca em plantio direto, a cultura em sucessão, deverá ser semeada logo após o manejo desta leguminosa, considerando que já aos 16 Dam a concentração de nitrato alcançou 48 mg kg^{-1} na camada 0-0,05 m e 40 Dam chegou a $37,1 \text{ mg kg}^{-1}$ na profundidade 0,05-0,1 m. Em relação às gramíneas, aos 40 Dam se verificou níveis de $19,6 \text{ mg kg}^{-1}$ de nitrato e aos 62 Dam na camada 0,05-0,1 m as concentrações de nitrato foram iguais às encontradas no tratamento com ervilhaca. Necessidade de ajustar a semeadura do milho em função da planta de cobertura antecedente foram discutidos por Silva et al. (2006a) e Strieder et al. (2006), indicando a necessidade de semear o milho na primeira semana após o manejo das leguminosas para o melhor aproveitamento do N mineralizado por estas plantas.

O N mineral, resultado da soma entre amônio e nitrato, apresentou a mesma tendência do nitrato antes do início da alta taxa de absorção pelo milho e do amônio posteriormente. Aos 16 e 40 Dam, respectivamente, sob a parcela descoberta o nitrato constituiu 79 e 85% do N mineral, no tratamento com ervilhaca o nitrato correspondeu a 67 e 82% e com gramínea 41 e 61%. Estes dados indicam que a maior parte do N mineral no solo se encontra na forma de nitrato. Quando comparados resíduos de gramínea e ervilhaca, a menor participação do amônio no N mineral do solo sob as leguminosas deve estar relacionada à maior velocidade de mineralização do N verificada sob a mesma, possibilitando a nitrificação do amônio gerado.

Na Figura 4.1 se visualiza o maior estoque de nitrato no tratamento com ervilhaca em relação às demais plantas de cobertura na camada de 0-0,1 m, aos 16 e 40 Dam, alcançando, respectivamente, 30 e 46 kg ha⁻¹ de N-nitrato. Também verificou-se entre estas duas datas o aumento da quantidade de nitrato sob todas as plantas de cobertura o que deve estar relacionado com a mineralização do N dos resíduos e a processos de mineralização-imobilização do N do solo que podem acontecer pela adição dos resíduos (Cantarella, 2007). O aumento entre 16 e 40 Dam ocorreu numa taxa de 0,67, 0,36 e 0,58 kg ha⁻¹ de N-nitrato por dia, respectivamente, nas parcelas com ervilhaca, aveias e nabo forrageiro, resultando em estoques diferenciados de N-nitrato na camada superficial do solo. Este fato deve ser considerado no planejamento da semeadura e da adubação nitrogenada do milho cultivado em sucessão, observando que o início da alta taxa de absorção do milho se inicia aproximadamente 30 dias após a sua emergência. No Anexo 6 se apresentam os estoques de nitrato, amônio e N mineral na camada de 0-0,1 m.

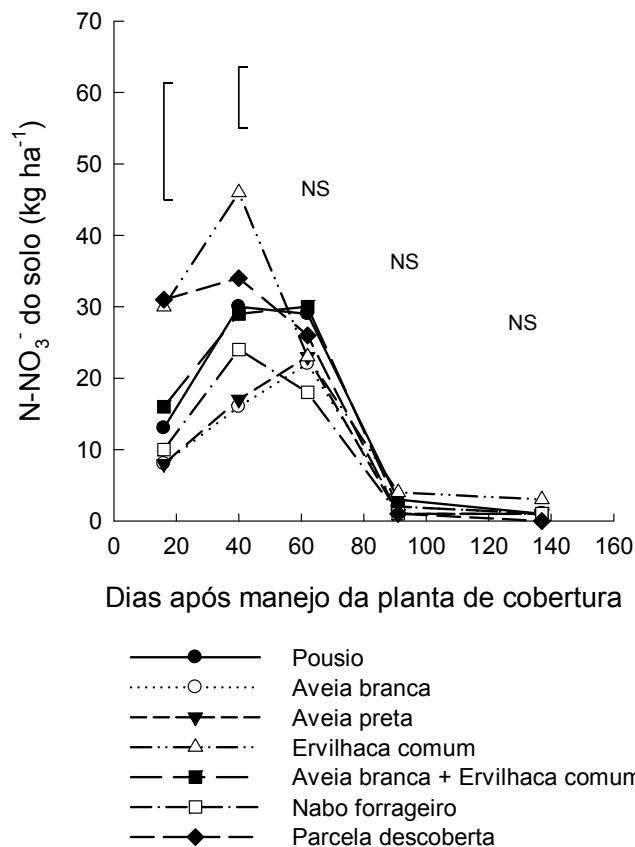


FIGURA 4.1 Estoque de nitrato na camada 0-0,1 m do Latossolo sob plantas de cobertura e pousio no ciclo do milho. Safra 2006/07. As barras verticais indicam a diferença mínima significativa segundo teste de Tukey $P \leq 0,05$.

O milho deve ser semeado logo após o manejo da leguminosa na tentativa de aproveitar o N disponível após o manejo e de evitar perdas, considerando que o N mineral no solo se encontra preferivelmente na forma de nitrato. Também após a leguminosa poderia se evitar ou limitar a uma dose mínima o N a ser aplicado na semeadura e/ou atrasar a aplicação da adubação nitrogenada de cobertura. O consórcio entre gramíneas e leguminosas e o nabo forrageiro situam-se numa situação intermediária e as gramíneas disponibilizam menos e numa taxa menor de N nos primeiros 40 Dam. Em sucessão à gramíneas poderá se atrasar a semeadura do milho, porém considerando que 62 Dam as quantidades de nitrato já foram iguais sob todas as plantas de cobertura.

Por outro lado, estes resultados indicam que o nitrato apresentou potencial de ser indicador do N disponível no solo após o manejo das plantas de cobertura e antes da rápida absorção do milho. Na literatura verifica-se, principalmente, o uso de nitrato como ferramenta de diagnóstico para adubação nitrogenada (Magdoff et al., 1984; Meisinger et al., 1992a; Sims et al., 1995). No entanto, Rambo et al. (2004b) mencionam que em áreas muito úmidas ou que receberam dejetos ou fonte de N amoniacal a determinação de amônio poderá ser de utilidade.

Na Tabela 4.7 apresenta-se o N que cada planta de cobertura disponibilizou aos 40 Dam, estimado pela análise do N remanescente nos resíduos e determinado pela análise do N mineral do solo na camada 0-0,1 m, para a safra 2006/07. No cálculo do N remanescente considerou-se o valor obtido para cada planta de cobertura, nos dois anos de estudo e considerou-se o N acumulado na safra 2006/07 (Tabela 4.3 e 4.4). Nos cálculos a partir do N mineral do solo foi subtraído do amônio determinado na parcela descoberta, o que tendeu a permanecer em teores constantes no solo durante o ciclo do milho e, por outro lado, da quantidade média de nitrato que o solo apresentou sob os diferentes tratamentos quando o milho apresentou alta taxa de absorção de N (2 kg ha^{-1}) (Tabela 4.6).

O N disponibilizado pelas plantas de cobertura a partir da análise do N remanescente e da análise do solo apresentaram a mesma tendência, obtendo-se um coeficiente de correlação entre ambas de 0,9, indicando a alta associação entre o N disponibilizado obtido pelos dois métodos. Por outro lado,

os valores de N disponibilizado estimados a partir da análise do solo estiveram na faixa de 48 a 64% dos valores estimados pela análise dos resíduos. Este fato pode estar relacionado com processos de imobilização microbiana do N a partir da decomposição dos resíduos das plantas de cobertura ou sua incorporação da matéria orgânica do solo. Neste sentido Scivittaro et al. (2003) trabalhando com N marcado indicam que em média 50% do N da biomassa da mucuna preta (*Stizolobium aterrimum*) foi recuperado na camada 0-0,2 m do solo, no final do ciclo do milho, na forma de compostos orgânicos, sendo apenas 12% absorvido pelo milho.

TABELA 4.7 Nitrogênio disponibilizado por plantas de cobertura 40 dias após o manejo em plantio direto, estimado a partir do N remanescente nos resíduos e do N mineral do solo. Safra 2006/07.

Planta cobertura	N acumulado kg ha ⁻¹	N disponibilizado 40 DAM	
		Análise N remanescente	Análise N mineral solo ^{1,2}
		----- kg ha ⁻¹ -----	
Pousio	27	14	28
Aveia branca	72	32	17
Aveia preta	67	31	19
Ervilhaca comum (EC)	127	70	45
Aveia branca + EC	112	58	28
Nabo forrageiro	94	41	24

¹Descontou-se N-amônio da parcela descoberta 5 kg ha⁻¹ e N-nitrato na presença do milho 2 kg ha⁻¹; ²corresponde a 0-0,1m de profundidade.

4.3.2.2 Nitrogênio na biomassa microbiana

O N da biomassa microbiana foi avaliado aos 16 e 40 Dam na safra 2006/07. Não se encontrou diferença significativa entre os tratamentos nas duas datas avaliadas, assim como entre as datas avaliadas, sendo encontrada como média geral o valor de 32 mg kg⁻¹ (Tabela 4.8). Aos 40 Dam apesar de não existir diferença significativa, ocorreu tendência de maior acúmulo de N na biomassa microbiana nos tratamentos com gramíneas, podendo este fato estar relacionado com a menor quantidade de N mineral encontrado no solo sob estas culturas (Tabela 4.6). Por outro lado, o N da biomassa microbiana na parcela descoberta foi 0,67 vezes o determinado sob as gramíneas e, semelhante ao encontrado sob ervilhaca, nabo forrageiro e pousio, evidenciando possível maior imobilização na biomassa microbiana do N proveniente das gramíneas. A média do teor de N da biomassa microbiana foi próxima à concentração de N mineral encontrada na camada 0-0,1 m, para as

mesmas datas (16 e 40 Dam), que foram, respectivamente, 26,3 e 29,5 mg kg⁻¹.

Vargas & Sholles (1998) em experimento de longa duração sob plantio direto em Argissolo Vermelho encontraram N na biomassa microbiana de 46 e 24 mg kg⁻¹, respectivamente nas camadas 0-0,05 e 0,05-0,15 m, sendo a primeira camada superior e, a segunda, inferior aos determinados neste estudo, média de 32 mg kg⁻¹ para a profundidade 0-0,1 m.

A ausência de diferença do N na biomassa microbiana entre os tratamentos pode estar condicionada pela profundidade de avaliação 0-0,1 m que pode ter diluído o efeito dos tratamentos na interface resíduo – solo. Vargas & Scholles (1998), avaliando o N na biomassa microbiana nas rotações de aveia/milho e aveia+viça/milho+caupi em experimento com 10 anos de implantação, encontraram diferenças significativas na camada 0-0,05 m nas duas datas avaliadas enquanto que na camada 0,05-0,15 m apenas numa avaliação, obtendo-se maior valor na sucessão com leguminosa. Além disso, os resultados do presente estudo podem ter sido influenciados pelo tempo transcorrido entre a amostragem e a análise (8 meses), sendo que neste intervalo de tempo as amostras foram mantidas sem peneiramento a umidade de campo e em geladeira a ± 4 °C.

TABELA 4.8 Nitrogênio da biomassa microbiana do solo na camada 0-0,1 m, 16 e 40 dias após o manejo das plantas de cobertura e pousio. Safra 2006/07.

Tratamentos	Nitrogênio da biomassa microbiana			
	16 Dam ¹	40 Dam	Média ²	Média
	----- mg kg ⁻¹ -----			kg ha ⁻¹
Pousio	30	28	29 ns	28
Aveia branca	29	37	33	32
Aveia preta	26	56	41	40
Ervilhaca comum	25	30	28	27
Aveia branca + Ervilhaca comum	33	41	37	36
Nabo forrageiro	31	24	28	27
Descoberta ⁴	36	31	34	33
Média	29 NS ³	36	32	32

¹Corresponde as datas 28/09 e 20/10/2006, respectivamente; ²Não houve interação entre as datas; ³letras minúsculas comparam médias na coluna, letras maiúsculas na linha (teste de Tukey P \leq 0,05); coeficiente de variação (CV) parcela (data) 32% e CV subparcela (plantas de cobertura e pousio) 34%.

4.3.2.3 Atividade da urease

A atividade da urease na profundidade 0-0,05 m aos 40 e 62 Dam, datas próximas à da adubação nitrogenada de cobertura no milho, foi influenciada pelas plantas de cobertura e pousio, nas duas datas avaliadas e

não houve diferença significativa entre as datas avaliadas (Tabela 4.9). Considerando a média das duas datas verifica-se que o pousio e a parcela descoberta apresentaram a menor atividade da urease, e por outro lado, entre as plantas de cobertura o menor valor correspondeu ao da ervilhaca, não existindo diferença significativa entre as gramíneas, consórcio e nabo forrageiro. Os menores valores encontrados sob o pousio e a parcela descoberta devem estar relacionados à menor quantidade de resíduos vegetais incorporados nestes tratamentos. O pousio aportou apenas 3 Mg ha⁻¹ de matéria seca e a parcela descoberta foi mantida sem cobertura vegetal. Costa et al. (2003) mencionam que a urease é uma enzima extracelular produzida por bactérias, actinomicetes e fungos do solo ou, ainda, originada de restos vegetais. Reynolds et al. (1985) comparando 22 solos sob pastagens e culturas anuais, encontraram maior atividade da urease sob as pastagens na camada 0-0,025 m, podendo estar relacionados estes resultados com presença contínua de gramíneas. Porém estes autores relacionam a maior atividade da urease sob a pastagem na camada superficial, com o maior conteúdo de carbono orgânico, N total, capacidade de troca de cátions, número de bactérias, além da presença contínua de raízes ativas e em processo de senescência das pastagens, em relação às áreas de lavoura.

TABELA 4.9 Atividade da urease no solo na camada 0-5 cm, 40 e 62 dias após o manejo das plantas de cobertura e pousio. Safra 2006/07.

Tratamentos	Atividade da urease		
	40 Dam ¹	62 Dam	Média ²
	----- mg N-NH ₄ ⁺ kg ⁻¹ S 2 h ⁻¹ -----		
Pousio	75	72	74 c ³
Aveia branca	125	117	121 a
Aveia preta	135	116	126 a
Ervilhaca comum	107	89	98 b
Aveia branca+Ervilhaca comum	121	117	119 ab
Nabo forrageiro	119	96	108 ab
Descoberta ⁴	87	60	73
Média	114 A ³	101 A	108

¹Corresponde as datas 20/10 e 13/11/2006, respectivamente; ²não houve interação entre as datas; ³letras minúsculas comparam médias na coluna, letras maiúsculas na linha (teste de Tukey P≤0,05); coeficiente de variação (CV) parcela (data) 24% e CV subparcela (plantas de cobertura e pousio) 11%.

Analisando-se a atividade da urease nos tecidos das plantas de cobertura, com a mesma metodologia utilizada para o solo, foi constatada maior atividade na palhada das gramíneas e menor na ervilhaca e nabo forrageiro, sendo as médias, respectivamente, de 700, 208 e 154 mg N-NH₄⁺

$\text{kg}^{-1} \text{ S } 2 \text{ h}^{-1}$ (Anexo 7). A partir destes resultados se observa a mesma tendência na atividade da urease nos resíduos vegetais e a encontrada no solo na camada 0-0,05 m sob estas plantas de cobertura (Tabela 4.9). Também poder-se-ia inferir que, as aveias (branca e preta), poderão potencializar a volatilização da amônia em plantio direto, quando aplicada uréia em superfície, em relação à ervilhaca e nabo forrageiro. McInnes et al. (1986) citam atividade da urease variando entre 1829 e 87,3 mg uréia $\text{kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectivamente, para palha de trigo e solo, indicando uma atividade 21 vezes maior no resíduo da gramínea que poderá contribuir na hidrólise da uréia, principalmente, em plantio direto em que os resíduos vegetais são deixados em superfície.

4.3.3 Milho em sucessão a diferentes plantas de cobertura em sistema plantio direto

4.3.3.1 Nitrogênio acumulado pelo milho em sucessão a diferentes plantas de cobertura

O N acumulado e a produção de matéria seca pelo milho cultivado após diferentes plantas de cobertura e pousio não apresentaram diferenças significativas nas duas safras avaliadas 2005/06 e 2006/07 (Tabela 4.10). A ausência de diferença nestes parâmetros avaliados é devido aos altos coeficientes de variação encontrados nestas variáveis analisadas, principalmente nas duas últimas avaliações, nas quais alcançaram valores de 31 e 24% para a matéria seca e 41 e 35% para N acumulado. Também não houve interação entre os tratamentos e os anos avaliados para matéria seca e N acumulado, sendo apresentada a média das duas safras destas variáveis no ciclo do milho na Figura 4.2. O N acumulado pelo milho na parcela descoberta foi de 105 e 161 kg ha^{-1} , enquanto que sob as plantas de cobertura e pousio a média foi de 106 e 175 kg ha^{-1} , respectivamente, nas safras 2005/06 e 2006/07, o que indica o alto potencial do solo em estudo no fornecimento de N ao milho. Por outro lado, é de mencionar que a semeadura do milho foi realizada 20 Dam na primeira safra e 14 Dam na safra 2006/07, fato que pode ter favorecido as perdas de nitrato sob a ervilhaca e favorecido as gramíneas que apresentaram teor menor de nitrato inicialmente.

TABELA 4.10 Matéria seca e N no milho após plantas de cobertura e parcelas com pousio e descoberta. Safras 2005/06 e 2006/07.

Tratam.	2005/6	2006/7	Média	2005/6	2006/7	Média	2005/6	2006/7	Média	2005/6	2006/7	Média	2005/6	2006/7	Média
	21Das ¹	20 Das	21	31 Das	30 Das	31	59 Das	59 Das	59	91 Das	86 Das	88	133 Das	119 Das	126
----- Matéria seca do milho (kg ha ⁻¹) -----															
Pousio	26	25	25ns ²	98	75	86 ns	2,0	0,9	1,4 ns	7,5	7,5	7,5 ns	16,0	23,5	19,7 ns
AB	31	23	27	112	106	109	1,8	0,7	1,2	7,8	6,6	7,2	15,8	18,6	17,2
AP	25	22	24	112	95	103	1,3	1,3	1,3	7,5	4,3	5,9	14,4	21,9	18,2
EC	29	21	25	114	91	102	2,0	0,9	1,5	8,5	7,3	7,9	16,9	18,0	17,4
AB+EC	25	23	24	96	66	81	1,6	0,5	1,1	8,5	6,4	7,5	15,2	19,5	17,3
NF	24	21	23	90	88	89	1,8	0,7	1,2	8,0	8,7	8,4	14,8	25,2	20,0
Desc. ³	22	27	24	65	83	74	1,4	1,0	1,2	9,9	6,2	8,0	17,3	18,9	18,1
Média	27 A	23 B	25	104 A	87 B	95	1,8 A	0,8 B	1,2	8,0 A	6,8 A	7,4	15,5 B	21,1 A	18,3
CV % ⁴			8			4			11			50			6
CV % ⁵			16			24			32			31			24
----- Concentração de nitrogênio no milho (%) -----															
Pousio	3,61 b ²	3,71 ab	3,66	3,50	3,32	3,41 ns	1,80 ns	2,74 a	2,27	0,80	1,52	1,16 a	0,72	0,87	0,80 ab
AB	3,68 ab	3,37 b	3,52	3,39	3,05	3,22	1,74	2,13 b	1,94	0,74	1,07	0,90 ab	0,65	0,67	0,66 ab
AP	3,70 ab	3,18 b	3,44	3,47	3,12	3,29	1,64	2,25 b	1,95	0,65	1,16	0,91 ab	0,61	0,80	0,70 ab
EC	4,24 a	4,00 a	4,11	3,46	3,64	3,55	1,89	2,79 a	2,34	1,00	1,30	1,15 a	0,77	1,04	0,90 a
AB+EC	4,00 ab	3,14 b	3,57	3,48	3,17	3,32	1,93	2,97 a	2,45	0,98	1,36	1,17 a	0,68	0,95	0,81 ab
NF	4,26 a	3,71ab	3,99	3,61	3,28	3,45	1,86	2,38 b	2,12	0,73	1,00	0,87 b	0,64	0,65	0,64 b
Desc. ³	3,09	3,74	3,42	3,25	3,48	3,37	1,89	2,73	2,31	0,77	1,45	1,11	0,60	0,84	0,72
Média	3,92 A	3,52 B	3,72	3,49 A	3,26 B	3,37	1,81 B	2,54 A	2,18	0,82 B	1,24 A	1,03	0,68 B	0,83 A	0,75
CV % ⁴			5			4			7			13			0,4
CV % ⁵			6			7			5			14			18
----- Nitrogênio acumulado pelo milho (kg ha ⁻¹) -----															
Pousio	0,9	0,9	0,9 ns ²	3,3	2,4	2,9 ns	36	25	31 ns	60	118	89 ns	119	207	163 ns
AB	1,1	0,8	1,0	3,7	3,2	3,4	31	15	23	59	70	64	102	125	113
AP	0,9	0,7	0,8	3,7	2,9	3,3	21	31	26	49	51	50	87	178	132
EC	1,2	0,8	1,0	3,7	3,3	3,5	39	25	32	85	98	91	128	185	156
AB+EC	1,0	0,7	0,8	3,3	2,1	2,7	31	16	24	85	89	87	105	187	146
NF	1,0	0,8	0,9	3,3	2,9	3,1	32	16	24	60	86	73	96	167	132
Desc. ³	0,7	1,0	0,8	2,1	2,9	2,5	27	26	27	76	90	83	105	161	133
Média	1,0 A	0,8 B	0,9	3,5 A	2,8 B	3,1	32 A ⁴	21 B	26	66 A	85 A	76	106 B	175 A	140
CV % ⁴			6			4			18			72			9
CV % ⁵			18			25			37			41			35

¹ Dias após semeadura; ²letras minúsculas comparam médias na coluna entre tratamentos e maiúsculas na linha entre anos (teste de Tukey P≤0,05), a colocação de letras em cada ano implica que houve interação entre ano e tratamentos; ³Analisado separadamente; ⁴coeficiente de variação nas parcelas (anos); ⁵coeficiente variação nas subparcelas (plantas de cobertura e pousio); EC= Ervilhaca, AB= Aveia branca, AP= Aveia preta, NF= Nabo forrageiro, Desc.= Parcela descoberta.

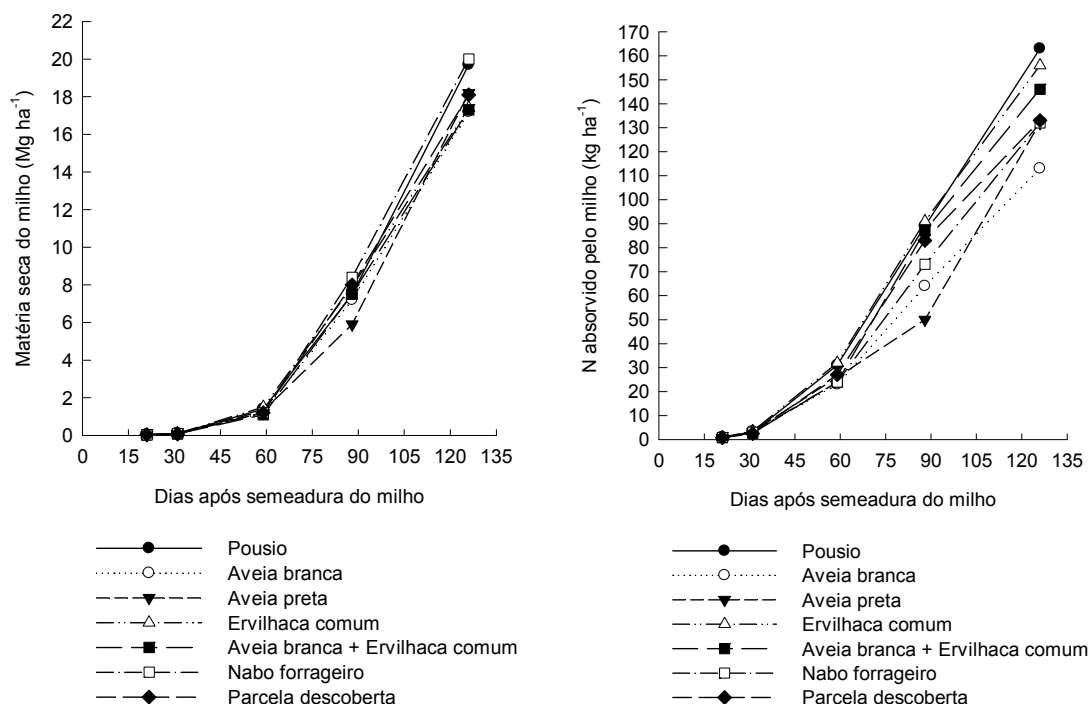


FIGURA 4.2 Matéria seca e nitrogênio absorvido durante o ciclo do milho. Média das safras 2005/06 e 2006/07.

A concentração de N no milho discriminou os tratamentos em quatro das cinco datas avaliadas, apresentando interação entre os tratamentos e os anos avaliados em duas ocasiões (Tabela 4.10). A concentração de N no ciclo do milho se visualiza por safra na Figura 4.3. Maior concentração inicial de N no milho, 21 dias após semeadura (Das), foi encontrada nos tratamentos com ervilhaca e nabo forrageiro. Aos 59 Das verificou-se diferença entre os tratamentos apenas na safra 2006/07, sendo determinada maior concentração de N sob ervilhaca, consórcio e pousio. Esta tendência observada aos 59 Das na safra 2006/07, menor concentração de N no milho sob as aveias (branca e preta) e nabo forrageiro, foi encontrada nas duas seguintes avaliações, nas duas safras (Tabela 4.10). A tendência de maior concentração de N em sucessão à ervilhaca em relação às gramíneas e nabo forrageiro em praticamente todo o ciclo do milho, correspondeu com os maiores teores de N mineral no solo até os 40 Dam (26 Das) e com a liberação de N das plantas de cobertura aos 42 e 152 Dam. O pousio e o consórcio alcançaram níveis intermediários. Estes resultados indicam o potencial da leguminosa como cultura antecedente ao milho para prover N e a necessidade de explorar consórcios com leguminosa como cultura antecedente ao milho, para

potencializar aporte de N e atender outros requisitos de um sistema de produção em plantio direto, como alta produção de resíduos e reciclagem de N e dos outros nutrientes.

