

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**PLANTAS DE COBERTURA DE SOLO  
CONSORCIADAS E EM CULTIVO SOLTEIRO:  
DECOMPOSIÇÃO E FORNECIMENTO DE  
NITROGÊNIO AO MILHO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Alexandre Doneda**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2010**

**PLANTAS DE COBERTURA DE SOLO CONSORCIADAS E  
EM CULTIVO SOLTEIRO: DECOMPOSIÇÃO E  
FORNECIMENTO DE NITROGÊNIO AO MILHO**

**por**

**Alexandre Doneda**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Biodinâmica e Manejo do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo.**

**Orientador: Prof. Dr. Celso Aita**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2010**

Doneda, Alexandre, 1984-

D681p

Plantas de cobertura de solo consorciadas e em cultivo solteiro: decomposição e fornecimento de nitrogênio ao milho / Alexandre Doneda. - 2010.

79 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, 2010.

“Orientador: Prof. Dr. Celso Aita”

1. Ciência do solo 2. Adubação verde 3. Plantio direto 4. Cobertura do solo 5. Nitrogênio 6. Milho I. Aita, Celso II. Título III. Título: Decomposição e fornecimento de nitrogênio ao milho

CDU: 633.874

Ficha catalográfica elaborada por  
Patrícia da Rosa Corrêa – CRB 10/1652  
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**PLANTAS DE COBERTURA DE SOLO CONSORCIADAS E EM  
CULTIVO SOLTEIRO: DECOMPOSIÇÃO E FORNECIMENTO DE  
NITROGÊNIO AO MILHO**

elaborada por  
**Alexandre Doneda**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Ciência do Solo**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**Celso Aita, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

**Sandro José Giacomini, Dr (UFSM)**  
(Co-orientador)

**Cimélio Bayer, Dr (UFRGS)**

Santa Maria, 26 de fevereiro de 2010

*"A percepção do desconhecido é a mais fascinante das experiências. O homem que não tem olhos abertos para o misterioso passará pela vida sem ver nada"*

*(Albert Einstein)*

**DEDICO em especial a Nilo e Marta, meus queridos pais e exemplos de vida para mim.**

**OFEREÇO à minha namorada Rocheli e à minha irmã Morgana, pessoas especiais em  
minha vida.**

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e por sempre estar ao meu lado, guiando meus passos e dando forças para seguir em frente na caminhada para o futuro.

Aos meus pais Nilo e Marta, por todo o ensinamento, amor e carinho incondicionais, incentivo e apoio dispensados sempre, pelo seu exemplo e também pela ajuda na condução do experimento.

À minha irmã Morgana pelo companheirismo, apoio e incentivo.

À minha querida e amada Rocheli, por todo seu amor, carinho, incentivo, apoio e companheirismo, mesmo com a distância e nos momentos mais difíceis.

Ao meu avô Oswaldo, por toda sua experiência repassada, carinho, pelo seu exemplo e por ajudar na debulha manual das mais de 12000 espigas de milho do experimento.

À UFSM, ao PPGCS e ao Departamento de Solos e os seus professores, pelo conhecimento adquirido e pela amizade.

Ao professor Celso Aita, pela orientação, ensinamentos repassados, amizade, confiança depositada em mim desde a graduação e na condução desse trabalho, pelo seu exemplo.

Ao professor Sandro José Giacomini, pelos ensinamentos e idéias na condução do experimento, pelo apoio, amizade, co-orientação e pela disponibilidade em fazer parte da banca examinadora.

Ao professor Carlos Alberto Ceretta, pelos ensinamentos repassados, amizade e Co-orientação.

Ao professor Cimélio Bayer, pelas sugestões ao trabalho e pela disponibilidade em fazer parte da banca examinadora.

Ao grande amigo e colega Renan Costa Beber Vieira, pelo auxílio nas análises estatísticas, apoio e amizade.

Aos grandes amigos e colegas Geovani Zappe, Nilson Mattioni e Samuel Bianchi, pelo apoio e pela amizade.

À CAPES, pela bolsa de estudo concedida.

Aos bolsistas e amigos do Laboratório de Microbiologia do Solo e do Ambiente, por todo auxílio na execução do trabalho, pelos momentos de descontração, amizade e diversão, em especial a Janquiele Schirman, Douglas Adams, Juliano Olivo, Patrícia Vargas, Rogério Gonzatto, Diego Giacomini, Jackson Cerini, Brian Trindade, Tiago, Pedro, Luana de Freitas, Leonardo Bastos, Ricardo Leão, Alex Scolaude e André Volpato.

Aos colegas e amigos de laboratório, Stefen Pujol, Gabriel de Franceschi dos Santos, Genuir Luis Denega, Eduardo Lorensi de Souza, Marciel Redin, Fernanda Stuker, Fabiano Damasceno, Andressa Balem, Vera da Cas e Marta Doumer, pelo companheirismo, amizade e auxílio na execução desse trabalho.

Aos demais colegas e amigos do PPGCS, André Copetti, Darines Britzke, Natália Ciancio, Guilherme Schirmer, Maurício Kunz, Cledimar Lourenzi, Pablo Miguel, Marcelo Mentges, Alberto Knies, Vitor Girardello, Jardes Bragagnolo, Lineu Leal, Diego Fatecha, Marcelo Sulzbacher, Ricardo Benfica Steffen, Geresa Pauli Kist Steffen, Elisandra Pocojeski, Emerson Dalla Chieza, Edgardo Medeiros, Leandro Dalbianco, Diovane Moterle, Eduardo Giroto, Fábio Pacheco Menezes, Fábio Mallmann, Alcione Miotto e Eloi Paulus pelo apoio, incentivo, amizade e companheirismo durante a realização do curso.

À banca examinadora desse trabalho, composta pelos professores Cimélio Bayer, Sandro José Giacomini e Celso Aita, pelas considerações, discussão e sugestões.

Aos funcionários do Departamento de Solos, em especial ao Vargas, Tarcísio Durgante Uberti, Flávio Vieira da Silva, Antônio Carlos Bassaco e a Rose, pelo auxílio, amizade e momentos de descontração.



Agradeço as demais pessoas que, mesmo aqui não citadas, auxiliaram e contribuíram de alguma forma na realização desse trabalho.

Enfim, agradeço a todos que me apoiaram e estiveram ao meu lado nessa jornada.

Meus sinceros sentimentos de gratidão a todos vocês!

# RESUMO

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo

Universidade Federal de Santa Maria, RS.

## PLANTAS DE COBERTURA DE SOLO CONSORCIADAS E EM CULTIVO SOLTEIRO: DECOMPOSIÇÃO E FORNECIMENTO DE NITROGÊNIO AO MILHO

AUTOR: ALEXANDRE DONEDA

ORIENTADOR: CELSO AITA

Local e Data da Defesa: Santa Maria, 26 de fevereiro de 2010.

O sistema plantio direto é a forma de manejo do solo predominante nas lavouras do Planalto do Rio Grande do Sul. Para o sucesso do mesmo, é fundamental a manutenção de cobertura vegetal permanente sobre o solo e um adequado sistema de rotação de culturas. No entanto, muitas áreas ainda permanecem em pousio no período invernal ou então com aveia em cultivo solteiro. É preciso introduzir novas espécies de plantas de cobertura para rotação com aveia no inverno e também para uso em consórcios, a fim de conciliar proteção do solo e fornecimento de nitrogênio às culturas em sucessão. Conduziu-se esse trabalho com o objetivo de avaliar a decomposição dos resíduos culturais de plantas de cobertura solteiras e consorciadas e o fornecimento de nitrogênio ao milho cultivado em sucessão, em plantio direto. O trabalho foi realizado em Não-Me-Toque, RS, em Latossolo Vermelho Distrófico típico. Foram avaliados dez tratamentos constituídos por quatro culturas solteiras [centeio (*Secale cereale* L), aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), ervilha forrageira (*Pisum sativum* subesp. *arvense*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg)], cinco consórcios [(centeio + ervilha forrageira, centeio + nabo forrageiro, aveia + nabo forrageiro, centeio + ervilhaca (*Vicia sativa* L.) e aveia + ervilhaca)], além de um tratamento em pousio, com a vegetação espontânea da área. A dinâmica de decomposição e liberação de nitrogênio foi avaliada acondicionando-se os resíduos de cada tratamento em bolsas de decomposição, as quais foram distribuídas na superfície do solo e coletadas aos 7, 14, 21, 28, 57, 117, 164 dias. Após o manejo das plantas de cobertura, as parcelas principais foram subdivididas em 6 subparcelas onde foi implantada a cultura do milho, em plantio direto, com seis tratamentos compostos por doses de nitrogênio. Foram utilizadas 6 doses de N, na forma de uréia: zero, 50% da recomendação de N conforme a Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004) (CQFS), a recomendação da CQFS somente em cobertura, 100, 150 e 200% da recomendação da CQFS. O nabo foi a espécie que, em cultivo solteiro e consorciado com centeio ou aveia, apresentou maior produção de matéria seca e acúmulo de N. A velocidade de decomposição e liberação de nitrogênio dos resíduos culturais das plantas de cobertura foi inversamente proporcional à sua relação C/N. Quando consorciadas, a taxa de decomposição e liberação de nitrogênio dos resíduos das plantas de cobertura foi intermediária ao observado para as culturas puras. O uso de plantas de cobertura aumentou a produtividade de grãos de milho em 11,2 %, relativamente ao pousio invernal.

Palavras-chave: mineralização do C e do N; adubação verde; plantio direto.

## ABSTRACT

Master Dissertation in Soil Science  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brazil

### **COVER CROPS IN MIXTURES OR IN PURE STANDS: DECOMPOSITION AND NITROGEN SUPPLY TO CORN**

AUTHOR: ALEXANDRE DONEDA  
ADVISOR: CELSO AITA

Date and Place of Defense: Santa Maria, February 26, 2010.

No-tillage system is a soil management practice which predominates in the agricultural fields of Rio Grande do Sul Plateau. For its success, is essential the permanent vegetal soil cover maintenance and an adequate crop rotation system. However, many areas remain in fallow during the winter or the main cover crop used is oat in pure stand. It's necessary to introduce new species of cover crops for rotation with the oat in the winter and also for the use in mixtures, in order to conciliate the soil protection and the nitrogen supply to crops in succession. The objective of this work was to evaluate the decomposition and nitrogen supply to the no-tillage corn, using cover crops in mixture or in pure stands. The study was conducted in Nao-Me-Toque, RS, in an Oxisol. It was evaluated ten treatments which consisted of four cover crops in pure stands [rye (*Secale cereale* L), oat (*Avena strigosa* Schreb), winter pea (*Pisum sativum* subsp. *arvense*) and oilseed radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg)], five of mixtures [(rye + winter pea, rye + oilseed radish, oat + oilseed radish, rye + common vetch (*Vicia sativa* L) and oat + common vetch)] and one in fallow, with spontaneous vegetation of the area. The decomposition dynamics and nitrogen release was evaluated by conditioning the crop residues of each treatment in mesh bags which were placed on the soil surface and collected at 7, 14, 21, 28, 57, 117, 164 days. After the management of cover crops, the main plots were subdivided into six subplots where the no-tillage corn was fertilized with six nitrogen levels: zero, 50% of N recommended amount by the Comissão de Química e Fertilidade do Solo- RS/SC (CQFS) (2004), the N recommended amount by the CQFS but only in top dressing, 100, 150 and 200% of the N recommended amount by the CQFS. The oilseed radish was the specie that, in pure stand or mixed to rye and oat, had a highest dry matter yield and N accumulation. The decomposition rate and nitrogen release was inversely proportional to the C/N ratio of residues. When mixed, the rate of decomposition and nitrogen release of residues from cover crops was intermediate to that observed for pure stands. The use of cover crops enhanced the corn yield in 11.2%, relatively to the fallow.

Keywords: mineralization of C and N; green manure; no-tillage.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - Acúmulo de nitrogênio na parte aérea das plantas de cobertura, em cultivo solteiro e consorciado. Médias das quantidades totais de N seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. As barras verticais correspondem à diferença mínima significativa (Tukey 5%) para a quantidade de N acumulada por cada espécie. ns = não significativo. C = centeio; A = aveia preta; EF = ervilha forrageira; NF = nabo forrageiro; E = ervilhaca comum. ....	32
FIGURA 1.2 - Matéria seca remanescente dos resíduos culturais de plantas de cobertura em cultura pura (a) e em consórcio (b), em avaliações realizadas em campo até 164 dias após a distribuição das sacolas de decomposição na superfície do solo.....	38
FIGURA 1.3 - Nitrogênio remanescente dos resíduos culturais de plantas de cobertura em cultura pura (a) e em consórcio (b), em avaliações realizadas em campo até 164 dias após a distribuição das sacolas de decomposição na superfície do solo.....	41
FIGURA 1.4 - Liberação acumulada de nitrogênio dos resíduos culturais de plantas de cobertura em cultura pura e em consórcio, em avaliações realizadas em campo até 164 dias após a distribuição das sacolas de decomposição na superfície do solo.....	46
FIGURA 2.1 - Concentração de N nas folhas do milho no pendoamento, cultivado em sucessão ao nabo forrageiro e ervilha forrageira, nas diferentes doses de N aplicadas no milho. A dose 110 kg ha <sup>-1</sup> refere-se ao tratamento em que foi aplicada a dose recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004), somente em cobertura. A interação entre os fatores doses de N e espécies de cobertura não foi significativa.....	59
FIGURA 2.2 - Concentração de N nas folhas do milho no pendoamento, cultivado em sucessão à plantas de cobertura consorciadas e pousio, nas diferentes doses de N aplicadas no milho. A dose 105 kg ha <sup>-1</sup> refere-se ao tratamento em que foi aplicada a dose recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004), somente em cobertura. A interação entre os fatores doses de N e espécies de cobertura não foi significativa.....	60
FIGURA 2.3 - Concentração de N nas folhas do milho no pendoamento, cultivado em sucessão à aveia e centeio, nas diferentes doses de N aplicadas no milho. A dose 115 kg ha <sup>-1</sup> refere-se ao tratamento em que foi aplicada a dose recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004), somente em cobertura. A interação entre os fatores doses de N e espécies de cobertura foi significativa. ....	61
FIGURA 2.4 - N acumulado pelo milho na colheita (planta inteira + grãos), cultivado em sucessão à aveia e centeio, nas diferentes doses de N aplicadas no milho. A dose 115 kg ha <sup>-1</sup>	

refere-se ao tratamento em que foi aplicada a dose recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004), somente em cobertura. A interação entre os fatores doses de N e espécies de cobertura não foi significativa.....	62
FIGURA 2.5 - N acumulado pelo milho na colheita (planta inteira + grãos), cultivado em sucessão ao nabo forrageiro e ervilha forrageira, nas diferentes doses de N aplicadas no milho. A dose 110 kg ha <sup>-1</sup> refere-se ao tratamento em que foi aplicada a dose recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004), somente em cobertura. A interação entre os fatores doses de N e espécies de cobertura não foi significativa.....	63
FIGURA 2.6 - N acumulado pelo milho na colheita (planta inteira + grãos), cultivado em sucessão à plantas de cobertura consorciadas e pousio, nas diferentes doses de N aplicadas no milho. A dose 105 kg ha <sup>-1</sup> refere-se ao tratamento em que foi aplicada a dose recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004), somente em cobertura. A interação entre os fatores doses de N e espécies de cobertura foi significativa. ....	64
FIGURA 2.7 - Produtividade de grãos de milho, cultivado em sucessão à aveia e centeio, nas diferentes doses de N aplicadas no milho. A dose 115 kg ha <sup>-1</sup> refere-se ao tratamento em que foi aplicada a dose recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004), somente em cobertura. A interação entre os fatores doses de N e espécies de cobertura não foi significativa.....	66
FIGURA 2.8 - Produtividade de grãos de milho, cultivado em sucessão à ervilha forrageira e nabo forrageiro, nas diferentes doses de N aplicadas no milho. A dose 110 kg ha <sup>-1</sup> refere-se ao tratamento em que foi aplicada a dose recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004), somente em cobertura. A interação entre os fatores doses de N e espécies de cobertura não foi significativa.....	67
FIGURA 2.9 - Produtividade de grãos de milho, cultivado em sucessão à plantas de cobertura consorciadas e pousio, nas diferentes doses de N aplicadas no milho. A dose 105 kg ha <sup>-1</sup> refere-se ao tratamento em que foi aplicada a dose recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004), somente em cobertura. A interação entre os fatores doses de N e espécies de cobertura não foi significativa.....	68

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1 - Características físico-químicas do solo do local do experimento nas camadas 0 - 5 e 5 - 15 cm.....	24
TABELA 1.2 - Composição química e quantidades de matéria seca, C e N adicionadas nas bolsas de decomposição em cada tratamento .....	26
TABELA 1.3 - Precipitação pluviométrica em cada intervalo de coleta das bolsas de decomposição durante o período em que as mesmas permaneceram no campo.....	27
TABELA 1.4 - Produção de matéria seca da parte aérea das espécies de plantas de cobertura de solo no outono/inverno em cultivo solteiro e consorciado. Média de quatro repetições ....	29
TABELA 1.5 - Relação C/N da parte aérea das espécies de plantas de cobertura de solo no outono/inverno em cultivo solteiro e consorciado. Média de quatro repetições. ....	35
TABELA 1.6 - Parâmetros dos modelos ajustados aos valores medidos de matéria seca remanescente, tempo de meia vida ( $t_{1/2}$ ) da MS de cada compartimento e valores de $R^2$ em cada tratamento.....	39
TABELA 1.7 - Parâmetros dos modelos ajustados aos valores medidos de nitrogênio remanescente, tempo de meia vida ( $t_{1/2}$ ) do N de cada compartimento e valores de $R^2$ em cada tratamento.....	43
TABELA 2.1 - Características físico-químicas do solo do local do experimento nas camadas 0 - 5 e 5 - 15 cm.....	53
TABELA 2.2 - Doses de N utilizadas nos diferentes tratamentos, no milho cultivado em sucessão às plantas de cobertura e ao pousio. ....	54
TABELA 2.3 - Matéria seca, carbono e nitrogênio adicionados e relação C/N das plantas de cobertura e das plantas invasoras presentes no tratamento em pousio. ....	56
TABELA 2.4 - Concentração de N nas folhas do milho no pendoamento, cultivado em sucessão ao nabo forrageiro e ervilha forrageira. ....	59
TABELA 2.5 - Concentração de N nas folhas do milho no pendoamento, cultivado em sucessão à plantas de cobertura consorciadas e pousio. ....	60
TABELA 2.6 - N acumulado pelo milho na colheita (planta inteira + grãos), cultivado em sucessão à aveia e centeio. ....	62
TABELA 2.7 - N acumulado pelo milho na colheita (planta inteira + grãos), cultivado em sucessão ao nabo forrageiro e ervilha forrageira. ....	64

TABELA 2.8 - Produtividade de grãos de milho, cultivado em sucessão à aveia e ao centeio. ....	65
TABELA 2.9 - Produtividade de grãos de milho, cultivado em sucessão à ervilha forrageira e nabo forrageiro. ....	67
TABELA 2.10 - Produtividade de grãos de milho, cultivado em sucessão à plantas de cobertura consorciadas e pousio. ....	69
TABELA 2.11 - Recuperação aparente de N pelo milho, nos tratamentos com plantas de cobertura e no tratamento em pousio com a aplicação de 135 kg ha <sup>-1</sup> de N-uréia, considerando as quantidades acumuladas de N pelo milho na colheita. ....	70

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>16</b>
<b>1.1 Hipóteses .....</b>	<b>18</b>
<b>1.2 Objetivo.....</b>	<b>18</b>
<b>2 CAPÍTULO 1</b>	
<b>PRODUÇÃO DE FITOMASSA, DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO DE RESÍDUOS CULTURAIS DE PLANTAS DE COBERTURA PURAS E CONSORCIADAS .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 Resumo.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2 Introdução .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3 Material e métodos .....</b>	<b>23</b>
<b>2.4 Resultados e discussão.....</b>	<b>28</b>
2.4.1 Produção de matéria seca.....	28
2.4.2 Acúmulo de nitrogênio na fitomassa.....	31
2.4.3 Relação C/N .....	34
2.4.4 Decomposição dos resíduos culturais .....	36
2.4.5 Liberação de nitrogênio dos resíduos culturais .....	39
2.4.6 Quantidades de N liberadas dos resíduos culturais.....	44
<b>2.5 Conclusões .....</b>	<b>47</b>
<b>3 CAPÍTULO 2</b>	
<b>POTENCIAL DE FORNECIMENTO DE NITROGÊNIO AO MILHO POR PLANTAS DE COBERTURA PURAS E CONSORCIADAS .....</b>	<b>48</b>
<b>3.1 Resumo.....</b>	<b>48</b>
<b>3.2 Introdução .....</b>	<b>49</b>
<b>3.3 Material e métodos .....</b>	<b>52</b>
<b>3.4 Resultados e discussão.....</b>	<b>58</b>
3.4.1 Nitrogênio acumulado pelo milho.....	58
3.4.2 Produtividade de grãos de milho.....	65



3.4.3 Recuperação aparente de N pelo milho.....	70
<b>3.5 Conclusões .....</b>	<b>71</b>
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS .....</b>	<b>72</b>
<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>74</b>

# 1 INTRODUÇÃO GERAL

O sistema plantio direto encontra-se amplamente difundido nas diversas regiões agrícolas do estado do Rio Grande do Sul e a adoção desse sistema de cultivo resolveu, em grande parte, os problemas decorrentes do preparo do solo pelo sistema de cultivo convencional, além de melhorar as condições físicas, químicas e biológicas dos solos cultivados.

A substituição do revolvimento do solo, conforme era feito no preparo convencional, pela manutenção dos resíduos em superfície, no sistema plantio direto, proporciona uma melhor estruturação do solo, com redução da erosão e das perdas de solo, água e nutrientes. Essa mudança resulta, também, na melhoria da eficiência no aproveitamento de corretivos e fertilizantes, o que traz benefícios tanto econômicos, pela possibilidade de reduzir gradativamente as quantidades a serem aplicadas nas culturas, quanto ambientais. Além disso, os resíduos culturais em superfície diminuem a perda de água por evaporação bem como a amplitude térmica diária do solo.

A redução do custo dos herbicidas e o surgimento de máquinas adequadas para realizar a semeadura das espécies diretamente sobre os resíduos culturais provocaram um aumento significativo na adoção do plantio direto no sul do Brasil a partir da década de 90. Todavia, nos primeiros anos do sistema, ele foi implantado, principalmente, no binômio trigo-soja ou na sucessão pousio invernal/milho. Com o passar do tempo, percebeu-se que essas situações eram insustentáveis e que o sucesso do sistema plantio direto dependia diretamente do planejamento de sistemas adequados de rotação de culturas. Daí surgiu o interesse pela seleção de espécies de plantas de cobertura, principalmente de outono/inverno, para o plantio direto em sistemas de rotação e sucessão com as culturas comerciais de verão.