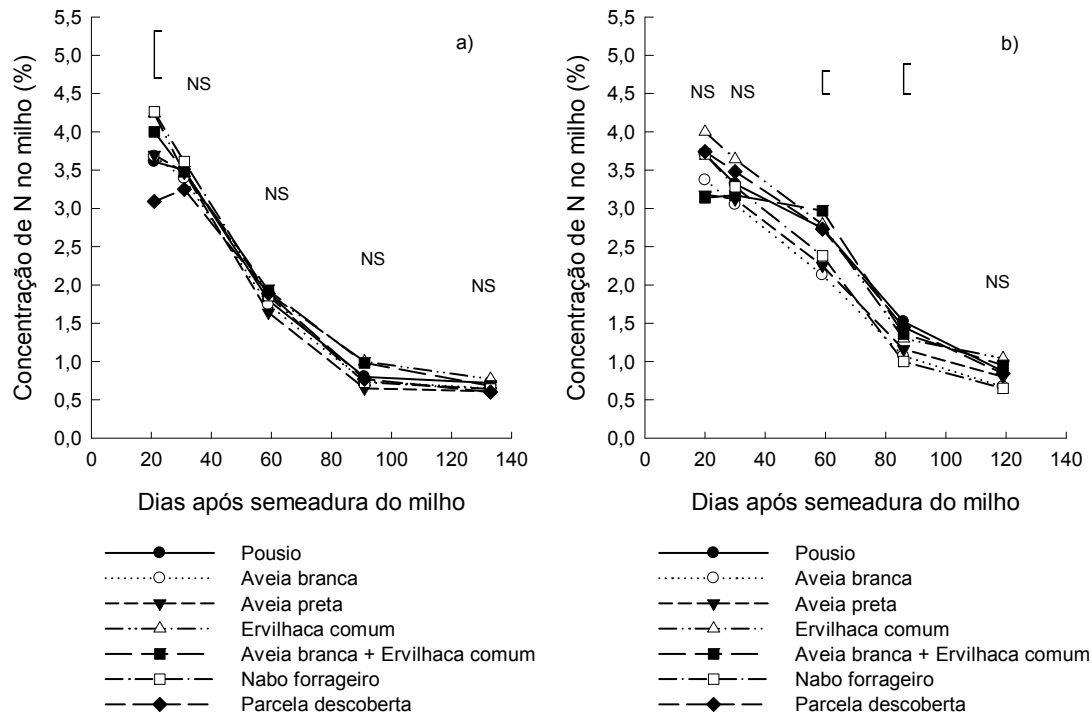


FIGURA 4.3 Concentração de nitrogênio no milho durante seu ciclo de desenvolvimento nas safras 2005/06 (a) e 2006/07 (b). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa segundo teste de Tukey $P \leq 0,05$.

Por outro lado, destaca-se a baixa produção de matéria seca e acúmulo N no milho até os 31 Das, respectivamente, 95 e 3 kg ha⁻¹, média das safras 2005/06 e 2006/07 (Tabela 4.10), que implica na baixa necessidade de N no estágio inicial de desenvolvimento do milho. Entretanto, Sangoi et al. (2007a) destacam que no período vegetativo não deve faltar N ao milho, pois neste período está sendo definido seu potencial produtivo. Observando a demanda de N pelo milho (Figura 4.2), a liberação de N pelas plantas de cobertura (Tabela 4.3) e o estoque de nitrato no solo na camada superficial (Figura 4.1) neste solo com alto potencial de suprimento de N para o milho aplicação de N na semeadura do milho poderá ser mínima sobre gramíneas, nabo forrageiro e consórcios e, inclusive pode ser dispensada quando sobre leguminosas. Além disso, a aplicação de N em cobertura recomendada pode

ser diferenciada sobre diferentes plantas de cobertura, podendo ser atrasada sobre leguminosas.

O requerimento de N pelo milho aumenta nos intervalos 31 a 59 Das, 59 a 88 Das e 88 a 126 Das, com acúmulos de 23, 47 e 64 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, para cada intervalo, e considerando a média de todas as plantas de cobertura e pousio das duas safras (Tabela 4.10). A partir destes acúmulos se obtém uma taxa diária de absorção de N de 0,8, 1,6 e 1,7 kg ha⁻¹, respectivamente, para estes intervalos de tempo. Na parcela descoberta, para estes mesmos períodos, a taxa de absorção de N foi de 0,9, 1,9 e 1,3 kg ha⁻¹, respectivamente, verificando-se tendência inclusive superior nos dois primeiros períodos e inferior no intervalo 88 a 126 Das. Estes dados evidenciam o potencial deste solo de prover N para a cultura do milho e o aporte adicional das plantas de cobertura na última fase avaliada.

Entre as safras, verificou-se diferença na matéria seca, no N acumulado e na concentração de N (Tabela 4.10). No início do ciclo do milho os maiores valores nas três variáveis foram encontrados na safra 2005/06, enquanto que nas avaliações mais próximas ao final do ciclo os maiores valores correspondem aos da safra 2006/07. Um dos fatores que podem explicar este fato é a maior precipitação inicial na safra 2005/06 em relação à safra 2006/07. Ao total foram 142 mm a mais entre o manejo e a semeadura, e, 128 mm a mais desde a semeadura até 31 Das. Esta maior precipitação pode ter favorecido a mineralização de N das plantas de cobertura e a absorção de N pelo milho nos estádios iniciais, mas por outro lado, pode ter favorecido a perda em profundidade de N-nitrato, diminuindo o estoque de N para as datas posteriores na safra 2005/06. Desde o manejo até 31 Das a precipitação total na safra de 2005/06 foi de 451 mm, 271 mm a mais em relação à safra 2006/07. Posteriormente, entre os 31 e 88 Das, período em que se iniciou a alta absorção de N pelo milho a precipitação foi maior na safra 2006/07, sendo as precipitações semelhantes entre as safras no seguinte período (88 a 126 Das). Esta distribuição da chuva pode ter determinado a maior concentração e acúmulo de N no milho na safra 2006/07 (Tabela 4.10). Estes dados indicam a influência da precipitação na absorção de N do milho, devendo ser considerada na avaliação da dinâmica do N no sistema solo – planta.

A recuperação do N aportado pelas plantas de cobertura pelo milho pode ser obtida pela diferença entre o N absorvido pelo milho sob a planta de cobertura e o absorvido na parcela descoberta, dividindo esta diferença, pela quantidade de N acumulado pela planta de cobertura (Amado et al., 1999; Giacomini et al., 2004). Esta avaliação foi denominada recuperação aparente de N por Giacomini et al. (2004) e recuperação relativa de N por Amado et al., (1999). Este cálculo pode superestimar a recuperação de N, considerando que a adição do resíduo vegetal pode produzir mineralização adicional do N do solo “efeito priming” (Kuyakov et al. 2000) ou ainda melhorar as condições de desenvolvimento do milho, propiciando, por exemplo, uma maior exploração radicular, resultando numa comparação de absorção de N pelo milho entre planta de cobertura e parcela descoberta realizada em condições diferenciadas. Além desta limitação, a decomposição não completa dos resíduos remanescentes das plantas de cobertura determina que o N permaneça na forma orgânica e não seja disponível para ser absorvido pelo milho. Nesse caso, um ajuste do cálculo pode ser realizado considerando o N mineralizado dos resíduos vegetais e não o N total acumulado pelos mesmos. Na Tabela 4.11 encontram-se a recuperação aparente pelo milho do N das plantas de cobertura considerando o N total acumulado e o N mineralizado das plantas de cobertura, sendo neste último caso chamado de recuperação aparente ajustada.

Nenhuma absorção adicional de N pelo milho foi determinada sob as aveias (branca e preta), nabo forrageiro e consórcio (aveia branca + ervilhaca) em relação à parcela descoberta na safra 2005/06, enquanto que na safra 2006/07 esta tendência foi constatada apenas no tratamento com aveia branca (Tabela 4.11). Amado et al. (1999) obtiveram valores negativos na diferença entre o N absorvido pelo milho sob aveia preta e parcela descoberta e encontraram valores positivos sob consórcio de aveia + ervilhaca e ervilhaca em experimento de rotação de culturas com 10 anos. Os valores negativos sob aveia foram justificados por estes autores pela predominância de imobilização microbiana do N.

A contribuição porcentual do N absorvido pelo milho da aveia preta, ervilhaca, consórcio e nabo forrageiro na safra 2006/07 foram, respectivamente, 10%, 12%, 14% e 4%. A partir destes valores e dos valores

negativos da primeira safra se verifica que a maior proporção do N absorvido pelo milho correspondeu ao N nativo do solo. Neste sentido, Silva et al. (2006b) trabalhando com N marcado em Latossolo Vermelho do Cerrado, encontraram que 60% e 70% do N absorvido pelo milho era proveniente do solo, respectivamente, sob cobertura de crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) e milheto (*Pennisetum americanum* L. Leeke), e em apenas 12% e 6%, respectivamente, eram derivados destas plantas de cobertura. Vários pesquisadores destacam a predominante absorção do N nativo do solo pelo milho em estudos em Latossolo Vermelho do Cerrado (Figuereido et al., 2005), podendo ser o solo o principal destino do N adicionado via plantas de cobertura (Silva et al., 2006bc).

TABELA 4.11 Recuperação aparente e recuperação aparente ajustada de N pelo milho em sucessão a diferentes plantas de cobertura.

Tratam.	----- N milho -----		--- N planta cobertura ---		Recuperação N pelo milho	
	Acumulado	N planta cob. - N descob.	Acumulado	Mineralizado ¹	Aparente ²	Aparente ajustada ³
----- 2005/06 -----						
	133 Das ⁴	133 Das	Manejo	140 Dam ⁵	133 Das	133 Das
	----- kg ha ⁻¹ -----		----- kg ha ⁻¹ -----		----- % -----	
Pousio	119	14	51	36	27	38
AB	102	-3	67	45	(-)	(-)
AP	87	-18	81	48	(-)	(-)
EC	128	23	80	61	29	38
AB+EC	105	-1	108	79	(-)	(-)
NF	96	-9	75	53	(-)	(-)
Desc.	105		--	--	--	--
----- 2006/07 -----						
	119 Das ⁴	119 Das	Manejo	163 Dam ⁵	119 Das	119 Das
	----- kg ha ⁻¹ -----		----- kg ha ⁻¹ -----		----- % -----	
Pousio	207	46	27	20	>100	>100
AB	125	-36	72	49	(-)	(-)
AP	178	17	67	46	25	36
EC	185	23	127	101	18	23
AB+EC	187	26	112	96	23	27
NF	167	6	94	71	6	8
Desc.	161	--	--	--	--	--

¹A partir da determinação do N remanescente ²((N acumulado milho sob planta cobertura - N acumulado milho parcela descoberta) / N acumulado planta cobertura manejo); ³((N acumulado milho sob planta cobertura - N acumulado milho parcela descoberta) / N mineralizado pela planta cobertura); ⁴dias após semeadura do milho; ⁵dias após manejo planta de cobertura; diferença entre Dam e Das foram 19 e 14 dias respectivamente para as safras 2005/06 e 2006/07.

A partir do N absorvido pelo milho sob pousio aos 126 Das (163 kg ha⁻¹), e do N mineralizado dos resíduos vegetais neste tratamento (28 kg ha⁻¹) (Tabela 4.11), média das duas safras, o solo forneceu para o milho 135 kg ha⁻¹ de N. Por outro lado, ao se considerar a parcela descoberta, na qual a totalidade do N acumulado pelo milho deve provir da mineralização do N do solo, o fornecimento foi de 133 kg ha⁻¹. Verifica-se com estes dados o potencial deste solo em fornecer N às culturas agrícolas, que em média foi de 134 kg ha⁻¹ (pousio e descoberto) aos 126 Das, utilizando-se o milho como planta

indicadora e, o limitado aporte de N pelas plantas de cobertura especialmente gramíneas e nabo forrageiro.

A recuperação aparente de N foi positiva apenas na ervilhaca e pousio na primeira safra e foi negativa somente sob a aveia branca na segunda safra, derivados respectivamente, da maior ou menor absorção de N pelo milho sob estes tratamentos em relação à parcela descoberta (Tabela 4.11). A consideração do N efetivamente mineralizado dos resíduos aumentou a estimativa de recuperação do N pelo milho. Giacomini et al. (2004) encontraram recuperação aparente de N pelo milho de 8,9%, 35,4%, 35% e 27%, respectivamente, para aveia preta, ervilhaca, nabo forrageiro e consórcio, média de três anos, considerando como referência o sistema pousio. Estes valores foram superiores aos encontrados neste estudo o qual pode estar relacionado ao solo com menor potencial de fornecer N, observando que foi um Argissolo Vermelho distroférico arênico (150 g kg^{-1} argila).

Estes dados revelam a importância de aumentar os estoques de N no solo no tempo, sendo a rotação de culturas com introdução de leguminosas solteiras ou consorciadas uma ferramenta efetiva para esse objetivo, como já demonstrado por Lovato et al. (2004) em experimento de longa duração. Por outro lado, ainda existe o desafio de acumular N na forma lábil no solo. Finalmente deve-se considerar que a soja, a qual trata-se da principal cultura na produção de grãos da região, apresenta índice de colheita de N de 80% ou mais (Alves et al., 2006), sendo sua utilização limitada para o aporte de N ao sistema, reforçando a necessidade de utilizar leguminosas de inverno como plantas de cobertura no sistema de produção de grãos da região.

4.3.3.2 Rendimento do milho em sucessão a diferentes plantas de cobertura

O rendimento de grãos do milho apresentou a mesma tendência nas safras 2005/06 e 2006/07 (Tabela 4.12) e apresentou relação com a concentração de N no tecido do milho determinada aos 88 e 126 Das (Tabela 4.10 e Figura 4.3). O rendimento foi maior nos tratamentos com ervilhaca, ervilhaca+aveia branca e pousio, sendo menor nos demais tratamentos os quais não se diferenciaram entre si. O maior rendimento alcançado pelo milho quando antecedido por ervilhaca e consórcio deve estar relacionado com o

maior aporte de N e a menor relação C/N destas, porém estas justificativas não correspondem para o pousio, que apresentou o menor aporte de N e uma relação C/N semelhante às gramíneas. O alto rendimento em pousio pode estar relacionado à menor quantidade de matéria seca com alta relação C/N produzida por este tratamento em relação às gramíneas e nabo forrageiro, 70 e 40%, respectivamente, para as safras 2005/06 e 2006/07, que poderia diminuir o potencial de imobilização de N, pela menor adição de carbono mineralizável. Por outro lado, sob a parcela descoberta verificou-se rendimento superior em 2,14 e 0,81 Mg ha⁻¹, respectivamente, em relação às gramíneas e nabo forrageiro, média de duas safras. Este resultado corresponde com a tendência na concentração de N no milho e com a disponibilidade de N mineral do solo antes da alta taxa de absorção de N pelo milho sob parcela descoberta e pousio em relação às gramíneas e nabo forrageiro.

TABELA 4.12 Rendimento de grãos de milho em sucessão a diferentes plantas de cobertura, pousio e parcela descoberta, sem adubação nitrogenada. Safras 2005/06 e 2006/07.

Tratamentos	Rendimento grãos milho		
	2005/06	2006/07	Média ²
	----- Mg ha ⁻¹ -----		
Pousio	9,13	11,15	10,14 ab ¹
Aveia branca	6,08	8,45	7,27 c
Aveia preta	5,10	8,96	7,03 c
Ervilhaca comum	11,21	12,51	11,86 a
Aveia branca 1/3+Ervilhaca comum 2/3	9,81	10,89	10,35 ab
Nabo forrageiro	6,84	10,13	8,48 bc
Descoberta ³	7,52	11,07	9,29
Média	8,03 B ⁴	10,35 A	9,19
CV % nas parcelas (safras)			16
CV % nas subparcelas (tratamentos)			13

¹Letras minúsculas comparam médias na coluna e maiúsculas na linha (teste de Tukey P≤0,05); ²não houve interação entre anos e tratamentos; ³analisado separadamente.

Comparando as médias no rendimento de milho por ano, verifica-se que a última safra foi superior em 2,32 Mg ha⁻¹. Esta mesma tendência foi encontrada na concentração de N e no acúmulo de N no milho e deve estar relacionada com a maior disponibilidade hídrica na segunda safra, principalmente nos períodos de alta absorção de N pelo milho.

Estes resultados indicam a necessidade de investir na pesquisa em leguminosas e consórcios com leguminosas como culturas antecedentes ao milho. Considerando, além disso, as condições de baixa temperatura da região e da fertilidade do solo construída no tempo e favorecida por mais de duas

décadas de plantio direto que devem favorecer o desenvolvimento das leguminosas. Finalmente pode-se destacar o alto rendimento do milho nas condições de solo, clima e manejo estudado, que alcançou uma média geral, nas duas safras, de $9,19 \text{ Mg ha}^{-1}$ de grãos, sem adubação nitrogenada.

4.4 Conclusões

Maior potencial de disponibilizar N no ciclo do milho ocorre sob ervilhaca, consórcio ervilhaca + aveia branca e nabo forrageiro em relação às gramíneas; devido ao maior acúmulo de N na matéria vegetal e ao maior porcentagem de mineralização de N após o manejo.

O N nitrato é a forma predominante de N mineral do solo, e discrimina a disponibilidade de N na camada superficial do solo sob plantas de cobertura de diferentes famílias, alcançando valores máximos antes da alta taxa de absorção de N pelo milho. Maior disponibilidade de N nitrato na camada superficial do solo é determinada sob a leguminosa, menor sob as gramíneas e intermediária sob consórcio (leguminosa + gramínea), nabo e pousio, até 40 dias após o manejo das plantas de cobertura, em plantio direto.

O N na biomassa microbiana não se diferencia na camada 0-0,1 m sob diferentes plantas de cobertura em plantio direto, e corresponde a 32 kg ha^{-1} de N. A atividade de urease é inferior sob pousio e parcela descoberta indicando que os resíduos aumentam a atividade desta enzima.

Maior rendimento de milho é obtido sob ervilhaca e consórcio (ervilhaca + aveia branca) em relação às gramíneas e nabo forrageiro como cultura antecedente, considerando duas safras de cultivo. A concentração de N no milho corresponde com a diferença encontrada no rendimento em grãos.

Considerando as duas safras, o N absorvido pelo milho sob parcela descoberta e pousio corresponde a uma quantidade média de 134 kg ha^{-1} e indica o alto potencial do Latossolo em prover N durante o ciclo do milho.

O milho possui alto potencial de rendimento em grãos na região, sendo necessárias pesquisas que incluam leguminosa como cultura antecedente ao milho, seja como cultura solteira, bem como consórcio, pelo efeito residual positivo no rendimento do milho e diminuir os requerimentos de N fertilizante no curto prazo, e, incorporar N no sistema solo no longo prazo.

5. ESTUDO III

ADUBAÇÃO NITROGENADA DO MILHO CULTIVADO APÓS PLANTAS DE COBERTURA EM PLANTIO DIRETO NO CENTRO-SUL DO PARANÁ

5.1 Introdução

A adequada recomendação de adubação nitrogenada no milho requer uma abordagem regionalizada que considere condições semelhantes de clima, solo e sistema de manejo. Este fato deriva da alta dinâmica e do potencial de perdas deste elemento em forma gasosa ou por lixiviação, processos estes condicionados pelos fatores mencionados.

Na pesquisa brasileira se verifica estudos clássicos de adubação nitrogenada do milho, avaliando-se doses, épocas e fontes, sendo na última década, enfatizado estes estudos, em sistema de plantio direto (PD). Verifica-se que no Sul do Brasil foi publicado um número expressivo de trabalhos focalizando o efeito da cultura antecedente na disponibilidade de N e, conseqüentemente, na adubação nitrogenada (Gonçalves et al., 2000; Amado et al., 2000; Aita & Giacomini, 2003; Aita et al., 2004, Silva et al., 2006a). Já nas regiões Centro-oeste e Sudeste do país se observa um aumento nas publicações com nitrogênio marcado objetivando estudar os caminhos que o N percorre no ambiente (Scivittaro et al., 2003; Ambrosano et al., 2003; Silva et al., 2006bc; Lara Cabezas et al., 2005; Gava et al., 2006). Em ambas regiões também tem sido observado trabalhos de avaliação de perdas gasosas de nitrogênio pela aplicação de diferentes fontes de N e sistemas de preparo (Lara Cabezas et al., 1997; Da Ros et al., 2005).

As plantas de cobertura tem seu uso preconizado no sistema PD e, quando sua biomassa é adicionada à superfície do solo, exercem efeito diferenciado na dinâmica do N do solo, em relação ao preparo convencional, no qual, a mesma é incorporada ao solo por aração e gradagens (Aulakh et al., 1991; Ernani et al., 2002; Sainju et al., 2007). Por outro lado, as plantas de cobertura apresentam diferente potencial de disponibilizar N à cultura em sucessão devido à variação no acúmulo de N e às características intrínsecas das mesmas (Silva et al., 2006a; Aita & Giacomini, 2003) e também, pela interação planta de cobertura e solo (Ernani et al., 2005). Estes processos diferenciados em função da espécie de planta de cobertura e tipo de solo, condicionado pelo clima e o sistema de PD, demanda estudos regionais que permitam um aproveitamento efetivo do potencial das plantas de cobertura em prover N para a cultura do milho, considerando a alta demanda por N desta cultura.

No Centro–Sul do Paraná o PD é o sistema de preparo consolidado na produção de grãos. O milho ocupa aproximadamente 30% da área agrícola no período estival, apresentando um alto potencial de rendimento nesta região. A uréia é o fertilizante nitrogenado amplamente utilizado, sendo recomendada uma dose média de 150 kg ha⁻¹ de N, tendo sido publicado recentemente um boletim técnico com um sistema de recomendação de nitrogênio para o milho (Fontoura & Bayer, 2008).

Por outro lado, uma ferramenta que pode contribuir para o diagnóstico da necessidade de N e para o ajuste do manejo da adubação nitrogenada no milho é a avaliação do N mineral do solo. O teste mais citado que avalia o N mineral do solo é o de pré-aplicação de N em cobertura, o qual visa determinar a disponibilidade de N-nitrato antes do início da alta taxa de absorção de N pelo milho (Magdoff et al., 1984; Rambo et al., 2004b). A avaliação do N mineral do solo assim como variáveis na planta pode contribuir significativamente para tornar a adubação nitrogenada mais flexível e incrementar a eficiência desta prática de maneira a diminuir custos ao produtor e aumentar a proteção ambiental (Rambo et al., 2008).

Perguntas que nortearam este trabalho foram: existe efeito das plantas de cobertura na volatilização de N-uréia em plantio direto?; qual o efeito do uso de plantas de cobertura de diferentes famílias quanto à dose e época de

aplicação da adubação nitrogenada na cultura do milho em plantio direto?; a determinação do N mineral do solo poderia constituir-se em ferramenta útil no manejo da adubação nitrogenada?.

Este estudo baseia-se nas seguintes hipóteses:

As plantas de cobertura que antecedem o milho afetam a dinâmica de N no sistema solo-planta devendo ser considerado na determinação da dose e época de aplicação da adubação nitrogenada.

O nitrogênio mineral do solo é um indicador potencial no manejo da adubação nitrogenada no milho, em plantio direto no Centro-Sul do Paraná.

Os objetivos deste estudo foram:

- Avaliar a volatilização de N-NH₃ pela aplicação de N-uréia na cultura do milho cultivado após aveia branca e ervilhaca, em plantio direto.
- Determinar a dose de aplicação de N-uréia no milho cultivado após diferentes plantas de cobertura de outono/inverno em plantio direto.
- Avaliar a época de aplicação de N-uréia no milho cultivado após plantas de cobertura de inverno, em plantio direto.
- Determinar a dinâmica de N-mineral do solo durante o ciclo do milho cultivado após diferentes plantas de cobertura e com diferentes doses e épocas de aplicação de N mineral na forma de uréia, em plantio direto.
- Avaliar o N-mineral do solo como ferramenta para o manejo da adubação nitrogenada do milho.

5.2 Material e métodos

5.2.1 Localização, clima e solo

A localização, a caracterização do clima e solo do local do experimento está em material e métodos do Estudo I. Na Tabela 5.1 são apresentadas algumas características químicas e físicas do solo da área experimental, das safras 2005/06 e 2006/07.

TABELA 5.1 Análise de solo da área experimental nas safras 2005/06 e 2006/07, na profundidade de 0-0,1 m.

Ano	Prof.	pH	Índice SMP	Al ⁺⁺⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Al+H	CTC	P	MO	Argila
	m			----- cmol _c dm ⁻³ -----						mg dm ⁻³	- g kg ⁻¹ -	
05/6	0-0,1	5,3	5,5	0,1	5,3	2,2	0,42	7,7	16	10	59	560
06/7	0-0,1	5,3	5,5	0,2	9,3	3,0	0,95	7,7	21	8	54	560

5.2.2 Delineamento experimental, tratamentos e manejo do experimento

O experimento foi conduzido nas safras 2005/06 e 2006/07. O delineamento experimental foi de blocos casualizados em parcelas subdivididas, com três repetições. As parcelas (12,8 x 10 m) consistiram de seis espécies de plantas de cobertura de outono/inverno e as subparcelas (3,2 x 5 m) de formas de manejo da adubação nitrogenada no milho (doses e épocas). Os detalhes dos tratamentos das parcelas e subparcelas se apresentam na Tabela 5.2.