A seleção de espécies de plantas de cobertura, feita pela pesquisa brasileira, priorizou até o momento aspectos como o potencial das mesmas em produzir fitomassa, transferindo da atmosfera para o solo carbono (C), através da fotossíntese, e nitrogênio (N), através da fixação biológica (FBN), no caso das leguminosas. Entre as espécies avaliadas poucas vêm sendo utilizadas em rotação com soja e milho, com destaque para a aveia preta (*Avena strigosa* Schieb), a ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.) e, mais recentemente, o nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L var. *oleiferus* Metzg).

Os resultados de trabalhos envolvendo o uso de plantas de cobertura antecedendo o milho mostram que, quando são utilizadas somente leguminosas, a decomposição e a

liberação de N de seus resíduos culturais ocorrem em velocidades elevadas, não havendo uma boa sincronia com a demanda de N pelo milho. Com isso, pode ocorrer deficiência de N no milho, além de aumentar o potencial de perdas desse nutriente para o ambiente. Por outro lado, a utilização apenas de poáceas como, por exemplo, a aveia antecedendo o milho pode provocar a imobilização de N durante a fase inicial de decomposição de seus resíduos culturais, diminuindo a disponibilidade de N e prejudicando o desenvolvimento e a produtividade de grãos de milho.

Uma estratégia para conciliar proteção do solo contra a erosão e fornecimento mais equilibrado de N ao milho consiste em consorciar espécies com diferentes velocidades de decomposição e liberação de nutrientes. Para isso, busca-se consorciar espécies com elevada taxa de decomposição (baixa relação C/N) com espécies decompostas mais lentamente no solo (alta relação C/N). O consórcio entre plantas de cobertura de solo tem sido avaliado com maior intensidade em outros países (CLARK et al., 1997 ; RANELLS ; WAGGER, 1997 ; ROSECRANCE et al., 2000 ; RUFFO, et al., 2003 ; SAINJU et al., 2005 ; MIGUEZ et al., 2006 ; SAMEDANI et al., 2006 ; CLARK et al., 2007 ; ZOTARELLI et al., 2009 ; PO et al., 2009 ; MÖLLER ; REENTS, 2009 ; ASKEGAARD ; ERIKSEN, 2009), do que no Brasil (GIACOMINI, 2001 ; HEINRICHS et al., 2001 ; AITA ; GIACOMINI, 2003), o que parece paradoxal, em função da grande importância do plantio direto na agricultura brasileira, especialmente na região Sul.

A necessidade de proteger o solo da erosão durante o período invernal, o custo elevado e o impacto dos fertilizantes nitrogenados sobre o ambiente, além da alta demanda em N pelo milho, são aspectos que evidenciam a necessidade de ampliar os estudos envolvendo o consórcio de plantas de cobertura no Rio Grande do Sul. É preciso intensificar a busca de consórcios que permitam compatibilizar da melhor maneira possível esses diferentes aspectos na cultura do milho, em plantio direto e sob diferentes condições de solo e de clima. Novas espécies de plantas de cobertura, além daquelas que vêm sendo empregadas, necessitam ser avaliadas.

Além disso, a decomposição e liberação de N e C dos resíduos culturais das plantas de cobertura, em cultivo solteiro ou consorciado, também é um aspecto relevante no manejo das mesmas. Para isso, estudos sobre a ciclagem de nutrientes em sistemas agrícolas são fundamentais para maximizar o aproveitamento dos mesmos pelas culturas, como o caso do milho, em sucessão a plantas de cobertura, além de diminuir os impactos ambientais. O conhecimento da decomposição dos resíduos das espécies é fundamental para que as mesmas possam ser introduzidas eficientemente em sistemas de produção de milho.

O presente trabalho, conduzido sob condições de campo, em um Latossolo do planalto do Rio Grande do Sul, está inserido nesse contexto e constou de um experimento com plantas de cobertura de solo, puras e consorciadas, onde foram avaliados dois aspectos principais:

- a) produção de fitomassa, decomposição e liberação de N dos resíduos culturais das plantas de cobertura;
- b) potencial das plantas de cobertura em fornecer nitrogênio ao milho, em plantio direto

### **1.1 Hipóteses**

Através do cultivo de leguminosas em cultura pura no outono/inverno é possível atender a demanda inicial de N pelo milho, substituindo a adubação nitrogenada da semeadura;

O consórcio entre plantas de cobertura altera a relação C/N dos resíduos culturais, cuja velocidade de decomposição e liberação de N permita combinar fornecimento de nitrogênio ao milho e proteção ao solo;

A utilização do centeio e da ervilha forrageira, como plantas de cobertura, resulta em benefícios similares às culturas da aveia e ervilhaca, aumentando as opções para a rotação de culturas;

### **1.2 Objetivo**

Avaliar a decomposição, a liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura puras e consorciadas e o fornecimento de nitrogênio ao milho cultivado em sucessão, em plantio direto.

## 2 CAPÍTULO 1

# PRODUÇÃO DE FITOMASSA, DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO DE RESÍDUOS CULTURAIS DE PLANTAS DE COBERTURA PURAS E CONSORCIADAS

### 2.1 Resumo

A dinâmica de decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura é ainda relativamente pouco estudada no Brasil, sobretudo para espécies consorciadas. O objetivo do trabalho foi avaliar esse aspecto em resíduos culturais de plantas de cobertura de solo no outono/inverno, em culturas puras e consorciadas. Para isso foi conduzido um experimento em Não-Me-Toque, RS, em Latossolo Vermelho Distrófico típico, avaliando-se nove tratamentos, sendo quatro constituídos por plantas de cobertura de outono/inverno em culturas puras [centeio (*Secale cereale* L), aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), ervilha forrageira (*Pisum sativum* subesp. *arvense*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg)] e cinco por consórcios de espécies [(centeio + ervilha forrageira, centeio + nabo forrageiro, aveia + nabo forrageiro, centeio + ervilhaca (*Vicia sativa* L.) e aveia + ervilhaca)]. A dinâmica de decomposição e liberação de nitrogênio foi avaliada acondicionando-se os resíduos de cada tratamento em bolsas de decomposição, as quais foram distribuídas na superfície do solo e coletadas aos 7, 14, 21, 28, 57, 117, 164 dias. As maiores produções de matéria seca e acúmulo de N foram encontrados nos tratamentos com o nabo em cultura pura e consorciado com poáceas. A velocidade de decomposição e liberação de nitrogênio foi inversamente proporcional à relação C/N dos resíduos. Quando consorciadas, a taxa de decomposição e liberação de nitrogênio dos resíduos das plantas de cobertura foi intermediária ao observado para as culturas puras.

Palavras-Chave: mineralização; plantio direto; relação C/N; centeio; ervilha forrageira; consorciação.

## 2.2 Introdução

A utilização de plantas de cobertura de solo é uma prática que vem ganhando cada vez mais espaço dentro do sistema plantio direto (SPD) nas áreas agrícolas do Sul do Brasil. Através dessa prática busca-se atender a uma das premissas básicas do SPD, que é a adequação de sistema de rotação e sucessão de culturas de modo a otimizar o aporte de matéria orgânica e nutrientes, além de proteger o solo dos processos erosivos (SILVA et al., 2007 ; MARCELO et al., 2009). Por isso, é fundamental selecionar plantas de cobertura com maior potencial em produzir fitomassa e acumular, principalmente, carbono (C) e nitrogênio (N), além de conhecer a dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais. O conhecimento desses aspectos é fundamental tanto para a conservação e, ou, melhoria da capacidade produtiva do solo como para maximizar a disponibilização de nutrientes às culturas em sucessão (HEINRICHS et al., 2001 ; RUFFO ; BOLLERO, 2003 ; AITA ; GIACOMINI, 2006 ; LOURENTE et al., 2007 ; CRUSCIOL et al., 2008 ; WEBER ; MIELNICZUK, 2009).

Embora nos últimos anos, a permanência de áreas em pousio no outono/inverno, no período de entressafra das culturas comerciais de verão, tenha diminuído significativamente, essa situação ainda é observada em algumas lavouras do Sul do Brasil. A cobertura vegetal deficiente nesse período deixa o solo mais suscetível à ocorrência de erosão, bem como ao aparecimento de plantas indesejáveis (CARNEIRO et al., 2008). Sem a presença de plantas capazes de reciclarem os nutrientes aumenta também o potencial de perda dos mesmos por lixiviação, principalmente de N na forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Por isso, a importância do cultivo de plantas de cobertura de solo no outono/inverno, após a colheita das culturas comerciais de verão.

Com a introdução de plantas de cobertura de solo em sistemas de cultura e o seu manejo, através de dessecação com herbicidas e, ou, rolagem mecânica com rolo-faca, busca-se proporcionar: a) proteção do solo da erosão, através da manutenção dos resíduos culturais em superfície (WEBER ; MIELNICZUK, 2009); b) ciclagem de nutrientes, principalmente N, diminuindo as perdas por lixiviação no período invernal (RANELLS ; WAGGER, 1997 ; KRAMBERGER et al., 2009); c) melhor aproveitamento dos insumos agrícolas (CARVALHO, 2004); d) melhoria nas condições físicas do solo, já que as raízes realizam uma escarificação biológica, aumentando a macroporosidade, diminuindo a resistência do solo à penetração e melhorando a infiltração de água (NICOLOSO et al., 2008); e) aumento na estabilidade estrutural dos agregados do solo com o passar dos anos (BASSO ; REINERT,

1998); f) possibilidade de redução da acidez do solo na camada superficial por extratos aquosos das mesmas (BAYER ; AMARAL, 2003); g) supressão na germinação e emergência de plantas daninhas (KRUIDHOF et al., 2009); h) aumento da atividade microbiana do solo (SILVA et al., 2007). A integração de todos esses benefícios, resultantes da produção e manutenção da palhada das plantas de cobertura na superfície do solo, promove a melhoria na qualidade do solo (KLIEMANN et al., 2006).

Quando são utilizadas leguminosas como plantas de cobertura, as mesmas constituem uma importante fonte de N ao solo, pelo fato de se associarem simbioticamente com bactérias capazes de transformar o  $N_2$  atmosférico em  $NH_3$  no processo de fixação biológica de N (FBN) (SILVA et al., 2006 ; AITA ; GIACOMINI, 2006). Esse aspecto foi evidenciado nos trabalhos de Heinrichs et al., (2001) e Giacomini et al., (2003) onde a leguminosa de outono/inverno ervilhaca comum acumulou na fitomassa aérea 74,2 e 113 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Apesar dessa característica das leguminosas, o que representa uma vantagem, o seu uso no Sul do Brasil ainda é pequeno, relativamente à poáceas, com destaque para a aveia. Isso ocorre pelo seu maior custo de implantação, menor rendimento de matéria seca, desenvolvimento inicial mais lento e rápida decomposição dos resíduos culturais, além da possibilidade de serem hospedeiras de pragas (SILVA et al., 2006).

A utilização de leguminosas em culturas puras como plantas de cobertura de solo antecedendo o milho, tem demonstrado que a decomposição dos resíduos culturais ocorre rapidamente, com o solo ficando desprotegido logo no início do cultivo além de não haver uma boa sincronia entre a liberação de nitrogênio com a demanda de N pelo milho (AITA ; GIACOMINI, 2003 ; SILVA et al., 2006). Avaliando a decomposição dos resíduos culturais da ervilhaca em cultura pura, Giacomini (2001) constatou que, apenas 30 dias após o manejo, 43% da matéria seca já tinha sido decomposta e aproximadamente 40% do N mineralizado. O autor enfatiza que isso poderia resultar em perdas de N do sistema, principalmente por volatilização de amônia, desnitrificação e lixiviação de  $NO_3^-$ , além de ter pouco efeito no controle da erosão.

Por outro lado, quando são utilizadas poáceas em culturas puras como plantas de cobertura no outono/inverno, as mesmas podem causar prejuízos à cultura do milho em sucessão, em função da provável imobilização microbiana de N do solo durante a sua decomposição, embora elas possuam uma alta capacidade de extração de N do solo (SILVA et al., 2006 ; KRAMBERGER et al., 2009). Ao avaliarem dinâmica de decomposição de diferentes espécies de plantas de cobertura, Aita ; Giacomini (2003) concluíram que 30 dias após o manejo, 81% da matéria seca inicial da aveia ainda permanecia no campo e apenas

18% do N foi mineralizado no mesmo período. Apesar disso, a aveia é a principal planta de cobertura de inverno utilizada no Sul do Brasil, em função do elevado rendimento de matéria seca, da facilidade na produção e aquisição de sementes, da facilidade de implantação e da rapidez na formação da cobertura (SILVA et al., 2006). A busca de alternativas à aveia, com vistas a produzir uma cobertura morta eficiente na proteção do solo e, ao mesmo tempo, no fornecimento de N à cultura em sucessão constitui um desafio à pesquisa local.

Nos últimos anos, percebe-se um aumento na área cultivada com nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg) no outono/inverno. Embora seja uma brassicácea e não possua a capacidade de realizar FBN, informações preliminares indicam que ela apresenta alta capacidade de extrair esse nutriente de camadas mais profundas no solo (SILVA et al., 2006). Além disso, essa cultura apresenta um crescimento inicial rápido, grande acúmulo de matéria seca e ciclo curto. Porém, os seus resíduos culturais são decompostos tão rapidamente quanto aqueles de leguminosas (GIACOMINI, 2001 ; SILVA et al., 2006 ; CARVALHO et al., 2008).

Assim, o consórcio entre espécies de plantas de cobertura de solo, principalmente entre gramíneas e leguminosas, pode ser uma estratégia eficiente para minimizar esses problemas observados com as culturas puras. Isso porque a relação C/N dos resíduos culturais dos consórcios entre espécies é intermediária àquela encontrada no tecido vegetal das espécies cultivadas isoladamente e a relação C/N é considerada como uma das principais características controladoras da velocidade de decomposição e liberação de N dos resíduos culturais (GIACOMINI, 2001).

Trabalhando com diferentes plantas de cobertura, Nicoloso et al. (2008) concluíram que o consórcio entre nabo-forrageiro e aveia preta aumentou a produção de fitomassa quando comparado ao cultivo de aveia solteira. Nessa mesma linha de pesquisa, Giacomini et al., (2003) constataram que o consórcio entre aveia e ervilhaca adicionou ao solo quantidades semelhantes de N quando comparado à leguminosa em cultura pura, porém superior à gramínea. Além disso, os resíduos culturais do consórcio apresentaram uma relação C/N com valor intermediário ao observado nas espécies em culturas puras.

Os estudos relativos ao consórcio de plantas de cobertura ainda são escassos no Brasil, sendo restritos quase que exclusivamente ao consórcio entre aveia preta e ervilhaca comum (BASSO, 1999 ; HEINRICHS et al., 2001). É necessário, portanto, buscar novas espécies para o cultivo consorciado, procurando estabelecer a proporção adequada de cada espécie no consórcio de modo a maximizar a produção de fitomassa e adição de C e nutrientes ao solo (GIACOMINI et al., 2003).



O conhecimento da taxa de decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em culturas puras e em consórcio é essencial para maximizar não apenas a ciclagem e o aproveitamento de nutrientes pelas culturas comerciais, mas, também, para reduzir os impactos ambientais dessa prática agrícola (AITA ; GIACOMINI, 2006 ; KLIEMANN et al., 2006). As plantas de cobertura de solo apresentam taxas de decomposição distintas (GAMA-RODRIGUES et al., 2007), dependendo da sua composição bioquímica, do teor de N e da sua relação C/N (HEAL et al., 1997 ; AMADO et al., 2002), da disponibilidade de N mineral no solo (MARY et al., 1996), dos teores de umidade do solo e do contato dos resíduos culturais com o solo (AITA ; GIACOMINI, 2006), além da pluviosidade e temperatura ambiente (KLIEMANN et al., 2006). A decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais de plantas de cobertura do solo é um aspecto ainda relativamente pouco estudado (KLIEMANN et al., 2006 ; TORRES et al., 2008), o que evidencia a necessidade de intensificar os trabalhos nessa área, especialmente sob condições de plantio direto

O presente trabalho fundamenta-se na hipótese de que: a) o consórcio entre plantas de cobertura altera a relação C/N dos resíduos culturais possibilitando combinar proteção ao solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em sucessão; b) o consórcio entre centeio e ervilha forrageira, apresenta efeito similar ao uso da aveia e ervilhaca, constituindo uma nova opção de rotação de culturas.

O objetivo desse trabalho foi o de avaliar a produção, a decomposição e a liberação de N de resíduos culturais de plantas de cobertura no outono/inverno, em culturas puras e consorciadas.

### **2.3 Material e métodos**

O trabalho foi conduzido em campo no ano agrícola de 2008/2009, na localidade de Mantiqueira, no município de Não-Me-Toque, RS, localizada a 28° 29` Latitude Sul, Longitude 52° 51` W GrW, e altitude de 493 m. O clima da região é subtropical úmido, tipo Cfa, conforme classificação de Köppen. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 2006), pertencente à Unidade de Mapeamento Passo Fundo (BRASIL, 1973). As características físico-químicas, do solo do local, nas camadas de 0 - 5 e 5 - 15 cm, são mostradas na tabela 1.1. Anteriormente à implantação do experimento, a área foi cultivada, durante dois anos, com a sucessão trigo/soja em sistema plantio direto.

**Tabela 1.1** – Características físico-químicas do solo do local do experimento nas camadas 0 - 5 e 5 - 15 cm.

Característica	Camada de solo avaliada	
	0 - 5 cm	5 - 15 cm
Argila (%)	46	56
pH em água	5,6	5,3
Índice SMP	6,4	6,2
P (mg L <sup>-1</sup> )	22,8	20,8
K (mg L <sup>-1</sup> )	424	260
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0	0,5
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	5,9	4,2
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	2,5	1,8
H + Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	2,8	3,5
CTC efetiva (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	9,5	7,2
Saturação de bases (T) (%)	77	65
Matéria orgânica (%)	3,5	2,2

As plantas de cobertura foram semeadas em 17/05/2008 em plantio direto, sobre resíduos culturais de soja. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições e parcelas com dimensões de 20x10m. Os tratamentos foram os seguintes: T1 - centeio (*Secale cereale* L) (C); T2 - aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) (A); T3 - ervilha forrageira (*Pisum sativum* subesp. *arvense*) (EF); T4 - nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg) (NF); T5 - centeio + ervilha forrageira (C + EF); T6 - centeio + nabo forrageiro (C + NF); T7 - centeio + ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.) (C + EC); T8 - aveia + nabo forrageiro (A + NF); T9 - aveia + ervilhaca comum (A + EC) T10 – pousio (vegetação espontânea).

A quantidade de sementes utilizada nas espécies em cultura pura foi de 70 kg ha<sup>-1</sup> no centeio, 80 kg ha<sup>-1</sup> na aveia, 70 kg ha<sup>-1</sup> na ervilha e 20 kg ha<sup>-1</sup> no nabo. Para os tratamentos com consórcio, utilizou-se metade da quantidade de sementes utilizada em cada espécie em cultura pura. Nos consórcios contendo ervilhaca, a quantidade de sementes utilizada dessa espécie foi de 40 kg ha<sup>-1</sup>. A semeadura de todas as espécies foi mecanizada, com semeadora para plantio direto e sem adição de fertilizantes, utilizando-se o espaçamento de 17 cm ente linhas. Nos tratamentos com consórcio, procedeu-se a mistura das sementes previamente à semeadura, obedecendo-se a proporção de sementes utilizada para cada cultura.

Aos 120 dias da semeadura foi feita a coleta das plantas, quando o nabo e a ervilha

estavam no estágio de florescimento pleno, o centeio no início do florescimento, a aveia no emborrachamento e a ervilhaca ainda sem a presença de flores. A coleta das plantas foi realizada em duas subamostras de 0,49 m<sup>2</sup> por parcela, sendo uma para a determinação da produção de matéria seca (MS) e da concentração de C orgânico e de N total e outra para determinação da matéria seca ao ar (MSA) visando avaliar a decomposição dos resíduos culturais. Nos consórcios, procedeu-se a separação das espécies, a fim de determinar a contribuição individual de cada espécie. Na subamostra para determinação da MS, o material coletado foi levado à estufa à 65°C até peso constante, pesado, moído em triturador de forragens, subamostrado e moído novamente em moinho Willey equipado com peneira de 40 mesh e moído novamente em moinho com peneira de 1 mm. No material seco e moído, foram determinadas as concentrações de N total e C orgânico por combustão seca em um Auto-analisador Elementar modelo Flash EA 1112.

Na subamostra coletada para avaliar a decomposição, o material coletado foi submetido à secagem ao ar, em galpão ventilado, até massa constante, para determinação da MSA e, a partir dela, estabelecer a quantidade de material a adicionar nas sacolas utilizadas para avaliar a decomposição. As plantas de nabo foram separadas em talo, folha e inflorescência. Para as demais espécies avaliadas não foi efetuada a separação dos diferentes constituintes das plantas.

Para avaliação da decomposição dos resíduos culturais, foram utilizadas bolsas de tecido Voal (poliéster) com dimensões de 0,2 x 0,2m e malha de 0,5 mm. Cada bolsa, contendo os resíduos culturais, foi considerada como sendo a unidade experimental. As bolsas foram distribuídas na superfície do solo das parcelas onde foram coletados os resíduos culturais, em delineamento experimental blocos ao acaso, com quatro repetições, 7 dias após a semeadura do milho. Os constituintes das plantas foram cortados manualmente em pedaços de aproximadamente 19 cm antes de serem acondicionados nas bolsas.

A quantidade de MS de cada espécie, a ser colocada no interior das bolsas de decomposição, foi estimada a partir das plantas que foram submetidas à secagem ao ar. Uma amostra de cada tratamento, preparada da mesma maneira que aquelas colocadas nas bolsas que foram distribuídas no campo, foi submetida à secagem em estufa à 65°C e posterior moagem a fim de determinar as quantidades de MS, N e C colocadas inicialmente nas bolsas. As quantidades de C, N e MS adicionadas nos diferentes tratamentos são mostradas na tabela 1.2. Foram utilizadas 28 bolsas para cada tratamento, sendo que em cada data de avaliação eram coletadas quatro bolsas (uma por bloco). As coletas foram realizadas aos 7, 14, 21, 28,

57, 117, 164 dias após a colocação das bolsas no campo.

**Tabela 1.2** – Composição química e quantidades de matéria seca, C e N adicionadas nas bolsas de decomposição em cada tratamento.

Tratamento	Composição			Quantidade adicionada		
	C	N	C/N	MS	C	N
	-----g kg <sup>-1</sup> -----			-----Mg ha <sup>-1</sup> -----		kg ha <sup>-1</sup>
C <sup>(1)</sup>	420,0	13,6	30,9	3,56	1,5	46,3
A	422,5	18,5	22,8	2,42	1,0	44,8
EF	420,0	29,0	14,5	5,54	2,3	160,7
N	395,0	23,9	16,5	8,71	3,4	208,2
C + EF	420,0	29,1	15,5	6,27	2,6	182,5
C + N	397,5	21,0	18,9	7,74	3,1	162,5
C + E	422,5	24,5	17,2	4,61	1,9	112,9
A + N	400,0	25,4	15,7	8,12	3,2	206,2
A + E	412,5	28,6	14,4	3,75	1,5	107,3

<sup>(1)</sup> C = centeio; A = aveia preta; EF = ervilha forrageira; NF = nabo forrageiro; E = ervilhaca comum.

Depois de cada coleta das sacolas no campo, os resíduos culturais eram retirados do seu interior e submetidos à secagem em estufa a 65°C até massa constante, pesados para determinação da matéria seca remanescente e moídos em moinho Willey. No material seco e moído, eram determinadas as concentrações de N total, a partir de oxidação úmida de 0,2g de tecido vegetal, na presença de ácido sulfúrico concentrado (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 18M), peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), mistura de digestão (sulfato de sódio + sulfato de cobre) e calor. O N total dos extratos resultantes da digestão foi determinado em destilador de arraste de vapor semimicro-Kjeldhal (TEDESCO et al., 1995).

A quantidade de precipitação ocorrida entre cada intervalo de coleta das bolsas de decomposição é mostrada na tabela 1.3.

**Tabela 1.3** – Precipitação pluviométrica em cada intervalo de coleta das bolsas de decomposição durante o período em que as mesmas permaneceram no campo.

Coleta	Intervalo	Precipitação
	-----dias-----	-----mm-----
t1	0 – 7	20,0
t2	8 – 14	117,5
t3	15 – 21	238,0
t4	22 - 28	128,5
t5	29 - 57	90,0
t6	58 - 117	287,0
t7	118 - 164	238,5

As taxas de decomposição e de liberação de N dos resíduos culturais das plantas de cobertura foram estimadas ajustando-se modelos de regressão não lineares aos valores observados, conforme proposto por Wieder ; Lang (1982). Os dois modelos ajustados tem a seguinte equação matemática:

$$NR = A e^{-kat} + (100-A) \quad (1)$$

$$MSR = A e^{-kat} + (100-A) e^{-kbt} \quad (2)$$

onde MSR = porcentagem de matéria seca remanescente no tempo  $t$  (dias); NR = porcentagem de N remanescente no tempo  $t$  (dias);  $ka$ ,  $kb$  = taxas constantes de decomposição da matéria seca e do N do compartimento mais facilmente decomponível ( $A$ ) e do compartimento mais recalcitrante ( $100-A$ ), respectivamente. Os dois modelos consideram que a MS e o N dos resíduos culturais podem ser divididos em dois compartimentos. Sendo assim, no modelo assintótico (Eq. 1), apenas o N do compartimento mais facilmente decomponível ( $A$ ) é transformado, diminuindo exponencialmente com o tempo a uma taxa constante. O N do segundo compartimento ( $100-A$ ) é considerado mais recalcitrante e, por isso, não sofre transformação no período de tempo considerado. Já no modelo exponencial duplo (Eq. 2), a MS dos dois compartimentos diminuem exponencialmente a taxas constantes, onde a primeira

fração é transformada a taxas mais elevadas do que a segunda, que é de mais difícil decomposição (recalcitrante).

A partir dos valores da taxa constante de decomposição da MS e da liberação de N de cada compartimento, calculou-se o tempo de meia vida ( $t_{1/2}$ ), ou seja, o tempo necessário para que 50% da MS daquele compartimento seja decomposta ou 50% do N seja liberado. Para este cálculo, utilizou-se a fórmula a seguir, cuja dedução é apresentada em Paul ; Clark (1996):

$$t_{1/2} = 0,693/k_{(a,b)}$$

Utilizando os modelos ajustados para a liberação de N em cada tratamento, estimou-se a liberação cumulativa do mesmo durante o período de avaliação. Para isso, multiplicou-se a percentagem de liberação de N em cada coleta, obtida pelo modelo, pela quantidade inicial de N contida nos sacos de decomposição (Tabela 1.1).

Nos dados obtidos para a produção de MS e acúmulo de C e N, utilizou-se a análise da variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

## 2.4 Resultados e discussão

### 2.4.1 Produção de matéria seca (MS)

O nabo forrageiro foi a espécie que, em cultivo solteiro, produziu a maior quantidade de MS ( $8,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), seguido da ervilha forrageira ( $5,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), do centeio ( $4,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e da aveia preta ( $3,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) (Tabela 1.4). Esse resultado difere daquele encontrado em outros trabalhos, como o de Giacomini et al. (2003), onde o nabo superou a produção de MS da aveia em apenas 20 %. No presente trabalho, a produção de MS do nabo foi superior à da aveia em 150%. O elevado teor de matéria orgânica do solo do local do experimento (Tabela 1.1), aliado à cultura anterior, no caso a soja, que de acordo com trabalho realizado por Wiethölter (1996) pode disponibilizar de 17 a  $59 \text{ kg ha}^{-1}$  de N através dos resíduos de colheita, são fatores que podem explicar tal resultado.

O efeito benéfico dos resíduos culturais da soja sobre o nabo é relatado por Derpsch et al. (1985), em Latossolos ricos em matéria orgânica no estado do Paraná, e também por Basso (1999), em um Argissolo do Rio Grande do Sul, onde o nabo em sucessão à soja produziu

52% mais matéria seca do que quando em sucessão ao milho. Ao comparar diversas espécies de plantas de cobertura no outono/inverno, Giacomini (2001) concluiu que o desempenho do nabo está diretamente relacionado com o tipo de solo e com o antecedente cultural, onde em solos ricos em matéria orgânica, ou em sucessão à soja, o potencial do nabo forrageiro em produzir MS situa-se no mesmo nível da aveia preta.

**Tabela 1.4** – Produção de matéria seca da parte aérea das espécies de plantas de cobertura de solo no outono/inverno em cultivo solteiro e consorciado. Média de quatro repetições.

Tratamentos	Espécies de outono/inverno						Total
	Centeio	Aveia	Ervilha	Nabo	Ervilhaca	Pousio	
	-----Mg ha <sup>-1</sup> -----						
C <sup>(1)</sup>	4,1 a <sup>(2)</sup>	-	-	-	-	-	4,1 de
A	-	3,3 a	-	-	-	-	3,3 e
EF	-	-	5,5 a	-	-	-	5,5 cde
N	-	-	-	8,3 a	-	-	8,3 a
C + EF	1,7 bc	-	4,3 a	-	-	-	6,0 bcd
C + N	0,9 c	-	-	6,9 a	-	-	7,8 ab
C + E	2,3 b	-	-	-	2,5 a	-	4,8 de
A + N	-	0,9 b	-	6,2 a	-	-	7,1 abc
A + E	-	1,6 b	-	-	2,2 a	-	3,8 de
Pousio <sup>(3)</sup>	-	-	-	-	-	0,7	0,7 f

<sup>(1)</sup> C = centeio; A = aveia preta; EF = ervilha forrageira; NF = nabo forrageiro; E = ervilhaca comum. <sup>(2)</sup> Médias seguidas de mesma letra nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. <sup>(3)</sup> A MS do tratamento em pousio refere-se à vegetação espontânea da área.

Comparando a produção de MS entre as espécies, ainda em cultivo solteiro, observa-se na tabela 1.4 que, embora não tendo diferido significativamente, a produção de MS da ervilha forrageira foi superior à aveia e ao centeio em 67 e 34 % respectivamente. Embora as poáceas apresentem, normalmente, maior rusticidade do que as leguminosas, como afirma Monegat (1991) para a aveia, as baixas temperaturas e a estiagem que ocorreram no início do desenvolvimento vegetativo das espécies provocaram atraso no desenvolvimento da aveia e do centeio, o que não foi observado na ervilha forrageira e no nabo. Além disso, quando a aveia foi coletada para avaliação de matéria seca, a espécie encontrava-se no final do estádio

de perfilhamento e início de emborrachamento, não tendo atingido ainda o potencial de produção de MS para as condições em que o experimento foi conduzido. Esse resultado corrobora aqueles obtidos por Crusciol et al. (2008), em que a coleta relativamente precoce da aveia, no final do perfilhamento, resultou na baixa produção de matéria seca da cultura ( $2.953 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

Quanto ao cultivo consorciado das espécies, as maiores produções de MS foram encontradas nos tratamentos contendo nabo (Tabela 1.4). A aveia e o centeio consorciados com nabo produziram apenas 27,3% ( $0,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e 22,0 % ( $0,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) da matéria seca produzida por essas duas espécies em cultivos solteiros, respectivamente. Já o nabo, quando consorciado as duas poáceas, produziu em média  $6,55 \text{ Mg ha}^{-1}$ , não diferindo significativamente da sua produção em cultivo solteiro. A supremacia do nabo nos consórcios com aveia e centeio pode ser atribuída ao rápido crescimento inicial dessa espécie, em relação às poáceas. Avaliando o consórcio entre aveia e nabo, Giacomini et al. (2003) concluíram que em solos com maior disponibilidade de N, o nabo apresenta maior taxa de crescimento que a aveia, competindo mais eficientemente por nutrientes, água e radiação solar. Isso justifica os resultados obtidos no presente trabalho com o nabo, embora a densidade de semeadura utilizada com as espécies consorciadas tenha sido aquela recomendada. Uma alternativa para esse problema de predominância do nabo sobre as poáceas em solos com elevados teores de matéria orgânica e, portanto, com maior potencial de fornecimento de N, consiste na redução da proporção da brassicácea nos consórcios. Trabalhos futuros são necessários para estabelecer a melhor proporção de nabo em solos com essas características.

Quando o centeio foi consorciado com ervilhaca, a produção total de MS do consórcio foi 17% superior ao centeio em cultivo solteiro ( $4,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) embora essa diferença não tenha sido significativa. Comportamento semelhante foi observado para o consórcio entre aveia preta e ervilhaca e entre centeio e ervilha forrageira, evidenciando que a inclusão de leguminosas em consórcios com poáceas resulta em produção equivalente ou até mesmo superior às poáceas em cultivo solteiro, o que está em acordo aos resultados de Giacomini et al. (2003). Dois aspectos interessantes podem ser destacados no consórcio entre centeio e ervilha forrageira. O primeiro é que, embora não significativamente diferente, a produção de matéria seca do consórcio aumentou em 46% em relação ao centeio em cultivo solteiro. O segundo, refere-se ao fato de a produção da ervilha forrageira ter diminuído em apenas 21,8 % em relação ao seu cultivo solteiro, enquanto a produção do centeio consorciado diminuiu de  $4,1$  para  $1,7 \text{ Mg ha}^{-1}$  (59 %). Tal resultado, que deverá ser confirmado em estudos futuros,



indica que a ervilha forrageira apresenta elevada capacidade de competição com as poáceas pelos recursos ambientais disponíveis.

A produção média de MS das plantas de cobertura foi de 5,6 Mg ha<sup>-1</sup> sendo de 5,3 Mg ha<sup>-1</sup> nas espécies em cultivo solteiro e de 5,9 Mg ha<sup>-1</sup> nas espécies consorciadas (Tabela 1.4). Tal resultado indica que o consórcio entre as plantas de cobertura é uma alternativa favorável em relação ao seu cultivo solteiro, já que foi possível aumentar a produção de MS em 11%. Esse resultado confirma aqueles obtidos por Giacomini (2001), onde os consórcios de aveia com ervilhaca e aveia com nabo, aumentaram produção média de MS em 13 %, relativamente às espécies solteiras.

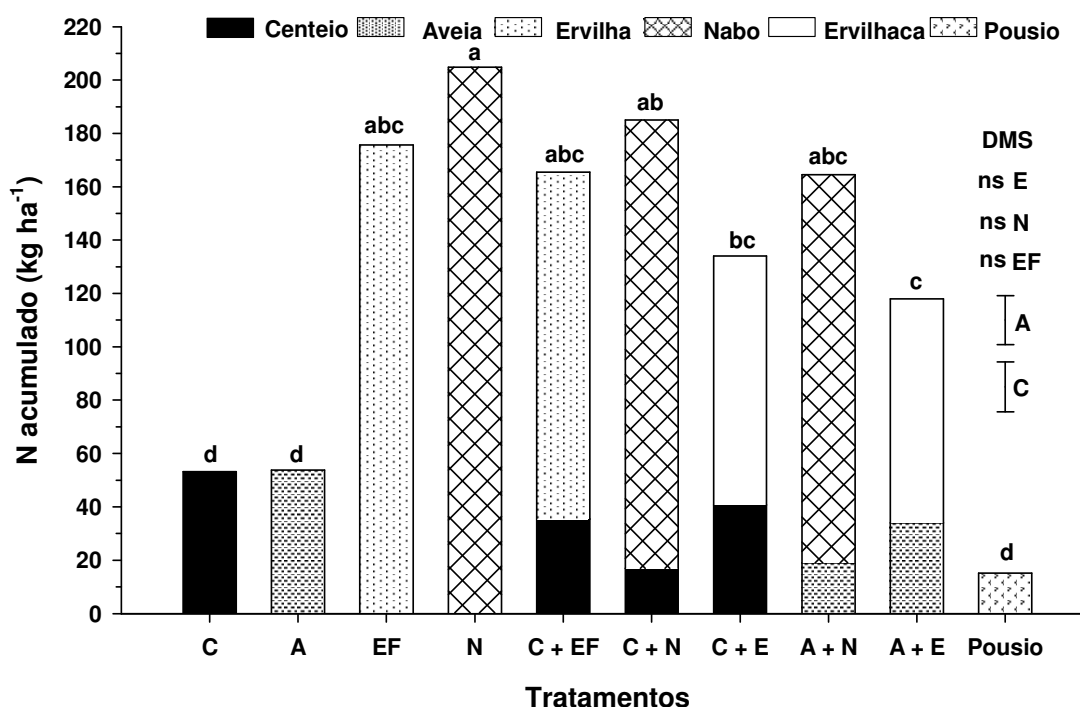
Outro aspecto a ser destacado refere-se à maior produção de MS das espécies de cobertura em relação à vegetação espontânea do tratamento em pousio. A MS desse tratamento alcançou apenas 13 % daquela produzida pela média dos tratamentos com plantas de cobertura. Tal resultado demonstra a importância da inclusão de plantas de cobertura no outono/inverno em sistemas de culturas, não somente no que concerne à adição de C e N ao solo e ciclagem de nutrientes, mas também, na proteção do solo contra os processos erosivos.

#### 2.4.2 Acúmulo de nitrogênio na fitomassa

Entre as espécies em cultivo solteiro, o nabo e a ervilha forrageira acumularam as maiores quantidades de N na parte aérea, sem diferir significativamente entre si (Figura 1.1). A quantidade média de N acumulada por essas duas espécies foi de 190,3 kg ha<sup>-1</sup>, superando a média das duas poáceas (aveia e centeio) em 136,9 kg ha<sup>-1</sup> (256%). A elevada quantidade de N acumulada pela ervilha forrageira, em relação às poáceas, deve-se ao fato da leguminosa fixar N<sub>2</sub> atmosférico em simbiose com rizóbio. Já o elevado acúmulo de N pelo nabo, superando até mesmo a leguminosa em 29,1 kg ha<sup>-1</sup> (16,6 %), não é verificado em todos os trabalhos como, por exemplo, naquele realizado por Möller ; Reents (2009) em que a ervilha e a ervilhaca acumularam quantidades de N muito maiores do que o nabo. O resultado obtido neste trabalho com o nabo deve estar relacionado aos teores relativamente elevados de matéria orgânica do solo do experimento, o que deve ter disponibilizado N à cultura. A elevada capacidade de extração de N mineral do solo, inclusive de camadas mais profundas, foi relatada por Silva et al. (2006).

A quantidade de N acumulada nos tratamentos com consórcio de espécies variou de 118 kg ha<sup>-1</sup> no consórcio entre aveia e ervilhaca a 184,6 kg ha<sup>-1</sup> no consórcio entre centeio e nabo com um valor médio de 153,3 kg ha<sup>-1</sup> considerando os cinco consórcios avaliados. Essa

quantidade média de N acumulada pela fitomassa dos consórcios é 187 % maior do que a quantidade média de N acumulada pelas poáceas. Apenas os consórcios entre centeio e ervilhaca e entre aveia e ervilhaca acumularam quantidades de N significativamente menores do que a ervilha forrageira e o nabo em cultivos solteiros (Figura 1.1).



**Figura 1.1** - Acúmulo de nitrogênio na parte aérea das plantas de cobertura, em cultivo solteiro e consorciado. Médias das quantidades totais de N seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. As barras verticais correspondem à diferença mínima significativa (Tukey 5%) para a quantidade de N acumulada por cada espécie. ns = não significativo. C = centeio; A = aveia preta; EF = ervilha forrageira; NF = nabo forrageiro; E = ervilhaca comum.

Analisando o consórcio entre ervilha forrageira e centeio observa-se que o acúmulo de N não diferiu significativamente daquele da ervilha forrageira em cultura pura. Além disso, a quantidade de N acumulada por esse consórcio foi próxima àquela acumulada nos tratamentos com o nabo consorciado à aveia e ao centeio e superior em 40,3 % ao consórcio entre aveia preta e ervilhaca, que é o mais utilizado pelos agricultores no Rio Grande do Sul. Tais resultados evidenciam que o consórcio entre centeio e ervilha forrageira, culturas ainda pouco utilizadas, principalmente nos Latossolos do Planalto do Rio Grande do Sul, constitui uma alternativa promissora com vistas à combinação entre proteção ao solo no período invernal

(pela fitomassa) e na primavera verão (através dos resíduos culturais) e fornecimento de N à cultura em sucessão em plantio direto.

Os consórcios entre centeio e nabo e entre aveia e nabo acumularam quantidades de N que não diferiram do nabo em cultivo solteiro e foram, em média, 3,3 vezes superiores ao centeio e aveia em cultivo solteiro, confirmando a contribuição do nabo na ciclagem de N no solo, mesmo não sendo uma leguminosa. A vantagem do cultivo consorciado entre nabo e poáceas é que os resíduos culturais do consórcio são mais lentamente decompostos no solo do que aqueles do nabo em cultivo solteiro, conforme será demonstrado na seqüência desse trabalho.

No presente trabalho, a ervilhaca não foi avaliada em cultivo solteiro pelo fato dessa modalidade de cultivo da espécie ser muito pouco utilizada pelos produtores, já que os resíduos culturais são rapidamente decompostos após o manejo da espécie. Por isso, a leguminosa foi consorciada com o centeio e com a aveia. Observa-se na figura 1.1 que a quantidade acumulada de N nesses dois consórcios foi superior no centeio com ervilhaca em  $16 \text{ kg ha}^{-1}$ , embora sem diferenças significativas entre ambos. Comparativamente às quantidades de N acumuladas pelo centeio e pela aveia em cultivo solteiro, o aumento no acúmulo de N proporcionado pela inclusão da ervilhaca nos consórcios com essa duas poáceas foi de 80,8 (151,8%) e 64,3 (119,7%)  $\text{kg ha}^{-1}$ , respectivamente.

Analisando conjuntamente os resultados relativos à produção de matéria seca (Tabela 1.4) e ao acúmulo de N nos diferentes tratamentos (Figura 1.1) percebe-se que a inclusão de leguminosas em consórcio com poáceas possibilita a obtenção de produção de fitomassa equivalente ou até mesmo superior às poáceas em cultivo solteiro, com a vantagem de aumentar significativamente o aporte de N ao solo, via fixação biológica de N (FBN). O nabo, por sua vez, embora não apresente FBN, mostrou-se muito mais eficiente no aproveitamento do N do solo do que as duas poáceas avaliadas (centeio e aveia) acumulando tanto ou mais N do que as próprias leguminosas (ervilha forrageira e ervilhaca). Todavia, é preciso avaliar em estudos futuros, em Latossolos do Planalto do Rio Grande do Sul, a relação da produção de fitomassa e acúmulo de N do nabo com os teores de matéria orgânica do solo e com a cultura antecessora. Caso se confirme os resultados obtidos no presente trabalho, o nabo passa a constituir uma importante alternativa de cultivo no outono/inverno visando à ciclagem de N no sistema e a proteção do solo contra a erosão, principalmente quando essa brassicácea for consorciada com poáceas. Além disso, a maior facilidade na produção e o menor custo na aquisição de sementes poderão favorecer a escolha do nabo como planta de cobertura de solo no outono/inverno.

Apesar dessas características importantes apresentados pelo nabo neste em outros trabalhos (GIACOMINI et al., 2001 ; CRUSCIOL et al., 2005 ; STRIEDER et al., 2006 ; SILVA et al., 2007 ), é importante destacar que ele não apresenta capacidade de associação simbiótica com bactérias fixadoras de N e, por isso, não promove o aporte externo de N ao sistema, como o fazem as leguminosas através da FBN. Daí a importância em avaliar o impacto do cultivo continuado do nabo no inverno sobre o potencial de fornecimento de N pelo solo, já que ele depende do N disponibilizado através da mineralização da matéria orgânica do solo. De qualquer modo, a produção elevada de nabo alcançada no presente estudo o coloca como uma alternativa para uso nos Latossolos do Planalto do Rio Grande do Sul, visando à rotação no outono/inverno com outras plantas de cobertura como a ervilhaca e a ervilha forrageira.

Comparando o acúmulo de N entre as poáceas em cultivo solteiro e a vegetação espontânea do pousio, verifica-se que a vegetação espontânea da área acumulou apenas 28% da quantidade média de N acumulada pelo centeio e aveia. Esse resultado confirma aqueles encontrados por Heinrichs et al. (2001) e Giacomini et al. (2003), demonstrando que além de adicionar fitomassa e carbono ao solo, as poáceas podem contribuir para a diminuição das perdas de N por lixiviação de nitrato no perfil do solo, no período invernal, imobilizando o mesmo no tecido vegetal.

#### 2.4.3 Relação C/N

Os maiores valores para a relação C/N das espécies em cultivo solteiro foram encontrados no centeio (34,3/1) e na aveia (27,0/1) e os menores na ervilha forrageira (13,7/1) e no nabo forrageiro (16,7/1). Nos tratamentos em que o centeio foi consorciado com ervilha forrageira e com nabo, a relação C/N do tecido vegetal foi mais próxima daquela encontrada com o nabo e a ervilha forrageira em cultivo solteiro do que daquela do centeio em cultivo solteiro (Tabela 1.5). O mesmo foi verificado para o consórcio entre aveia preta e ervilhaca comum, confirmando resultados encontrados por Heinrichs et al. (2001) e Giacomini (2001). Uma vez que o teor de C no tecido vegetal é pouco variável entre as espécies, a redução da relação C/N, quando as poáceas foram consorciadas com o nabo e as leguminosas, pode ser atribuída ao N acumulado na fitomassa dessas, seja pela capacidade de absorver o N do solo ou de fixar o N<sub>2</sub> atmosférico.