TABELA 5.2 Tratamentos e manejo do experimento nas safras 2005/06 e 2006/07.

Dados experimentais	Safra 2005/06	Safra 2006/07
Tratamentos: Parcelas		
	Aveia branca UFRGS 19 (<i>Avena sativa</i> L.)	Aveia branca FAPA 5 (<i>Avena sativa</i> L.)
	Aveia branca segundinha (<i>Avena sativa</i> L.)	Ervilha forrageira (<i>Pisum sativum</i> L. arvense)
	Aveia preta (<i>Avena strigosa</i> Schieb)	Aveia preta (<i>Avena strigosa</i> Schieb)
	Ervilhaca comum (<i>Vicia sativa</i> L.)	Ervilhaca comum (<i>Vicia sativa</i> L.)
	Nabo forrageiro <i>Raphanus sativus</i> L. <i>oleiferus</i> Metzg.)	Nabo forrageiro (<i>Raphanus sativus</i> L. <i>oleiferus</i> Metzg.)
	Cevada (<i>Hordeum vulgare</i>)	Serradela (<i>Ornithopus sativus</i> Brot.)
Tratamentos: Subparcelas		
N aplicado sementeira +	0 + 0 = 0	0 + 0 = 0
N aplicado cobertura =	0 + 100 = 100	0 + 100 = 100
Total N (kg ha ⁻¹)	0 + 150 = 150	0 + 150 = 150
	0 + 200 = 200	0 + 200 = 200
	0 + 250 = 250	40 + 0 = 40
	40 + 60 = 100	40 + 60 = 100
	40 + 110 = 150	40 + 110 = 150
	40 + 160 = 200	40 + 160 = 200
Fonte de N	Uréia (45-0-0)	Uréia (45-0-0)
Planta cobertura		
-Adubação	0-0-0	0-0-0
-Semeadura	01/06/2005, em plantio direto	26/05/2006, em plantio direto
-Manejo	21/09/2005, com rolo faca	12/09/2006, com rolo faca
Milho:		
-Variedade	P 30P70	P 30P34
-Semeadura	10/10/2005, em plantio direto	26/09/2006, em plantio direto
-Espaçamento fileiras	0,8 m	0,8 m
-Nº plantas ha ⁻¹	66137 (±3338)	65043 (±3679)
-Adubação P ₂ O ₅ e K ₂ O	0-80-80, na sementeira	0-80-80, na sementeira
-Adubação N	Segundo tratamentos	Segundo tratamentos
-Primeira cobertura	8/11/2005 (V4)	31/10/2006 (V4)
-Segunda cobertura	2/12/2005 (V8)	21/11/2006 (V8)
-Amostragem de planta	20/02/2006	22/02/2007
-Colheita	27/03/2006	03/2007

5.2.3 Determinações realizadas e amostragem do solo

As determinações nas plantas de cobertura e no milho foram realizadas nas safras 2005/06 e 2006/07. As avaliações no solo foram realizadas na safra 2006/07.

A amostragem do solo foi realizada após o manejo das plantas de cobertura, sendo efetuada no centro das entrefileiras do milho, na profundidade de 0-0,1 m, com trado calador. Foram obtidas oito amostras simples nas parcelas sob diferentes plantas de cobertura antes da aplicação da cobertura nitrogenada e cinco amostras simples após a aplicação do N, nas subparcelas. Em cada situação as amostras simples foram misturadas para a obtenção de uma amostra composta. As subparcelas amostradas foram as que receberam todo o N em cobertura, nas doses 0, 100 e 200 kg ha⁻¹ de N-uréia.

Antes da aplicação da adubação de cobertura em 18/10/2006 (38 dias após o manejo das plantas de cobertura) também foi amostrada a camada 0,1-0,2 m. Próximo ao final do ciclo do milho (7/02/2007) foram amostradas as camadas 0-0,05, 0,05-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3, 0,3-0,4 e 0,4-0,6 m na parcela com ervilhaca e nas doses 0 e 200 kg ha⁻¹ de N-uréia.

A exceção da amostra do solo destinada para a determinação de N mineral, a qual foi realizada imediatamente após a coleta, o restante do solo foi acondicionado em sacos plásticos, os quais foram rotulados e dispostos em caixa térmica com gelo.

5.2.3.1 Volatilização de N-NH₃

A volatilização de N-NH₃ foi determinada nas subparcelas com aveia branca e ervilhaca comum que receberam as doses 0, 100 e 200 kg ha⁻¹ de N-uréia, aplicados totalmente em cobertura.

Os coletores, procedimentos e metodologia de análises para a determinação da volatilização de N-NH₃ correspondem às mesmas descritas no Estudo I.

5.2.3.2 Nitrogênio mineral do solo

O nitrogênio mineral do solo na camada 0-0,1 m foi determinado em cinco datas durante o ciclo do milho (25/09, 18/10, 30/10, 4/12/06 e

7/02/07). Na profundidade de 0,1-0,2 m e no perfil do solo foram avaliados em única vez, respectivamente, nas datas 18/10/2006 e 7/02/2007.

Os procedimentos realizados na amostragem, metodologia de análise e apresentação dos resultados correspondem aos mesmos descritos no Estudo I.

5.2.3.3 Matéria seca das plantas de cobertura e do milho

A produção de matéria seca das plantas de cobertura foi determinada no momento do manejo das mesmas, sendo a amostragem realizada numa área de 0,25 m². A produção de matéria seca do milho foi determinada através da coleta de uma planta, por tratamento e repetição, em cada safra. As datas de amostragem das plantas de cobertura e do milho são apresentadas na Tabela 4.2. O material coletado, seja de planta de cobertura ou de milho, foi seco em estufa a 65 °C até massa constante e pesado.

5.2.3.4 Nitrogênio total na planta de cobertura e no milho

A quantidade de N acumulado nas plantas de cobertura e no milho foi determinada nas amostras utilizadas na determinação da produção de matéria seca. Estas amostras foram trituradas em moinho de plantas, obtendo-se uma moagem inicial, posteriormente, foram homogeneizadas, subamostradas e moídas novamente em moinho de facas, peneirando-as a 1,0 mm. Desse material, utilizou-se 0,200 g para a determinação do N total.

A metodologia utilizada na determinação dos teores de N no tecido do milho e das plantas de cobertura foi a mesma aplicada no Estudo I. A partir da concentração do N total e da matéria seca, das plantas de cobertura (no manejo) e do milho (grão pastoso), foi estimado o N absorvido, respectivamente.

5.2.3.5 Rendimento de grãos do milho

O rendimento em grão do milho foi determinado por meio de colheita manual das duas fileiras centrais da parcela, sendo os resultados expressos em Mg ha⁻¹, com 13% de umidade.

A população de plantas de milho foi determinada em cada parcela na superfície demarcada para a colheita e calculada em plantas ha^{-1} (Tabela 5.2).

5.2.4 Análise estatística

A produção de matéria seca, a concentração de N e N absorvido pelas plantas de cobertura foram analisados por safra segundo um delineamento experimental em blocos casualizados e três repetições.

A volatilização acumulada de N foi analisada por data de aplicação e em forma conjunta, segundo um delineamento experimental em blocos casualizados com parcelas subdivididas e três repetições. As plantas de cobertura ocuparam as parcelas e as doses de N aplicadas as subparcelas. A taxa de volatilização também foi analisada segundo este mesmo delineamento experimental e por data de medição.

As épocas de aplicação de N foram avaliadas por safra a partir do rendimento de grãos e da concentração de N no milho, segundo um delineamento experimental em blocos casualizados com parcelas subdivididas e três repetições. As plantas de cobertura ocuparam as parcelas e as doses de N aplicadas as subparcelas. Quando a análise da variância acusou diferença significativa, os tratamentos foram comparados por contrastes ortogonais quando houve interação entre plantas de cobertura e dose de N e, por teste de Scott-Knott quando não houve interação.

As doses de N aplicadas foram avaliadas por safra, a partir do rendimento de grãos, segundo um delineamento experimental em blocos casualizados com parcelas subdivididas e três repetições. Quando a análise da variância acusou diferença significativa, os tratamentos foram avaliados por regressão.

O N mineral da camada superficial do solo, nas parcelas sem aplicação de N-uréia, foi avaliado por data de amostragem segundo um delineamento experimental em blocos casualizados. Quando a análise da variância acusou diferença significativa, os tratamentos foram avaliados por teste de Scott-Knott. Após a adubação nitrogenada, o N mineral do solo foi avaliado pelo teste t quando analisados pares de tratamentos e, em blocos

casualizados em parcelas subdivididas quando analisados sob as plantas de cobertura (parcelas) nas doses 0, 100 e 200 kg ha⁻¹ de N-uréia (subparcelas).

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SISVAR versão 4.6, desenvolvido na Universidade Federal de Lavras (Ferreira, 2000).

5.3 Resultados e discussão

5.3.1 Caracterização das plantas de cobertura

O milho cultivado após diferentes plantas de cobertura foi avaliado em 2005/06 e 2006/07, no entanto, duas espécies de plantas de cobertura foram diferentes nos anos agrícolas, por isso a análise estatística foi realizada por safra. A produção de matéria seca não diferiu significativamente entre as plantas de cobertura nos dois anos, assim como o N acumulado por estas na primeira safra. O N acumulado foi superior nas leguminosas (ervilhaca e ervilha forrageira) em relação às demais plantas de cobertura na safra 2006/07 (Tabela 5.3). Estes resultados indicam a variabilidade e o alto potencial no rendimento de matéria seca e N absorvido destas plantas de cobertura na região, sendo recomendada sua avaliação em cada safra para o manejo da adubação nitrogenada.

A concentração de nitrogênio no tecido mostrou-se mais sensível para discriminar os tratamentos e foi superior nas leguminosas, nos dois anos, em relação às gramíneas e nabo forrageiro (Tabela 5.3). Este resultado é coerente com o citado na literatura. Entretanto, observa-se que o nabo forrageiro apresentou uma concentração semelhante ao das gramíneas em 2005 e inclusive inferior no segundo ano. Oliveira (1994), em avaliações realizadas por quatro anos, menciona uma faixa na concentração de nitrogênio no nabo forrageiro de 1,52 a 2,84%. Já Strieder et al. (2006) encontraram igual concentração de N em ervilhaca e nabo. Estes resultados indicam a variabilidade na concentração de N no nabo forrageiro, que poderia estar relacionada ao momento de amostragem, e indicam a necessidade de verificar o teor de N desta planta de cobertura em cada situação.

TABELA 5.3 Matéria seca e nitrogênio nas plantas de cobertura no momento do manejo. Safras 2005 e 2006.

Plantas de cobertura	Safras		Média
	2005	2006	
	Matéria seca		
	----- Mg ha ⁻¹ -----		
Aveia branca UFRGS 19	5,18 ns ²	--	--
Aveia branca ¹	3,41	8,34 ns	5,64 ³
Aveia preta	4,35	4,90	4,62
Cevada	4,10	--	4,10
Ervilha forrageira	--	6,71	6,71
Ervilhaca comum	3,99	7,03	5,51
Nabo forrageiro	5,82	5,89	5,85
Serradela	--	4,77	4,77
Média	4,47	6,58	
Coeficiente variação (%)	24,9	14,9	
	Concentração de N		
	----- % -----		
Aveia branca UFRGS 19	1,27 b	--	--
Aveia branca ¹	1,36 b	1,17 c	1,27 ³
Aveia preta	1,53 b	1,13 c	1,33
Cevada	1,13 b	--	1,13
Ervilha forrageira	--	1,74 b	1,74
Ervilhaca comum	2,03 a	2,27 a	2,15
Nabo forrageiro	1,26 b	1,02 d	1,14
Serradela	--	--	--
Média	1,43	1,47	
Coeficiente variação (%)	17,4	3,1	
	N acumulado		
	----- kg ha ⁻¹ -----		
Aveia branca UFRGS 19	66 ns	--	--
Aveia branca ¹	46	98 c	70 ³
Aveia preta	67	55 d	61
Cevada	46	--	46
Ervilha forrageira	--	117 b	117
Ervilhaca comum	81	160 a	120
Nabo forrageiro	73	60 d	66
Serradela	--	--	--
Média	63	98	
Coeficiente variação (%)	25,5	12,9	

¹Aveia branca Segundinha em 2005/06 e Aveia branca Fapa 5 em 2006/07; ²comparam médias na coluna (teste de Scott-Knott P≤0,05); ³média das três Aveias brancas.

A partir do N remanescente nos resíduos das plantas de cobertura determinado no Estudo II, para aproximadamente os 40 e 150 dias após o manejo (Dam) e do nitrogênio acumulado neste estudo, foi estimado o N mineralizado pelas plantas de cobertura para a cultura do milho, em cada safra (Tabela 5.4). Aos 40 Dam o N mineralizado das gramíneas, leguminosas e nabo forrageiro foi, respectivamente, 29, 58 e 32 kg ha⁻¹; já aos 150 Dam alcançou, respectivamente, 39, 91 e 51 kg ha⁻¹, média das duas safras. Estes resultados evidenciam o maior potencial das leguminosas de prover N à cultura em sucessão, seja pelo maior acúmulo ou pela maior taxa de mineralização do N absorvido. Além disso, a leguminosa adiciona N oriundo de fora do sistema solo-planta, sendo que nas espécies gramíneas e nabo forrageiro a maior parte do N é resultante da reciclagem do N do solo. Por outro lado, se verifica a

insuficiência do N fornecido pelas plantas de cobertura, especialmente das não leguminosas, em relação ao N extraído pelo milho, 84 a 336 kg ha⁻¹ de N, para uma faixa de rendimento de 3 a 12 Mg ha⁻¹ de grãos (Raij et al., 1997).

TABELA 5.4 Nitrogênio mineralizado pelas plantas de cobertura nas safras 2005/06 e 2006/07.

Plantas cobertura	Nitrogênio mineralizado ²					
	40 Dam ¹			150 Dam		
	2005/06	2006/07	Média	2005/06	2006/07	Média
	----- kg ha ⁻¹ -----					
Aveia branca UFRGS 19	32	--	--	44	--	--
Aveia branca ³	22	48	34 ⁴	30	65	46 ⁴
Aveia preta	33	27	30	44	36	40
Cevada	22	--	22	30	--	30
Ervilha forrageira	--	57	57	--	90	90
Ervilhaca comum	40	78	59	62	123	92
Nabo forrageiro	36	29	32	56	46	51
Serradela	--	--	--	--	--	--

¹Dias após o manejo da planta de cobertura; ²40 Dam o N mineralizado é 49% e 150 Dam o N mineralizado é 66% nas gramíneas e 77% nas leguminosas e nabo forrageiro; ³Aveia branca Segundinha em 2005/06 e Aveia branca Fapa 5 em 2006/07; ⁴média das três aveias brancas.

5.3.2 Adubação nitrogenada no milho cultivado após diferentes plantas de cobertura

5.3.2.1 Volatilização de nitrogênio na forma de amônia pela aplicação de uréia em milho após aveia branca e ervilhaca comum

A volatilização de N-NH₃ foi determinada nos tratamentos com aveia branca e ervilhaca, com aplicação de 0, 100 e 200 kg ha⁻¹ de N-uréia, em duas vezes e integralmente em cobertura. Esta avaliação foi realizada na safra 2006/07.

Ao analisar a volatilização acumulada de N-NH₃ de forma conjunta (primeira e segunda cobertura), verificou-se que não houve interação entre plantas de cobertura e dose de N aplicada, indicando a mesma tendência na volatilização de N-NH₃ sob aveia branca e ervilhaca (Tabela 5.5). Esperava-se maior volatilização acumulada sob a aveia branca devido à maior atividade da urease na camada 0-0,05 m do solo sob esta planta de cobertura e no tecido da mesma (Tabela 4.9 do Estudo II e Anexo 7). Este resultado indica que outros fatores podem ter sido mais importantes na volatilização do que a atividade da urease. A maior volatilização de N-NH₃ acumulada foi determinada na maior dose de N-uréia aplicada e, os dados se ajustaram a uma equação

linear, indicando que a volatilização se incrementou $0,088 \text{ kg ha}^{-1}$ de N-NH_3 por kg ha^{-1} de N aplicado ($y=3,464+0,088X$ $R^2=0,99^{**}$). As porcentagens de N volatilizados das doses de N-uréia aplicadas foram 7,5 e 8,7%, respectivamente, para 100 e 200 kg ha^{-1} (Tabela 5.5).

TABELA 5.5 Volatilização total de N-NH_3 pela adubação nitrogenada de cobertura do milho com uréia, aplicadas em duas vezes, sob aveia branca e ervilhaca, em plantio direto. Safra 2006/07.

Dose total N ¹	Volatilização de N-NH_3			% ³
	Aveia branca	Ervilhaca comum	Média ²	
	-----kg ha ⁻¹ -----			
0	3,5	4,2	3,9 b ⁴	--
100	13,5	9,3	11,4 b	7,5
200	21,2	21,6	21,4 a	8,7
Média	12,8 A ⁵	11,7 A	--	--

¹Aplicadas em duas vezes (31/10 e 21/11); ²não houve interação entre plantas de cobertura e dose de N; ³percentual de N volatilizado do N aplicado; ⁴letras minúsculas comparam médias na coluna; ⁵letras maiúsculas comparam médias na linha (teste de Tukey $P \leq 0,05$).

Ao discriminar a volatilização acumulada de N-NH_3 por aplicação, verifica-se que 76 e 75% da volatilização total, respectivamente, para as doses 100 e 200 kg ha^{-1} de N-uréia, ocorreram após a segunda aplicação (Tabela 5.6). Apesar de ter sido obtida interação entre plantas de cobertura e dose de N na primeira data, ajustaram-se equações lineares entre a volatilização média sob as duas plantas de cobertura e as doses de N para as duas datas de aplicação, verificando-se que foi volatilizado $0,029$ e $0,146 \text{ kg ha}^{-1}$ de N-NH_3 por kg ha^{-1} de N aplicado, respectivamente, para a primeira e segunda aplicação ($y=2,009+0,029X$ $R^2=0,84^{**}$ e $y=1,454+0,146X$ $R^2=0,99^{**}$). Este comportamento diferenciado da volatilização entre as duas datas de aplicação deve estar relacionado, principalmente, com diferenças nas condições climáticas e de umidade do solo entre os períodos, considerando que as doses aplicadas em cada data foram as mesmas. Por outro lado se constata que o percentual de N-NH_3 volatilizado foi semelhante nas duas doses de N, nas duas datas de avaliação. Neste sentido Overrein & Moe (1967) e Rodriguez & Kiehl (1986) citam que a medida que aumenta a dose aplicada da uréia maior é o potencial de perda de N por volatilização.

Ao analisar a taxa de volatilização de N-NH_3 nas cinco datas após as duas aplicações de N em cobertura, verificou-se que em apenas uma data, após a primeira aplicação, houve interação entre plantas de cobertura e dose de N, sendo que foi encontrada diferença significativa entre doses de N e não

entre as plantas de cobertura (Anexo 8). Por esta razão é apresentada a taxa de volatilização média obtida sob as duas plantas de cobertura, na Figura 5.1.

TABELA 5.6 Volatilização acumulada de N-NH₃ por data pela adubação nitrogenada da cobertura do milho com uréia, em duas vezes, sob de aveia branca e ervilhaca comum, em plantio direto. Safra 2006/07.

Dose N ¹	Volatilização de N-NH ₃					
	Primeira cobertura			Segunda cobertura		
	Aveia b.	Ervilhaca	Média ²	Aveia b.	Ervilhaca	Média ³
	----- kg ha ⁻¹ -----					
0	2,0 c ⁴	2,8 b	2,4	1,5	1,5	1,5 b
50	3,2 b	2,3 b	2,7	10,4	7,0	8,7 ab
100	4,8 a	5,9 a	5,3	16,5	15,7	16,1 a
Média	3,3	3,6		9,4 A ⁵	8,1 A	

¹Aplicadas duas vezes, em 31/10 e 21/11; ²houve interação entre plantas de cobertura e dose de N; ³Não houve interação entre plantas de cobertura e dose de N; ⁴letras minúsculas comparam médias na coluna; ⁵letras maiúsculas comparam médias na linha (teste de Tukey P≤0,05).

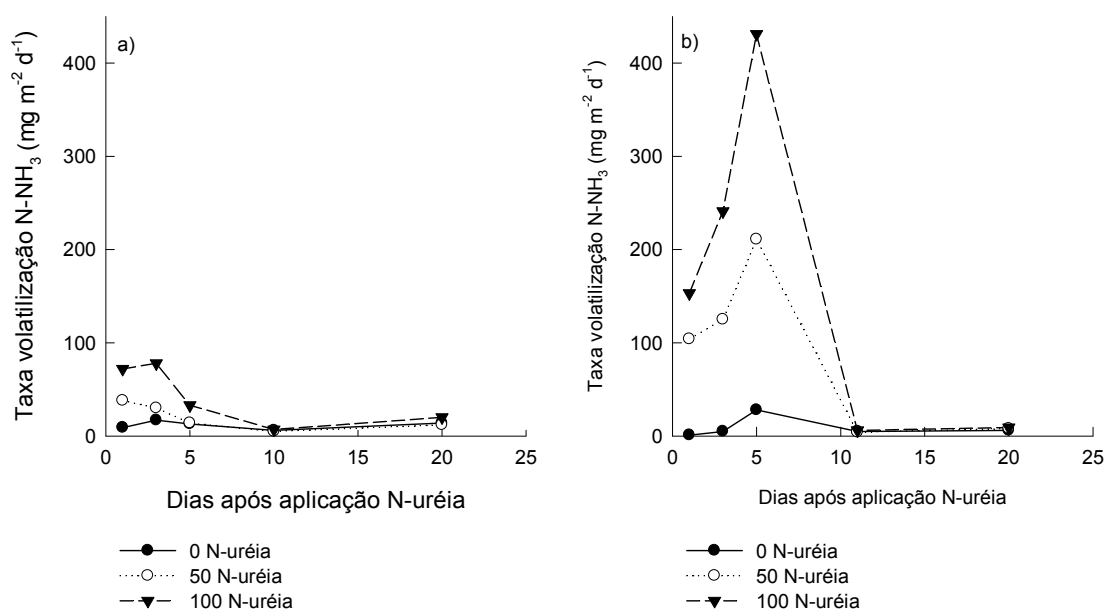


FIGURA 5.1 Taxa de volatilização de N-NH₃ pela adubação nitrogenada fracionada do milho com N-uréia, após a primeira (a) e segunda cobertura (b). Média da aveia branca e ervilhaca.

A taxa de volatilização de N-NH₃ foi superior após a segunda aplicação, corroborando os dados de maior volatilização acumulada para esta aplicação, como discutido anteriormente (Figura 5.1). Também, pode se observar que a taxa de volatilização alcança os maiores valores em datas próximas à aplicação da uréia obtendo-se, posteriormente, valores mínimos. Assim, na segunda aplicação a maior taxa foi determinada entre o terceiro e

quinto dia após a aplicação, 211 e 431 mg m⁻² d⁻¹ de N-NH₃, respectivamente, para as doses 50 e 100 kg ha⁻¹ de N-uréia, média das duas plantas de cobertura. Estes dados confirmam que qualquer prática para o controle da perda de N-NH₃ pela aplicação da uréia deve ser realizada logo após a aplicação de N, de maneira a retardar os picos de volatilização (Rodriguez & Kiehl, 1986).

As diferenças de precipitação, temperatura, umidade do solo entre os períodos após a primeira e segunda aplicação de N-uréia, devem estar relacionadas às variações na taxa de volatilização e, em consequência, da volatilização acumulada encontradas entre as aplicações.

Após a primeira cobertura (31/10/2006) ocorreu uma precipitação de 19,6 mm, a precipitação acumulada até o terceiro dia foi de 43,2 mm, e até o sexto dia de 73,4 mm, que podem ter contribuído na dissolução da uréia, em limitar a elevação do pH e a formação de amônia, no transporte em profundidade dos produtos da hidrólise da uréia, e no favorecimento da adsorção de amônio no solo (Figura 5.2 e Apêndice 1). Também, após a primeira aplicação de uréia, a umidade do solo permaneceu alta, e não foi observado processo de secagem expressiva do solo, obtendo-se uma média de umidade nos primeiros dez dias seguintes à aplicação de 0,489 e 0,481 g g⁻¹, respectivamente, sob aveia branca e ervilhaca. Já após a segunda cobertura (21/11/06) verificou-se que apenas houve 5,8 mm de chuva acumulada até três dias após da aplicação e de 12 mm até o quinto dia, valores que não foram suficientes para diminuir as perdas de N-NH₃ aos níveis determinados na primeira aplicação. Assim, precipitação de baixa quantidade e intensidade pode favorecer a dissolução e hidrólise da uréia, mas sem limitar a elevação do pH e incorporar os produtos da hidrólise em profundidade, favorecendo o processo de volatilização (Craig & Wollum, 1982; Bouwmeester et al. 1985).

Também, após a segunda cobertura nitrogenada verificou-se maior temperatura do ar em relação à primeira, principalmente, nos primeiros cinco dias após à aplicação, obtendo-se temperaturas médias de 19,6 °C e 20,4 °C, respectivamente, para a primeira e segunda cobertura (Figura 5.2). Neste sentido, Volk (1959) determinou que a temperatura do ar está positivamente relacionada com a volatilização. Também, considerando a

diminuição da umidade do solo da profundidade 0-0,05 m, entre o dia da aplicação e o terceiro dia, maior evaporação foi encontrada na segunda aplicação em relação à primeira, correspondendo a valores de 5 e 1 mm, respectivamente. Estes fatores também podem ter contribuído na maior volatilização encontrada após a segunda aplicação da cobertura.