De acordo com Giacomini et al. (2003), o consórcio entre diferentes espécies proporciona a produção de uma fitomassa cuja relação C/N é intermediária àquela das

espécies em cultivo solteiro. Através dessa estratégia de cultivo das plantas de cobertura, ilustrada no presente trabalho através dos consórcios do centeio com ervilha forrageira e nabo, busca-se alterar a taxa de decomposição de resíduos culturais de modo a proporcionar, simultaneamente, proteção eficiente e mais duradoura do solo contra os agentes erosivos e uma melhor sincronia entre o fornecimento e a demanda de N pelas culturas em sucessão.

**Tabela 1.5** – Relação C/N da parte aérea das espécies de plantas de cobertura de solo no outono/inverno em cultivo solteiro e consorciado. Média de quatro repetições.

Tratamentos	Espécies de outono/inverno						Total
	Centeio	Aveia	Ervilha	Nabo	Ervilhaca	Pousio	
C <sup>(1)</sup>	34,3 a <sup>(2)</sup>	-	-	-	-	-	34,3 a
A	-	27,0 a	-	-	-	-	27,0 b
EF	-	-	13,7 a	-	-	-	13,7 e
N	-	-	-	16,7 a	-	-	16,7 de
C + EF	21,8 b	-	14,8 a	-	-	-	16,8 de
C + N	24,0 b	-	-	17,3 a	-	-	18,2 cd
C + E	25,3 b	-	-	-	11,5 a	-	18,0 cde
A + N	-	19,9 b	-	18,0 a	-	-	18,4 cd
A + E	-	20,0 b	-	-	11,7 a	-	15,2 de
Pousio <sup>(3)</sup>	-	-	-	-	-	-	21,6 c

<sup>(1)</sup> C = centeio; A = aveia preta; EF = ervilha forrageira; NF = nabo forrageiro; E = ervilhaca comum. <sup>(2)</sup> Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey 5%. <sup>(3)</sup> A relação C/N do tratamento em pousio refere-se à vegetação espontânea da área.

Os processos microbianos, opostos e simultâneos, de imobilização e mineralização de N dependem, em grande parte, da relação C/N dos resíduos culturais. Partindo desse pressuposto, Allison (1966) discutiu que materiais com valores de C/N entre 25 e 30 apresentam um equilíbrio entre mineralização e imobilização. Assim, pode-se inferir que nos tratamentos com nabo e ervilha forrageira em cultivos solteiros e naqueles com consórcios entre espécies haja predominância da mineralização, resultando em aumento na quantidade de N mineral do solo durante a decomposição dos resíduos culturais. Por outro lado, a relação C/N do centeio e da aveia permite prever a ocorrência de imobilização líquida de N durante a sua decomposição no solo. Para Nicolardot et al. (2001) a relação C/N é um parâmetro amplamente utilizado nos modelos utilizados para a previsão da disponibilidade de N no solo durante a decomposição de resíduos culturais.

Um resultado a destacar no presente trabalho refere-se à alteração da relação C/N do centeio, quando consorciado ao nabo e à ervilha forrageira, e da aveia, quando consorciada ao nabo e à ervilhaca. Os resultados da tabela 1.5 mostram que a relação C/N do centeio em cultivo solteiro foi reduzida em 36,4%, quando comparada com a C/N da espécie consorciada à ervilha forrageira. A redução média da C/N do centeio, quando consorciado ao nabo e à ervilhaca, foi de 28,1 %. Comportamento semelhante foi observado na aveia, onde a sua relação C/N diminuiu de 27,0/1 para 20/1 (26%), na média dos consórcios da espécie com o nabo e a ervilhaca. Resultados semelhantes foram relatados por Giacomini et al. (2003) e podem ser atribuídos a diversos fatores. A redução na população de plantas das poáceas, quando consorciadas, reduz a competição entre plantas pelo N disponível do solo, aumentando a concentração de N no tecido vegetal. Além disso, no caso das leguminosas, a senescência precoce de nódulos, a queda e decomposição das folhas mais velhas e a excreção de exsudatos radiculares ricos em N, podem contribuir ao fornecimento de N às poáceas presentes nos consórcios, conforme destacado por Ta ; Faris (1987). A redução na população de poáceas no cultivo consorciado com nabo, em relação ao seu cultivo solteiro, além da decomposição de tecidos radiculares, de folhas mais velhas e de exsudatos radiculares devem ser as causas principais da redução da C/N encontrada nas poáceas quando consorciadas à brassicácea.

#### 2.4.4 Decomposição dos resíduos culturais

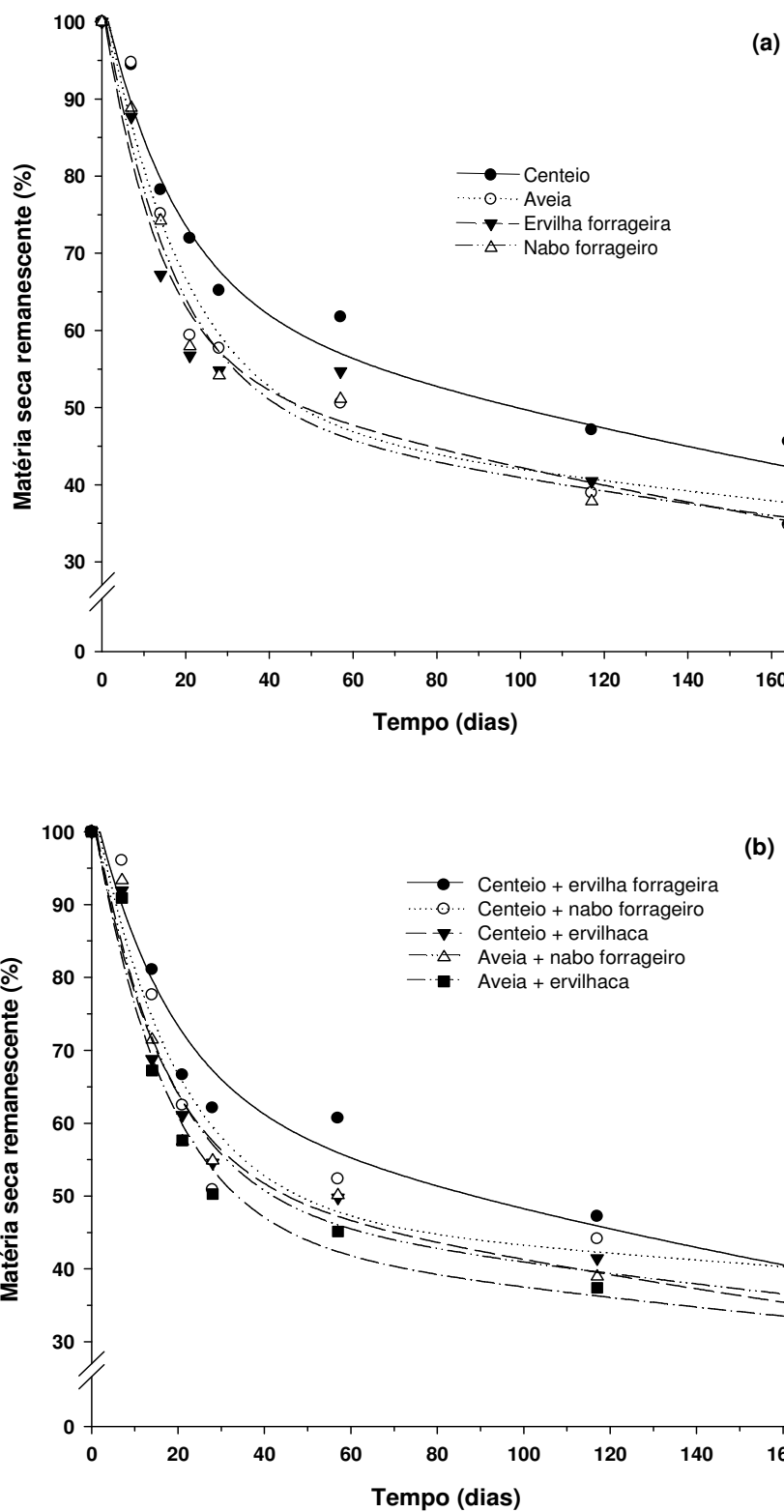
De maneira geral, a cinética de decomposição dos resíduos culturais das plantas de cobertura, avaliada através das quantidades remanescentes de matéria seca ao longo do tempo, foi similar tanto nas espécies em cultivo solteiro (Figura 1.2a) quanto em consórcio (Figura 1.2b). Nos dois casos, observa-se uma fase inicial, com rápida redução nas quantidades remanescentes de matéria seca, seguida de outra mais lenta, o que coincide com resultados obtidos em outros trabalhos (Giacomini et al., 2003; Crusciol et al., 2005; Marcolini, 2009).

Considerando os primeiros 21 dias, que foi o período de maior decomposição, observa-se que a quantidade remanescente de matéria seca no interior das sacolas de decomposição era de aproximadamente 57% na ervilha forrageira, 58% no nabo forrageiro, 59% na aveia preta e 72% no centeio (Figura 1.2 a). Contrariamente ao observado em outros trabalhos, como o realizado por Aita ; Giacomini (2003), a aveia preta apresentou uma quantidade de matéria seca do compartimento lábil relativamente próxima da ervilha forrageira e do nabo, bem como um tempo de meia vida desse compartimento próximo ao

verificado no nabo (Tabela 1.6). Era de se esperar menor proporção da matéria seca lábil e menor taxa constante de decomposição nos resíduos culturais da aveia. É provável que tais resultados se devam ao fato de a aveia ter apresentado uma relação C/N relativamente baixa (22,8/1) dos resíduos culturais (Tabela 1.2). Essa baixa relação C/N da aveia pode ser atribuída ao fato da cultura estar em estágio final de perfilhamento e início de emborrachamento quando coletada para a confecção das sacolas de decomposição, além do provável elevado potencial de fornecimento de N pelo solo da área experimental. Convém destacar que, na maioria dos trabalhos, a coleta da aveia para avaliar sua decomposição ocorre quando a planta encontra-se no estágio de florescimento pleno. No presente trabalho, as espécies foram coletadas e manejadas no mesmo dia e o estágio de desenvolvimento das espécies em que isso ocorreu foi estabelecido em função do desenvolvimento das espécies mais precoces (nabo e ervilha).

De maneira geral, a velocidade de decomposição dos resíduos culturais (Figura 1.2) esteve relacionada à sua relação C/N, com menor decomposição no centeio, o qual apresentou a maior relação C/N (Tabela 1.2). Na tabela 1.6, percebe-se que, entre as espécies em cultivo solteiro, o centeio foi a que apresentou a menor proporção de matéria seca no compartimento lábil (39,4%). Pelo fato de também ser uma poácea, esperava-se que a aveia apresentasse um comportamento similar ao observado pelo centeio. Todavia, observa-se na figura 1.2 a e na tabela 1.6 que a decomposição das duas culturas ocorreu de forma distinta. Na aveia, a proporção da matéria seca mais recalcitrante (100-A) foi de aproximadamente 45%, com um tempo de meia vida de 433 dias enquanto no centeio a matéria seca de mais difícil decomposição representou cerca de 60%, com um tempo de meia vida de 277 dias. É provável que esse comportamento distinto entre as duas poáceas esteja ligado às diferenças na sua relação C/N (Tabela 1.2) como também a diferenças na sua constituição física (proporção entre talos e folhas) e, principalmente, na composição bioquímica do tecido vegetal.

A ervilha forrageira foi a espécie em cultivo solteiro que apresentou a maior taxa constante de decomposição ( $0,0752 \text{ dia}^{-1}$ ) do compartimento mais facilmente decomponível (A), o qual representou 46,9% da matéria seca adicionada ao solo pela leguminosa. É provável que esse compartimento seja constituído principalmente pelas folhas da ervilha, as quais representam uma fonte de carbono e de energia utilizada inicialmente pela população microbiana do solo.



**Figura 1.2** - Matéria seca remanescente dos resíduos culturais de plantas de cobertura em cultura pura (a) e em consórcio (b), em avaliações realizadas em campo até 164 dias após a distribuição das sacolas de decomposição na superfície do solo.



Comparando os parâmetros do modelo encontrados para tratamentos com centeio e nabo em cultivo solteiro ao tratamento em que o centeio foi consorciado ao nabo, observa-se que a inclusão do nabo aumentou a proporção de matéria seca lábil, em relação ao centeio solteiro. O mesmo não ocorreu para o consórcio entre aveia e nabo, uma vez que os parâmetros encontrados para as duas culturas solteiras foram relativamente próximos entre si (Tabela 1.6). Fazendo essa mesma comparação entre os tratamentos com centeio e ervilha forrageira em cultivo solteiro e em consórcio percebe-se que com a inclusão da ervilha não houve mudanças nos parâmetros do modelo, em relação ao centeio solteiro. Esperava-se que no tratamento em consórcio os valores dos parâmetros fossem intermediários aos observados nas culturas solteiras. Com base nas determinações realizadas, não é possível apontar as causas determinantes desse resultado.

**Tabela 1.6** - Parâmetros dos modelos ajustados aos valores medidos de matéria seca remanescente, tempo de meia vida ( $t_{1/2}$ ) da MS de cada compartimento e valores de  $R^2$  em cada tratamento

Tratamento <sup>(1)</sup>	A	$k_a$	$k_b$	$t_{1/2}$		$R^2$
				A	(100 - A)	
	%	-----dia <sup>-1</sup> -----		-----dias-----		
Matéria seca remanescente (MSR) <sup>(2)</sup>						
C	39,4	0,0567	0,0025	12,2	277	0,95
A	55,3	0,0527	0,0016	13,1	433	0,95
EF	46,9	0,0752	0,0028	9,2	247	0,97
N	52,9	0,0598	0,0021	11,6	330	0,97
C + EF	40,6	0,0575	0,0029	12,1	239	0,94
C + N	57,2	0,0525	0,0011	13,2	630	0,94
C + E	50,0	0,0649	0,0025	10,7	277	0,97
A + N	54,8	0,0586	0,0018	11,8	385	0,96
A + E	58,5	0,0595	0,0018	11,6	385	0,97

<sup>(1)</sup> C = centeio; A = aveia preta; EF = ervilha forrageira; NF = nabo forrageiro; E = ervilhaca comum.

<sup>(2)</sup> MSR =  $A e^{-k_a t} + (100-A) e^{-k_b t}$ .

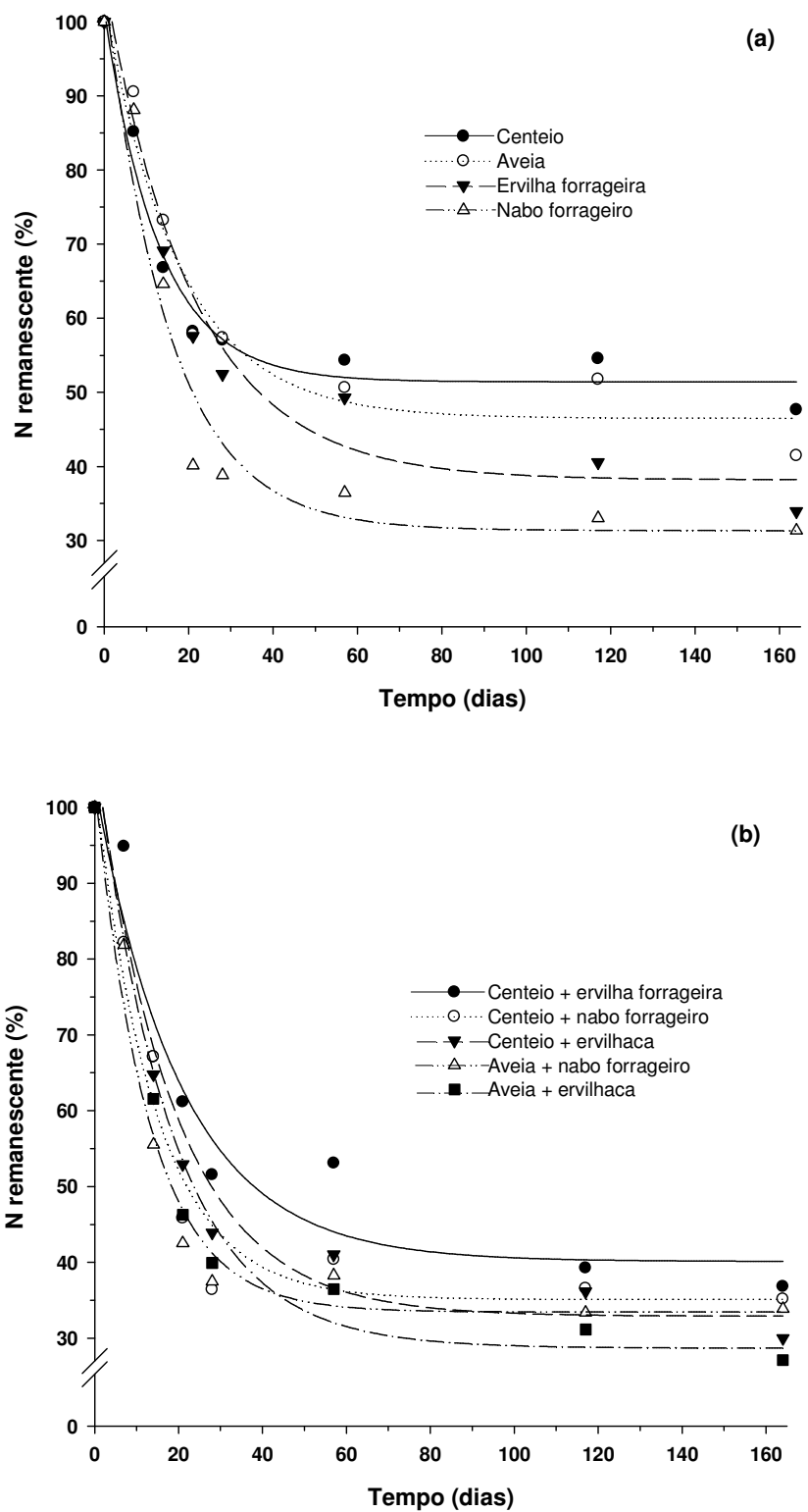
#### 2.4.5 Liberação de nitrogênio dos resíduos culturais

O N remanescente (NR) dos resíduos culturais, expresso como a percentagem do N inicial, seguiu a mesma cinética observada e descrita anteriormente para a matéria seca

remanescente, mostrando duas fases distintas onde, nas primeiras semanas após o manejo, o N foi rapidamente liberado e, após esse período, o N foi liberado mais lentamente (Figura 1.3). Esse comportamento também foi observado por Aita ; Giacomini (2003) para aveia, nabo e ervilhaca em cultivos solteiros e em consórcio e Crusciol et al. (2008) para aveia. Ao avaliarem a decomposição e liberação de N de resíduos culturais de girassol, ervilha e trigo, Fernández et al. (2007) também verificaram que houve uma fase em que a decomposição e liberação de N foram mais rápidas e outra mais lenta, embora o modelo matemático empregado aos dados observados não tenha sido significativo.

Considerando, inicialmente, as plantas de cobertura em cultivo solteiro (Figura 1.3 a) observa-se que as quantidades remanescentes de N dos resíduos culturais foram diretamente proporcionais a sua relação C/N e inversamente proporcionais à concentração de N total no tecido vegetal (Tabela 1.2). No centeio, com relação C/N de 30,9/1 e uma concentração de N igual a 13,6 g kg<sup>-1</sup>, 49,9 % do N presente inicialmente nos resíduos culturais ainda permaneciam na superfície do solo ao final do experimento, aos 164 dias. Por outro lado, na ervilha forrageira, com C/N de 14,5/1 e uma concentração de N total no tecido vegetal de 29,0 g kg<sup>-1</sup>, a proporção do N encontrado no interior das sacolas de decomposição, no mesmo período, foi de 32,6 %. No nabo, com C/N de 16,5/1 e com 23,9 g de N total por kg de tecido vegetal a proporção de N remanescente aos 164 dias foi de 26,5 %, próxima daquela encontrada na ervilha forrageira.

Um aspecto importante consiste em reportar essas quantidades remanescentes de N ao final do experimento às quantidades iniciais de N adicionadas pelas espécies. Assim, as quantidades de N que ainda se encontravam nos resíduos culturais do centeio, da ervilha forrageira e do nabo ao final do experimento foram de aproximadamente 26, 57 e 54 kg de N ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Esses valores permitem algumas considerações importantes. Fica evidente a importância das leguminosas e do nabo, relativamente às poáceas, no aporte de N ao solo via resíduos culturais. Conforme evocado anteriormente, no caso da ervilha forrageira, o N acumulado pela espécie provém do solo e da FBN enquanto no nabo ele provém exclusivamente do solo. Por isso, embora o nabo tenha deixado, no mesmo período de tempo, uma quantidade de N nos seus resíduos culturais próxima à ervilha forrageira, é necessário avaliar o efeito do cultivo continuado desse sobre o estoque de N no solo, em experimentos de longo prazo.



**Figura 1.3** - Nitrogênio remanescente dos resíduos culturais de plantas de cobertura em cultura pura (a) e em consórcio (b), em avaliações realizadas em campo até 164 dias após a distribuição das sacolas de decomposição na superfície do solo.

Considerando a coleta realizada aos 28 dias após a distribuição das bolsas de decomposição no campo, apenas 38% do N adicionado pelo nabo ainda se encontravam nos resíduos culturais. Esse resultado difere daquele encontrado por Aita ; Giacomini (2003), onde, para esse mesmo período de tempo (28 dias), aproximadamente 77% do N adicionado ainda permaneciam nos resíduos culturais. Isso deve, possivelmente, às diferenças na relação C/N dos materiais avaliados. No trabalho de Aita ; Giacomini (2003), a relação C/N do nabo foi 85% maior do que aquela encontrada no presente trabalho, já que os autores coletaram a crucífera tardiamente, após o florescimento pleno, quando já se observava significativa queda de folhas no campo. Por outro lado, Basso (1999) encontrou uma liberação de N relativamente próxima àquela do presente trabalho, onde 30 dias após a colocação das bolsas de decomposição no campo, a quantidade de N remanescente foi de 50%. Tais diferenças podem ser atribuídas às características intrínsecas aos próprios resíduos culturais bem como às condições edafoclimáticas predominantes em cada trabalho, o que evidencia a importância e a necessidade de trabalhar sob diferentes situações para melhor identificar e compreender os mecanismos responsáveis por essas diferenças.

A comparação entre as quantidades remanescentes de N da ervilha forrageira e do nabo em cultivos solteiros (Figura 1.3a) com as quantidades remanescentes de N dos tratamentos em que essas duas espécies foram consorciadas ao centeio (Figura 1.3b) indica que, durante todo o período experimental, a cinética de liberação e as quantidades de N liberadas das culturas solteiras praticamente não foram alteradas pela inclusão do centeio nos consórcios.

Na coleta realizada aos 28 dias, por exemplo, 50,4 e 52,9 % do N dos resíduos culturais da ervilha forrageira em cultivo solteiro e do consórcio da ervilha com o centeio permaneciam nos resíduos culturais, respectivamente (Figura 1.3). Ao final do experimento, os resíduos culturais desses mesmos tratamentos ainda continham aproximadamente 33 e 37 % do N adicionado. Aos 28 dias, 38% do N do nabo em cultivo solteiros e 42% do N do consórcio entre o nabo e o centeio foram encontrados nos resíduos culturais. Nesses mesmos tratamentos, as quantidades remanescentes de N ao final do experimento foram de 26,5 e 32 %, respectivamente. Tais resultados podem ser atribuídos ao fato de a maior parte do N contido na fitomassa dos resíduos culturais dos consórcios da ervilha forrageira e do nabo com o centeio ser representado pela ervilha e pelo nabo. Na figura 1.1 percebe-se que 79% do N acumulado no consórcio entre a ervilha e o centeio era representado pela ervilha. No consórcio entre centeio e nabo, 91% do N acumulado estava contido nos resíduos culturais do nabo. Além disso, os valores da relação C/N dos consórcios entre a ervilha e o centeio

(15,5/1) e entre o nabo e o centeio (18,9/1) foram mais próximos da ervilha (14,5/1) e do nabo (16,5/1) do que do centeio em cultivo solteiros (30,9/1).

Esse conjunto de resultados corrobora aqueles relatados por Aita ; Giacomini (2003) ao avaliarem a liberação de N da aveia e da ervilhaca em cultivos solteiros e em consórcio e evidencia que a liberação de N dos resíduos culturais provenientes de consórcios será condicionada tanto pela composição bioquímica das espécies que participam do consórcio como também pela espécie que adicionar a maior quantidade de N no consórcio.

Quanto aos parâmetros do modelo ajustado para a liberação de N dos resíduos culturais das plantas de cobertura em cultivo solteiro, o nabo foi a espécie com maior proporção de N no compartimento mais facilmente decomponível (73,5%), seguido pela ervilha forrageira (67,4%). No centeio e na aveia a proporção de N contido nesse mesmo compartimento foi de 50,1 e 56,3%, respectivamente, sendo que o modelo considerou os restantes 49,9 e 43,7 % do N adicionado por essas duas poáceas como totalmente recalcitrante. Esse resultado evidencia a maior capacidade do nabo e da ervilha forrageira quanto ao fornecimento de N às culturas em sucessão, relativamente às poáceas.

**Tabela 1.7** - Parâmetros do modelo ajustado aos valores medidos para as quantidades remanescentes de nitrogênio, tempo de meia vida ( $t_{1/2}$ ) do N e valores de  $R^2$  em cada tratamento.

Tratamento <sup>(1)</sup>	A	$k_a$	$\frac{t_{1/2}}{A}$	$R^2$
	%	-----dia <sup>-1</sup> -----	-----dias-----	
		N remanescente (NR) <sup>(2)</sup>		
C	50,1	0,0774	8,95	0,97
A	56,3	0,0566	12,24	0,95
EF	67,4	0,0475	14,59	0,92
N	73,5	0,0654	10,60	0,95
C + EF	63,2	0,0488	14,20	0,94
C + N	68,1	0,0692	10,01	0,96
C + E	74,3	0,0527	13,15	0,92
A + N	69,6	0,0781	8,87	0,97
A + E	79,5	0,0556	12,46	0,91

<sup>(1)</sup> C = centeio; A = aveia preta; EF = ervilha forrageira; NF = nabo forrageiro; E = ervilhaca comum.

<sup>(2)</sup> NR = A e<sup>-kat</sup> + (100-A).

Quando as poáceas foram consorciadas com nabo e ervilha forrageira, os parâmetros do modelo ajustado se aproximaram mais da ervilha e do nabo em cultivos solteiros do que das poáceas em cultivo solteiro. Comparando o tratamento em que a ervilha forrageira foi consorciada ao centeio com o tratamento em que a ervilha foi cultivada isoladamente, percebe-se que os valores da taxa constante de liberação de N ( $k_a$ ) foram próximos. Porém, o modelo ajustado aos valores observados no campo considerou que na ervilha forrageira 67,4 % do N dos seus resíduos culturais estavam contidos do compartimento mais facilmente decomponível (A), contra 63,2% nos resíduos culturais do consórcio da ervilha com centeio. Assim, para quantidades equivalentes de N adicionadas por esses dois tratamentos, haverá maior quantidade de N liberada dos resíduos da ervilha em relação ao consórcio com centeio, apesar de as taxas constantes de liberação de N serem próximas. Comportamento semelhante foi observado por Aita ; Giacomini (2003) os quais encontraram valores próximos de  $k_a$  entre ervilhaca em cultivo solteiro e ervilhaca consorciada com aveia apesar da leguminosa em cultivo solteiro ter apresentado 51,9% do N dos resíduos culturais no compartimento mais facilmente mineralizável contra apenas 39,6% no consórcio com aveia.

Entre os tratamentos em consórcio, aqueles em que a ervilhaca foi consorciada ao centeio e à aveia apresentaram as maiores quantidades absolutas de N no compartimento mais facilmente mineralizável (74,3 e 79,5 % respectivamente) comprovando resultados de outros estudos em que a ervilhaca tem se constituído em eficiente fonte de N às culturas comerciais , mesmo quando consorciada com poáceas (HEINRICHS et al., (2001); GIACOMINI et al., (2003); SILVA et al., 2007).

De acordo com Aita ; Giacomini (2003), uma das vantagens almejadas com o consórcio de poáceas com leguminosas ou brassicáceas consiste em regular a velocidade de liberação de N durante a decomposição dos resíduos culturais das plantas de cobertura, de modo a otimizar a sincronia entre a liberação de N e a demanda em N pelas culturas em sucessão. Porém, assim como no trabalho realizado pelos referidos autores, os resultados do presente trabalho mostram que foi pequena a redução na velocidade de liberação de N dos resíduos culturais quando a ervilha forrageira foi consorciada com o centeio e o nabo foi consorciado com centeio e aveia.

#### 2.4.6 Quantidades de N liberadas dos resíduos culturais

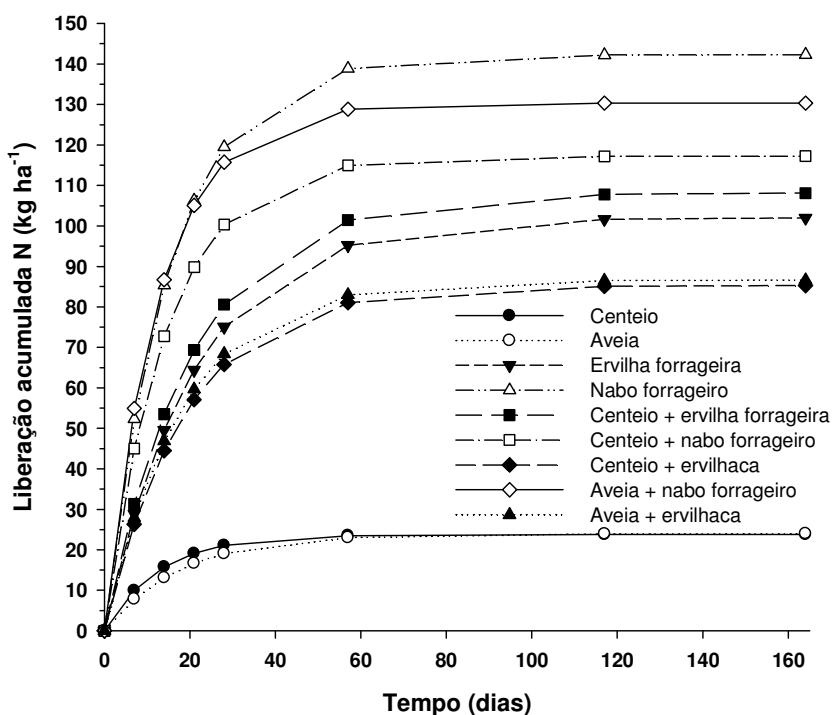
Os primeiros 28 dias após o manejo das plantas de cobertura foi o período em que ocorreu a maior liberação de N dos resíduos culturais em todos os tratamentos (Figura 1.4).

Nesse período, as maiores quantidades de N foram observadas nos tratamentos contendo nabo e variaram de 115,7 kg de N ha<sup>-1</sup> no consórcio entre nabo e aveia a 109,9 kg de N ha<sup>-1</sup> na média dos tratamentos com nabo em cultivo solteiro e com nabo consorciado ao centeio. A quantidade média de N liberada nesses três tratamentos até 28 dias corresponde a aproximadamente 58% da quantidade média de N adicionada ao solo pelos resíduos culturais dos mesmos (Tabela 1.2). Nos tratamentos envolvendo os consórcios do centeio e da aveia com a ervilhaca, a quantidade de N liberada até 28 dias foi próxima e em média de 67,1 kg de N ha<sup>-1</sup>, correspondendo a 61 % do N adicionado nos dois tratamentos. Essas quantidades de N liberadas dos resíduos culturais do nabo diferem daquelas encontradas por Aita ; Giacomini (2003) onde, nos primeiros 15 dias, o nabo liberou aproximadamente 9 kg de N ha<sup>-1</sup> o que corresponderia a aproximadamente 18 kg ha<sup>-1</sup> de N em 30 dias. Essa discrepância nas quantidades de N liberadas pode ser atribuída ao fato de que a quantidade de N acumulada na fitomassa do nabo no presente trabalho foi 292,8 % maior do que a encontrada pelos referidos autores, os quais enfatizaram que a quantidade de N liberada pelos resíduos culturais não depende apenas da taxa de liberação do N, mas também da quantidade total de N presente na fitomassa das espécies.

No período entre 28 e 57 dias após a distribuição das sacolas de decomposição no campo, observa-se uma redução acentuada nas quantidades liberadas de N em todos os tratamentos e após os 57 dias uma estabilização na liberação de N dos resíduos culturais. Essa cinética de liberação do N poderá acarretar problemas ambientais através da lixiviação de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), da emissão de N<sub>2</sub>O via desnitrificação e da volatilização de amônia, especialmente nos tratamentos com a adição de quantidades elevadas de N pelos resíduos culturais como foi o caso dos tratamentos contendo nabo no presente trabalho. Além da contaminação ambiental, essas perdas de N reduzem o potencial das plantas de cobertura como fonte de N às culturas comerciais em sucessão, como afirmam Aita ; Giacomini (2003).

Como o período de maior liberação de N pelas espécies de cobertura não coincide com o período de maior demanda em N pelas culturas comerciais cultivadas em sucessão, as maiores perdas de N pelos diferentes processos deverão ocorrer na fase inicial de decomposição dos resíduos culturais. Isso foi constatado por Giacomini (2001), onde o milho cultivado após ervilhaca solteira acumulou apenas 12 kg ha<sup>-1</sup> de N na parte aérea no primeiro mês após a semeadura. No mesmo período, a quantidade de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na camada de 30-60 cm do solo do tratamento com ervilhaca foi 5,3 kg ha<sup>-1</sup> superior ao tratamento em pousio. Trabalhando nessa mesma linha, Rosecrance et al. (2000) constataram que durante a decomposição dos resíduos culturais, aqueles da ervilhaca em cultivo solteiro apresentaram

maior potencial de perdas de N relativamente aos do consórcio de centeio e ervilhaca e aos do centeio em cultivo solteiro. Os autores atribuíram o resultado à rápida mineralização do N dos resíduos culturais da leguminosa, o que potencializaria as perdas de N por lixiviação e desnitrificação antes da absorção significativa do nutriente por uma cultura em sucessão. Com base nos resultados desses diferentes trabalhos e naqueles mostrados na figura 1.4 do presente trabalho, reafirma-se a recomendação feita por diversos autores como, por exemplo, Giacomini et al. (2004), de que, para aumentar a eficiência no aproveitamento do N liberado pelos resíduos culturais e reduzir as perdas de N para o ambiente, a semeadura das culturas em sucessão deve ser realizada o mais rápido possível após o manejo das plantas de cobertura.



**Figura 1.4** - Liberação acumulada de nitrogênio dos resíduos culturais de plantas de cobertura em cultura pura e em consórcio, em avaliações realizadas em campo até 164 dias após a distribuição das sacolas de decomposição na superfície do solo.

No final do experimento, aos 164 dias após o manejo das plantas de cobertura, as quantidades de N liberadas pelo nabo e ervilha forrageira, em cultivo solteiro e em consórcio com aveia e centeio, e pelos consórcios de aveia e centeio com ervilhaca foram, em média,  $86,4 \text{ kg ha}^{-1}$  superiores às poáceas em cultivo solteiro. Tais resultados evidenciam a importância da inclusão de leguminosas e brassicáceas em sistemas de culturas envolvendo o uso de plantas de cobertura de solo.



Embora no final do período de avaliação, a quantidade de N liberada pelo nabo em cultivo solteiro tenha sido 15% superior às quantidades liberadas nos consórcios dessa espécie com aveia e centeio, o consórcio com poáceas constitui uma estratégia interessante para melhorar o balanço de N no solo, conciliando a proteção do mesmo com o fornecimento de N às culturas em sucessão.

Em acordo ao constatado por Aita ; Giacomini (2003), os resultados do presente estudo demonstram que, nas condições climáticas do Sul do Brasil, as quais são favoráveis à decomposição dos resíduos culturais, é difícil obter uma boa sincronia entre o fornecimento de N com a demanda pelas culturas comerciais cultivadas em sucessão das plantas de cobertura. Nem mesmo consorciando leguminosas e brassicáceas com poáceas, foi possível reduzir a liberação de N dos resíduos culturais logo após o manejo das espécies, deslocando-a para o período de maior demanda em N da cultura subsequente.

## **2.5 Conclusões**

- 1) O consórcio entre leguminosas e brassicáceas com poáceas resultou em maior produção de fitomassa, em média, do que as mesmas em cultivo solteiro.
- 2) O acúmulo de N pelos consórcios foi similar ao da ervilha forrageira e nabo em cultivo solteiro e superior à aveia e centeio.
- 3) Quando consorciadas, a relação C/N da fitomassa das plantas de cobertura foi intermediária ao seu cultivo solteiro.
- 4) A velocidade de decomposição dos resíduos culturais, de maneira geral, foi inversamente proporcional a sua relação C/N e o consórcio de leguminosas e brassicáceas com poáceas reduziu a velocidade de decomposição em relação ao cultivo solteiro das mesmas.
- 5) Nos tratamentos contendo ervilha forrageira e nabo em cultivo solteiro e consorciado e no consórcio de aveia e centeio com ervilhaca, a maior parte do N liberado ocorreu nos primeiros 21 dias após o manejo das mesmas.

## 3 CAPÍTULO 2

### POTENCIAL DE FORNECIMENTO DE NITROGÊNIO AO MILHO POR PLANTAS DE COBERTURA PURAS E CONSORCIADAS

#### 3.1 Resumo

A utilização de espécies de cobertura no outono/inverno, no Planalto do Rio Grande do Sul, principalmente consorciadas, antecedendo o milho, ainda é incipiente. Estudos relativos ao potencial das mesmas em fornecer nitrogênio ao milho são necessários, a fim de consolidar esse manejo em plantio direto. O objetivo do trabalho foi avaliar a resposta da cultura do milho cultivado após plantas de cobertura de solo no outono/inverno, em culturas puras e consorciadas, em sistema plantio direto. Para tal, foi conduzido um experimento em Não-Me-Toque, RS, em um Latossolo Vermelho Distrófico típico, onde avaliou-se dez tratamentos compostos por plantas de cobertura no outono/inverno. Quatro foram constituídos por culturas puras [centeio (*Secale cereale* L), aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), ervilha forrageira (*Pisum sativum* subesp. *arvense*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg)], cinco por consórcios de espécies [(centeio + ervilha forrageira, centeio + nabo forrageiro, aveia + nabo forrageiro, centeio + ervilhaca (*Vicia sativa* L.) e aveia + ervilhaca)] e um em pousio somente com a vegetação espontânea da área. Após o manejo das plantas de cobertura, as parcelas principais foram subdivididas em 6 subparcelas onde foi implantada a cultura do milho, em plantio direto, com seis tratamentos compostos por doses de nitrogênio (N). Essas foram determinadas de acordo com a recomendação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004) (CQFS), onde utilizou-se: T1: 0 N; T2: ½ CQFS; T3: CQFS somente em cobertura; T4: CQFS; T5: 1,5 CQFS; T6: 2 CQFS. Avaliou-se a concentração de N nas folhas do milho no pendoamento, o acúmulo de N pelo milho na colheita, a produtividade de grãos e a recuperação aparente do N adicionado pelas plantas de cobertura pelo milho. A maior concentração de N nas folhas de milho no pendoamento, acúmulo de N na colheita e produtividade de grãos foram obtidas após o nabo e ervilha forrageira em cultivo solteiro. Quando consorciadas com poáceas, essas espécies proporcionaram ao milho resposta intermediária ao cultivo das mesmas e das poáceas solteiras. O uso de plantas de cobertura proporcionou produtividade 11,2 % superior ao pousio. As maiores recuperações aparente do N adicionado pelas plantas de cobertura foram encontradas nos tratamentos contendo ervilhaca consorciada com aveia e centeio.

Palavras-chave: consorciação; centeio; ervilha forrageira; recuperação de N; adubação verde

### 3.2 Introdução

A cultura do milho está entre aquelas de maior importância para o estado do Rio Grande do Sul, tanto para pequenos, como para médios e grandes produtores. A área cultivada na safra 2007/2008 foi de 1.391 mil hectares, com uma previsão para a safra 2009/2010 de 1.182 mil hectares. Apesar disso, as médias históricas de produtividade de lavouras de milho do Rio Grande do Sul, geralmente inferiores a  $3 \text{ Mg ha}^{-1}$  (CONAB, 2010), situam-se bem abaixo das produtividades obtidas em condições experimentais, de até  $15 \text{ Mg ha}^{-1}$  (ARGENTA et al., 2003). A deficiência hídrica e aspectos ligados ao manejo da cultura, com destaque para o controle ineficiente de plantas invasoras, a densidade inadequada de plantas e a aplicação deficiente de fertilizantes, especialmente os nitrogenados, estão entre as causas principais dessa baixa produtividade de milho.

Uma das características marcantes do milho refere-se à alta demanda de N da cultura, variando de  $80$  a  $350 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, para produções modestas a elevadas (CANTARELLA, 2007). Essa quantidade de N requerida para uma boa produção dificilmente será suprida pelo solo, sendo necessária uma complementação através de fertilização nitrogenada, a qual pode ser suprida pela adição de fertilizantes sintéticos como, por exemplo, a uréia, e, ou, por materiais orgânicos, como os dejetos de animais e as plantas de cobertura (AMADO et al., 2002). De acordo com Amado et al. (2000), a recomendação da adubação nitrogenada do milho em diferentes sistemas de manejo, deve levar em conta aspectos como: a) estimativa do potencial de mineralização do N do solo; b) contribuição da espécie de cobertura antecedente na quantidade de N mineralizada ou imobilizada; c) requerimento de N pela cultura econômica cultivada para atingir um rendimento satisfatório; d) expectativa de recuperação do N disponível, pela cultura, das diferentes fontes; e) conhecimento do histórico de cultivo de anos anteriores.

Com o aumento das áreas de milho sob plantio direto, surgiram novas demandas tecnológicas em relação às disponíveis para uso no preparo convencional do solo. Entre essas tecnologias, pode-se destacar como uma das mais promissoras a utilização de plantas de cobertura de solo no outono/inverno. Através dela, busca-se aumentar a produtividade do milho, com preservação do ambiente e sem onerar o custo de produção da lavoura. Isso é obtido através dos efeitos positivos das plantas de cobertura sobre aspectos como a ciclagem

de nutrientes, principalmente o N via fixação biológica pelas leguminosas, a proteção ao solo dos agentes erosivos e a melhoria das suas características físicas, químicas e biológicas (SILVA et al., 2007). Além disso, o plantio direto, associado a culturas de cobertura, tem potencial para mitigação do efeito estufa, através do seqüestro de carbono no solo (AMADO et al., 2001).

O efeito das plantas de cobertura em plantio direto de milho é um assunto já relativamente bem documentado, embora no Rio Grande do Sul (RS) haja necessidade de intensificar os trabalhos nessa área, especialmente nos Latossolos do Planalto. Ao avaliarem, em um Argissolo da Depressão Central do RS, a resposta do milho em sucessão à aveia preta, ervilhaca comum e nabo forrageiro, em culturas puras e consorciadas, Giacomini et al. (2004), constataram que nos tratamentos contendo ervilhaca e nabo, solteiros ou consorciados com aveia, a produtividade de milho foi significativamente maior do que em sucessão ao pousio e à aveia preta pura. Apesar disso, em situações onde o potencial de resposta do milho à adição de N seja elevado, a estratégia de combinar o uso de plantas de cobertura à fertilização nitrogenada parece bastante promissora, tanto do ponto de vista econômico, em função do alto custo dos fertilizantes nitrogenados, quanto da redução do impacto da cultura do milho sobre o ambiente (GIACOMINI et al., 2004 ; LOURENTE et al., 2007).

A principal planta de cobertura utilizada no estado do Rio Grande do Sul antecedendo o milho é a aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) devido, principalmente, ao alto potencial de produção de fitomassa, à facilidade de produção, aquisição de sementes e implantação, à rusticidade e rapidez na formação de cobertura do solo e ao ciclo adequado à rotação com milho (GIACOMINI, 2001 ; STRIEDER et al., 2006 ; SILVA et al., 2007a ; EMYGDIO et al., 2008). Os benefícios da cultura ao sistema plantio direto se refletem na melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo, além da proteção do solo, proporcionada pelos seus resíduos culturais (EMYGDIO et al., 2008). Todavia, a aveia, por ser uma poácea apresenta, normalmente, resíduos culturais pobres em N (elevada relação C/N) o que pode causar a imobilização microbiana de N do solo durante a sua decomposição, ocorrendo sintomas de deficiência de N no milho já nas primeiras semanas de cultivo (AMADO et al., 2002 ; AITA ; GIACOMINI, 2003 ; SILVA et al., 2006 ; SILVA et al., 2007a).