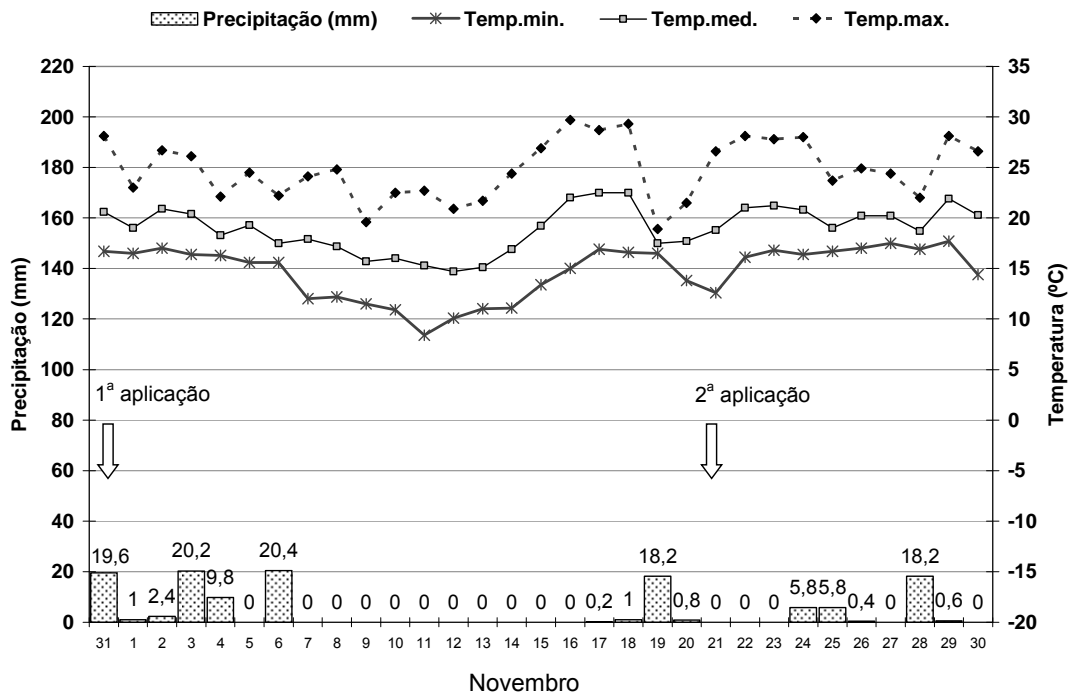


FIGURA 5.2 Precipitação e temperatura de novembro de 2006 em Entre Rios, Guarapuava. A primeira e segunda adubação de cobertura do milho foram em 31/10 e 21/11.

No Estudo I foi encontrada maior volatilização acumulada, 14% e 18% nas doses 80 e 160 kg ha⁻¹ de N-uréia, em relação a este estudo, que apresentou perdas de 8% e 9% de N-NH₃ das doses 100 e 200 kg ha⁻¹, respectivamente. O parcelamento da aplicação da cobertura contribuiu para diminuir as perdas por volatilização, devido a uma condição climática favorável para a incorporação ao solo do N-uréia quando da primeira aplicação. No entanto, na segunda aplicação de N-uréia as porcentagens de N-NH₃ volatilizados foram de 14% e 15%, respectivamente, para as doses 50 e 100 kg ha⁻¹, semelhantes, portanto, aos valores apresentados no Estudo I. Estes resultados indicam que o simples parcelamento da adubação de cobertura nitrogenada com uréia não garante menor perda por volatilização e a menor

volatilização estará relacionada a condições climáticas na época de aplicação, quando aplicado a lanço sob a cobertura, em plantio direto.

Finalmente, o percentual volatilizado de N-NH₃ foi o mesmo sob as doses de N-uréia avaliadas e não foi verificada diferença na volatilização sob a aveia branca e ervilhaca. No entanto, é de interesse a condução de experimentos de volatilização sob diferentes plantas de cobertura, observando que a palha recebe a aplicação a lanço da adubação nitrogenada de cobertura em PD e, que pode haver diferenças na atividade da urease entre os resíduos de diferentes plantas de cobertura e na camada superficial do solo sob diferentes plantas de cobertura, segundo os resultados do Estudo II. Por outro lado, com 100 e 200 kg ha⁻¹ de N-uréia, aplicados em duas vezes em doses iguais, se verificou volatilização máxima de 9% do N aplicado. No Estudo I, com 160 kg ha⁻¹ de N-uréia aplicado numa vez e que coincidiu com condições climáticas favoráveis para volatilização do N-NH₃, o percentagem de perda foi de 18% do N adicionado, em PD, no Centro-Sul do Paraná.

5.3.2.2 Época de aplicação de nitrogênio no milho

A adubação nitrogenada do milho, com e sem aplicação na semeadura e sendo a cobertura aplicada em duas vezes, sob diferentes plantas de cobertura, foi avaliada através do rendimento em grãos e da concentração de N na planta no enchimento de grãos do milho (estádio de grão pastoso). Estas variáveis foram consideradas devido ao menor coeficiente de variação. A avaliação foi realizada nas safras 2005/06 e 2006/07.

A época de aplicação do nitrogênio no milho a partir do rendimento foi analisada por contrastes ortogonais sob cada planta de cobertura, devido à interação detectada entre plantas de cobertura e doses de N aplicadas. Encontraram-se diferenças significativas entre os tratamentos sem e com adubação, sob todas as plantas de cobertura avaliadas e nas duas safras (Tabelas 5.7 e 5.8). Em geral não se detectou diferença significativa nos contrastes com mesmas doses de N, porém com ou sem aplicação de N na semeadura. Na safra 2005/06, foi encontrada diferença significativa apenas no contraste da dose 150 kg ha⁻¹ de N sob aveia preta (gramínea), na qual, o maior rendimento se obteve com a aplicação de parte do N na semeadura, não sendo detectada outras diferenças. Em 2006/07, se determinou diferença

apenas na serradela (leguminosa), no mesmo contraste com dose 150 kg ha⁻¹ de N. Nesta dose o maior rendimento do milho se obteve com a aplicação total de N em cobertura (Tabelas 5.7 e 5.8).

TABELA 5.7 Rendimento de grãos e concentração de N na planta de milho no estágio grão pastoso, em diferentes doses de N, com e sem aplicação de N na semente e sob diferentes plantas de cobertura. Safra 2005/06.

Contrastes	A. branca UFRGS	A. branca segundinha	Aveia Preta	Cevada	Ervilhaca comum	Nabo forrageiro
----- Rendimento de grãos do milho -----						
(0 ¹ +0) X (0+C ² e 40+C)	** ³	**	**	**	**	**
(0+ C) X (40+ C)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
(0+100) X (40+60)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
(0+150) X (40+110)	NS	NS	**	NS	NS	NS
(0+200) X (40+160)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
----- Concentração de N no milho -----						
(0+0) X (0+C e 40+C)	** ³	**	**	**	**	**
(0+C) X (40+C)	NS	*	*	NS	NS	**
(0+100) X (40+60)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
(0+150) X (40+110)	NS	NS	*	NS	NS	**
(0+200) X (40+160)	NS	**	NS	NS	NS	**

¹Adubação em semente + adubação em cobertura; ²cobertura; ³diferença significativa pelo teste F: P≤0,05 (*), P≤0,01 (**) e P>0,05 (NS); para o rendimento C.V. na parcela (plantas de cobertura) 6% e C.V. na subparcela (dose de N) 6%; para a concentração de N C.V. na parcela 21% e C.V. na subparcela 10%.

TABELA 5.8 Rendimento de grãos do milho em diferentes doses de N, com e sem aplicação de N na semente e sob diferentes plantas de cobertura. Safra 2006/07.

Contrastes	A. branca	A. Preta	Ervilha	Ervilhaca	Nabo f.	Serradela
(0 ¹ +0) X (0+C ² e 40+C)	**	**	*	**	**	**
(0+C) X (40+C)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
(0+100) X (40+60)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
(0+150) X (40+110)	NS	NS	NS	NS	NS	*
(0+200) X (40+160)	NS	NS	NS	NS	NS	NS

¹Adubação em semente + Adubação em cobertura; ²cobertura; diferença significativa pelo teste F: P≤0,05 (**), P≤0,01 (*) e P>0,05 (NS); C.V. na parcela (plantas de cobertura) 5% e C.V. na subparcela (dose de N) 7%.

A avaliação da época de aplicação do nitrogênio no milho a partir da concentração de N na planta, por grupos de contrastes de interesse, se realizou sob cada planta de cobertura na safra 2005/06, devido à interação detectada entre plantas de cobertura e doses de N aplicadas. Enquanto que na safra 2006/07 a interação planta de cobertura e dose não foi significativa e, as comparações se realizaram a partir da média na concentração de N considerando todas as plantas de cobertura, para cada dose de N adicionada.

A concentração de N do milho, assim como o rendimento, apresentou diferenças significativas entre os tratamentos sem adubação e com adubação, seja considerando cada planta de cobertura na safra 2005/06, ou a partir da média por doses de N considerando todas as plantas de cobertura, em

2006/07 (Tabelas 5.7 e 5.9). Estes resultados, considerando o rendimento e a concentração de N na planta de milho, indicam a existência de resposta da cultura do milho à adubação nitrogenada nas condições estudadas.

Na safra 2005/06, quando comparado os diferentes contrastes com aplicação de N, se encontraram diferenças na concentração de N no milho sob duas das quatro espécies de gramíneas e o nabo forrageiro. Nas gramíneas, quando contrastados 0+C e 40+C (Tabela 5.7) as médias foram respectivamente, 0,82 e 0,92% para a aveia branca segundinha e, 0,90 e 0,81%, para a aveia preta, evidenciando maior concentração de N quando parte do N foi aplicado na semeadura para a primeira espécie e o contrário para a segunda, não podendo obter se conclusões da necessidade ou não de N na semeadura sob as gramíneas. No nabo forrageiro, nos três contrastes com significância estatística, com adubação, verifica-se que a maior concentração de N foi determinada nos tratamentos sem N na semeadura, indicando melhor resposta do milho quando o N é aplicado inteiramente em cobertura, porém este resultado não foi corroborado pelo rendimento.

TABELA 5.9 Concentração de nitrogênio no milho no enchimento de grãos em diferentes doses de N, com e sem N na semeadura. Safra 2006/07.

Semeadura	Dose de N		Concentração de N no milho
	Cobertura ¹	Total	
	----- kg ha ⁻¹ -----		%
0	0	0	0,66 a ²
40	0	40	0,72 b
0	100	100	0,78 c
40	60	100	0,81 c
0	150	150	0,85 d
40	110	150	0,87 d
0	200	200	0,93 e
40	160	200	0,97 e

¹Aplicadas em duas vezes; ²letras minúsculas comparam médias na coluna (teste de Scott-Knott P≤0,05); C.V. na parcela (plantas de cobertura) 14% e C.V. na subparcela (dose de N) 8%.

Na safra 2006/07, não foi encontrada diferença na concentração de N no milho entre os tratamentos com mesma dose de N, mas com e sem aplicação de N na semeadura (Tabela 5.9). Este resultado indica que neste solo, não há diferença entre aplicar 40 kg ha⁻¹ de N na semeadura e o restante de N em cobertura, como aplicar todo o N em cobertura, para as doses avaliadas e sendo realizada a aplicação da cobertura em duas vezes. A partir dos resultados de rendimento em grãos e da concentração de N no milho, pode

se generalizar que é viável aplicar todo o nitrogênio na cobertura, ressaltando, que no experimento a aplicação da cobertura foi realizada em duas vezes aproximadamente aos 30 e 60 dias após a semeadura, e que a semeadura do milho efetuou-se em média 15 dias após o manejo das plantas de cobertura. Sangoi et al. (2007b), em estudo de três anos, em solo com alta matéria orgânica e com aveia como cultura antecedente; encontraram melhor eficiência agrônômica (kg no aumento de rendimento/kg de N aplicado) quando todo o N foi aplicado em cobertura, no estágio de cinco folhas totalmente expandidas (V5), confirmando a possibilidade de, em solos com alto potencial de suprimento de N, aplicar o N somente em cobertura, quando o milho começa a alta demanda de nitrogênio.

Como salientado acima, a não resposta do milho à adubação nitrogenada na semeadura deve estar relacionada ao potencial deste solo em fornecer N, que pode ser devido ao alto teor de carbono orgânico (50 g kg^{-1}) e à limitada demanda em quantidade de N pelo milho no início do período vegetativo, 3 kg ha^{-1} de N 31 dias após semeadura (Tabela 4.10 do Estudo II). Por outro lado, nos meses em que geralmente se semeia o milho no Centro-Sul do Paraná, setembro e outubro, as médias históricas de chuva são 171 e 217 mm, respectivamente, indicando potencialidade de movimento de N-nitrato em profundidade. Considerando estes resultados e fatores não é aconselhável a aplicação da dose recomendada de N em pré-semeadura, nem em semeadura, independentemente da cultura antecedente, nas condições estudadas. A avaliação do N mineral do solo que será abordada posteriormente poderá constituir-se em ferramenta adicional que respalde a tomada de decisões e determine a melhor época de aplicar N na cultura do milho.

Em relação à condução do experimento e às avaliações realizadas algumas considerações são importantes. A semeadura do milho realizou-se 20 e 14 dias após o manejo das plantas de cobertura, respectivamente, para as safras 2005/06 e 2006/07. A semeadura logo após o manejo das leguminosas poderia ter favorecido um melhor aproveitamento do N liberado das leguminosas e favorecer os tratamentos sem N na semeadura. Por outro lado, as variáveis consideradas foram do final do ciclo do milho, podendo ser de interesse avaliações durante o ciclo do milho, como por exemplo, anteriores à primeira e segunda cobertura. Porém o que não seria

recomendável é avaliar somente condições iniciais da cultura para responder perguntas sob época de aplicação de N no milho. Neste sentido Sangoi et al. (2007) obtiveram maior concentração de N e matéria seca em milho no estágio V6 (seis folhas totalmente expandidas) com aplicações de N em pré-semeadura, porém o rendimento do milho e a concentração de N em R6 (grãos fisiologicamente maduros) foram superiores no tratamento com o total de N aplicado em cobertura.

5.3.2.3 Dose de nitrogênio a aplicar no milho

Realizaram-se curvas de resposta do rendimento de grãos do milho às doses de N para cada planta de cobertura, devido à interação detectada entre plantas de cobertura e doses de N adicionadas. A curva de resposta para cada planta de cobertura foi realizada por épocas de aplicação (com e sem nitrogênio na semeadura) apesar de não existir evidências de diferenças entre as mesmas. Este procedimento foi realizado com o objetivo de utilizar as doses 40+210 e 40+0, respectivamente, das safras 2005/06 e 2006/07, não utilizadas nos contrastes ortogonais para avaliar época de aplicação de N.

Na safra 2005/06, a resposta do rendimento de grãos do milho à dose de N aplicada em cobertura, com dose máxima de 200 kg ha^{-1} , ajustou-se a equações lineares sob ervilhaca, nabo e aveia preta, e nas demais, a equações polinomiais de segundo grau (Figura 5.3). Já para as aplicações de N em semeadura e cobertura, em que a dose máxima foi de 250 kg ha^{-1} , todas as curvas de resposta foram ajustadas a equações de segundo grau (Figura 5.3). A partir das equações com maior dose de N, estatisticamente muito significativas ($P < 0,01$) e com alto coeficiente de determinação (R^2), sob todas as plantas de cobertura, se obteve as doses de N para obter a máxima produtividade (Máxima eficiência técnica). Posteriormente, calculou-se a dose de N requerida para alcançar 90% da produtividade máxima, na qual se obtém produtividades próximas à máxima eficiência econômica das culturas (CQFS-RS/SC, 2004) (Tabela 5.10).

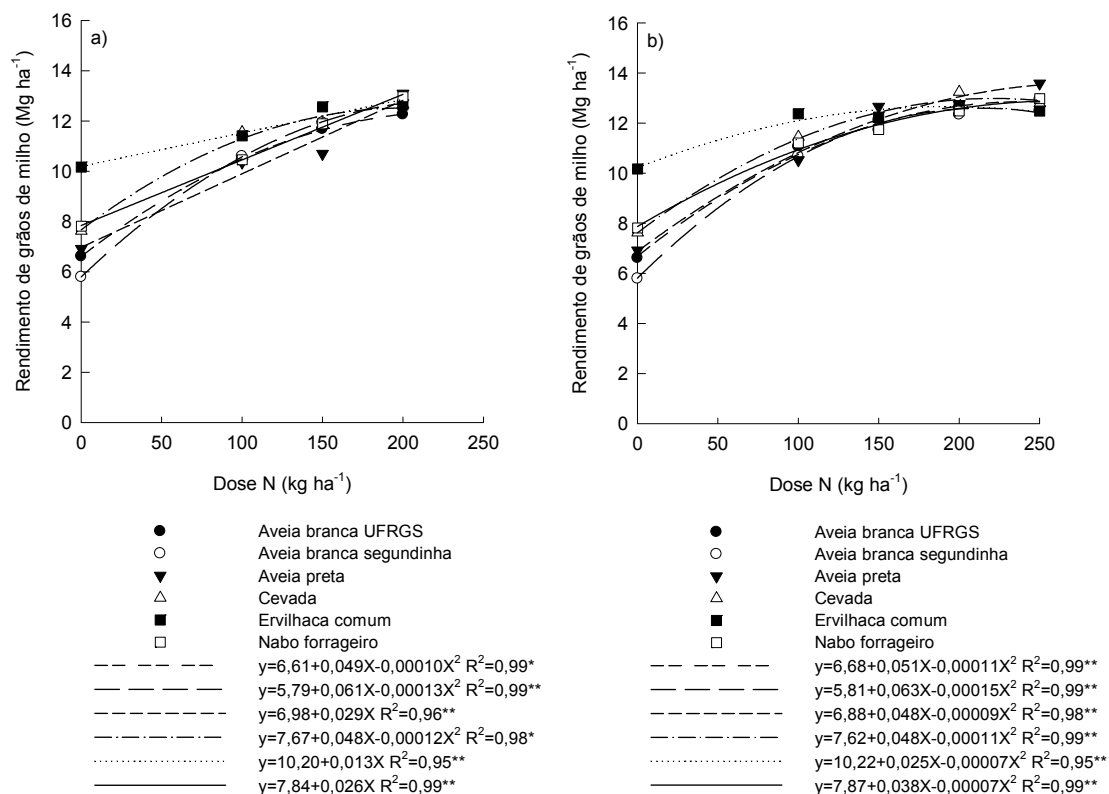


FIGURA 5.3 Rendimento de grãos do milho cultivado após diferentes plantas de cobertura, com doses de N de 0 a 200 kg ha⁻¹ aplicadas totalmente em cobertura (a), e, 0 a 250 kg ha⁻¹, com 40 kg ha⁻¹ em semeadura (b). Safra 2005/06.

TABELA 5.10 Máxima eficiência técnica e econômica da adubação nitrogenada no milho cultivado após diferentes plantas de cobertura. Safra 2005/06.

Plantas cobertura	Máxima eficiência técnica		Máxima eficiência econômica ¹	
	Produtividade	Dose de N	Produtividade	Dose de N
	Mg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
Aveia branca UFRGS 19	12,86	240	11,57	115
Aveia branca segundinha	12,59	214	11,33	122
Aveia preta	13,52	280	12,17	147
Cevada	12,99	221	11,69	112
Ervilhaca comum	12,66	192	11,40	50
Nabo forrageiro	12,88	266	11,59	130
Média gramíneas	12,99	239	11,69	124
Média geral	12,92	--	11,62	--

¹Rendimento relativo 90%.

A dose média de N determinada para uma produtividade relativa de 90% para as gramíneas, nabo forrageiro e ervilhaca foram, respectivamente, 124, 130 e 50 kg ha⁻¹, para uma produtividade média de 11,6 Mg ha⁻¹ para a safra 2005/06. A dose necessária nos sistemas com a leguminosa foi apenas 39% das encontradas para as outras plantas de cobertura. Também, observa-se que a dose requerida pelo milho cultivado

após gramíneas e nabo forrageiro foi a mesma para essas culturas, para praticamente, a mesma produtividade, respectivamente, de 11,59 e 11,69 Mg ha⁻¹. Entretanto na literatura geralmente é encontrado que a utilização de gramíneas antes do milho determina o requerimento de maior dose de N para produtividades semelhantes de milho (Amado et al, 2002; Fontoura & Bayer, 2008). Estes mesmos autores citam que menor quantidade de N é necessária pelo milho após leguminosa, como verificado neste trabalho. Adicionalmente, verifica-se a alta produtividade média máxima alcançado para esta safra, 12,9 Mg ha⁻¹, indicando o potencial desta região na produção de milho.

Na safra 2006/07 a maior dose de N aplicada nas duas épocas estudadas foi de 200 kg ha⁻¹. Quando o N foi aplicado totalmente em cobertura, as curvas de resposta do rendimento de grãos do milho às doses de N se ajustaram a equações lineares sob todas as plantas de cobertura. Entretanto, quando aplicado 40 kg ha⁻¹ na semeadura, na ervilhaca e no nabo forrageiro ajustaram se a equações quadráticas, sendo sob as outras ajustadas a equações lineares, a exceção da serradela. Na serradela o rendimento de grãos do milho não apresentou diferença significativa entre as dose de N, quando se aplicou 40 kg ha⁻¹ de N na semeadura (Figura 5.4). A partir das equações lineares com significância estatística e maior coeficiente de determinação foram calculadas as doses de N a aplicar para produtividade de 90%, sendo considerado como produtividade máxima o maior rendimento em grãos determinado sob cada planta de cobertura (Tabela 5.11).

Na safra 2006/07 a dose média de N determinada para uma produtividade relativa de 90% para as gramíneas, nabo forrageiro e leguminosas foi, respectivamente, de 156, 155 e 91 kg ha⁻¹, sendo a dose determinada para o tratamento com a leguminosa 59% das dos demais tratamentos (Tabela 5.11). Além disso, a produtividade relativa de 90% sob as leguminosas correspondeu a uma tonelada a mais de grãos, em relação às gramíneas, o que determina benefícios econômicos pela menor necessidade de N a aplicar e pelo maior produtividade. Assim como na safra anterior, a dose de N recomendada para o nabo forrageiro foi semelhante às das gramíneas, porém, nesta safra para uma produtividade superior em 600 kg ha⁻¹.

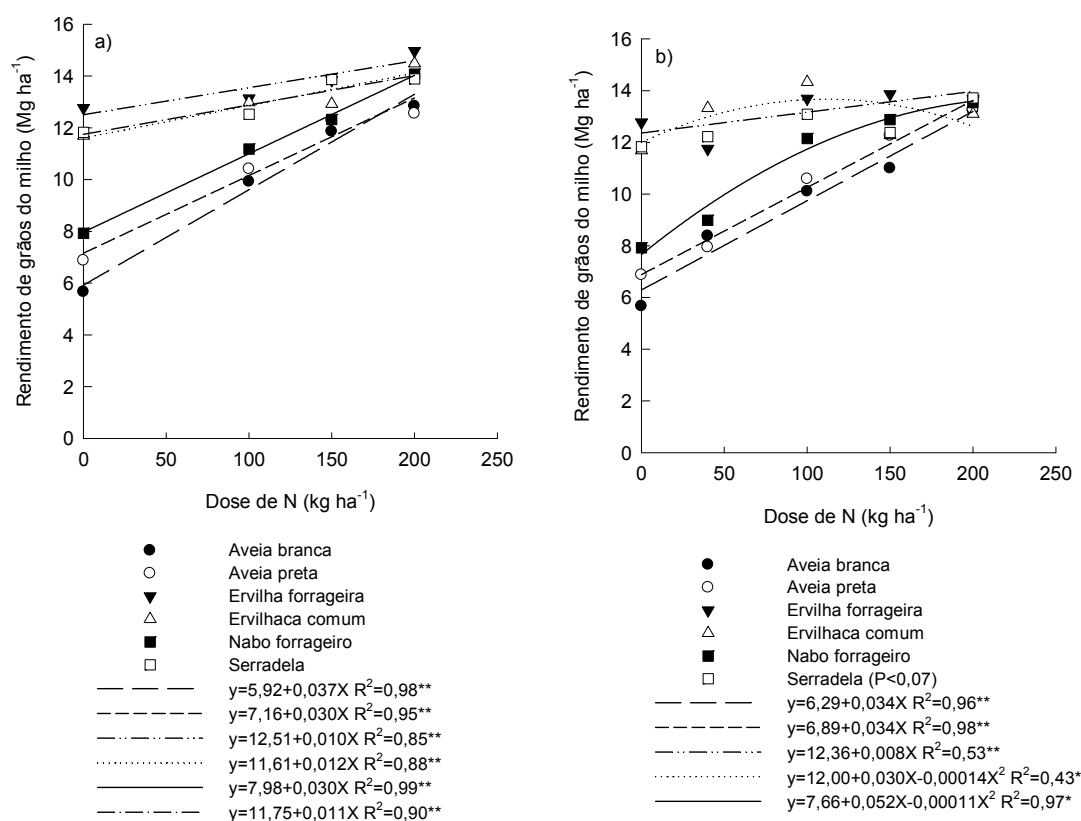


FIGURA 5.4 Rendimento de grãos do milho cultivado após diferentes plantas de cobertura com doses de 0 a 200 kg ha⁻¹ de N, aplicadas totalmente em cobertura (a), e, com 40 kg ha⁻¹ em semeadura (b). Safra 2006/07.

TABELA 5.11 Produtividade máxima, produtividade relativa de 90% do milho e respectiva dose de nitrogênio após diferentes plantas de cobertura. Safra 2006/07.