Para melhorar o fornecimento de N ao solo, uma alternativa é o uso de leguminosas como plantas de cobertura antecessoras ao milho já que as mesmas têm a capacidade de fixar o N<sub>2</sub> atmosférico, através da simbiose com bactérias diazotróficas, tornando-o disponível à cultura em sucessão. Em experimentos de longa duração, com diferentes sistemas de culturas, Weber ; Mielniczuk (2009) concluíram que o rendimento de milho, sem o uso de adubação

nitrogenada mineral, em sucessão a sistemas com leguminosas foi significativamente aumentado em relação ao tratamento em pousio. Fazendo uma média de um período de 21 anos, os autores encontraram valores de produtividade aproximadamente 100% superiores para o milho em sucessão a sistemas de cultura que incluíram leguminosas.

No Rio Grande do Sul, o uso de leguminosas no outono/inverno, antecedendo o milho em plantio direto ainda é pequeno, restringindo-se quase que exclusivamente à ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.) (GIACOMINI, 2001 ; EMYGDIO et al., 2008). Comparando essa leguminosa a outras plantas de cobertura de solo, Aita ; Giacomini (2003) encontraram um acúmulo de N na parte aérea da ervilhaca de até 77 kg ha<sup>-1</sup> e evidenciaram a contribuição dessa espécie no fornecimento N ao milho. Em sucessão à ervilhaca, o acúmulo de N e a produtividade de grãos de milho superaram o tratamento em que o milho foi implantado após o pousio e sem aplicação de N, em 102 e 62%, respectivamente em um trabalho realizado por Giacomini et al., (2004). Apesar dessa contribuição da ervilhaca ao milho, a baixa relação C/N dos seus resíduos culturais resulta em uma rápida decomposição e liberação de N. Caso o N seja liberado a taxas maiores do que a capacidade de absorção de N pelo milho, poderá ocorrer perda de N por lixiviação de nitrato, volatilização de amônia e desnitrificação. Além disso, o solo ficará rapidamente desprotegido. Avaliando a decomposição de resíduos culturais da ervilhaca em cultura pura, Amado et al. (2000) constataram que aproximadamente 70% do N da fitomassa foi liberado nas primeiras quatro semanas após o manejo.

Outra espécie de cobertura do solo que vem ganhando espaço no sistema de plantio direto de milho no Rio Grande do Sul é o nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg). Embora não se trate de uma leguminosa e, por isso, não está associado a bactérias fixadoras de N<sub>2</sub>, ele é capaz de extrair eficientemente o N mineral do solo, inclusive de camadas mais profundas, podendo acumular na fitomassa quantidade de N próximas à ervilhaca (AITA ; GIACOMINI, 2003). Todavia, a decomposição e mineralização de N dos resíduos culturais dessa brassicácea, quando em cultura pura, ocorre de forma semelhante às leguminosas (GIACOMINI, 2001 ; CRUSCIOL et al., 2005), o que pode resultar nos mesmos problemas mencionado anteriormente para a ervilhaca.

Uma alternativa que permite combinar os efeitos benéficos de cada família botânica de planta de cobertura consiste no cultivo consorciado das espécies. Com isso, busca-se alterar a relação C/N da fitomassa, em relação àquela das espécies em cultura pura, de modo a controlar a velocidade de decomposição e liberação de N dos resíduos culturais e assim melhorar a sincronia na disponibilização de N ao milho cultivado em sucessão.

Ao compararem a relação C/N dos resíduos culturais de plantas de cobertura de solo, puras e consorciadas, Heinrichs et al. (2001) verificaram que ela aumentou de 13,5/1 na ervilhaca para 33,9/1 na aveia preta, quando em cultura puras, e quando consorciadas o valor foi de 24/1. Trabalhando com o consórcio entre aveia e ervilhaca, Ceretta et al. (2002) observaram que essa estratégia de cultivo não alterou a produção de matéria seca, em relação às culturas puras, além de aumentar o aporte de N ao solo. Além desse benefício, decorrente da fixação simbiótica de N<sub>2</sub> pelas leguminosas, a participação de gramíneas nos consórcios aumenta a capacidade de extração de nutrientes do solo, favorecendo a ciclagem dos mesmos e reduzindo o potencial de perda por lixiviação daqueles mais móveis como, por exemplo, o N na forma de nitrato (RANELLS ; WAGGER, 1997). Apesar dessas vantagens, as pesquisas com consorciação de plantas de cobertura de solo no Brasil precisam ser intensificadas, ampliando as alternativas existentes quanto às espécies mais apropriadas para esse fim (GIACOMINI, 2001). Duas espécies de plantas de cobertura, até então pouco utilizadas e com potencial para anteceder o milho em plantio direto, são o centeio (*Secale cereale* L) e a ervilha forrageira (*Pisum sativum* subesp. *arvense*). Para a inclusão dessas espécies, puras ou consorciadas, em sistemas de rotação de culturas a pesquisa necessita avaliar aspectos como o acúmulo de N e a sua disponibilização ao milho em sucessão.

As hipóteses que fundamentam o presente trabalho são de que o consórcio de plantas de cobertura de solo, no outono/inverno, melhora o fornecimento de N e a produtividade de grãos de milho, em relação às espécies em cultura pura. Além disso, leguminosas e brassicáceas, em culturas puras e em consórcio no outono/inverno, poderão atender a demanda inicial de N pelo milho, substituindo a adubação nitrogenada da sementeira. Com o objetivo de avaliar essas duas hipóteses e de comparar o potencial de , conduziu-se o presente trabalho.

Objetivando avaliar a resposta da cultura do milho, em seis níveis de adubação nitrogenada, em sucessão a plantas de cobertura de outono/inverno em cultura pura e consorciadas, conduziu-se, em plantio direto, esse estudo.

### 3.3 Material e métodos

O experimento foi conduzido em condições de campo no ano agrícola de 2008/2009, na localidade de Mantiqueira, no município de Não-Me-Toque, RS, localizada a 28° 29' LatITUDE Sul, Longitude 52° 51' W GrW e altitude de 493 m. O clima da região é subtropical úmido, tipo Cfa, conforme classificação de Köppen. O solo do local é classificado como

Latossolo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 2006), pertencente à Unidade de Mapeamento Passo Fundo (BRASIL, 1973), cujas principais características físico-químicas são mostradas na tabela 2.1.

**Tabela 2.1** – Características físico-químicas do solo do local do experimento nas camadas 0 - 5 e 5 - 15 cm.

Característica	Camada de solo avaliada	
	0 - 5 cm	5 - 15 cm
Argila (%)	46	56
pH em água	5,6	5,3
Índice SMP	6,4	6,2
P (mg L <sup>-1</sup> )	22,8	20,8
K (mg L <sup>-1</sup> )	424	260
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0	0,5
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	5,9	4,2
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	2,5	1,8
H + Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	2,8	3,5
CTC efetiva (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	9,5	7,2
Saturação de bases (T) (%)	77	65
Matéria orgânica (%)	3,5	2,2

Anteriormente à implantação do experimento, a área foi cultivada durante dois anos, com a sucessão trigo/soja em sistema plantio direto.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas principais, de 10 x 20 m, foram implantados 10 tratamentos: T1 - centeio (*Secale cereale* L) (C); T2 - aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) (A); T3 - ervilha forrageira (*Pisum sativum* subesp. *arvense*) (EF); T4 - nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg) (NF); T5 - centeio + ervilha forrageira (C + EF); T6 - centeio + nabo forrageiro (C + NF); T7 - centeio + ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.) (C + EC); T8 - aveia + nabo forrageiro (A + NF); T9 - aveia + ervilhaca (A + EC) e T10 – pousio (vegetação espontânea). Nas subparcelas, com dimensões de 6,67 x 5,0 m, foram avaliados seis tratamentos com aplicação de N no milho, sendo cinco com adubação na semeadura e cobertura (0, 50, 100, 150 e 200% da recomendação de N ao milho) e um apenas com adubação de cobertura. As doses de N utilizadas nos seis tratamentos (Tabela 2.2), tendo

como fonte a uréia, foram estabelecidas de acordo com a recomendação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004). No tratamento com aplicação de N somente em cobertura, a dose utilizada foi aquela recomendada para o milho, descontando-se a quantidade de N aplicada na semeadura.

**Tabela 2.2** – Doses de N utilizadas nos diferentes tratamentos, no milho cultivado em sucessão às plantas de cobertura e ao pousio.

Cultura antecessora	Doses de N			
	Semeadura	Cobertura	Total	
-----kg ha <sup>-1</sup> -----				
Ervilha forrageira e Nabo forrageiro	0	0	0	(0%) <sup>(1)</sup>
	15	47,5	62,5	(50%)
	0	110	110	(C) <sup>(3)</sup>
	15	110	125	(100%)
	15	172,5	187,5	(150%)
Consórcios (C+EF, C+N, C+E, A+N, A+E) <sup>(2)</sup> e Pousio	0	0	0	(0%)
	30	37,5	67,5	(50%)
	0	105	105	(C) <sup>(3)</sup>
	30	105	135	(100%)
	30	172,5	202,5	(150%)
Aveia e Centeio	30	240	270	(200%)
	0	0	0	(0%)
	30	42,5	72,5	(50%)
	0	115	115	(C) <sup>(3)</sup>
	30	115	145	(100%)
	30	187,5	217,5	(150%)
	30	260	290	(200%)

<sup>(1)</sup> Percentagem da dose recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004). <sup>(2)</sup> C = centeio; EF = ervilha forrageira; N = nabo forrageiro; E = ervilhaca; A = aveia. <sup>(3)</sup> Dose recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004), somente em cobertura.

Nos tratamentos com plantas de cobertura em cultura pura, a quantidade de sementes



utilizada foi de 70 kg ha<sup>-1</sup> no centeio, 80 kg ha<sup>-1</sup> na aveia, 70 kg ha<sup>-1</sup> na ervilha e 20 kg ha<sup>-1</sup> no nabo. Para os tratamentos com consórcio, utilizou-se metade da quantidade de sementes utilizada em cultura pura. Nos tratamentos com ervilhaca, a quantidade de sementes utilizada foi de 40 kg ha<sup>-1</sup>. A semeadura de todas as espécies foi mecanizada, com semeadora para plantio direto e sem adição de fertilizantes, utilizando-se o espaçamento de 17 cm ente linhas. Nos tratamentos com consórcio, procedeu-se a mistura das sementes previamente à semeadura, obedecendo-se a proporção de sementes utilizada para cada cultura.

Aos 120 dias da semeadura, quando as plantas de nabo e de ervilha estavam em pleno florescimento, o centeio no início do florescimento, a aveia no estágio de emborrachamento e a ervilhaca ainda sem a presença de flores, procedeu-se a coleta das plantas para a avaliação de matéria seca (MS) e acúmulo de C e N. O material coletado foi submetido à secagem em estufa à 65°C até peso constante, pesado, moído em triturador de forragens, subamostrado e moído novamente em moinho Willey equipado com peneira de 40 mesh. Antes de ser analisado o material foi moído novamente em moinho com peneira de 1 mm. No material seco e moído das plantas de cobertura e das plantas invasoras do pousio foram determinadas as concentrações de N total e C orgânico, em um Auto-analisador Elementar modelo Flash EA 1112. As quantidades de C, N e MS adicionadas são mostradas na tabela 2.1.

Seis dias após a coleta, procedeu-se o manejo das plantas de cobertura através de dessecação com herbicida a base de Glifosato e posterior rolagem. Após a rolagem, foi efetuada a divisão das parcelas principais para a implantação dos tratamentos das subparcelas.

A semeadura do milho (híbrido Pioneer 30F53) foi realizada sobre os resíduos culturais das plantas de cobertura com semeadora mecanizada para plantio direto, sete dias após a dessecação e no mesmo dia da rolagem. O espaçamento utilizado foi de 0,7 m entre linhas, com uma população final de aproximadamente 72.000 plantas ha<sup>-1</sup>. A adubação fosfatada e potássica foi a mesma para todos os tratamentos, nas doses de 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 60 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O, estabelecidas de acordo com a recomendação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004). A fonte de nutrientes utilizada foi um fertilizante formulado (0-20-20).

Nos tratamentos com adubação nitrogenada de base (semeadura), ela foi aplicada manualmente, na superfície do solo, junto à linha de semeadura logo após a mesma, nas doses indicadas na tabela 2.2. O restante do N de cada dose foi parcelado em duas aplicações em cobertura, realizadas manualmente aos 42 e 66 dias após a semeadura.

**Tabela 2.3** – Matéria seca, carbono e nitrogênio adicionados e relação C/N das plantas de cobertura e das plantas invasoras presentes no tratamento em pousio.

Tratamento		MS	C	N	C/N
		-----kg ha <sup>-1</sup> -----			
Centeio	-	4.073,5	1.830,4	53,5	34,2
Aveia	-	3.292,9	1.457,0	54,1	27,0
Ervilha	-	5.452,6	2.403,5	175,8	13,7
Nabo	-	8.261,7	3.401,5	205,0	16,6
Centeio	Centeio	1.722,4	769,7	35,8	21,5
+	Ervilha	4.257,8	1.909,2	129,5	14,7
Ervilha	Total	5.980,2	2.678,9	165,3	15,5
Centeio	Centeio	934,2	409,8	16,9	24,2
+	Nabo	6.902,6	2.876,9	168,6	17,1
Nabo	Total	7.836,8	3.286,7	185,5	18,9
Centeio	Centeio	2.264,8	1.000,0	40,4	24,7
+	Ervilhaca	2.450,5	1.056,1	92,7	11,4
Ervilhaca	Total	4.715,3	2.056,1	133,1	17,2
Aveia	Aveia	896,4	377,8	19,1	19,8
+	Nabo	6.241,8	2.640,3	146,9	18,0
Nabo	Total	7.138,2	3.018,1	166,0	15,7
Aveia	Aveia	1.574,5	686,1	34,5	19,9
+	Ervilhaca	2.180,1	947,2	82,1	11,5
Ervilhaca	Total	3.754,6	1.633,3	116,6	14,4
Pousio	-	736,22	325,4	15,12	21,5

No pendoamento do milho procedeu-se a coleta de folhas em todos os tratamentos, para avaliar o teor de N total nas mesmas. Para tal, coletou-se a primeira folha oposta e abaixo da espiga de quatro plantas distribuídas aleatoriamente dentro da área útil de cada parcela, num total de quatro folhas por parcela, as quais foram reunidas em uma amostra única. Após a coleta, o material foi levado à estufa à 65°C até peso constante, pesado, moído em moinho Willey equipado com peneira de 40 mesh. No material moído foi analisado o teor de N total a partir de oxidação úmida de 0,2g de tecido vegetal, na presença de ácido sulfúrico

concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  18M), peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), mistura de digestão (sulfato de sódio + sulfato de cobre) e calor. O N total dos extratos resultantes da digestão foi determinado em destilador de arraste de vapor semimicro-Kjeldhal (TEDESCO et al., 1995).

Ao final do ciclo do milho foram coletadas quatro plantas inteiras por subparcela, a fim de quantificar a produção de MS da parte aérea (folhas + colmos) e de grãos e a concentração de N total de ambos. Após a secagem da parte aérea e dos grãos em estufa à  $65^\circ\text{C}$  até peso constante procedeu-se a moagem do material e a determinação do teor de N total conforme procedimentos descritos anteriormente para as folhas de milho. Os sabugos foram descartados por considerar que a sua concentração em N é extremamente baixa.

A partir das quantidades de N acumuladas pela parte aérea e grãos, nos tratamentos com plantas de cobertura sem a aplicação de N e no tratamento em pousio com a aplicação de  $135 \text{ kg ha}^{-1}$  de N-uréia, estimou-se a recuperação do N pelo milho. Para tal, as quantidades de N acumuladas pelo milho nos tratamentos com plantas de cobertura sem aplicação de N e no tratamento em pousio com a aplicação de  $135 \text{ kg ha}^{-1}$  de N-uréia, foram subtraídas da quantidade do N acumulado pelo milho no tratamento em pousio, sem a aplicação de N. Por esse método considerar que o N das plantas de cobertura e o N-uréia não influem na taxa de mineralização do N da matéria orgânica do solo, foi chamado de recuperação “aparente” do N aplicado. Essa estimativa foi calculada através de uma equação proposta por Mitchell ; Tell (1977):

$$\text{RAN} = [(\text{NT} - \text{NP})/\text{Nap}] \times 100$$

onde: RAN = recuperação aparente do N aplicado; NT = quantidade de N acumulado pelo milho nos tratamentos com plantas de cobertura, sem aplicação de N, ou no pousio com a aplicação de  $135 \text{ kg ha}^{-1}$  de N-uréia; NP = quantidade de N acumulado pelo milho no tratamento em pousio sem a aplicação de N e Nap = quantidade de N aplicado via uréia ou plantas de cobertura.

Para avaliar a produtividade de grãos de milho, foram colhidas, manualmente, 25 plantas de cada uma das duas fileiras centrais de cada subparcela, totalizando 50 plantas por tratamento. Após, realizou-se a debulha, pesagem, determinação de umidade e correção da mesma para 13%.

Os dados obtidos no presente trabalho foram submetidos à análise de variância. Analisou-se, primeiramente, a interação entre os fatores plantas de cobertura e doses de N, tanto para o acúmulo de N nas folhas no pendoamento e da planta inteira na colheita, quanto para a produtividade. Nos casos onde a interação foi significativa, procedeu-se análise de

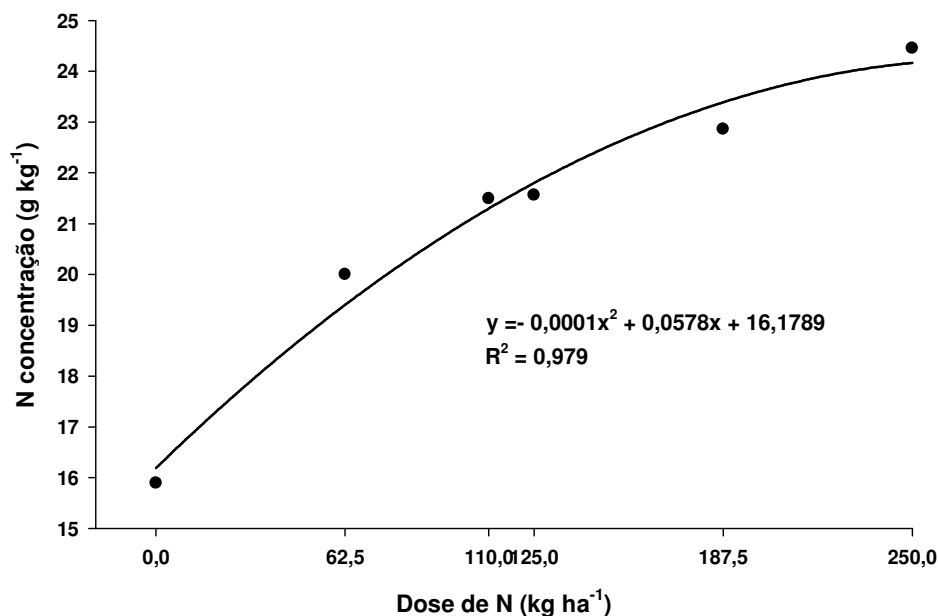
regressão para o fator doses de N em cada tratamento com plantas de cobertura. Por outro lado, quando a interação não foi significativa, realizou-se teste de médias para o fator plantas de cobertura e regressão para o fator doses de N. Para a análise de regressão, adotou-se como critério para a escolha do modelo a significância dos coeficientes da regressão e a magnitude dos coeficientes de determinação e as equações foram ajustadas pelas médias das observações. Para o teste de médias, utilizou-se o teste de Tukey a 5%.

### **3.4 Resultados e discussão**

#### **3.4.1 Nitrogênio acumulado pelo milho**

Para a concentração de N nas folhas de milho, no pendoamento, nos tratamentos com ervilha forrageira e nabo em cultivo solteiro e nos tratamentos em consórcio e pousio, a interação entre os fatores doses de N e espécies de cobertura não foi significativa. Analisando a concentração de N nas folhas, nas diferentes doses de N utilizadas, para esses tratamentos, o modelo que melhor se ajustou aos valores observados foi o quadrático (Figura 2.1 e 2.2). As maiores concentrações de N foram obtidas com a maior dose de N aplicada, para ambos os tratamentos. Comparando as concentrações de N nas folhas do milho, no pendoamento, nas doses de N-uréia recomendadas pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC (2004), somente em cobertura e recomendação total, percebe-se que a resposta das mesmas foi similar para os tratamentos contendo nabo e ervilha forrageira em cultivo solteiro, bem como, para os consórcios desses com poáceas e de poáceas com ervilhaca (Figura 2.1 e 2.2). Tal resultado corrobora com a hipótese de Giacomini (2001), onde o autor comenta que no milho cultivado após ervilhaca solteira ou consorciada à aveia, poderá ser suprimida a aplicação de N na semeadura.

Comparando os tratamentos contendo ervilha forrageira e nabo forrageiro em cultivo solteiro, a concentração de N não diferiu significativamente na média das doses de N-uréia aplicadas (Tabela 2.4), embora o nabo forrageiro tenha adicionado 16,6 % a mais N pela sua fitomassa do que a ervilha forrageira (Tabela 2.3). A relação C/N mais baixa da ervilha forrageira (13,7) comparada a do nabo (16,6) pode ter contribuído para esse resultado.



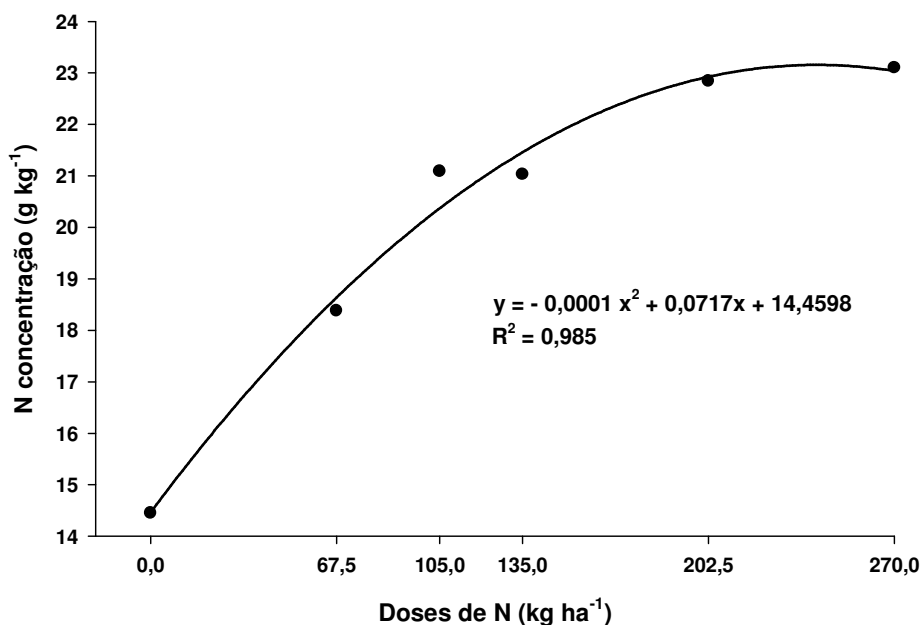
**Figura 2.1** - Concentração de N nas folhas do milho no pendoamento, cultivado em sucessão ao nabo forrageiro e ervilha forrageira, nas diferentes doses de N aplicadas no milho. A dose 110 kg ha<sup>-1</sup> refere-se ao tratamento em que foi aplicada a dose recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004), somente em cobertura. A interação entre os fatores doses de N e espécies de cobertura não foi significativa.