Plantas cobertura	Produtividade máxima Mg ha ⁻¹	Dose N ¹ kg ha ⁻¹	Produtividade relativa 90% Mg ha ⁻¹	Dose N ² kg ha ⁻¹
Aveia branca	13,23	200	11,91	162
Aveia preta	13,28	200	11,95	150
Ervilha forrageira	14,97	200	13,47	92
Ervilhaca comum	14,48	200	13,03	114
Nabo forrageiro	14,08	200	12,67	155
Serradela	13,99	200	12,50	67
Média gramínea	13,26	200	11,93	156
Média leguminosa	14,48	200	13,00	91
Média geral	14,00	--	12,59	--

¹Para rendimento máximo; ²rendimento relativo 90%.

A partir da análise das duas safras, verifica-se que as doses recomendadas para alcançar 90% da produtividade máxima foram maiores na safra 2006/07, sob todas as plantas de cobertura, fato relacionado com a maior produtividade alcançado nesta safra. Assim, para uma diferença na produtividade relativa de 90% de 0,24, 1,08 e 1,6 Mg ha⁻¹, respectivamente,

para as gramíneas, nabo forrageiro e leguminosas, foi determinado um acréscimo de 32, 25 e 41 kg ha⁻¹ de N-uréia. A maior produtividade da safra 2006/07 deve estar relacionado com a melhor condição de precipitação no ciclo do milho, 46, 116 e 59 mm a mais, respectivamente, nos meses de novembro, dezembro e janeiro, em relação à safra 2005/06 (Apêndice 1).

A influência do clima pode ser verificada nas produtividades máximas, estimadas na safra 2005/06 e determinados em 2006/07 e, pelas equações das curvas de resposta. Assim, no tratamento com nabo forrageiro na safra 2005/06 estimou-se uma produtividade máxima de milho de 12,88 Mg ha⁻¹ com 266 kg ha⁻¹ de N, e na safra 2006/07 determinou-se um rendimento de grãos de 14,08 Mg ha⁻¹ com 200 kg ha⁻¹ de N, sendo que a equação linear da segunda safra indica ainda uma tendência de incremento no rendimento numa taxa de 30 kg ha⁻¹ de grãos por kg ha⁻¹ de N adicionado. Entretanto, cabe destacar que os experimentos foram localizados em parcelas diferentes em cada safra, com maior concentração de cálcio, magnésio e potássio no segundo ano, porém, em faixas de interpretação alta a muito alta, nos dois anos (Tabela 5.1).

A partir destes resultados de duas safras de milho, ressaltam-se as doses semelhantes requeridas pelo milho cultivado após nabo forrageiro e gramíneas, a significativa menor dose de N requerida pelo milho após leguminosas, a influência do clima na determinação da adequada recomendação de N para a cultura do milho e as doses relativamente baixas necessárias para alcançar rendimentos, em média, de 12 Mg ha⁻¹ nas condições de solo, clima e manejo do Centro-Sul do Paraná.

Por outro lado, as curvas de resposta semelhantes do rendimento em grãos do milho às doses de N para a mesma família de plantas de cobertura, assim como, o rendimento semelhante do milho para a mesma família de plantas de cobertura e sem adubação nitrogenada (Tabela 5.12), evidencia a necessidade de considerar a cultura antecedente na abordagem da adubação nitrogenada do milho, principalmente, considerando os resultados diferenciados determinados para leguminosas e gramíneas. A concentração de N na matéria seca aérea do milho no enchimento de grãos (grão pastoso) reforça este fato, pois apresentou a mesma tendência nos tratamentos com plantas de cobertura da mesma família nas duas safras, e estatisticamente

significativa na safra 2006/07, sem adubação nitrogenada (Tabela 5.12). Esta abordagem da adubação nitrogenada do milho já foi destacada e desenvolvida por Amado & Mielniczuk (2000), Amado et al. (2002) e Fontoura & Bayer (2008).

TABELA 5.12 Produtividade e concentração de N no enchimento de grãos do milho (estádio grão pastoso) cultivado após diferentes plantas de cobertura, sem adubação nitrogenada. Safras 2005/06 e 2006/07.

Planta cobertura	Produtividade		Concentração N	
	2005/06	2006/07	2005/06	2006/07
	--- Mg ha ⁻¹ ---		----- % -----	
Aveia branca ¹	5,79 b ²	5,66 b	0,63 ns ²	0,55 b
Aveia branca UFRGS 19	6,62 b	--	0,56	--
Aveia preta	6,91 b	6,87 b	0,69	0,56 b
Cevada	7,63 b	--	0,61	--
Ervilha forrageira	--	12,77 a	--	0,86 a
Ervilhaca comum	10,16 a	11,69 a	0,86	0,72 a
Nabo forrageiro	7,81 b	7,93 b	0,81	0,58 b
Serradela	--	11,83 a	--	0,71 a
Média	7,49	9,46	0,69	0,66
Coeficiente variação	12,7	12,0	20,4	9,8

¹Aveia branca Segundinha em 2005/06 e Aveia branca Fapa 5 em 2006/07; ²médias seguidas por letras diferentes na coluna deferem pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância.

Entre as safras, sob mesma família de plantas de cobertura e sem adubação nitrogenada também se verificou diferenças na produtividade do milho. O rendimento de grãos do milho após ervilhaca foi superior em 1,5 Mg ha⁻¹ na safra 2006/07 em relação à primeira safra (Tabela 5.12), fato relacionado ao maior aporte de N desta planta de cobertura na segunda safra (79 kg ha⁻¹ a mais), além da melhor condição hídrica (Tabela 5.3). No entanto, em relação às gramíneas, a pesar da aveia branca aportar 43 kg ha⁻¹ a mais de N na safra 2006/07, os resultados de produtividade do milho indicam tendência de menor valor para esta safra sob esta planta de cobertura. Este fato pode estar relacionado com a maior quantidade de matéria seca produzida pela aveia branca na segunda safra, em média 4 Mg ha⁻¹, podendo favorecer a imobilização de N pelos microrganismos do solo, diminuindo a disponibilidade para o milho. Este resultado corresponde com a recomendação de considerar a quantidade de matéria seca da leguminosa e da gramínea na determinação da dose de N a aplicar, sendo diminuída após leguminosas e aumentada após gramíneas, com o incremento da matéria seca (CQFS-RS/SC, 2004; Fontoura & Bayer, 2008).

Finalmente, na Tabela 5.12 também verifica-se o significativo maior rendimento de grãos do milho após leguminosas, em relação às gramíneas, a produtividade foi superior em 3,4 e 5,8 Mg ha⁻¹, e em relação ao nabo forrageiro, em 2,3 e 4,2 Mg ha⁻¹, respectivamente, nas safras 2005/06 e 2006/07. Estes resultados indicam a importância de incluir leguminosas de forma solteira ou consorciadas como cultura antecedente ao milho como estratégia de diminuir o investimento econômico em adubação nitrogenada.

A partir das equações de ajuste para determinação das doses de N requeridas para alcançar 90% da produtividade máxima após aveia branca, cultura antecedente que determinou o menor rendimento de grãos do milho nas duas safras, e, do rendimento do milho após as diferentes plantas de cobertura, sem adição de N, obteve-se a equivalência em N mineral das plantas de cobertura (Tabela 5.13). Estes resultados indicam quanto de N-uréia deve-se aplicar na parcela de referência (aveia branca neste caso) para alcançar a mesma produtividade determinada utilizando outra cultura antecedente (Oliviera, 1994).

TABELA 5.13 Equivalência em N mineral das plantas de cobertura. Safra 2005/06 e 2006/07.

Planta cobertura	Equivalente N-uréia		
	2005/06	2006/07	Média
	----- kg ha ⁻¹ -----		
Aveia branca ¹	--	--	--
Aveia branca UFRGS	13	--	--
Aveia preta	18	21	20
Cevada	31	--	--
Ervilha forrageira	--	186	--
Ervilhaca comum	86	156	121
Nabo forrageiro	34	54	44
Serradela	--	160	--
Média leguminosa	86	167	156

¹Aveia branca Segundinha em 2005/06 $y=5808+63,38X-0,148X^2$ e Aveia branca Fapa 5 em 2006/07 $y=5923+36,86X$

Ao analisar a equivalência em N mineral, verifica-se que para obter após aveia branca a mesma produtividade obtida após ervilhaca seria necessário adicionar 86 e 156 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, para safra 2005/06 e 2006/07. Este fato evidencia a diferença de doses requeridas pelo milho após ambas plantas de cobertura, enfatizando mais uma vez a necessidade de se considerar a planta antecedente na determinação da dose mais adequada de N a aplicar na cultura do milho, objetivando maior economia de custos para o agricultor e menor consumo de combustíveis fósseis, já que

esta fonte é requerida para a produção de fertilizantes nitrogenados minerais (Zanatta, 2006).

Em relação ao nabo forrageiro, considerando as duas safras, encontrou-se um equivalente de N de 44 kg ha⁻¹, indicando menor necessidade de N após a mesma, em relação à aveia branca, para obter a mesma produtividade. Este resultado condiz com a literatura que coloca o nabo forrageiro como uma cultura intermediária entre as gramíneas e as leguminosas, como fonte de N para a cultura do milho (Amado et al. 2002; CQFS-RS/SC, 2004). Entretanto, a resposta do milho após nabo forrageiro foi limitada, como discutido anteriormente.

As doses de N estimadas a partir das tabelas de recomendação publicadas na região Sul do Brasil (CQFS-RS/SC, 2004; Fontoura & Bayer, 2008) são em geral superiores aos determinados neste trabalho nas duas safras (Tabela 5.14).

TABELA 5.14 Comparação das doses de N para o milho determinada neste estudo e indicadas pelo manual de recomendação do RS e SC e por Fontoura & Bayer (2008). Safras 2005/06 e 2006/07.

Planta cobertura	Produtividade ¹ Mg ha ⁻¹	Dose de N		
		Determinado ²	RS/SC ³	FAPA/UFRGS ⁴
		----- kg ha ⁻¹ -----		
Safr 2005/06				
Gramínea	11,7	124	165	180
Leguminosa	11,4	50	121	80
Nabo forrageiro	11,6	130	154	130
Safr 2006/07				
Gramínea	11,9	156	188	180
Leguminosa	13,0	91	145	160
Nabo forrageiro	12,7	155	170	210

¹Produtividade relativa 90%; ²determinado neste estudo; ³estimado pela recomendação de RS/SC; ⁴estimado por Fontoura & Bayer (2008); matéria orgânica do Latossolo 59 e 54 g kg⁻¹, respectivamente nas safras 2005/06 e 2006/07.

As doses indicadas pela tabela de recomendação do RS e SC são superiores, principalmente, quando a cultura antecedente é leguminosa, em relação aos determinados neste estudo. Em relação à tabela apresentada por Fontoura & Bayer (2008), verifica-se que quando a produtividade considerada está na faixa de 10 a 12 Mg ha⁻¹ as doses estimadas foram semelhantes às determinadas neste estudo. Porém as doses estimadas por esses autores foram muito maiores quando as produtividades foram superiores a 12 Mg ha⁻¹ e a faixa do teor de matéria orgânica de 41 a 60 g kg⁻¹. Isso se deve possivelmente ao pequeno número de informações que os autores

dispunham para faixas de produtividade superiores a 12 Mg ha^{-1} , e assim, essa faixa de alta produtividade continuam em pesquisa a fim de melhor estimativa das doses a serem aplicadas. Os resultados obtidos no presente estudo reforçam essa necessidade de continuidade na pesquisa, indicando possível superestimação das doses a serem aplicadas. Por outro lado, a recomendação para o RS e SC limita as expectativas de produtividade a $> 9 \text{ t/ha}$, e os resultados do presente estudo reforçam a sua não apropriação para indicação de N em faixas de produtividade iguais ou superiores a 11 t ha^{-1} como as obtidas no presente estudo.

5.3.2.4 Eficiência agronômica da adubação nitrogenada sob diferentes plantas de cobertura

A eficiência agronômica da adubação nitrogenada do milho, avaliada a partir da diferença entre o rendimento de grãos em uma determinada dose de N e a testemunha (sem N) e sendo esta diferença dividida pela quantidade de N aplicado (método da diferença), foi influenciada pelas plantas de cobertura (Tabelas 5.15 e 5.16). Este fato já foi evidenciado pelas curvas de resposta diferenciada ao N encontradas para os diferentes tratamentos com plantas de cobertura, especialmente entre famílias diferentes. Considerando as três doses de N que foram utilizadas nas duas safras (100, 150 e 200 kg ha^{-1} de N-uréia, com e sem aplicação em semeadura), encontrou-se eficiência de 35 e 31, 27 e 32 e 15 e 9 kg grão kg^{-1} N-uréia aplicado, respectivamente, para as safras 2005/06 e 2006/07, e, para as gramíneas, nabo forrageiro e leguminosas. Estes resultados evidenciam a menor resposta e eficiência do milho à adubação nitrogenada após a leguminosa, em relação às gramíneas e nabo forrageiro.

A eficiência agronômica da adubação nitrogenada para as doses de N recomendadas para o milho (Produtividade relativa 90%), considerando as duas safras, ao redor de 150, 150 e 90 kg ha^{-1} , respectivamente, após gramíneas, nabo forrageiro e leguminosas, foram de 32, 28 e $13 \text{ kg grão kg}^{-1}$ N-uréia aplicado, quando a adubação nitrogenada foi realizada totalmente em cobertura; e 34, 30 e $18 \text{ kg grão kg}^{-1}$ N-uréia aplicado, quando parte da adubação nitrogenada foi realizada na semeadura (40 kg ha^{-1}), verificando-se ligeiro incremento na eficiência quando parte do N foi aplicado em semeadura.

Sangoi et al. (2007b) encontraram em solo com 54 g kg^{-1} de matéria orgânica em Santa Catarina, sendo a cultura antecedente a aveia preta, eficiência agrônômica de $31 \text{ kg grão kg}^{-1}$ N-uréia aplicado (média de três safras), quando adicionado 100 kg ha^{-1} de N-uréia em V5 (milho com cinco folhas totalmente expandidas) e, a eficiência se reduziu a $25 \text{ kg grão kg}^{-1}$ N-uréia, quando a dose de N foi aplicada 1/3 na semeadura e 2/3 em cobertura, apresentando tendência contrária ao determinado neste estudo. Especificamente, quando a aveia preta foi a cultura antecedente e a dose de N 100 kg ha^{-1} a eficiência determinada no presente estudo foi de $29 \text{ kg grão kg}^{-1}$ N-uréia aplicado, considerando as duas safras e as duas formas de aplicação, verificando-se eficiência da adubação nitrogenada no milho próxima entre este trabalho e os determinados por Sangoi et al. (2007b) (25 a $31 \text{ kg grão kg}^{-1}$ N-uréia aplicado) em condições de clima e solo semelhantes.

TABELA 5.15 Eficiência da adubação nitrogenada no milho após diferentes plantas de cobertura calculada a partir do rendimento de grãos. Safra 2005/06.

Plantas cobertura	Eficiência adubação nitrogenada ¹						
	Dose N						
	0 ² -100 ³	0-150	0-200	40-60	40-110	40-160	40-210
	----- kg grão/kg N-uréia -----						
Aveia branca ⁴	38	34	28	44	34	30	25
Aveia branca ⁵	48	41	35	49	42	33	27
Aveia preta	34	25	31	36	38	29	27
Cevada	39	28	25	38	30	28	21
Ervilhaca comum	12	16	12	22	14	13	9
Nabo forrageiro	26	27	26	34	26	23	21
Média gramínea	40	32	30	42	36	30	25
Média geral	33	28	26	37	31	26	22

¹Ef=(Produtividade dose X – produtividade dose 0)/Dose X; ²dose de N em semeadura; ³dose de N em cobertura; ⁴Aveia branca UFRGS 19; ⁵Aveia branca segundinha.

TABELA 5.16 Eficiência da adubação nitrogenada no milho após diferentes plantas de cobertura calculada a partir do rendimento de grãos do. Safra 2006/07.

Plantas cobertura	Eficiência adubação nitrogenada ¹						
	Dose N						
	0 ² -100 ³	0-150	0-200	40-0	40-60	40-110	40-160
	----- kg grão/kg N-uréia -----						
Aveia branca	42	41	36	68	44	35	38
Aveia preta	22	22	22	12	24	27	25
Ervilha forrageira	4	7	11	--	9	7	4
Ervilhaca comum	13	8	14	41	26	4	7
Serradela	7	13	10	10	12	4	9
Nabo forrageiro	32	29	31	26	42	33	28
Média gramínea	32	31	29	40	34	31	31
Média leguminosa	8	9	11	25	15	5	6
Média geral	20	20	20	31	26	18	18

¹Ef=(Produtividade dose X – Produtividade dose 0)/Dose X; ²dose de N em semeadura; ³dose de N em cobertura.

A pesar que a avaliação da eficiência da adubação nitrogenada pelo método da diferença apresenta limitações (Fried et al., 1975; Kuzyakov et al., 2000; Aita et al., 2004) o mesmo é de importância para visualizar o efeito da adubação e evitar o uso de doses excessivas que no caso do N pode ser perdido do sistema solo-planta por lixiviação, ou em forma gasosa por volatilização ou desnitrificação. A técnica que permite avaliar com precisão a eficiência da adubação nitrogenada é o N marcado (^{15}N), pois permite identificar o N fertilizante efetivamente absorvido pelo milho e o retido no solo. (Ambrosano et al., 2003; Scivittaro et. Al, 2003; Lara Cabezas et.al, 2005; Silva et. al 2006b; Lara Cabezas & Couto, 2007).

5.3.3 Avaliação do nitrogênio mineral do solo como ferramenta para o manejo da adubação nitrogenada no milho

O nitrogênio mineral do solo, amônio e nitrato, foi avaliado na safra 2006/07.

5.3.3.1 Nitrogênio mineral na camada superficial do solo durante o ciclo do milho cultivado após diferentes plantas de cobertura

O N mineral da camada 0-0,1 m do solo foi afetado pelas plantas de cobertura durante ciclo do milho, e as formas de N mineral, amônio e nitrato, apresentaram comportamentos diferentes (Tabela 5.17).

O amônio permaneceu relativamente constante durante o ciclo do milho sendo a concentração média mínima e máxima encontradas de, respectivamente, 6,4 e 12,1 mg kg⁻¹. As maiores concentrações foram encontradas nas duas primeiras datas avaliadas, 13 e 38 dias após o manejo das plantas de cobertura (Dam), o que deve estar relacionado com a mineralização do N acumulado nas plantas de cobertura (Tabela 5.17). Mesma tendência foi descrita no Estudo II a 0-0,05 e 0,05-0,1 m de profundidade. O amônio apresentou diferença significativa apenas numa data, 50 Dam. Nesta data a maior concentração de amônio foi encontrada nos tratamentos com leguminosas, em relação às gramíneas e nabo forrageiro, porém considerando

que a diferença correspondeu a $3,2 \text{ mg kg}^{-1}$ de N-NH_4^+ , a mesma possui limitado sentido prático.

TABELA 5.17 Nitrogênio mineral na camada 0-0,1 m do solo em diferentes datas após o manejo de plantas de cobertura. Safra 2006/07.

Plantas cobertura	Nitrogênio mineral do solo (mg kg^{-1})				
	Dias após o manejo ¹				
	13 ¹	38	50	83	148
-----N-NH ₄ ⁺ -----					
Aveia branca	10,0 ns ²	11,7 ns	5,9 b	5,8 ns	4,7 ns
Aveia preta	7,8	11,1	5,1 b	6,1	9,9
Ervilha forrageira	10,0	10,8	8,0 a	7,0	8,4
Ervilhaca comum (EC)	14,9	13,5	9,9 a	7,6	8,0
Nabo forrageiro	6,2	13,5	6,1 b	5,6	10,4
Média	9,8	12,1	7,0	6,4	8,3
Coeficiente variação (%)	35,8	17,0	14,8	35,0	36,8
-----N-NO ₃ ⁻ -----					
Aveia branca	1,1 c ²	17,1 d	28,6 c	1,5 ns	2,0 ns
Aveia preta	2,1 c	13,5 d	18,4 d	0,1	0,9
Ervilha forrageira	16,0 a	35,7 b	41,9 b	4,2	6,4
Ervilhaca comum (EC)	10,0 b	44,4 a	50,2 a	6,2	5,3
Nabo forrageiro	3,8 c	25,9 c	31,4 c	0,5	3,7
Média	6,6	27,3	34,1	2,5	3,6
Coeficiente variação (%)	26,2	12,8	10,0	136,6	67,3
-----N-NH ₄ ⁺ + N-NO ₃ ⁻ -----					
Aveia branca	11,1 b ²	28,8 d	34,5 c	7,3 b	6,8 ns
Aveia preta	9,9 b	24,5 d	23,6 d	6,2 b	10,8
Ervilha forrageira	26,1 a	46,5 b	49,9 b	11,2 a	14,8
Ervilhaca comum (EC)	25,0 a	57,9 a	60,1 a	13,7 a	13,4
Nabo forrageiro	10,0 b	39,4 c	37,5 c	6,1 b	14,0
Média	16,4	39,4	41,1	8,9	11,9
Coeficiente variação (%)	28,9	10,8	8,8	25,8	31,4

¹Corresponde as datas 25/09, 18/10, 30/10, 4/12/2006 e 7/02/2007; ²comparam médias na coluna (teste de Scott-Knott $P \leq 0,05$).

O nitrato apresentou variações significativas em três das cinco datas avaliadas, sendo a média mínima e máxima encontradas de 2,5 e 34,1 mg kg^{-1} . O nitrato alcançou valores máximos logo antes do início da alta taxa de absorção de N pelo milho, alcançando posteriormente valores mínimos e menores que o amônio (Tabela 5.17). Assim, as variações do N mineral do solo foram determinadas pelo nitrato antes do início da alta taxa de absorção de N pelo milho e posteriormente pela concentração de amônio.

O nitrato apresentou maior concentração nos tratamentos com leguminosas em relação às gramíneas e nabo forrageiro nas três primeiras datas avaliadas 13, 38 e 50 Dam. Nos tratamentos com leguminosas foram determinadas médias de 40 e 46 mg kg^{-1} de nitrato aos 38 e 50 Dam, valores 2,6 e 2 vezes superiores aos determinados para as gramíneas. Também se destaca os valores mínimos de nitrato 13 Dam nos tratamentos com gramíneas (1,6 mg kg^{-1}) e nabo forrageiro (3,8 mg kg^{-1}), porém nas leguminosas esses

valores alcançaram uma média de 13 mg kg^{-1} , o que deve estar relacionado com processos de imobilização microbiana e/ou processos diferenciados de mineralização de N das plantas de cobertura, não detectados pela metodologia utilizada (Tabela 5.17).

Diferença no nitrato nos tratamentos com plantas de cobertura também foi identificada na camada 0,1-0,2 m aos 38 Dam, indicando o movimento descendente deste elemento (Tabela 5.18). Assim, como na camada mais superficial (0-0,1 m), maior concentração de nitrato foi encontrada após leguminosas em relação às gramíneas e nabo forrageiro a 0,1-0,2 m. Também, verifica-se para a camada 0,1-0,2 m que a concentração de nitrato foi 2,7 vezes superior após nabo forrageiro com relação às gramíneas (Tabela 4.18). Esta mesma tendência com estas plantas de cobertura foi constatada na camada 0-0,1 m aos 38 Dam e no Estudo II nas camadas 0-0,05 e 0,05-0,1 m, 40 Dam. Aita et al. (2004) encontraram maior concentração de N mineral no solo após ervilhaca em relação ao pousio, inclusive até a camada 0,3-0,6 m, 42 e 61 Dam em Argissolo Vermelho distrófico arênico, que deve ser em maior parte resultado do movimento do nitrato. Estes resultados indicam que a adição de plantas de cobertura na superfície do solo (em PD) origina diferentes concentrações de nitrato no solo, sendo maior após leguminosa, menor após gramínea e intermediária após nabo forrageiro. Este resultado se origina das taxas diferenciadas de mineralização do N acumulado pelas plantas e/ou do processo de mineralização-imobilização do solo afetado pelos resíduos de plantas (efeito priming), discriminação que não pode ser realizada com a metodologia utilizada.

TABELA 5.18 Nitrogênio mineral na camada 0,1-0,2 m do solo após cultivo de diferentes plantas de cobertura, 38 dias após o manejo. Safra 2006/07.

Planta cobertura	N mineral do solo ¹		
	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺ +N-NO ₃ ⁻
	----- mg kg ⁻¹ -----		
Aveia branca	4,7 ns ²	5,3 c	10,0 c
Aveia preta	4,6	4,0 c	8,6 c
Ervilha forrageira	5,9	20,2 a	26,1 a
Ervilhaca comum (EC)	4,2	17,2 a	21,3 b
Nabo forrageiro	5,5	12,6 b	18,2 b
Média	5,0	11,9	16,8
Coeficiente de variação (%)	17,2	19,0	14,4

¹38 dias após o manejo (18/10/2006); ²comparam médias na coluna (teste de Scott-Knott P≤0,05).

A diferenciação encontrada no N-nitrato do solo, após diferentes plantas de cobertura antes do início da alta taxa de absorção de N pelo milho, poderia servir de indicador da necessidade de nitrogênio a aplicar no milho. O amônio apresentou comportamento praticamente constante durante o ciclo do milho não sendo um indicador que poderia ser relacionado com o rendimento do milho e, também, estaria afetando o N mineral do solo tornando-o menos sensível que o nitrato isoladamente. Rambo et al. (2007b) também encontraram que o teor de nitrato tem potencialidade como indicador do nível de N no solo para a cultura do milho, e identificaram como melhor época de avaliação quando o milho se encontra no estágio V6 (seis folhas totalmente expandidas). Porém, estes pesquisadores enfatizam que a utilização da concentração do amônio, em adição ao teor de nitrato aumentou a acurácia da predição da disponibilidade de N em Argissolo Vermelho da Depressão Central do Rio Grande do Sul. Binford et al. (1992) enfatizam que a determinação de amônio poderia ser de utilidade no caso de adição de esterco animal ou fonte de N amoniacal. A limitação do nitrato como indicador, sempre discutida, se refere ao fato que este pode ser lixiviado pela água de percolação (Dyner & Camargo, 1999), indicando sua limitação em condições de alta precipitação pluvial.