**Tabela 2.4** - Concentração de N nas folhas do milho no pendoamento, cultivado em sucessão ao nabo forrageiro e ervilha forrageira.

Tratamento	Concentração de N na folha
	-----g kg <sup>-1</sup> -----
Ervilha forrageira	21,16 a <sup>(1)</sup>
Nabo forrageiro	20,92 a

<sup>(1)</sup>Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey 5%.

Nos tratamentos com as espécies de plantas de cobertura consorciadas e no pousio, as maiores concentrações de N foram obtidas nos tratamentos contendo plantas de cobertura, diferindo significativamente e superando o pousio em 5,5 % em média (Tabela 2.5). Tal resultado evidencia a importância da inclusão de leguminosas e brassicáceas, em sistemas de culturas onde se cultiva milho, no fornecimento de N ao mesmo.



**Figura 2.2** - Concentração de N nas folhas do milho no pendoamento, cultivado em sucessão à plantas de cobertura consorciadas e pousio, nas diferentes doses de N aplicadas no milho. A dose 105 kg ha<sup>-1</sup> refere-se ao tratamento em que foi aplicada a dose recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004), somente em cobertura. A interação entre os fatores doses de N e espécies de cobertura não foi significativa.

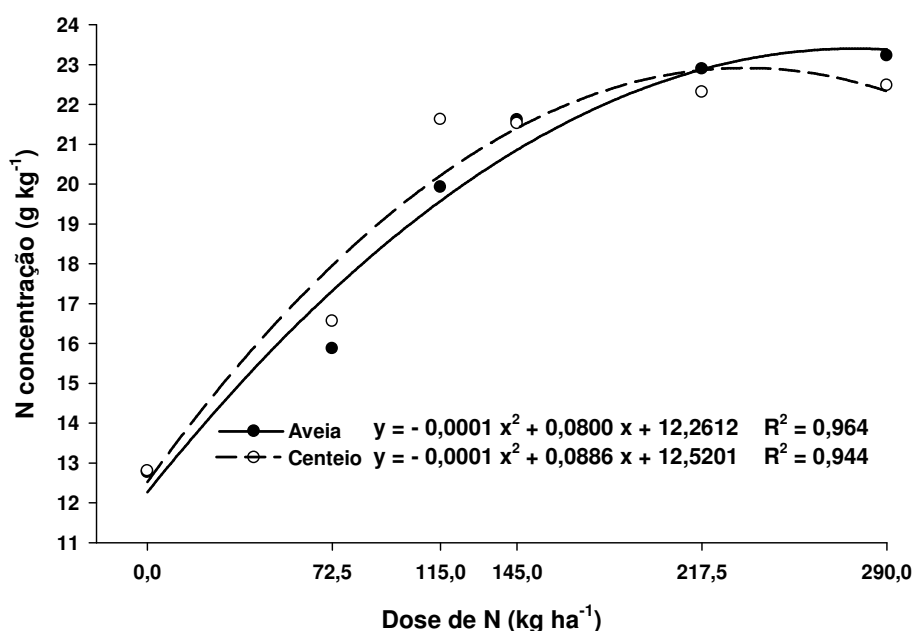
**Tabela 2.5** - Concentração de N nas folhas do milho no pendoamento, cultivado em sucessão à plantas de cobertura consorciadas e pousio.

Tratamento	Concentração de N na folha
	-----g kg <sup>-1</sup> -----
Centeio + ervilha forrageira	19,86 b <sup>(1)</sup>
Centeio + nabo forrageiro	20,25 ab
Centeio + ervilhaca	21,19 a
Aveia + nabo forrageiro	20,07 ab
Aveia + ervilhaca	20,26 ab
Pousio	19,26 b

<sup>(1)</sup>Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey 5%.

Já para os tratamentos contendo poáceas, a interação entre os fatores doses de N e plantas de cobertura foi significativa. Da mesma forma como para os demais tratamentos, o melhor modelo que se ajustou aos valores observados para as doses de N-uréia aplicadas foi o

quadrático (Figura 2.3). O comportamento quanto à concentração de N nas folhas do milho cultivado após o centeio e aveia foi similar em praticamente todas as doses. Tal resultado pode ser explicado pelo fato de as quantidades de N adicionadas pelos resíduos culturais da aveia ( $54,1 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e do centeio ( $53,5 \text{ kg ha}^{-1}$ ) também ter sido similares, embora a relação C/N do centeio foi 26,6 % superior a da aveia.

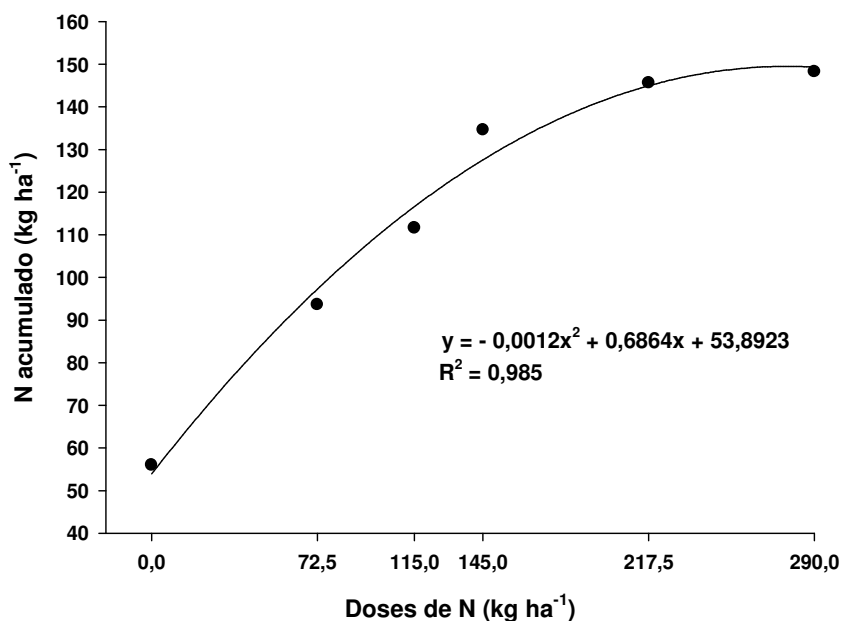


**Figura 2.3** - Concentração de N nas folhas do milho no pendoamento, cultivado em sucessão à aveia e centeio, nas diferentes doses de N aplicadas no milho. A dose  $115 \text{ kg ha}^{-1}$  refere-se ao tratamento em que foi aplicada a dose recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004), somente em cobertura. A interação entre os fatores doses de N e espécies de cobertura foi significativa.

Quanto aos resultados obtidos para o acúmulo de N pelo milho na colheita, a interação entre os fatores doses de N e plantas de cobertura somente foi significativa nos tratamentos envolvendo o consórcio entre as espécies e no pousio. Praticamente em todos os tratamentos, o modelo quadrático foi o mais significativo para a resposta do milho às doses de N-uréia aplicadas, com exceção do pousio, no qual o modelo linear foi o que mais se adaptou.

Nos tratamentos com o uso de aveia e centeio, as maiores respostas às doses de N-uréia foram obtidas até a dose recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo -

RS/SC (2004) (Figura 2.4), o que corrobora com a referida recomendação de N ao milho cultivado após poáceas. Assim como para a concentração de N nas folhas de milho, o acúmulo de N pelo milho cultivado após centeio e aveia foi similar não diferindo significativamente (Tabela 2.6). Esse resultado, também, pode ser explicado pela quantidade de N adicionada por essas duas espécies ter sido próximas (Tabela 2.3).



**Figura 2.4** - N acumulado pelo milho na colheita (planta inteira + grãos), cultivado em sucessão à aveia e centeio, nas diferentes doses de N aplicadas no milho. A dose 115 kg ha<sup>-1</sup> refere-se ao tratamento em que foi aplicada a dose recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004), somente em cobertura. A interação entre os fatores doses de N e espécies de cobertura não foi significativa.

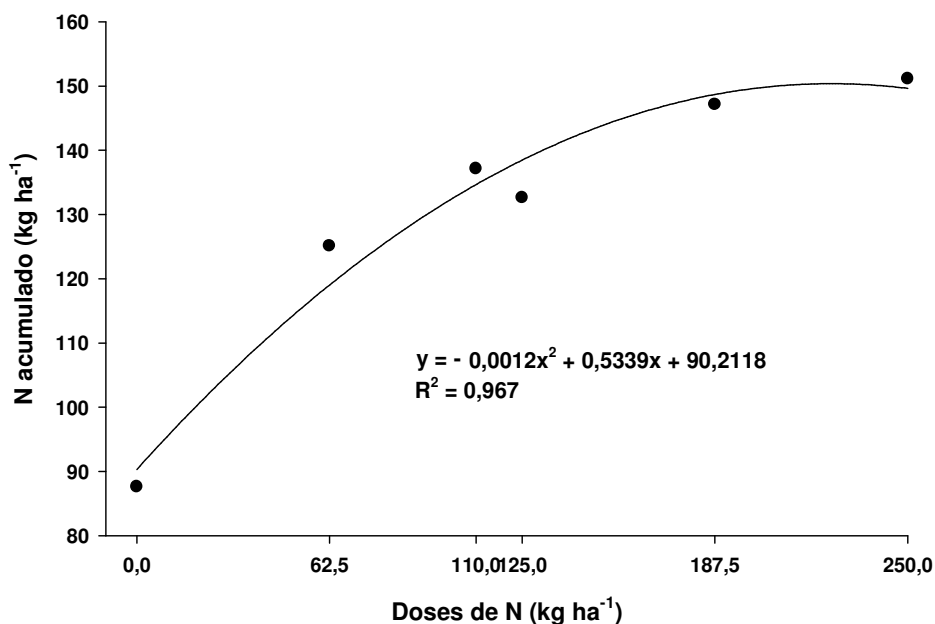
**Tabela 2.6** - N acumulado pelo milho na colheita (planta inteira + grãos), cultivado em sucessão à aveia e centeio.

Tratamento	N acumulado -----kg ha <sup>-1</sup> -----
Aveia	111,25 a <sup>(1)</sup>
Centeio	118,67 a

<sup>(1)</sup>Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey 5%.



O acúmulo de N pelo milho cultivado após a ervilha forrageira e o nabo também não diferiu significativamente, embora após o nabo, a quantidade acumulada tenha superado a ervilha forrageira em 7% (Tabela 2.7). A maior quantidade de N adicionada pelos resíduos culturais do nabo, 16,6 % superior (Tabela 2.3) é um parâmetro que provavelmente contribuiu para esse resultado. Resultado semelhante foi encontrado por Giacomini et al. (2004), onde o acúmulo de N pelo milho cultivado após a ervilhaca e nabo, embora sendo superior após ervilhaca, não diferiu significativamente. Assim, os autores concluem que o nabo situa-se em um patamar mais próximo da leguminosa solteira do que das poáceas. Analisando o acúmulo de N pelo milho cultivado após o nabo e ervilha forrageira, no tratamento sem aplicação de N-uréia, o acúmulo de N foi aproximadamente 60% maior (Figura 2.5), quando comparado ao mesmo tratamento com milho cultivado após às poáceas (Figura 2.4). Dessa forma, como comentado anteriormente, reafirma-se a importância da inclusão de leguminosas e brassicáceas nos sistemas de produção de milho, no fornecimento de N ao mesmo.



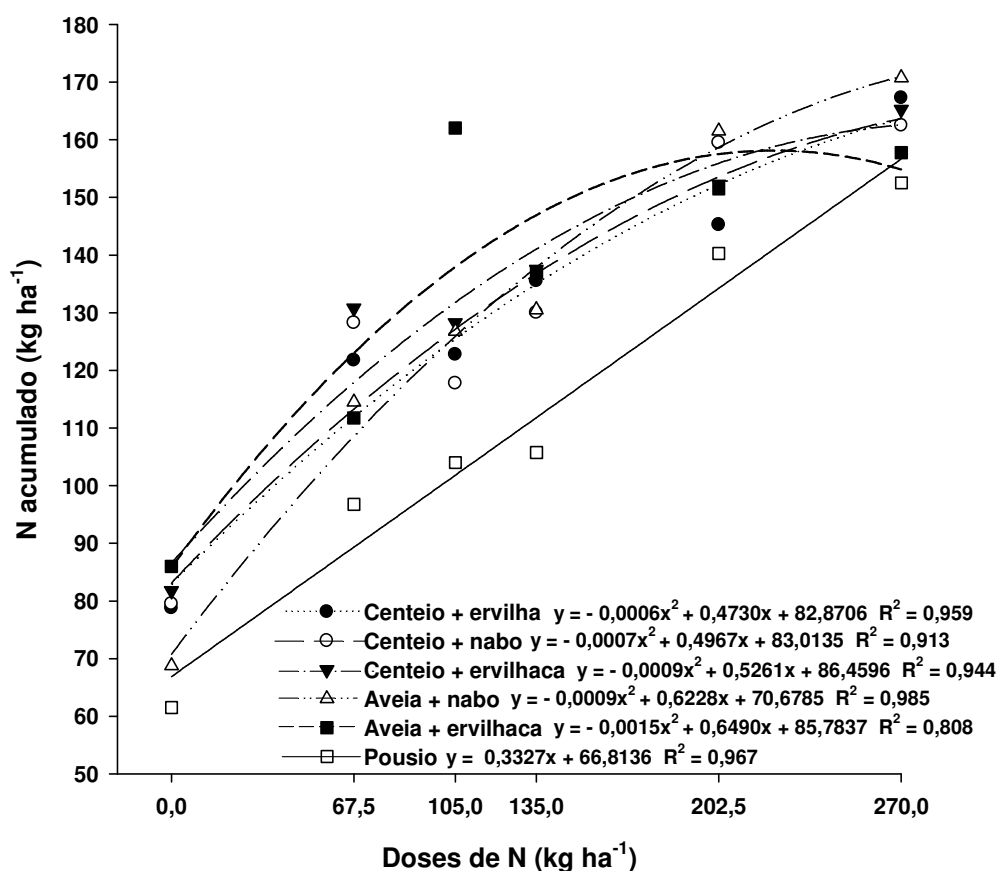
**Figura 2.5** - N acumulado pelo milho na colheita (planta inteira + grãos), cultivado em sucessão ao nabo forrageiro e ervilha forrageira, nas diferentes doses de N aplicadas no milho. A dose 110 kg ha<sup>-1</sup> refere-se ao tratamento em que foi aplicada a dose recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004), somente em cobertura. A interação entre os fatores doses de N e espécies de cobertura não foi significativa.

**Tabela 2.7** - N acumulado pelo milho na colheita (planta inteira + grãos), cultivado em sucessão ao nabo forrageiro e ervilha forrageira.

Tratamento	N acumulado -----kg ha <sup>-1</sup> -----
Ervilha forrageira	125,71 a <sup>(1)</sup>
Nabo forrageiro	134,54 a

<sup>(1)</sup>Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey 5%.

Para o consórcio entre plantas de cobertura, a interação entre os fatores doses de N e espécies de cobertura foi significativa. Os tratamentos contendo ervilhaca no consórcio, foram aqueles que proporcionaram, para praticamente todas as doses de N aplicadas, o maior acúmulo de N no milho (Figura 2.6).



**Figura 2.6** - N acumulado pelo milho na colheita (planta inteira + grãos), cultivado em sucessão às plantas de cobertura consorciadas e pousio, nas diferentes doses de N aplicadas no milho. A dose 105 kg ha<sup>-1</sup> refere-se ao tratamento em que foi aplicada a dose recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004), somente em cobertura. A interação entre os fatores doses de N e espécies de cobertura foi significativa.

Esse comportamento segue o observado para a concentração de N nas folhas do milho (Tabela 2.5). Tal resultado pode ser explicado pelo fato de o consórcio entre aveia e ervilhaca ter sido o que apresentou a menor relação C/N dos consórcios (14,4). Porém, o consórcio entre centeio e ervilhaca, apesar de apresentar uma relação C/N 3% superior e uma adição de N 29,5% inferior aos demais tratamentos (Tabela 2.3), proporcionou maior incremento de N na fitomassa do milho. A liberação mais rápida do N contido nos resíduos vegetais do nabo e da ervilha forrageira, logo após o manejo, que pode ter levado a maiores perdas de N e menor disponibilidade no período de maior demanda pelo milho, são fatores que podem ter condicionado esse comportamento.

O tratamento em pousio foi aquele que proporcionou menor acúmulo de N no milho, em todas as doses, quando comparado aos demais consórcios (Figura 2.6) e similar às poáceas (Figura 2.4). Além disso, apresentou resposta linear ao aumento na quantidade de N-uréia aplicada. A partir desse resultado, verifica-se, novamente, a importância da inclusão de espécies de cobertura de solo no outono/inverno, proporcionando proteção ao solo, adição e ciclagem de nutrientes, principalmente N.

### 3.4.2 Produtividade de grãos de milho

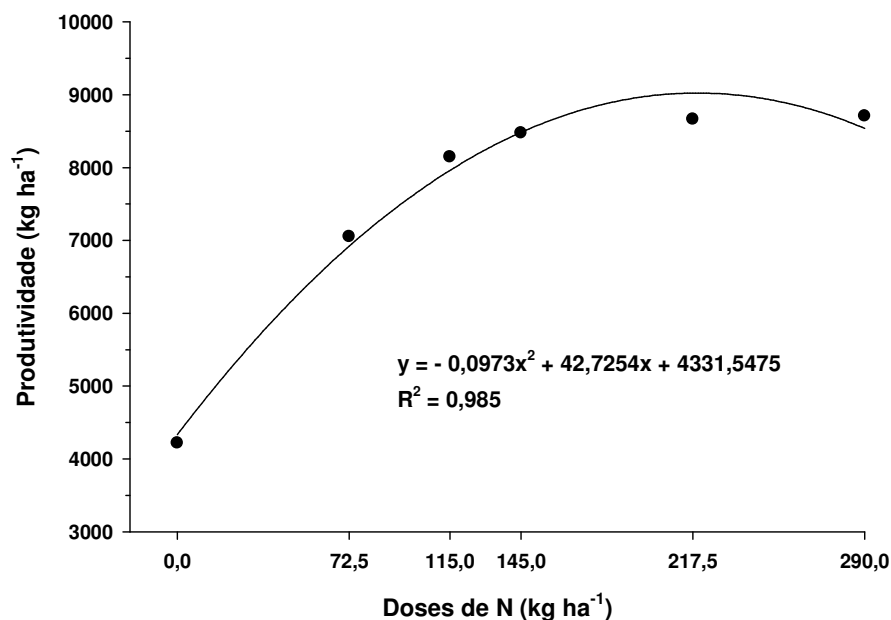
Na produtividade de grãos, não houve interação entre os fatores plantas de cobertura e doses de N. O melhor modelo que se ajustou aos valores observados para as doses de N foi o quadrático (Figura 2.7, 2.8 e 2.9).

A produtividade do milho após as poáceas, não diferiu significativamente, embora tenha sido 6,5 % superior no centeio (Tabela 2.8). Além disso, a mesma foi próxima à obtida após o tratamento em pousio (Tabela 2.10). Esse resultado corrobora com aqueles obtidos por Giacomoni et al. (2004), onde os autores encontraram quantidades de N mineral no solo similares após o pousio e aveia bem como a produtividade de grãos de milho cultivado após esses tratamentos não diferiu significativamente.

**Tabela 2.8** - Produtividade de grãos de milho, cultivado em sucessão à aveia e ao centeio.

Tratamento	Produtividade
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----
Aveia	7304,78 a <sup>(1)</sup>
Centeio	7783,34 a

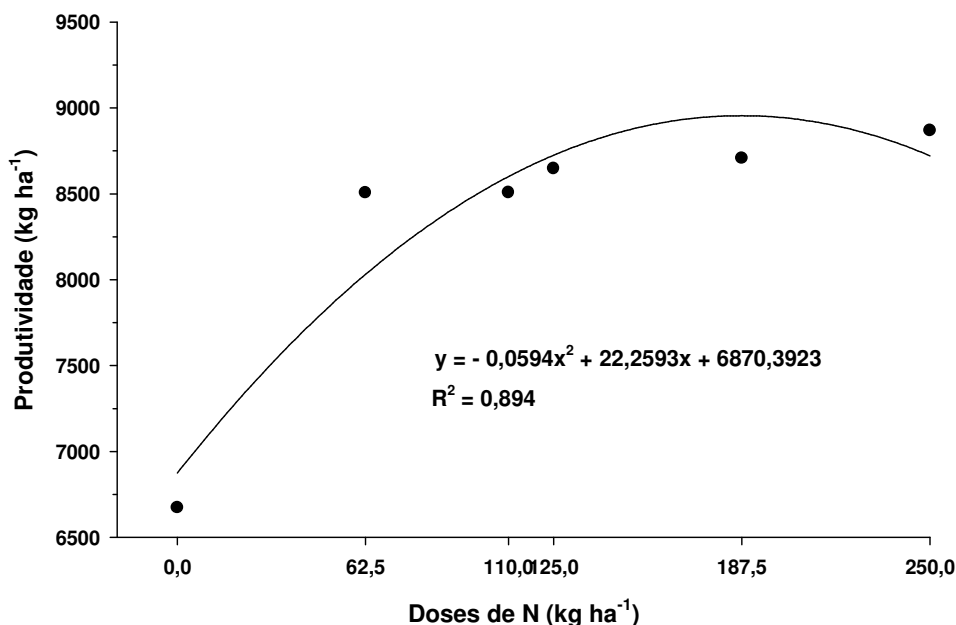
<sup>(1)</sup>Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey 5%.



**Figura 2.7** - Produtividade de grãos de milho, cultivado em sucessão à aveia e centeio, nas diferentes doses de N aplicadas no milho. A dose 115 kg ha<sup>-1</sup> refere-se ao tratamento em que foi aplicada a dose recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004), somente em cobertura. A interação entre os fatores doses de N e espécies de cobertura não foi significativa.