Em relação à limitação do nitrato como indicador da necessidade de aplicação de N, pelo seu potencial de lixiviação, neste estudo verificou-se, após o manejo das plantas de cobertura, um total de 160,6 mm de chuva antes da amostragem 38 Dam, ocorrendo um período significativo de chuva nas datas 15, 16 e 20 de setembro, com precipitação de 16,6, 28 e 41,2 mm, respectivamente. As demais chuvas foram menores do que 28 mm, não foram em dias consecutivos e totalizaram 199,2 mm até os 50 Dam (Apêndice 1). Entretanto, as precipitações de setembro e outubro no ano de avaliação (2006) foram menores em 29 e 99 mm, respectivamente, às médias históricas da região (172 e 217 mm), portanto, podendo ocorrer, em anos de volume normal de chuva, processos mais significativos de movimento de N-nitrato da camada superficial que os encontrados na presente avaliação. No Estudo I com preparo convencional foi verificada significativa concentração de nitrato na profundidade 0,3-0,4 e 0,4-0,6 m pela aplicação em cobertura de 160 kg ha⁻¹ de N-uréia, indicando que neste solo existe potencial de movimento de nitrato em

profundidade quando disponível uma alta concentração de N mineral, pela aplicação de uma alta dose de N-uréia.

Por outro lado, as variações de nitrato verificadas na camada 0,1-0,2 m 38 Dam, indicam a importância de considerar uma profundidade maior que 0,1 m, na tentativa de utilizar o nitrato como indicador da quantidade de N a aplicar. Neste sentido a metodologia do teste de pré-semeadura assinala 0,6 a 1,20 m como profundidade de amostragem (Meisinger et al., 1992b), e o teste de pré-aplicação da adubação nitrogenada 0,3 m (Magdoff et al., 1984; Meisinger et al., 1992ab). Neste trabalho as profundidades amostradas foram 0-0,1 m e 0,1-0,2 m, antes da aplicação da adubação nitrogenada.

Apesar das limitações destacadas para a utilização do nitrato e da profundidade amostrada e, considerando o teor constante do amônio durante o ciclo do milho, foi construída uma relação entre o rendimento do milho e o teor de N-nitrato do solo em duas profundidades, sendo o teor de nitrato utilizado aquele determinado aos 38 Dam (24 dias após a semeadura do milho), antes do início da alta taxa de absorção do N pelo milho (Figura 5.5).

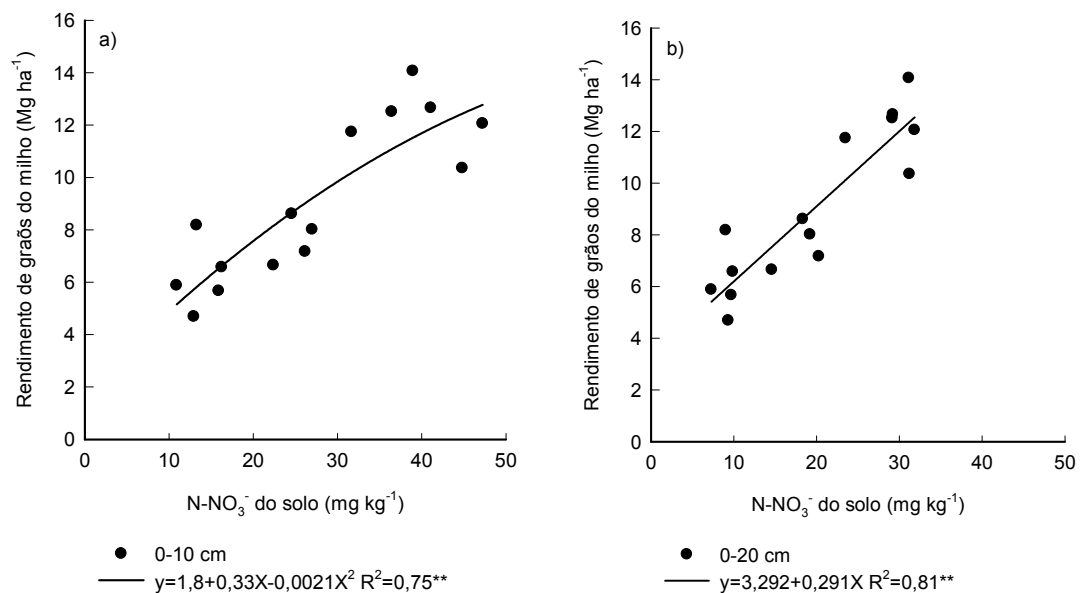


Figura 5.5 Relação entre o nitrato do solo 38 dias após o manejo das plantas de cobertura e o rendimento do milho, nas profundidades 0-10 cm (a) e 0-20 cm (b). Experimento Pré-cultura, safra 2006/07.

Na Figura 5.5, visualiza-se a distribuição de dois grupos de pontos, os relacionado às leguminosas, com maior rendimento e concentração

de nitrato no solo, e, os relacionados às gramíneas e nabo forrageiro, com comportamento inverso. Considerando a camada 0-0,1 m, graficamente pode-se inferir que para a obtenção de rendimento do milho superior a 10 Mg ha^{-1} a concentração do nitrato estimado é igual ou superior a 31 mg kg^{-1} , e considerando a camada 0-0,2 m, igual ou superior a 23 mg kg^{-1} . Ao utilizar a equação ajustada para a camada 0-0,1 m, o nível crítico do nitrato determinado para atingir 90% do rendimento máximo foi de 52 mg kg^{-1} , sendo o rendimento máximo estimado de $14,77 \text{ Mg ha}^{-1}$, superior à maior média determinada sem adubação de N que se alcançou com ervilha forrageira ($12,77 \text{ Mg ha}^{-1}$). O conceito de nível crítico assinala o nível abaixo do qual existe probabilidade de resposta à aplicação da adubação.

A utilização conjunta dos dados de nitrato do solo da camada 0-0,1 m e o rendimento do milho dos Estudos II e III da safra 2006/07, de maneira a dispor de maior número de dados, permitiram obter a Figura 5.6. Utilizando a equação de ajuste, possibilitou obter um nível crítico de nitrato de 29 mg kg^{-1} para um rendimento relativo de 90%, sendo o rendimento máximo estimado de $11,92 \text{ Mg ha}^{-1}$. O teor crítico de nitrato obtido considerando os dois experimentos (29 mg kg^{-1}) está mais relacionado com a resposta do milho à adubação nitrogenada sob as diferentes plantas de cobertura, em comparação ao teor de 52 mg kg^{-1} , que já corresponde a um rendimento superior a 13 Mg ha^{-1} .

Estes dados evidenciam que o nitrato pode constituir-se em indicador auxiliar da necessidade de aplicação ou não da adubação nitrogenada e/ou do potencial de rendimento do milho, devendo ser ajustado para cada região. Para realizar estes ajustes é necessário trabalhar sob condições climáticas semelhantes, com dados de nitrato de diferentes solos e devendo também ser trabalhado a profundidade de amostragem. Neste estudo trabalhou-se com um solo, sendo os níveis de nitrato gerados pelas plantas de cobertura utilizadas.

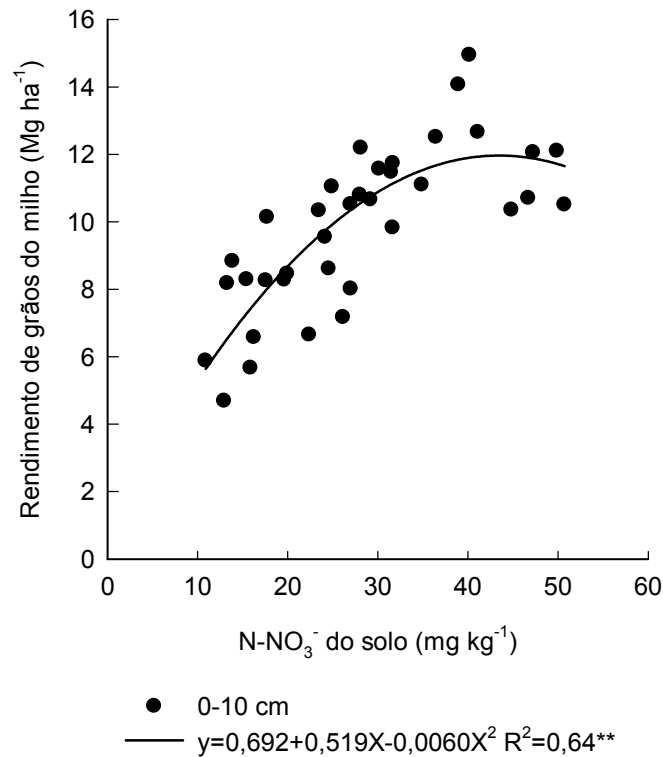


Figura 5.6 Relação entre o nitrato do solo 40 dias após o manejo das plantas de cobertura e o rendimento do milho, na profundidade 0-0,1 m. Estudo II e III, safra 2006/07.

O nitrato também poderia fornecer subsídios para a definição da necessidade ou não de aplicação de N na semeadura (época de aplicação da adubação nitrogenada). No Estudo II verificou-se que o milho acumulou 3,7 e 39 kg ha⁻¹, respectivamente, 31 e 59 dias após a semeadura (Das), considerando as duas safras. Por outro lado, o teor de nitrato na camada 0-0,1 m após as leguminosas foi 13 e 40 mg kg⁻¹ (13 e 40 kg ha⁻¹), respectivamente 13 e 38 Dam. Considerando o acúmulo de N pelo milho (3,7 kg ha⁻¹ 31 Das) e a disponibilidade de nitrato na camada superficial (40 kg ha⁻¹ 38 Dam) não se recomendaria aplicação de N na semeadura quando a cultura anterior é uma leguminosa. Esta interpretação coincide com os resultados obtidos a partir da análise do rendimento do milho com e sem aplicação de N na semeadura. Por outro lado, se recomenda a semeadura do milho logo após o manejo da leguminosa para evitar perdas de N.

A concentração de nitrato na camada 0-0,1 m após as gramíneas aos 13, 38 e 50 Dam alcançou valores de 1,6, 15,1 e 23,5 mg kg⁻¹ (2, 15 e 23

kg ha⁻¹), valores inferiores aos determinados para as leguminosas. Se o milho for semeado logo após o manejo das gramíneas fica evidente que a adubação de cobertura deverá ser realizada ao máximo aos 30 Das, considerando que entre os 31 e 59 Das o milho absorveu 35 kg ha⁻¹ de N. Considerando os teores baixos de N encontrados para as gramíneas e a necessidade de não existir deficiência de N no início da etapa vegetativa do milho, após estas plantas de cobertura poderá ser aplicada parte do N na semeadura para assegurar o arranque inicial da planta, porém considerando que o milho no máximo absorve 3,7 kg ha⁻¹ de N até os 31 Das e que neste solo o N adicionado é nitrificado rapidamente, fato que será discutido posteriormente. Em relação ao nabo forrageiro, o mesmo raciocínio realizado para as gramíneas poderá ser aplicado, considerando a variabilidade na concentração de N encontrada nesta planta de cobertura na literatura e o baixo teor de N encontrado neste estudo para a mesma.

5.3.3.2 Nitrogênio mineral do solo na camada superficial após a aplicação de uréia

O nitrato também foi a forma predominante de N mineral no solo após a aplicação da uréia, evidenciando processos de nitrificação neste solo. Na Tabela 5.19 se verifica que 21 dias após a aplicação da primeira cobertura 83 e 93%, após ervilhaca, e 57 e 79%, após aveia branca, do N mineral do solo encontrava-se na forma de N-nitrato, respectivamente, para adições de 50 e 100 kg ha⁻¹ de N-uréia. Também, após 13 dias da aplicação da segunda cobertura de N, considerando todas as plantas de cobertura, verificou-se que 54 e 78% do N mineral se encontraram na forma de N-nitrato, respectivamente, para 50 e 100 kg ha⁻¹ de N-uréia adicionado (Tabela 5.20). A nitrificação verificada neste solo a partir da adição da uréia indica a importância de parcelar a adubação nitrogenada de maneira a evitar potenciais processos de lixiviação de N (Argenta et al., 1999; Sogbedji et al., 2000; Mar et al., 2003).

TABELA 5.19 N-mineral na camada 0-0,1 m após cultivo de aveia branca e ervilhaca em diferentes doses de N, 70 dias após o manejo das plantas de cobertura e 21 dias após a primeira cobertura de N¹. Safra 2006/07.

Dose N	N-mineral do solo								
	N-NH ₄ ⁺			N-NO ₃ ⁻			N-NH ₄ ⁺ + N-NO ₃ ⁻		
	Aveia br.		Ervilhaca	Aveia br.		Ervilhaca	Aveia br.		Ervilhaca
kg ha ⁻¹	--- mg kg ⁻¹ ---			--- mg kg ⁻¹ ---			--- mg kg ⁻¹ ---		
0	9,5	ns ²	6,5	2,4	ns	22,4	11,8	ns	28,8
50	7,8	ns	5,2	10,4	*	26,0	18,2	ns	31,3
100	9,3	ns	6,7	34,2	*	88,8	43,5	*	95,5
Média	8,9	*	6,1	15,6	*	46,7	24,5	ns	51,9

¹21/11/2006; ²ns e *, respectivamente, diferença não significativa e diferença significativa (teste t P≤0,05).

TABELA 5.20 Nitrogênio mineral na camada 0-0,1 m após cultivo diferentes plantas de cobertura, 83 dias após o manejo e 13 dias após a segunda cobertura. Safra 2006/07.

Plantas cobertura	N mineral do solo (mg kg ⁻¹)			
	Dose de N			Média ¹
	0	50	100	
----- N-NH ₄ ⁺ -----				
Aveia branca	5,8	9,7	10,2	8,6 a ⁴
Aveia preta	6,1	17,0	33,2	18,8 a
Ervilha forrageira	7,0	7,6	29,8	14,8 a
Ervilhaca comum	7,6	9,8	20,1	12,5 a
Nabo forrageiro	5,6	5,8	12,1	7,8 a
Média	6,4 B ³	10,1 B	21,0 A	12,5 a
----- N-NO ₃ ⁻ -----				
Aveia branca	1,5 B ³	11,8 B	43,2 A	18,8
Aveia preta	0,1 B	12,4 B	69,1 A	27,2
Ervilha forrageira	4,2 B	14,4 B	101,1 A	39,9
Ervilhaca comum	6,2 B	12,8 B	109,4 A	42,8
Nabo forrageiro	0,5 B	7,7 B	42,7 A	17,0
Média	2,5	11,8	73,1	29,1
----- N-NH ₄ ⁺ + N-NO ₃ ⁻ -----				
Aveia branca	7,3 B ³	22,1 B	52,9 A	27,4
Aveia preta	6,2 B	29,5 B	102,2 A	46,0
Ervilha forrageira	11,2 B	22,0 B	130,8 A	54,7
Ervilhaca comum	13,7 B	22,6 B	129,6 A	55,3
Nabo forrageiro	6,1 B	13,5 B	54,7 A	24,8
Média	8,9	21,9	94,0	41,6

¹Não houve interação entre plantas de cobertura e dose de N; ²houve interação entre plantas de cobertura e dose de N; ³letras minúsculas comparam médias na coluna; ⁴letras maiúsculas comparam médias na linha (teste de Scott-Knott P≤0,05).

Por outro lado, a análise de N-nitrato do solo na subparcela com aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N-uréia em 21/11 (21 dias após a primeira cobertura nitrogenada e data de aplicação da segunda cobertura) permitiu visualizar que a segunda aplicação de N foi realizada quando a concentração de N-nitrato era de 34,2 e 88,8 mg kg⁻¹ (33 e 86 kg ha⁻¹ na camada 0-0,1 m), respectivamente, após aveia branca e ervilhaca, indicando que a aplicação após a leguminosa, deveria ter sido atrasada e avaliada sua necessidade posteriormente (Tabela 5.19). Entretanto no tratamento com a gramínea a

época da aplicação já estava adequada. Este fato se confirma com os dados da Tabela 5.20 que demonstram uma concentração de nitrato ao redor de 43,2 e 109 mg kg⁻¹ (42 e 106 kg ha⁻¹ de N-NO₃⁻), respectivamente, após aveia branca e ervilhaca, 13 dias após a segunda cobertura de N. Estes dados manifestam a potencialidade do teor do nitrato para o ajuste da dose e época de aplicação do N mineral, podendo também tornar a recomendação de N para o milho mais flexível, ao constituir-se numa ferramenta que poderá indicar durante o ciclo do milho a disponibilidade de N no solo, resultado da condição climática e da cultura em cada ano, para o mesmo sistema de manejo.

Próximo ao final do ciclo do milho (134 Das) não houve diferença nas diferentes formas de N mineral do solo entre as parcelas que receberam 0, 100 e 200 kg ha⁻¹ de N-uréia (Tabela 5.21). Porém, maiores teores de N-NH₄⁺ + N-NO₃⁻ foram detectados nos tratamentos com leguminosas e nabo forrageiro. Por outro lado, considerando todos os tratamentos, verificou-se que o amônio constituiu-se na forma predominante do N mineral do solo, alcançando uma composição porcentual de 68% (Tabela 5.21). O nitrato que foi a forma predominante de N mineral do solo em datas anteriores, foi absorvido pelo milho, deslocou-se no perfil do solo e/ou perdeu-se do sistema solo-planta.

O N absorvido pelo milho no tratamento sem aplicação de N-uréia foi de 91 e 170 kg ha⁻¹, respectivamente para os tratamentos com gramíneas e leguminosas (Tabela 5.22). O N adicional absorvido pelo milho, em relação à parcela sem adubação, foi de 50 e 54 kg ha⁻¹ quando aplicado 100 kg ha⁻¹ e, 128 e 157 kg ha⁻¹ quando adicionado 200 kg ha⁻¹, respectivamente para os tratamentos com gramíneas e leguminosas. Descontando o N volatilizado e considerando uma média de ambas plantas de cobertura, no solo deveriam permanecer pelo menos 45% do N aplicado na menor dose e 20% na maior dose. Estes resultados indicam que pelo menos 45 e 40 kg ha⁻¹ de N a mais deveriam ser encontrados no solo nas parcelas com aplicação de 100 e 200 kg ha⁻¹ de N, em relação ao tratamento sem adição de N. Este N não foi recuperado na camada 0-0,1 m, como o indica a ausência de diferença dos teores de N-mineral nas parcelas com doses de 0, 100 e 200 kg ha⁻¹ (Tabela 5.21), sendo provavelmente deslocado no perfil do solo.

TABELA 5.21 Nitrogênio mineral na camada 0-0,1 m do solo após cultivo de diferentes plantas de cobertura, 134 dias após semeadura do milho e 78 dias após a segunda cobertura. Safra 2006/07.

Plantas cobertura	N mineral do solo (mg kg ⁻¹)			Média ¹
	Dose de N			
	0	100	200	
----- N-NH ₄ ⁺ -----				
Aveia branca	4,7	7,8	3,7	5,4 ns ³
Aveia preta	9,9	8,1	10,2	9,4
Ervilha forrageira	8,4	7,2	7,5	7,7
Ervilhaca comum	8,0	10,5	7,2	8,6
Nabo forrageiro	10,4	9,7	9,2	9,8
Média	8,3 A ²	8,6 A	7,6 A	8,2
----- N-NO ₃ ⁻ -----				
Aveia branca	2,0	1,3	1,5	1,6 ns ³
Aveia preta	0,9	1,5	2,1	1,5
Ervilha forrageira	6,4	4,6	5,4	5,4
Ervilhaca comum	5,3	5,6	12,4	7,8
Nabo forrageiro	3,7	2,4	4,1	3,4
Média	3,6 A ²	3,1 A	5,1 A	3,9
----- N-NH ₄ ⁺ + N-NO ₃ ⁻ -----				
Aveia branca	6,8	9,0	5,2	7,0 c ³
Aveia preta	10,8	9,6	12,3	10,9 b
Ervilha forrageira	14,8	11,8	12,9	13,2 a
Ervilhaca comum	13,4	16,1	19,6	16,3 a
Nabo forrageiro	14,0	12,1	13,4	13,2 a
Média	12,0 A ²	11,7 A	12,7 A	12,1

¹Não houve interação entre plantas de cobertura e dose de N; ²letras minúsculas comparam médias na coluna; ³letras maiúsculas comparam médias na linha (teste de Scott-Knott P≤0,05).

TABELA 5.22 Nitrogênio absorvido pelo milho cultivado após diferentes plantas de cobertura, 149 dias após semeadura¹. Safra 2006/07.

Plantas cobertura	N absorvido milho (kg ha ⁻¹) ¹			Média ²
	Dose de N			
	0	100	200	
Aveia branca	96	129	203	142 b
Aveia preta	87	154	236	159 b
Ervilha forrageira	168	198	323	230 a
Ervilhaca comum	172	250	332	252 a
Nabo forrageiro	107	136	218	154 b
Média	126 C	174 B	262 A	187

¹22/02/2007; ²Não houve interação entre plantas de cobertura e dose de N; ³letras minúsculas comparam médias na coluna; ⁴letras maiúsculas comparam médias na linha (teste de Scott-Knott P≤0,05).

5.3.3.3. Nitrogênio mineral no perfil do solo

Na tentativa de avaliar potenciais perdas em profundidade, o nitrato foi avaliado no perfil do solo até 0,6 m no tratamento com a planta de cobertura com maior aporte de N, e nos tratamentos sem e com maior aplicação de N-uréia, em data próxima ao final do ciclo do milho (134 Das). Os resultados demonstraram enriquecimento de nitrato no perfil do solo a partir da camada 0,3-0,4 m no tratamento com adição de N-uréia (Tabela 5.23). Se considerarmos que o nitrato encontrado na camada de 0,3 a 0,6 m poderá ser

perdido por lixiviação, considerando que o milho está próximo de fechar o ciclo, significa que 9 e 30 kg ha⁻¹ de N-nitrato, respectivamente, nas parcelas com dose 0 e 200 kg ha⁻¹ de N podem ser perdidos. Aita et al. (2004) encontraram aumento significativo de N-mineral na camada 0,3-0,6, já aos 42 e 61 dias após o manejo da ervilhaca e sem adubação nitrogenada em um Argissolo Vermelho distrófico arênico (150 g kg⁻¹ de argila), evidenciando que maior quantidade de N-nitrato pode ter sido perdido durante o ciclo do milho. No Estudo I, foi verificado incremento significativo de N-nitrato nas camadas 0,3-0,4 e 0,4-0,6 m em preparo convencional, indicando que neste solo com alto teor de argila também pode acontecer perdas por lixiviação, quando N-uréia em alta quantidade é aplicado em uma única vez (160 kg ha⁻¹) e a população do milho é baixa (37000 plantas ha⁻¹). No mesmo estudo, em plantio direto que apresentou 55000 plantas ha⁻¹ não se obteve enriquecimento significativo de nitrato em profundidade.

O estoque de N-nitrato na camada 0-0,6 m foi de 23 e 61 kg ha⁻¹, respectivamente, nos tratamentos com 0 e 200 kg ha⁻¹ de N-uréia, indicando que nesta camada foi encontrada uma quantidade adicional de 38 kg ha⁻¹ de N-nitrato no tratamento com adição de N. Considerando que o N absorvido pelo milho sob a parcela com aplicação de 200 kg ha⁻¹ de N-uréia foi superior em 160 kg ha⁻¹ de N, em relação à parcela sem adubação (Tabela 5.22), verifica-se que praticamente todo o N foi recuperado no sistema solo-planta. Estes dados indicam limitada perda do N adicionado e que o mesmo foi retido na camada 0-0,6 m quando adicionado 200 kg ha⁻¹ de N-uréia em cobertura, em duas vezes, sob plantio direto, sendo a população de milho de 65000 plantas ha⁻¹, porém como discutido anteriormente, a dose recomendada é menor.

TABELA 5.23 N-mineral na camada 0-0,6 m após cultivo de ervilhaca e em doses de 0 e 200 kg ha⁻¹ de N, 134 dias após semeadura do milho e 78 dias após a segunda cobertura¹. Safra 2006/07.

Profun. (cm)	N mineral do solo (mg kg ⁻¹)										
	Dose de N (kg ha ⁻¹)										
	0		200		0		200		0	200	
	---- N-NH ₄ ⁺ ----				---- N-NO ₃ ⁻ ----				- N-NH ₄ ⁺ + N-NO ₃ ⁻ -		
0-10	8,0	ns	7,2		5,3	ns	12,4		13,3	ns	19,6
10-20	4,8	ns	3,5		4,7	ns	8,2		9,6	ns	11,7
20-30	4,2	ns	4,8		4,7	ns	11,7		8,9	ns	16,5
30-40	3,5	ns	3,0		4,1	*	11,9		7,6	*	15,0
40-60	2,8	ns	3,0		3,1	*	11,8		5,9	*	14,8
Média	4,7	ns	4,3		4,4	*	11,2		9,1	*	15,5

¹07/02/2007; ns e *, respectivamente, diferença não significativa e diferença significativa (teste t P≤0,05).

Os resultados indicam que o N mineral possui potencial como indicador no manejo da adubação nitrogenada no milho, e poderá constituir-se numa ferramenta para indicar resposta à adubação nitrogenada no milho, a necessidade ou não da adubação nitrogenada na semeadura, acompanhar a evolução da disponibilidade de N no ciclo do milho de maneira a auxiliar na definição da época mais indicada de aplicação da adubação em cobertura. Também é uma ferramenta para verificar perdas em profundidade de maneira a realizar ajustes no manejo do N. Em todos os aspectos destacados o N-nitrato apresentou-se como um indicador sensível para o Latossolo Bruno do Centro-Sul do Paraná. Considerando que o manejo do nitrogênio é altamente dependente da condição climática, o nitrato do solo poderá constituir-se em ferramenta que contribua para tornar a adubação nitrogenada mais flexível, “adubar em função das necessidades de N daquele milho naquele ano”.

Por outro lado deve-se destacar que a avaliação das diferentes formas de N mineral apresenta limitações metodológicas, principalmente no manejo das amostras obtidas para sua determinação que preferentemente deverá ser colocada na solução extratora no momento da amostragem, e ser determinada imediatamente (Tedesco et al., 1995). Uma alternativa é o congelamento das amostras, de maneira a paralisar os processos microbianos, principalmente a mineralização (Tedesco et al., 1995). Por outro lado, considerando o baixo investimento em reagentes (R\$ 35,00/100 amostras), baixo investimento em equipamento (destilador tipo Kjeldahl, R\$ 3000,00), relativa facilidade da análise, o mesmo pode ser implantado em sistemas organizados de produção como a Cooperativa Agrária. Também, em relação ao nitrato, outra vantagem para ser utilizado como indicador seria a existência de testes rápidos para sua determinação (Rambo et al., 2004).

5.4 Conclusões

A volatilização de N-NH₃ não foi influenciada pela aveia branca e ervilhaca e alcançou 8 e 9% do N-uréia aplicado, respectivamente, para 100 e 200 kg ha⁻¹, quando aplicado em duas vezes.

As leguminosas, gramíneas e nabo forrageiro afetam a dinâmica do N mineral na camada superficial do solo, principalmente antes da alta taxa de acúmulo de N do milho, em plantio direto.

As leguminosas, gramíneas e nabo forrageiro afetam o rendimento, condicionam a época e dose de aplicação e a eficiência da adubação nitrogenada. Estes resultados evidenciam a necessidade de considerar a cultura antecedente no manejo do N na produção do milho.

Na cultura do milho o N-nitrato do solo pode utilizar se como ferramenta complementar para a definição da necessidade de N-fertilizante, da época de aplicação e no controle de perdas por lixiviação, contribuindo para a eficiência do manejo da adubação nitrogenada. O teor crítico de N-nitrato no Latossolo, antes da alta taxa de acúmulo de N do milho é de 29 mg kg⁻¹, considerando a camada 0-0,1 m.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADU, J.K.; OADES, J.M. Physical factors influencing decomposition of organic matter in soil aggregates. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 10, p. 89-115, 1978.

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**, Viçosa, v. 27, p. 601-612, 2003.

AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Nitrato no solo com a aplicação de dejetos líquidos de suínos no milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 32, p. 2101-2111, 2008.

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. (Coord.) **Atualização em recomendação de adubação e calagem**. Santa Maria: Palloti, 1997. p. 76-111.

AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; CHIAPINOTTO, I.C. et al. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. I- Dinâmica do nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 739-749, 2004.

AITA, C.; PORT, O.; GIACOMINI, S.J. Dinâmica do nitrogênio no solo e produção de fitomassa por plantas de cobertura no outono/inverno com o uso de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 901-910, 2006.

AL-KAISI, M.; LICHT, M.A. Effect of strip tillage on corn nitrogen uptake and residual soil nitrate accumulation compared with no-tillage and chisel plow. **Agonomy Journal**, Madison, v. 96, p. 1164-1171, 2004.

AL-KANANI, T.; MacKENZIE, A.F.; BARTHAKUR, N.N. Soil water and ammonia volatilization relationships with surface-applied nitrogen fertilizer solutions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 55, p. 1761-1766, 1991.

ALMEIDA, A.C.R. **Uso associado de esterco líquido de suínos e plantas de cobertura do solo na cultura do milho**. 2000. 144 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

ALVA, A.K.; WANG, F.L. Leaching of nitrogen from slow-release urea sources in sandy soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 60, p. 1454-1458, 1996.

ALVES, S.M.C.; ABOUD, A.C.S.; RIBEIRO, R.L.D. et al. Balanço do nitrogênio e fósforo em solo com cultivo orgânico de hortaliças após a incorporação de biomassa de guandu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1111-1117, 2006.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 553-560, 2000.

AMADO, T. J. C. **Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo do solo**. 1997. 201 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 241-248, 2002.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNÁNDEZ, S. B. V. et al. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 679-686, 1999.

AMADO, T. J. C.; SANTI, A.; ACOSTA, J. A. A. Adubação nitrogenada na aveia preta. II. Influência na decomposição de resíduos, liberação de nitrogênio e rendimento de milho sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1085-1096, 2003.

AMBROSANO, E.J.; TIVELIN, O.P.C.; CANTARELLA, H. et al. Nitrogen mineralization in soils amended with sunnhemp, velvet bean and common bean residues. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v. 60, n. 1, p. 133-137, 2003.

ANDERSON, T-H.; DOMSCH, K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 21, p. 471-479, 1989.

ANGERS, D.; BISSONNETTE, N.; LÉGÈRE, A. et al. Microbial and biochemical changes induced by rotation and tillage in soil under barley production. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 73, p. 39-50, 1993.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. Adubação nitrogenada em milho implantado em semeadura direta após aveia preta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, p. 745-754, 1999.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; FOSTHOFER, E.L. et al. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 109-119, 2003.

ARORA, Y.; MULONGOY, K.; JUO, A.S.R. Nitrification and mineralization potentials in a limed Ultisol in the humid tropics. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 92, p. 153-157, 1986.

AULAKH, M.S.; KHERA, T.S.; DORAN, J.W. et al. Yields and nitrogen dynamics in a rice-wheat system using green manure and inorganic fertilizer. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, p. 1867-1876, 2000.

AULAKH, M. S.; DORAN, J. W.; WALTERS, D. T. et al. Crop residue type and placement effects on denitrification and mineralization. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 55, p. 1022-1025, 1991.

AZOOZ, R.H.; ARSHAD, M.A. Soil infiltration and hydraulic conductivity under long-term no-tillage and conventional tillage systems. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 76, p. 14-152, 1996.

BANDICK, A.K.; DICK, R.P. Field management effects on soil enzyme activities. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 31, p. 1471-1479, 1999.

BASSO, C.J.; CERETTA, C.A. Manejo do nitrogênio no milho em sucessão a plantas de cobertura de solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 905-915, 2000.

BAYER C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1996. 240 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

BAYER, C.; LOVATO, T.; DIECKOW, J. et al. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 91, n. 1-2, p. 217-226, 2006.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 105-112, 1997.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C. et al. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, p. 101-109, 2000.

BERGSTROM, L.; KIRCHMANN, H. Leaching and crop uptake of nitrogen-15 labeled green manures and ammonium nitrate. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 33, p. 1786-1792, 2004.

BEUTLER, A. N.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. et al. Fornecimento de nitrogênio por plantas de cobertura de inverno e de verão para o milho em sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, p. 555-560, 1997.

BINFORD, G.D.; BLACKMER, A.M.; MEESE, B.G. Optimal concentrations of nitrate in corn stalks at maturity. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, p. 881-887, 1992.

BLANKENAU, K.; OLFS, H.W.; KUHLAMANN, H. Effect of microbial nitrogen immobilization during the growth period on the availability of nitrogen fertilizer for winter cereals. **Biology and Fertility of soils**, Berlin, v. 32, p. 157-165, 2000.

BOLAN, N.S.; HEDLEY, M.J. Role of carbon, nitrogen, and sulfur cycles in soil acidification. In: RENDEL, Z. **Handbook of soil acidity**. New York: Marcel Dekker, 2003. p. 29-56.

BOLTON, Jr H.; ELLIOTT, L.F.; PAPENDICK, R.I.; BEZDICEK, D.F. Soil microbial biomass and selected soil enzyme activities: effect of fertilization and cropping practices. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 17, p. 297-302, 1985.

BORKERT, C.M.; GAUDÊNCIO, C.A.; PEREIRA, J.E. et al. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 143-153, 2003.

BORTOLINI, C.G.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G. et al. Sistemas de aplicação de nitrogênio e seus efeitos sobre o acúmulo de N na planta de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 361-366, 2002.

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

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por resíduos de oito seqüências de culturais e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 91-98, 1990.

BREMNER, J.M.; DOUGLAS, L.A. Inhibition of rease activity in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 3, p. 297-307, 1971.

BROOKES, P. C.; JACKSON, L. E.; PRUDEN, G.;JENKINSON, D. S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 17, n. 6, p. 837-842, 1985.

BUNDY, L.G.; MALONE, E.S. Effect of residual profile nitrate on corn response to applied nitrogen. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, p. 1377-1383, 1988.

CALDERÓN, F.J.; JACKSON, L.E.; SCHOW, K.M. et al. Microbial response to simulated tillage in cultivated and uncultivated soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 32, p. 1547-1559, 2000.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. et al. (Eds.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.375-470.

CARTER, M.R.; RENNIE, D.A. Effects of tillage on deposition and utilization of ¹⁵N residual fertilizer. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 9, p. 33-43, 1987.

CARTER, M.R.; RENNIE, R.A. Changes in soil quality under zero tillage farming systems: distribution of microbial biomass and mineralizable C and N potentials. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 62, p. 587-597, 1982

CERETA, C. A. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia/milho, no sistema plantio direto. In: FRIES, M. R.; DALMOLIN, R. S. D. (Coord.) **Atualização em recomendação de adubação e calagem**. Santa Maria: Palloti, 1997. p. 112-124.

CHAO, T.T.; KROONTJE, W. Relationships between ammonia volatilization, ammonia concentration, and water evaporation. **Soil Science Society of America Proceedings**, Ann Arbor, v. 28, p. 393-395, 1964.

CHRISTENSEN, B.T. Wheat and Barley straw decomposition under field conditions: effect of soil type and plant cover on weight loss, nitrogen and potassium content. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 17, n. 5, p. 691-697, 1985.

CIOTTA, M. N. **Componentes químicos do solo influenciados por sistemas de preparo e modos de calagem em experimento de longa duração**. 2001. 102 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2001.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Sul, 2004. 400 p.

COSER, T.R.; RAMOS, M.L.G.; AMABILE, R.F. et al. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo de Cerrado com aplicação de fertilizante nitrogenado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 3, p. 399-406, 2007.

COSTA, F. de S. **Propriedades físicas e produtividade de culturas de um Latossolo Bruno sob sistemas de manejo em experimento de longa duração**. 2001. 98 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2001.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 527-535, 2003.

CRAIG, J.R.; WOLLUM, A.G. Ammonia volatilization and soil nitrogen changes after urea and ammonium nitrate fertilization of *Pinus taeda* L. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 46, p. 409-4134, 1982.

DA ROS, C. O.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Volatilização de amônia com aplicação de uréia na superfície do solo, no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 4, p. 799-805, 2005.

DA ROS, C.O.; AITA, C. Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, p. 135-140, 1996.

DAUDÉN, A.; QUÍLEZ, D. Pig slurry versus mineral fertilization on corn yield and nitrate leaching in a Mediterranean irrigated environment. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 21, p. 7-19, 2004.

DE BONNA, F.D. de **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional**. 2005. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

DENG, S.P.; MOORE, J.M.; TABATABAI, M.A. Characterization of active nitrogen pools in soils under different cropping systems. **Biology and Fertility of soils**, Berlin, v. 32, p. 302-309, 2000.

DENG, S.P.; TABATABAI, M.A. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils. I. Amidohydrolases. **Biology and Fertility of soils**. Berlin, v. 22, p. 202-208, 1996.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N. et al. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: GTZ, 1991. 272 p. Cap. 5: Comparação entre diferentes sistemas de preparo do solo.

DICK, R. P.; BREACKWELL, D. P.; TURCO, R. F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.) **Methods for assessing soil quality**. Madison: SSSA, 1996. p. 247-271. (SSSA Special Publication, 49).

DICK, R.P.; RASMUSSEN, P.E.; KERLE, E.A. Influence of long-term residue management on soil enzyme activities in relation to soil chemical properties of a wheat-fallow system. **Biology and Fertility of soils**, Berlin, v. 6, p. 159-164, 1988.

DICK, W.A. Influence of long-term tillage and crop rotation combinations on soil enzyme activities. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, p. 669-574, 1984.

DIEKOW, J.; MEURER, E.J.; SALET, R.L. Nitrogen application timing and soil inorganic nitrogen dynamics under no-till oat/maize sequential cropping. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 707-714, 2006.

DINNES, D.L.; KARLEN, D.L.; JAYNES, D.B.; et al. Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drained midwestern soils. **Agronomy Journal**, Madison, v.94, p. 1053-1070, 2002.

DORAN, J. W. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 3, p. 765-771, 1980.

DYNIA, J.F.; CAMARGO, O.A. Retenção de nitrato num solo de carga variável, influenciada por adubação fosfatada e calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 4, p. 141-144, 1999.

ELFSTRAND, S.; HEDLUND, K.; MARTENSSON, A. Soil enzyme activities, microbial community composition and function after 47 years of continuous green manuring. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 35, p. 610-621, 2007.

ELLERT, B.H.; BETTANY, J.R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 75, n. 4, p. 529-538. 1995.

ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno Álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, p. 259-267, 1989.

ERNANI, P. R.; SANGOI, L.; LECH, V.A. et al. A forma de aplicação da uréia e dos resíduos vegetais afeta a disponibilidade de nitrogênio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 360-365, 2005.

ERNANI, P. R.; SANGOI, L.; RAMPAZZO, C. Lixiviação e imobilização de nitrogênio num nitossolo como variáveis da forma de aplicação da uréia e da palha de aveia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 993-1000, 2002.

ERNANI, P.R.; RIBEIRO, M.F.S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v. 58, p. 825-831, 2001.

ERNST, J.W.; MASSEY, H.F. The effects of several factors on volatilization of ammonia formed from urea in the soil. **Soil Science Society of America Proceedings**, Ann Arbor, v. 24, n. 2, p. 87-90, 1960.

ES, H.M. VAN; SOGBEDJI, J.M.; SCHINDELBECK, R.R. Effect of manure application timing, crop, and soil type on nitrate leaching. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 35, 670-679, 2006.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DO PLANTIO DIRETO NA PALHA – FEBRAPDP. 2008. **Evolução da área de plantio direto no Brasil**. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br>. Acesso em: 20/12/2008.

FERNANDES, F.C.S. **Dinâmica do nitrogênio na cultura do milho (*Zea mays L.*), em cultivo sucessivo com aveia preta (*Aveia strigosa*), sob implantação do sistema plantio direto.** 2006. 197 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade Estadual de São Paulo, Piracicaba, 2006.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 2000. p. 255-258.

FIGUEREIDO, C.C.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. et al. Sistemas de manejo na absorção de nitrogênio pelo milho em um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, p. 279-287, 2005.

FILLERY, I.R.; DE DATTA, S.K. Ammonia volatilization from nitrogen sources applied to rice fields. I. Methodology, ammonia fluxes, and nitroen-15 loss. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, p. 80-86, 1986.

FISHER, W.; PARKS, W.L. Influence of soil temperature on urea hydrolysis and subsequent nitrification. **Soil Science Society of America Proceedings**, Ann Arbor, v. 22, p. 247-248, 1958.

FOLLETT, R.F.; SCHIMEL, D.S. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 53, p. 1091-1096, 1989.

FONTOURA, S.M.V. **Adubação nitrogenada na cultura do milho em Entre Rios, Guarapuava, PR.** Guarapuava, PR: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2005. 94p.

FONTOURA, S.M.V.; BAYER, C. **Adubação nitrogenada para alto rendimento de milho em plantio direto na região Centro-Sul do Paraná.** Guarapuava, PR: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2008. 32p.

FRIED, M.; SOPER, R.J.; BROESHART, H. ¹⁵N-labelled single-treatment fertility experiments. **Agronomy Journal**, Madison, v. 67, p. 393-396, 1975.

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

GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; CHIAPINOTTO, I.C. et al. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. II- Nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 751-762, 2004.

GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E.R.O. et al. 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**, Viçosa, v. 27, p. 325-334, 2003.

GOMES, R.F.; SILVA, A.G.; ASSIS, R.L. et al. Efeito de doses e da época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agrônômicos da cultura do milho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 931-938, 2007.

GONÇALVES, C.N.; CERETTA, C.A.; BASSO, C.J. Sucessões de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto e sua influência sobre o nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 153-159, 2000.

GROFFMAN, P.M.; HENDRIX, P.F.; CROSSLEY, D.A. Nitrogen dynamics in conventional and no-tillage agroecosystems with inorganic fertilizer or legume nitrogen inputs. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 97, p. 315-322, 1987.

HALVORSON, A.D.; WIENHOLD, B.J.; BLACK, A.L. Tillage and nitrogen fertilization influence grain and soil nitrogen in an annual cropping system. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, p. 836-841, 2001.

HARRIS, G.H.; HESTERMAN, O.B. Quantifying the nitrogen contribution from alfalfa to soil and two succeeding crops using nitrogen-15. **Agronomy Journal**, Madison, v. 82, p. 129-134, 1990.

HILL, R.L. Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, p. 161-166, 1990.

HOWARD, D.D.; ESSINGTON, M.E. Effects of surface-applied limestone on the efficiency of urea-containing nitrogen sources for no-till corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, p. 523-528, 1998.

JACKSON, L.E.; CALDERON, F.J.; STEENWERTH, K.L. et al. Responses of soil microbial processes and community structure to tillage events and implications for soil quality. **Geoderma**, Amsterdam, v. 114, p. 05-317, 2003.

JASTER, F.; ELTZ, F.L.F.; FERNANDEZ, F.F. et al. **Rendimento de grãos em diferentes sistemas de preparo e manejo de solos**. Londrina: EMBRAPA.CNPSo, 1993. 37p. (EMBRAPA-CNPSo. Documentos, 61)

KREUTZER, K. Effects of forest liming on soil processes. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 168, p. 447-470, 1995.

KUZYAKOV, Y.; FRIEDEL, J.K.; STAHR, K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. **Soil biology and biochemistry**, Oxford, v. 32, p. 1485-1498, 2000.

LADD, J.N.; AMATO, M.; LI-KAI, Z. et al. Differential effects of rotation, plant residue and nitrogen fertilizer on microbial biomass and organic matter in an Australian alfisol. **Soil biology and biochemistry**, Oxford, v. 26, p. 821-831, 1994.

LARA CABEZAS, W.A.; TRIVELIN, P.C.O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH₃ volatilizado da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 345-352, 1990.

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

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

LARA CABEZAS, W.A.R.; ARRUDA, M.R.; CANTARELLA, H. et al. Imobilização de nitrogênio da uréia e do sulfato de amônio aplicado em pré-semeadura ou cobertura na cultura de milho, no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 215-226, 2005.

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

LINDEN, D.R. Predicting tillage effects on evaporation from the soil In: UNGER, P.W.; VAN DOREN, D.M.; MWENDERA, E.J. et al. (Eds.) Estimation of depression storage and manning's resistance coefficient from random roughness measurements. **Geoderma**, Amsterdam, v. 52, p. 235-250, 1982.

LONGO, R.M.; MELO, W.J. Hidrólise da uréia em latossolos: efeito da concentração de uréia, temperatura, pH, armazenamento e tempo de incubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 651-657, 2005.

LOVATO, T. **Dinâmica do carbono e nitrogênio do solo afetada por preparos do solo, sistemas de cultura e adubo nitrogenado**. 2001. 133 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C. et al. Carbon and nitrogen addition related to stocks of these elements in soil and corn yield under management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 175-187, 2004.

MAGDOFF, F.R.; ROSS, D; AMADON, J. A soil test for nitrogen availability to corn. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, p. 1301-1304, 1984.

MAR, G. D.; MARCHETTI, M.E.; SOUZA, L.C.F. et al. Produção do milho safrinha em função de doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 2, p. 267-274, 2003.

MARTENS, D.A.; JOHANSON, J.B.; FRANKEBERGER Jr, W.T. Production and persistence of soil enzymes with repeated additions of organic residues. **Soil Science**, Hagerstown, v. 153, p. 53-61, 1992.

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

McCRACKEN, D.V.; SMITH, M.S.; GROVE, J.H. et al. Nitrate leaching as influenced by cover cropping and nitrogen source. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p. 1476-1483, 1994.

McINNES, K.J.; FERGUSON, R.B.; KISSEL, D.E. et al. Ammonia Loss from applications of Urea-Ammonium Nitrate solution to straw residue. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, p. 969-974, 1986.

MEISINGER, J.J.; BANDEL, V.A.; ANGLE, B.E. et al. Pre-sidedress soil nitrate test evaluation in Maryland. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, p. 1527-1532, 1992a.

MEISINGER, J.J.; MAGDOFF, F.R.; SCHEPERS, J.S. Predicting N fertilizer needs for corn in humid regions: underlying principles. IN: BOCK, B.R.; KELLEY, K.R. (Eds.) **Predicting N fertilizer needs for corn in humid regions**. Alabama: NFERC, 1992b. p. 7-27.

MELO, F.A.F. **Uréia fertilizante**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 192p.

MENGUEL, K. Turnover of nitrogen in soil and its availability to crops. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 181, p. 83-93, 1996.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. M. et al. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N. et al. (Eds.) **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, n.3, 2003, p. 209-248.

MILLER, M.; DICK, R.P. Thermal stability and activities of soil enzymes as influenced by crop rotations. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 27, p. 1161-1166, 1995.

MOORE, J.M.; KLOSE, S.; TABATABAI, M.A. Soil microbial carbon and nitrogen as affected by cropping systems. **Biology and Fertility of soils**, Berlin, v. 31, p. 200-210, 2000.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p. Cap. 7: Transformações bioquímicas e ciclos dos elementos no solo.

MWENDERA, E.J.; FEYEN, J. Effects of tillage and evaporative demand on the drying characteristics of a silt loam: an experimental study. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 32, p. 61-69, 1994.

NICOLOSO, R.S.; AMADO, T.J.C.; SCHNEIDER, S. et al. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 172-1734, 2008.

NÖMMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 39, p. 309-318, 1973.

OLIVEIRA, E.L. Coberturas verdes de inverno e adubação nitrogenada em algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 231-241, 1994.

OMAY, A. B.; RICE, C. W.; MADDUX, L. D. et al. Changes in soil microbial and chemical properties under long-term crop rotation and fertilization. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, p. 1672-1678, 1997.

OVERREIN, L.N.; MOE, P.G. Factors affecting urea hydrolysis and ammonia volatilization in soil. **Soil Science Society of America Proceedings**, Ann Arbor, v. 31, p. 57-61, 1967.

PALMA, M.P.; CONTI, M.E. urease activity in Argentine soils: field studies and influence of sample treatment. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 22, p. 105-107, 1990.

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

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. et al. (Eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1996. p. 1-42. (Boletim Técnico, 100).

RAMBO, L.; DA SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G. et al. Testes de nitrato no solo como indicadores complementares no manejo da adubação nitrogenada em milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 4, p. 1279-1287, 2004b.

RAMBO, L.; SILVA, P.R.F.; BAYER, C. et al. Teor de nitrato como indicador complementar da disponibilidade de nitrogênio no solo para o milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 731-738, 2007.

RAMBO, L.; SILVA, P.R.F.; STRIEDER, M.L. et al. Adequação de doses de nitrogênio em milho com base em indicadores de solo e de planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 401-409, 2008.

RAMBO, L.; SILVA, P.R.F.; STRIEDER, M.L. et al. Monitoramento do nitrogênio na planta e no solo para predição da adubação nitrogenada em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 3, p. 407-417, 2007.

RAMBO, L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G. et al. Parâmetros de planta para aprimorar o manejo da adubação nitrogenada de cobertura em milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 167-1645, 2004a.

RANDALL, G.W.; HUGGINS, D.R. ; RUSSELLE, M.P. et al. Nitrate losses through subsurface tile drainage in conservation reserve program, alfalfa and row crop systems. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 26, p. 1240-1247, 1997.

REYNOLDS, C.M.; WOLF, D.C.; ARMBRUSTER, J.A. Factors to urea hydrolysis in soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 49, p. 104-108, 1985.

RODRIGUES, M.B. ; KIEHL, J.C. Volatilização de amônia após emprego de uréia em diferentes doses e modos de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 37-43, 1986.

RODRIGUES, M.B.; KIEHL, J.C. Distribuição e nitrificação da amônia proveniente da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 403-408, 1992.

SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S. et al. (Eds.). **Inter-relações fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa : SBCS; Lavras : UFLA, 1999. p. 267-319.

SÁ, J.C.M. **Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 24p.

SAINJU, U.M.; SINGH, B.P. Tillage, cover crop, and kill-planting date effects on corn yield and soil nitrogen. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, p. 878-886, 2001.

SAINJU, U.M.; SINGH, B.P.; WHITEHEAD, W.F. et al. Accumulation and crop uptake of soil mineral nitrogen as influenced by tillage, cover crops, and nitrogen fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, p. 682-691, 2007.

SAINZ ROZAS, H.R.; ECHEVERRÍA, H.E.; BARBIERI, P.A. Nitrogen balance as affected by application time and nitrogen fertilizer rate in irrigated no-tillage maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, p. 1622-1631, 2004.

SAINZ ROZAS, H.R; ECHEVERRÍA, H.E.; STUDDERT, G.A.; DOMÍNGUEZ G. Evaluation of the presidress soil nitrogen test for no-tillage maize fertilized at planting. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, p. 1176-1183, 2000.

SALET, R. L. **Dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema plantio direto**. 1994. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

SALINAS GARCIA, J.R.; HONS, F.M.; MATOCHA, J.E. et al. Soil carbon and nitrogen dynamics as affected by long-term tillage and nitrogen fertilization. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.25, p. 182-188, 1997.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um podzólico vermelho-escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 313-319, 1995.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; SILVA, P.R.F. Maize response to nitrogen fertilization timing in two tillage systems in a soil with high organic matter content. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 507-517, 2007b.

SANGOI, L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G. et al. **Desenvolvimento e exigências climáticas da planta de milho para altos rendimentos**. Lages, SC : UDESC; Porto Alegre : UFRGS; Uberlândia, MG : Syngenta Seedes Graphel, 2007a. 94p.

SCHIMTZ, J. A. k. **Indicadores biológicos de qualidade do solo**. 2003. 234 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SCIVITTARO, W.B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A.E. et al. Transformações do nitrogênio proveniente de mucuna-preta e uréia utilizados como adubo na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 1247-1433, 2003.

SENGIK, E.; KIEHL, J.C. Efeito de resíduos orgânicos e do fosfato nonocálcico na volatilização de amônia em terra tratada com uréia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 321-326, 1995.

SIDIRAS, N.; VIEIRA, S. R.; ROTH, C. H. Determinação de algumas características físicas de um Latossolo Roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, p. 265-268, 1984.

SILVA, C.A.; VALE, F.R. Disponibilidade de nitrato em solos brasileiros sob efeito da calagem e de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 2461-2471, 2000.

SILVA, C.A.; VALE, F.R.; GUILHERME, L.R.G. Nitrificação em latossolos da região sul de Minas Gerais: efeito da acidez do solo. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 18, p. 388-394, 1994a.

SILVA, E.C.; FERREIRA, S.M.; SILVA, G P. et al. Épocas e formas de aplicação de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 725-733, 2005.

SILVA, P.R.; ARGENTA, G.; SANGOI, L. et al. Estratégias de manejo de coberturas de solo no inverno para cultivo do milho em sucessão no sistema semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 1011-1020, 2006a.

SILVA, E.C.; TAKASHI, M.; BUZETTI, S. et al. Absorção de nitrogênio nativo do solo pelo milho sob plantio direto em sucessão a plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 723-732, 2006b.

SILVA, E.C.; TAKASHI, M.; BUZETTI, S.; et al. Utilização do nitrogênio (¹⁵N) residual de coberturas de solo e da uréia pela cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 965-974, 2006c.

SILVA, J.E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D.V.S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos de cerrados do oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 541-547, 1994b.

SIMS, J. T.; VASILAS, B.L.; GARTLEY, K. L. et al. Evaluation of soil and plant nitrogen tests for maize on manured soils of the Atlantic coastal plain. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, p. 213-222, 1995.

SMITH, S.J.; YOUNG, J. Distribution of nitrogen forms in virgin and cultivated soils. **Soil Science**, Hagerstown, v. 120, p. 54-360, 1975.

SOGBEDJI, J.M.; ES, H.M. VAN; YANG, C.L. et al. Nitrate leaching and nitrogen budget as affected by maize nitrogen rate and soil type. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 29, p. 1813-1820, 2000.

SOON, Y.K.; CLAYTON, G.W.; RICE, W.A. Tillage and previous crop effects on dynamics of nitrogen in a wheat-soil system. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, p. 842-849, 2001.

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

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

STANLEY, F.A.; SMITH, G.E. Effect of soil moisture and depth of application on retention of anhydrous ammonia. **Soil Science Society of America Proceedings**, Ann Arbor, v. 20, p. 557-561, 1956.

STOTT, D.E.; KASSIM, G.; JARREL, W.M. et al. Stabilization and incorporation into biomass of specific plant carbons during biodegradation in soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 70, p. 15-26, 1983.

STRIEDER, M.L.; SILVA, P.R.F.; ANGHINONI, I. et al. Época de aplicação da primeira dose de nitrogênio em cobertura em milho e espécies antecessoras de cobertura de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 879-890, 2006.

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

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.

TOBERT, H.A.; MULVANEY, R.M.; HEUVEL, V. et al. Soil type and moisture regime effects on fertilizer efficiency calculation methods in a nitrogen-15 tracer study. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 1, p. 66-70, 1992.

TRIVELIN, P.C.O.; STEFFANUTTI, R.; LIMA FILHO, O.F. et al. Volatilização de amônia do solo associada à aplicação superficial de solução nitrogenada com uréia e nitrato de amônio. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE CIENCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Solo-Suelo 96: Trabalhos...** Piracicaba, 1996. CD ROM.

VANLAUWE, B.; DIELS, J.; SANGINGA, N. et al. Residue quality and decomposition: an unsteady relationship? In: CADISCH, G.; GILLER, K.E. (Eds.) **Driven by nature: plant litter quality and decomposition**. [S.l.] : CAB International, 1997. p. 157-166.

VARCO, J.J.; FRYE, W.W.; SMITH, M.S. et al. Tillage effects on legume decomposition and transformation of legume and fertilizer nitrogen-15. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 57, p. 750-756, 1993.

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

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 35-42, 2000.

VARGAS, L. K. **Composição da comunidade microbiana do solo e sua relação com a disponibilidade de nitrogênio para a cultura do milho**. 2002. 103 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

VARGAS, L.K.; SELBACH, P.A.; SÁ, E.L.S de Imobilização de nitrogênio em solo cultivado com milho em sucessão à aveia preta nos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 1, p. 76-83, 2005.

VARVEL, G.E. Rotation and nitrogen fertilization effects on changes in soil carbon and nitrogen. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, p. 319-325, 1994.

VAUGHAN, J.D.; EVANYLO, G.K. Corn response to cover crop species, spring desiccation time, and residue management. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, p. 536-544, 1998.

VICTÓRIA, R.L.; PICCOLO, M., VARGAS, A.A.T. O ciclo de nitrogênio. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.A.; NEVES, M.C.P(Coord.) **Microbiologia do solo**. Campinas : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 105-120.

VLEK, P.L.G.; CARTER, M.F. The effect of soil environment an fertilizer modification on the rate of urea hydrolysis. **Soil Science**, Hagerstown, v. 136, p. 56-63, 1983.

VOLK, G. Volatile loss of ammonia following surface application of urea to turf or bare soils. **Agronomy Journal**, Madison, v. 51, p. 746-749, 1959.

WICKRAMASINGHE, K.N.; RODGERS, G.A.; JENKINSON, D.S. Transformations of nitrogen fertilizers in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 17, n. 5, p. 625-630, 1985.

WOLSCHICK, D.; CARLESSO, R.; PETRY, M.T. et al. Adubação nitrogenada na cultura do milho no sistema plantio direto em ano com precipitação pluvial

normal e com “El nino”. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 461-468, 2003.

WOODS, L.E. Active organic matter distribution in the surface 15 cm of undisturbed and cultivated soil. **Biology and Fertility of soils**, Berlin, v. 8, p. 272-278, 1989.

ZAMAN, M.; CAMERON, K.C.; DI, H.J. et al. Changes in mineral N, microbial biomass and enzyme activities in different soil depths alter surface applications of dairy shed effluent and chemical fertilizer. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 63, p. 275-290, 2002.

ZANATTA, J.A. **Estoque e labilidade de carbono em frações da matéria orgânica de um Argissolo afetados por sistemas de manejo do solo**. 2006. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

ZANTUA, M.I.; BREMNER, J.M. Stability of urease in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 9, p. 135-140, 1977.

ZHAI, R.; KACHANOSKI, R.G.; VORONEY, R.P. tillage effects on the spatial and temporal variations of soil water. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 54, p.186-192, 1990.

7. ANEXOS

ANEXO 1. Teor de N, matéria seca e N absorvido pelo milho em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD).

N-uréia	Teor de N no milho			Matéria seca do milho			N absorvido pelo milho		
	PC	PD	Média	PC	PD	Média	PC	PD	Média
kg ha ⁻¹	----- % -----			----- Mg ha ⁻¹ -----			----- kg ha ⁻¹ -----		
----- 24/11/06 (58 dias após a semeadura do milho "Das", 15 dias após aplicação de N-uréia "Dan-U") -----									
0	2,93 ns ¹	2,42 c	2,68 ²	0,70	1,86	1,28 ns ³	20	45	33 ns ³
80	2,97	2,60 b	2,78	0,49	2,55	1,52	15	66	40
160	2,98	2,73 a	2,86	0,48	2,32	1,40	14	63	39
Média	2,96 A ¹	2,58 B		0,56 B	2,25 A		16 B	58 A	
----- 21/12/06 (85 Das, 42 Dan-U) -----									
0	1,82	1,46	1,64 b ³	5,39	9,64	7,52 ns ³	98	140	119 ns ³
80	2,00	1,64	1,82 ab	3,60	10,08	6,84	74	164	119
160	2,16	1,72	1,94 a	4,09	11,20	7,64	89	190	140
Média	1,99 NS	1,61		4,36 NS	10,30		87 NS	165	
----- 23/01/07 (118 Das, 75 Dan-U) -----									
0	1,05	0,82	0,94 b ³	20,08 a	18,12 b	19,10 ²	210 a	149 b	180 ²
80	1,21	0,99	1,10 ab	12,27 b	23,77 a	18,02	144 b	235 a	190
160	1,41	1,05	1,23 a	13,77 b	19,04 b	16,40	192 ab	200 ab	196
Média	1,22 NS	0,95		15,37 NS	20,31		182 NS	195	
----- 16/02/07 (142 Das, 99 Dan-U) -----									
0	0,92	0,81	0,87 b ³	23,35 a	21,58 b	22,46 ²	217 ns	175 b	196 ²
80	1,19	0,99	1,09 a	16,11 b	27,92 a	22,02	191	276 a	233
160	1,24	1,00	1,12 a	15,12 b	23,15 ab	19,13	188	228 ab	208
Média	1,12 NS	0,93		18,19 NS	24,22		198 NS	226	

¹Letras minúsculas e "ns" comparam médias na coluna e letras maiúsculas e "NS" na linha (teste de Tukey P≤0,05); ²houve interação entre tratamentos e dose de N; ³não houve interação entre tratamentos e dose de N.

ANEXO 2. Nitrogênio da biomassa microbiana do solo em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) em diferentes datas e profundidades.

Data	N da biomassa microbiana			
	PC-C	PC-D	PD-C	PD-D
----- mg kg ⁻¹ -----				
0-0,1 m				
22/09/2006	14,4 B	11,1 B	34,0 A	39,6 A
10/10/2006	8,3 B	8,1 B	29,9 A	27,5 A
27/10/2006	22,4 BC	17,5 C	36,7 AB	45,6 A
30/11/2006	15,2 C	15,0 C	42,6 A	26,0 B
0,1-0,2 m				
22/09/2006	11,5 NS	17,6	10,6	13,2
10/10/2006	--	--	--	--
27/10/2006	13,9 NS	15,1	16,1	19,5
30/11/2006	16,0 NS	15,0	13,5	15,3

¹Letras maiúsculas comparam médias na linha (teste de Tukey P≤0,05).

ANEXO 3. Atividade da amidase do solo em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) em diferentes datas e profundidades.

Data	Atividade da amidase			
	PC-C	PC-D	PD-C	PD-D
----- mg N-NH ₄ ⁺ kg ⁻¹ S 2 h ⁻¹ -----				
0-0,05 m				
10/10/2006	81 B	101 B	338 A	252AB
27/10/2006	98 B	105 B	214 A	186 A
18/12/2006	79 B	86 B	269 A	212 A
0,05-0,1 m				
10/10/2006	107 NS	142	180	197
27/10/2006	104 B	123 AB	176 AB	235 A
18/12/2006	97 NS	95	185	135

¹Letras maiúsculas comparam médias na linha (teste de Tukey P≤0,05).

ANEXO 4. Estoque de N mineral do solo em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), 21 e 39 dias após aplicação de doses de N-uréia, na camada 0-0,2 m.

N-uréia	Estoque de N mineral do solo					
	21 dias após aplicação uréia (30/11)			39 dias após aplicação uréia (18/12)		
	PC	PD	Média	PC	PD	Média
----- kg ha ⁻¹ -----						
N-NH ₄ ⁺						
0	9 b	11 ns	10 ²	10	14	12 ns ³
80	32 ab	15	25	10	10	10
160	58 a	17	37	13	11	12
Média	33 NS	15		11 NS	12	
N-NO ₃ ⁻						
0	40	9	25 b ³	8 c	7 ns	8 ²
80	99	38	68 a	61 b	4	32
160	105	65	85 a	113 a	28	70
Média	81 A	38 B		61 NS	13	
N-NH ₄ ⁺ + N-NO ₃ ⁻						
0	49	20	35 b ³	18 c	21 ns	20 ²
80	131	55	93 a	70 b	14	42
160	163	81	122 a	126 a	39	82
Média	114 NS	52		72 NS	25	

¹Letras minúsculas e "ns" comparam médias na coluna e letras maiúsculas e "NS" na linha (teste de Tukey P≤0,05); ²houve interação entre tratamentos e dose de N; ³não houve interação entre tratamentos e dose de N.

ANEXO 5. Estoque de N mineral do solo na camada 0-0,6 m, 39 e 83 dias após a adubação nitrogenada em preparo convencional (PC) e plantio direto (PD).

Profund. m	Estoque de N mineral do Latossolo					
	39 dias após aplicação N-uréia ¹ (Dan-U)				83 ¹ (Dan-U)	
	PC-0	PC-160	PD-0	PD-160	PC-160	PD-160
	----- kg ha ⁻¹ -----					
	----- N-NH ₄ ⁺ -----				----- N-NH ₄ ⁺ -----	
0-0,05	2 NS ²	3	7	5	2 NS	6
0,05-0,1	3 NS	4	3	3	2 NS	2
0,1-0,2	5 NS	5	4	3	4 NS	2
0,2-0,3	3 B	7 A	7 A	5 AB	3 NS	2
0,3-0,4	4 B	6 A	5 AB	3B	3 NS	2
0,4-0,6	6 NS	8	7	7	2 NS	2
Total	23 C	34 A	32 AB	26 BC	16 NS	17
	----- N-NO ₃ ⁻ -----				----- N-NO ₃ ⁻ -----	
0-0,05	3 B ²	30 A	ns 3 B	3 B	1 NS	2
0,05-0,1	2 B	26 A	2 B	5 B	1 NS	2
0,1-0,2	4 B	57 A	2 B	20 B	3 NS	4
0,2-0,3	5 B	39 A	2 B	6 B	6 NS	3
0,3-0,4	11 B	25 A	1 B	6 B	20 NS	4
0,4-0,6	14 B	34 A	4 B	10 B	61 NS	7
Total	38 B	211 A	15 B	51 B	92 A	21 B
	----- N-NH ₄ ⁺ + N-NO ₃ ⁻ -----				----- N-NH ₄ ⁺ + N-NO ₃ ⁻ -----	
0-0,05	5 B ²	33 A	10 B	9 B	4 NS	8
0,05-0,1	5 B	31 A	5 B	8 B	3 NS	4
0,1-0,2	9 B	62 A	5 B	23 B	7 NS	6
0,2-0,3	9 B	46 A	10 B	12 B	9 NS	5
0,3-0,4	15 B	31 A	6 B	9 B	23 NS	6
0,4-0,6	20 B	42 A	11 B	17 B	63 NS	10
Total	62 B	245 A	47 B	77 B	109 A	38 B

¹18/12/2006 e 31/01/2007; ²letras maiúsculas e "NS" na linha em cada data de avaliação (teste de Tukey P≤0,05).

ANEXO 6. Estoque de nitrogênio mineral na camada 0-0,1 m do solo, sob diferentes plantas de cobertura e pousio durante o ciclo do milho. Safra 2006/07.

Tratamentos	Nitrogênio mineral do solo (kg ha ⁻¹)				
	Dias após manejo ¹				
	16 ¹	40	62	91	137
	----- N-NH ₄ ⁺ -----				
Pousio	7 b ²	4 ns	9 ns	8 ns	4 ns
Aveia branca	11 ab	8	6	10	5
Aveia preta	11 ab	9	8	10	5
Ervilhaca comum	15a	7	4	12	4
Aveia branca + Ervilhaca comum	10 ab	6	5	10	4
Nabo forrageiro	12ab	7	4	10	5
Descoberta ³	9	5	6	8	4
Media	11	7	6	10	5
C.V. (%)	19	24	42	19	22
	----- N-NO ₃ ⁻ -----				
Pousio	13 b ²	30 b	29 ns	3 ns	1 ns
Aveia branca	8 b	16 c	22	2	1
Aveia preta	8 b	17 c	23	1	1
Ervilhaca comum	30 a	46 a	23	4	3
Aveia branca + Ervilhaca comum	16 ab	29 b	30	2	1
Nabo forrageiro	10 b	24 bc	18	1	1
Descoberta ³	31	34	26	1	0
Media	14	27	24	2	2
C.V. (%)	40	11	24	58	54
	----- N-NH ₄ ⁺ + N-NO ₃ ⁻ -----				
Pousio	20 ns ²	35 b	45 ns	11 ns	6 ns
Aveia branca	18	24 c	28	12	7
Aveia preta	24	26 c	35	11	7
Ervilhaca comum	45	52 a	26	16	7
Aveia branca + Ervilhaca comum	27	35 b	35	13	5
Nabo forrageiro	22	31 bc	22	10	7
Descoberta ³	40	40	32	9	4
Media	26	34	31	12	6
C.V. (%)	37	8	28	17	22

¹Corresponde as datas 28/09, 20/10, 13/11, 12/12/2006 e 27/01/2007; ²comparam médias na coluna (teste de Tukey P≤0,05); ³Analisado separadamente.

ANEXO 7. Atividade da urease no tecido das plantas de cobertura.

Plantas de cobertura	Atividade da urease mg N-NH ₄ ⁺ kg ⁻¹ tecido 2 h ⁻¹
Aveia branca	959 a
Aveia preta	440 ab
Ervilhaca comum (EC)	208 ab
Aveia branca+EC	613 ab
Nabo forrageiro	154 b
Média	475
Coefficiente variação (%)	60

¹Comparam médias na coluna (teste de Tukey P≤0,05)

ANEXO 8. Taxa de volatilização de N-NH₃ após cultivo de aveia branca e ervilhaca, nas doses 100 e 200 kg ha⁻¹ de N-uréia, aplicadas em duas vezes como adubação de cobertura do milho, em sistema de plantio direto (PD). Safra 2006/07.

Dose N	Taxa de volatilização														
	Primeira adubação nitrogenada de cobertura														
	0-1 ¹			1-3			3-5			5-10			10-20		
	AB ⁵	Er ⁵	Média ²	AB	Er	Média ³	AB	Er	Média ²	AB	Er	Média ²	AB	Er	Média ²
	----- mg m ⁻² d ⁻¹ N- NH ₃ -----														
0	2	16	9 b ⁴	19 a	14 b	17	19	7	13 b	5	4	6 a	10	18	14 b
50	56	21	38 ab	37 a	22 b	30	20	9	14 b	7	8	5 a	11	13	12 b
100	92	51	72 a	38 a	118 a	78	32	33	33 a	7	8	7 a	21	20	20 a
Média	50 A ⁴	29 A		31	52		24 A	16 A		6 A	6 A		14 A	17 A	
	Segunda adubação nitrogenada de cobertura														
	0-1 ¹			1-3			3-5			5-11			11-20		
	AB	Er	Média ²	AB	Er	Média ²	AB	Er	Média ²	AB	Er	Média ²	AB	Er	Média ²
	----- mg m ⁻² d ⁻¹ N- NH ₃ -----														
0	1	1	1 b	5	5	5 b	30	26	28 b	4	6	5 a	6	6	6 a
50	123	85	104 a	161	90	125 ab	243	179	211 ab	5	2	4 a	8	8	8 a
100	236	71	153 a	263	218	241 a	395	467	431 a	5	6	6 a	7	10	9 a
Média	120 A	52 A		143 A	104 A		223 A	224 A		5 A	5 A		7 A	8 A	

¹Dias após a aplicação da adubação de cobertura; ²Não houve interação entre plantas de cobertura e dose de N; ³houve interação entre plantas de cobertura e dose de N; ⁴letras minúsculas comparam médias na coluna e letras maiúsculas na linha (teste de Tukey P≤0,05); ⁵Aveia branca e Ervilhaca comum.

8. APÉNDICES

APÊNDICE 1. Precipitação durante o ciclo do milho nas safras 2005/06 e 2006/07. Entre Rios, Paraná.

Dias	Setembro		Outubro		Novembro		Dezembro		Janeiro		Fevereiro		Março	
	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2006	2007	2006	2007	2006	2007
	----- mm -----													
1	19,2	24,2	13,2	27,2	0	1	0	0	3,8	0	0	0	19,8	3,8
2	0,2	2	4,8	0	0	2,4	0	0	0,2	17,2	0	0	9,2	8,8
3	0,8	0	0	0	0	20,2	0	0	4	0,2	0,4	3,4	0	0
4	31	0	44	0	0	9,8	0	16,2	0,2	7	10,4	25	0	0
5	0	0	56,4	9,6	1,8	0	8,2	9,2	0,8	20,6	4,6	0,2	0	0
6	0	0	0,4	0	8,8	20,4	0,4	33,6	0	0,2	0,2	0	0	0,2
7	0	0	19,6	0	0,2	0	0,4	0,2	0	0	0	0	0	0,2
8	0	0	26	0	8,4	0	0	0	3,2	0,4	0	0	0,2	0
9	0	16,6	0	0	0	0	0	0	10,4	4	59,6	0	0,2	7
10	0	0	0,4	0	0	0	0	8	17	7,4	0	17,8	0	1,2
11	71,8	0	6,2	0,2	0	0	0	0	0	16,2	0	0,2	0	0,2
12	3,6	0	0	0,2	0	0	0	0	30,6	7,8	0	0	0	4,8
13	21,8	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,6
14	20,8	0	6,2	0	0	0	0	6,2	0	0	0,6	0	5,8	7
15	1,4	16,6	13,6	23,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4
16	0	28	52,2	0	3,2	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0
17	0	0	11,2	0	7,8	0,2	0	3	0	1,4	0	2,8	0	34,2
18	10,6	0	0	19,6	0	1	36,6	0,2	0,6	0,8	0,6	4,2	0	6,8
19	0,2	0	0	0	0	18,2	0	31,4	12,8	15	5,2	19,8	0	0
20	0	41,2	0	0	0	0,8	6,8	38,2	0	25,8	7,6	6,4	9,6	0
21	0	0	8,2	0	0	0	0,2	3	7,4	0	56,6	5,2	9,8	0
22	4,2	0	0	0	0	0	0,4	1,6	0,6	0	0,2	0	1,6	0
23	0	7,4	0	0	0	0	0,2	15,4	4	0	0	0	3,4	0
24	4,4	0,2	0	0	18,8	5,8	0,2	7,8	10,2	1	0	21,6	2,2	0
25	31,4	0	13,6	0	1,6	5,8	0	50,8	27,6	0	0	8,8	4,6	34,6
26	0	0	9,2	0	0	0,4	25,6	6,2	0	22,4	0	0	0	0
27	0	0	12,4	3,4	0	0	1	0,2	1	0,2	0	0,6	0	0
28	0	0	48,8	4	0	18,2	5,8	0	16,8	55,4	0	0	8,4	0
29	0	6,6	0,2	11,6	8	0,6	0	0	0	5,2	--	--	4,2	0
30	31,2	0	13,8	0	0	0	0	0	0,2	0,6	--	--	0	0
31	--	--	0	19,6	--	--	29,6	0	0,2	1,6	--	--	0	0,4
Total	252,6	142,8	360,0	118,8	58,6	104,8	115,4	231,4	151,6	210,4	146,2	116	79	114,2

APÊNDICE 2. Caracterização química do Latossolo em PC-PC calcário incorporado e PD-PD calcário em superfície considerando as repetições, em 01/2007.

Profundidade	Bloco	pH	Índice SMP	Al ⁺⁺⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	P	C orgânico	N total
M				----- cmol _c kg ⁻¹ -----				mg kg ⁻¹	----- g kg ⁻¹ -----	
----- PC-PC – calcário incorporado -----										
0-0,05	I	4,8	5,2	1,93	3,8	0,52	0,25	4	38,9	2,71
0,05-0,1	I	4,8	5,2	1,61	4,2	0,68	0,25	3	39,8	2,77
0,1-0,2	I	4,9	5,2	1,36	4,6	0,85	0,26	3	40,5	2,74
0-0,05	II	4,8	5,3	1,96	3,8	0,35	0,24	4	38,8	2,76
0,05-0,1	II	4,8	5,2	1,55	4,5	0,57	0,28	4	40,3	2,87
0,1-0,2	II	4,8	5,3	1,44	4,5	0,68	0,24	3	37,9	2,83
0-0,05	III	4,9	5,4	0,81	4,0	0,45	0,29	4	34,5	2,34
0,05-0,1	III	4,9	5,3	0,66	4,6	0,97	0,29	4	35,4	2,45
0,1-0,2	III	5,0	5,5	0,48	4,7	0,68	0,29	3	33,8	2,34
----- PD-PD – calcário em superfície -----										
0-0,05	I	5,4	5,5	0,15	11,1	3,03	0,59	8	54,6	5,20
0,05-0,1	I	5,1	5,3	0,53	6,7	1,33	0,52	6	41,4	3,27
0,1-0,2	I	5,1	5,3	0,74	5,7	0,73	0,39	3	38,1	2,80
0-0,05	II	5,3	5,6	0,19	12,7	4,29	0,57	10	61,5	5,15
0,05-0,1	II	5,1	5,2	0,50	6,2	1,54	0,52	13	41,8	2,96
0,1-0,2	II	4,9	5,1	2,34	3,5	0,37	0,38	4	38,4	2,41
0-0,05	III	5,2	5,6	0,26	9,8	2,67	0,54	11	50,5	4,39
0,05-0,1	III	4,9	5,4	1,85	3,2	0,55	0,46	8	30,5	2,46
0,1-0,2	III	5,0	5,6	0,97	2,7	0,12	0,42	3	31,4	2,08

O C orgânico foi determinado por combustão seca e as demais determinações segundo Tedesco et al. (1995).