No tratamento sem a aplicação de N-uréia, o nabo, ervilha forrageira, os consórcios e o pousio, superaram as poáceas em aproximadamente 50 % na produtividade de grãos de milho (Figura 2.7, 2.8 e 2.9). Tal resultado deve-se a capacidade das leguminosas em adicionar N ao solo através da fixação biológica de nitrogênio e a grande capacidade em ciclar N do solo pelo nabo. Avaliando a produtividade de grãos de milho cultivado após aveia e ervilhaca, Giacomini et al. (2004), na média de 3 anos de experimento, encontraram produtividades 40,7% superiores no milho cultivado após a leguminosa. Não obstante, Zotarelli et al. (2009), avaliando o desenvolvimento e produção de milho doce, cultivado após centeio e ervilhaca em cultura pura e consorciadas, obtiveram maiores produtividades naqueles tratamentos em que a leguminosa estava presente, principalmente em baixas doses de N aplicadas no milho. Além disso, Silva et al. (2007), encontraram produtividades de milho, cultivado após ervilhaca e nabo, em cultivo solteiro, 105 e 97% superiores a aveia, respectivamente, na ausência de adubação nitrogenada em cobertura no milho. A partir desses

resultados, ressalta-se, novamente, a importância da inclusão de leguminosas e brassicáceas no período invernal antecedendo o milho.



**Figura 2.8** - Produtividade de grãos de milho, cultivado em sucessão à ervilha forrageira e nabo forrageiro, nas diferentes doses de N aplicadas no milho. A dose 110 kg ha<sup>-1</sup> refere-se ao tratamento em que foi aplicada a dose recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004), somente em cobertura. A interação entre os fatores doses de N e espécies de cobertura não foi significativa.

**Tabela 2.9** - Produtividade de grãos de milho, cultivado em sucessão à ervilha forrageira e nabo forrageiro.

Tratamento	Produtividade
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----
Ervilha forrageira	8050,60 b <sup>(1)</sup>
Nabo forrageiro	8585,02 a

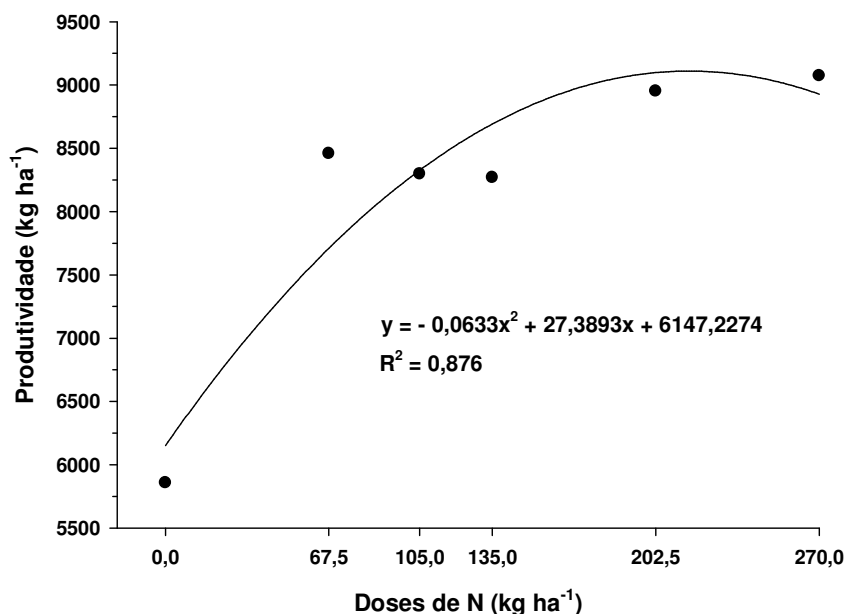
<sup>(1)</sup>Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey 5%.

No milho cultivado após o nabo forrageiro e ervilha forrageira, a produtividade diferiu significativamente, sendo 6,6 % superior no tratamento contendo a crucífera (Tabela 2.9). Esse resultado difere daquele encontrado por Giacomini et al. (2004), onde os autores encontraram, em solo arenoso, produtividades de milho cultivado após o nabo intermediária àquela obtida após a ervilhaca e aveia solteiras. Por outro lado, Hernani et al. (1995),

trabalhando em solos de Cerrado, com características mais próximas das do solo do presente estudo, encontraram produtividades de milho equivalentes no cultivo após nabo e ervilhaca peluda.

Nos consórcios entre as espécies de cobertura, a produtividade não diferiu significativamente entre os tratamentos contendo ervilhaca e nabo consorciados com poáceas (Tabela 2.10), superando as poáceas em cultivo solteiro e o pousio em 11,2 e 14,6% respectivamente em média. Já a produtividade do milho após o pousio foi, na média de todos tratamentos, também, 11,2% inferior que após as espécies de cobertura. Dessa forma, ressalta-se novamente a importância de manter o solo cultivado no período invernal.

Embora tenha diferido significativamente dos demais consórcios, a produtividade do milho após o tratamento contendo centeio e ervilha forrageira foi apenas 5% inferior, porém situou-se em um patamar intermediário à produtividade do milho obtida após essas duas culturas solteiras. Com isso, essas duas espécies, até então pouco usadas como plantas de cobertura no Sul do Brasil, constituem-se em opções promissoras para uma boa rotação de culturas que é premissa básica do sistema plantio direto.



**Figura 2.9** - Produtividade de grãos de milho, cultivado em sucessão à plantas de cobertura consorciadas e pousio, nas diferentes doses de N aplicadas no milho. A dose 105 kg ha<sup>-1</sup> refere-se ao tratamento em que foi aplicada a dose recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004), somente em cobertura. A interação entre os fatores doses de N e espécies de cobertura não foi significativa.

**Tabela 2.10** - Produtividade de grãos de milho, cultivado em sucessão à plantas de cobertura consorciadas e pousio.

Tratamento	Produtividade
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----
Centeio + ervilha forrageira	8000,30 ab <sup>(1)</sup>
Centeio + nabo forrageiro	8469,66 a
Centeio + ervilhaca	8422,88 a
Aveia + nabo forrageiro	8292,68 a
Aveia + ervilhaca	8394,11 a
Pousio	7328,15 b

<sup>(1)</sup>Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey 5%.

Assim como para a concentração de N nas folhas no pendoamento e acúmulo de N pelo milho na colheita, a produtividade de grãos foi próxima nas doses de N-uréia recomendadas pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC (2004), somente em cobertura e recomendação total, para os tratamentos contendo nabo e ervilha forrageira em cultivo solteiro, bem como, para os consórcios desses com poáceas e de poáceas com ervilhaca (Figura 2.8 e 2.9). Sendo assim, esse resultado comprova a hipótese inicial do presente trabalho e a de Giacomini (2001), onde é possível, nesses casos, suprimir a aplicação de N na semeadura. Através disso, proporciona-se uma diminuição no custo de produção aos produtores de milho, bem como, um menor impacto ambiental advindo da fertilização nitrogenada convencional. Além disso, Strieder et al. (2006), concluíram, em trabalho avaliando diferentes épocas de aplicação da primeira dose em cobertura no milho, que é possível retardar a época de aplicação da primeira dose de N em cobertura do estágio de três para cinco folhas expandidas, quando cultivado em sucessão à ervilhaca comum ou ao nabo forrageiro.

Não obstante, analisando a concentração de N nas folhas do milho, o acúmulo de N total na fitomassa na colheita e a produtividade de grãos, no tratamento sem a aplicação de N-uréia, em sucessão a plantas de cobertura consorciadas, os resultados foram intermediários aos obtidos com poáceas, brassicácea e leguminosa em cultivo solteiro. Assim, o consórcio entre plantas de cobertura, em sistemas de produção de milho, proporciona a combinação entre o fornecimento de N ao mesmo e a proteção do solo aos agentes erosivos.

### 3.4.3 Recuperação aparente de N pelo milho

Analisando a recuperação aparente de N pelo milho após as plantas de cobertura em cultivo solteiro, observa-se que após o nabo e a ervilha forrageira a mesmo superou àquela encontrado pelas poáceas (Tabela 2.11). Embora a mesma tendência tenha sido encontrada por Giacomini et al. (2004), os valores do presente trabalho foram bem menores do que os encontrados pelos autores, onde a aveia, a ervilhaca e o nabo recuperaram 14,2 ; 46,7 e 32,6 %, na média de dois anos, respectivamente. No entanto, Da Ros (1993), encontrou recuperação aparente do N pelo milho de apenas 15% após ervilhaca e atribuiu tal resultado ao déficit hídrico ocorrido durante o ciclo da cultura. Os períodos de déficit hídrico, ocorridos durante o ciclo da cultura do milho, podem explicar a baixa recuperação do N adicionado pelas plantas de cobertura, pelo milho, nesse estudo, pela limitação na absorção de N pela cultura.

**Tabela 2.11** - Recuperação aparente de N pelo milho, nos tratamentos com plantas de cobertura e no tratamento em pousio com a aplicação de 135 kg ha<sup>-1</sup> de N-uréia, considerando as quantidades acumuladas de N pelo milho na colheita.

Tratamentos	N adicionado	N acumulado	Recuperação de N <sup>(1)</sup>
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----		-----%-----
Centeio	53,5	55,77	-11,25 c <sup>(2)</sup>
Aveia	54,1	56,61	-4,00 bc
Ervilha forrageira	175,8	88,23	13,75 abc
Nabo forrageiro	205,0	87,07	12,75 abc
Centeio + ervilha	165,3	78,95	10,50 abc
Centeio + nabo	185,5	79,56	10,25 abc
Centeio + ervilhaca	133,1	81,93	14,75 abc
Aveia + nabo	166,0	68,80	3,75 abc
Aveia + ervilhaca	116,6	86,00	24,00 ab
Pousio + 135 N	135	105,52	32,25 a

<sup>(1)</sup> Recuperação aparente de N = RAN = [(NT - NP)/Nap] x 100 onde: RAN = recuperação aparente do N aplicado; NT = quantidade de N acumulado pelo milho nos tratamentos com plantas de cobertura, sem aplicação de N, ou no pousio com a aplicação de 135 kg ha<sup>-1</sup> de N-uréia; NP = quantidade de N acumulado pelo milho no tratamento em pousio sem a aplicação de N e Nap = quantidade de N aplicado via uréia ou plantas de cobertura.

<sup>(2)</sup> Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey 5%.



Durante o ciclo da cultura do milho, o mesmo não recuperou o N adicionado pelas poáceas (Tabela 2.11). Tal resultado pode ser atribuído à elevada relação C/N desses resíduos culturais, principalmente do centeio, a qual proporcionou imobilização líquida de N pelos microrganismos decompositores diminuindo a disponibilidade durante os períodos de maior demanda pelo milho.

A recuperação aparente de N pelo milho, após os consórcios, foi intermediária às espécies em cultivo solteiro (Tabela 2.11). As quantidades de N adicionadas pelos resíduos culturais das espécies de cobertura consorciadas, as quais foram também intermediárias aos cultivos solteiros, podem explicar esse resultado. Além disso, Giacomini et al. (2004), comentam que a inclusão de poáceas no consórcio pode proporcionar uma menor liberação de N, além de ocorrer imobilização de N pelas poáceas consorciadas.

Embora a recuperação de N pelo milho cultivado após as espécies de cobertura tenha sido baixa, o reflexo em produtividade foi expressivo. Vale salientar, de acordo com Baldock et al. (1981) e Giacomini et al. (2004) que o efeito benéfico das plantas de cobertura sobre o milho não está somente relacionado com o fornecimento de N, mas também, pela melhoria de diversos atributos do solo, como a umidade, temperatura, aeração, além de controlar pragas e doenças através da rotação de culturas.

### **3.5 Conclusões**

- 1) A inclusão do centeio e ervilha forrageira apresentou comportamento similar à aveia e ervilhaca, nos parâmetros avaliados, constituindo-se em boas opções para a rotação de culturas no período invernal.
- 2) A adubação nitrogenada na semeadura do milho poderá ser suprimida quando o mesmo for cultivado após o nabo, ervilha forrageira e consórcio desses com poáceas.
- 3) O nabo e ervilha forrageira, tanto em cultura pura como quando consorciadas com aveia e centeio, proporcionaram maiores produtividades ao milho do que o pousio e as poáceas em cultivo solteiro.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Apesar de o plantio direto estar amplamente difundido nas áreas agrícolas do Sul do Brasil, existem, ainda, muitos desafios a serem vencidos. A utilização de plantas de cobertura é um desses desafios e, apesar de vários trabalhos comprovarem sua eficiência, o seu manejo ainda é incipiente.

O presente trabalho demonstrou que o nabo e a ervilha forrageira, tanto consorciadas com poáceas, como em cultivo solteiro, podem ser usadas em rotação à aveia em cultivo solteiro que é a espécie de cobertura predominante nas áreas agrícolas do Planalto do Rio Grande do Sul. Além disso, os resultados desse estudo evidenciaram o potencial do centeio e da ervilha forrageira para uso no período invernal. Com isso, aumentaram as alternativas de espécies de plantas de cobertura para rotação de culturas, premissa básica para a sustentabilidade do plantio direto.

A maior parte dos trabalhos realizados no Rio Grande do Sul até o momento, utilizando plantas de cobertura de solo, foram conduzidos em solos mais arenosos, onde, o comportamento do nabo situou-se em patamares intermediários ao das leguminosas e poáceas em cultivo solteiro. Porém, em condições de solos mais argilosos e com elevados teores de matéria orgânica, como é o caso do norte do estado, o nabo, apesar de não fixar  $N_2$  atmosférico como as leguminosas, apresentou grande capacidade de ciclagem do N. Com isso, devido a maior facilidade na produção de sementes e menor custo na aquisição das mesmas quando comparado à espécie como a ervilhaca, essa brassicácea constitui uma importante opção aos agricultores do Planalto.

Outro aspecto a salientar no presente trabalho refere-se à importância da consorciação de leguminosas ou crucíferas com poáceas. Com isso, maximiza-se a eficiência da utilização de plantas de cobertura, combinando o fornecimento de N com a proteção do solo.

Para o sucesso do manejo de plantas de cobertura, nas áreas agrícolas gaúchas, é imprescindível a participação efetiva de uma assistência técnica qualificada, a fim de conscientizar e orientar os agricultores sobre a importância desse manejo para um plantio direto sustentável do ponto de vista ambiental e que possibilite incrementar a produtividade dos cultivos agrícolas. Para tal, a realização de dias de campo, áreas demonstrativas, entre outras, são estratégias importantes para consolidar esse manejo.

Apesar dos avanços nessa área, a pesquisa necessita ainda avaliar com mais detalhe aspectos como:

- Relacionar a composição bioquímica dos resíduos vegetais com a decomposição e liberação de nutrientes dos mesmos.
- Avaliar as possíveis perdas de nitrogênio durante a decomposição das plantas de cobertura, principalmente por desnitrificação, lixiviação e volatilização de amônia.
- Maximizar o aproveitamento do N adicionado pelas espécies de cobertura, diminuindo suas perdas para o ambiente.
- Realizar estudos de viabilidade econômica da utilização das plantas de cobertura.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. Plantas de cobertura de solo em sistemas agrícolas. In: ALVES, B. J. R. et al. (ed). **Manejo de sistemas agrícolas impacto no seqüestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre: Genesis, 2006. cap. 3, p. 59-79.

ALLISON, F. E. The fate of nitrogen applied to soils. **Adv. Agron.** v. 18, p. 219-258, 1966.

AMADO, T. J. C. ; MIELNICZUK, J. ; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 179-189, 2000.

\_\_\_\_\_ et al. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 189-197, 2001.

\_\_\_\_\_ ; 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.

ARGENTA, G. et al. Potencial de rendimento de grãos de milho em dois ambientes e cinco sistemas de produção. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 4, n. 12, p. 27-34, 2003.

ASKEGAARD, M. ; ERIKSEN, J. Growth of legume and nonlegume catch crops and residual-N effects in spring barley on coarse sand. **Journal of plant nutrition and soil science**, Weinheim, v. 170, n. 6, p. 773-780, Dec. 2007.

BALDOCK, J. O. et al. Legume and mineral N effects on crop yields in several crop sequences in the upper Mississippi Valley. **Agronomy Journal**, Madison, v. 73, p. 885-890, 1981.

BASSO, C. J. ; REINERT, D. J. Variação da agregação induzida por plantas de cobertura de solo no inverno e plantio direto de milho em um solo podzólico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 567-571, 1998.

BASSO, C. J. **Épocas de aplicação de nitrogênio para o milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de solo, no sistema plantio direto**. 1999. 91 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1999.

BAYER, C. ; AMARAL, A. S. do. Amenização da acidez de um Latossolo argiloso por extratos aquosos de plantas de cobertura de inverno. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 2, p. 88-96, 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisas Pedológicas. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. 431p. (Boletim Técnico, 30).

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 7, p. 375-470.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 455-462, 2008.

CARVALHO, M. A. C. de et al. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n.1, p. 47-53, jan. 2004.

CARVALHO, A. M. de et al. Decomposição de resíduos vegetais em latossolo sob cultivo de milho e planats de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2831-2838, 2008. Número especial.

CERETTA, C. A. et al. Produção e decomposição de fitomassa de planats inverniais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 49-54, 2002.

CLARK, A. J. et al. Kill date of vetch, rye, and a vetch-rye mixture: II. Soil moisture and corn yeald. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, p. 434-441, May/June, 1997.

\_\_\_\_\_ et al. Effects of a grass-selective herbicide in a vetch-rye cover crop system on nitrogen management. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, p. 36-42, Jan/Fev., 2007.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 394 p.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 06 dez. 2009.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 481-489, 2008.

\_\_\_\_\_ et al. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 2, p. 161-168, fev. 2005.

DA ROS, C. O. **Plantas de inverno para cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto**. 1993. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 1993.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F. X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, p. 761-773, 1985.

EMYGDIO, B. M.; PORTO, M. P.; THEISEN, G. (Org.). **Indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul - 2008/2009**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. 169 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2006. 306 p.

FERNÁNDEZ, R. O. et al. Dynamics of residue decomposition in the field in a dryland rotation under Mediterranean climate conditions in southern Spain. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 79, n. 2, p. 243-253, 2007.

GAMA-RODRIGUES, A. C. da ; GAMA-RODRIGUES, E. F. da ; BRITO, E. C. de. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho-amarelo na região noroeste Fluminense (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1421-1428, 2007.

GIACOMINI, S. J. **Consortiação de plantas de cobertura no outono/inverno e fornecimento de nitrogênio ao milho em sistema plantio direto**. 2001. 124 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

\_\_\_\_\_ 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.

\_\_\_\_\_ et al. Consortiação 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.

HEAL, O. W.; ANDERSON, F. M.; SWIFT, M. F. Plant litter quality and decomposition: na historical overview. In: CADISCH, G.; GILLER, K. E. (Ed.). **Driven by nature: plant litter quality and decomposition**. London: CAB INTERNATIONAL, 1997. p. 3-32.

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

HERNANI, L. C. et al. **Adubos verdes de outono/inverno no Mato Grosso do Sul**. Dourados: EMBRAPA- Centro de Pesquisa Agropecuária Oeste, 1995. 93 p

KLIEMANN, H. J. ; BRAZ, A. J. P. B. ; SILVEIRA, P. M. da. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho Distroférrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia , v. 36, n. 1, p. 21-28, 2006.

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

KRUIDHOF, H. M. ; BASTIAANS, L. ; KROPFF, M. J. Cover crop residue management for optimizing weed control. **Plant and soil**, The Hague, v. 318, p. 169-184, Dec. 2009.

LOURENTE, E. R. P. et al. Culturas antecessoras, doses e fontes de nitrogênio nos componentes de produção do milho. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 1, p. 55-61, 2007.

MARCELO, A. V. et al. Crop sequences in no-tillage system: effects on soil fertility and soybean, maize and rice yeald. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 417-428, 2009.

MARCOLINI, L. W. **Produção e decomposição de coberturas vegetais de inverno e sua influência na infestação e fitossociologia de plantas daninhas**. 2009. 77 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

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

MIGUEZ, F. E.; BOLLERO, G. A. Winter cover crops in Illinois: evaluation of ecophysiological characteristics of corn. **Crop Science**, Madison, v. 46, p. 1536-1545, May, 2006.

MITCHELL, W. H. ; TELL, M. R. Winter-annual cover crops for no tillage corn production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 69, p. 569-573, 1977.

MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades**. Chapecó: Ed. do Autor, 1991. 337 p.

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

NICOLARDOT, B.; RECOUS, S. ; MARY, B. Simulation of C and N mineralization during crop residue decomposition: a simple dynamic model based on the C/N ratio of the residues. **Plant and soil**, The Hague, v. 228 p. 83-103, 2001.

NICOLOSO, R. 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. 1723-1734, 2008.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. 2. ed. Califórnia: Academic Press, 1996. cap 7, p. 158-179.

PO, E. A. ; SNAPP, S. S. ; KRAVCHENKO, A. Rotational and cover crop determinations of soil structural stability and carbon in potato system. **Agronomy Journal**, Madison, v. 101, p. 175-183, Jan. 2009.

RANELLS, N. N. ; WAGGER, M. G. Winter annual grass-legume bicultures for efficient nitrogen management in no-till corn. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 65, p. 23-32, 1997.

ROSECRANCE, R. C. et al. Denitrification and N mineralization from hairy vetch (*Vicia villosa* Roth) and rye (*Secale cereale* L.) cover crop monocultures and bicultures. **Plant and soil**, The Hague, v. 227, n. 1-2, p. 283-290, Dec. 2000.

RUFFO, M. L. ; BOLLERO, G. A. Modeling rye and hairy vetch residue decomposition as a function of degree-days and decomposition-days. **Agronomy Journal**, Madison, v. 95, p. 900-907, July-August, 2003.

SAINJU, U. M. ; WHITEHEAD, W. F. ; SINGH, B. P. Biculture legume-cereal cover crops for enhanced biomass yield and carbon and nitrogen. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, p. 1403-1412, Sep. 2005.

SAMEDANI, B. et al. Utilization of rye and hairy vetch cover crops for weed control in transplanted tomato. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 9, n. 12, p. 2323-2327, 2006.

SILVA, A. A. da 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, maio/junho, 2006.

SILVA, A. A. da et al. Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 928-935, julho/agosto, 2007.

STRIEDER, M. L. 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.

TA, T. C.; FARRIS, M. A. Species variation in the fixation and transfer of N from legumes to associated grasses. **Plant and soil**, The Hague, v. 98 p. 265-274, 1987.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.

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

TRINSOUTROT, I. et al. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 64, p. 918-926, 2000.

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

WIEDER, R. K. ; LANG, G. E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**. v. 63, p. 1636-1642, 1982.



WIETHÖLTER, S. **Adubação nitrogenada no sistema plantio direto**. Passo Fundo: EMBRAPA - CNPT, 1996. 44 p.

ZOTARELLI, L. et al. Benefits of vetch and rye cover crops to sweet corn under no-tillage. **Agronomy Journal**, Madison, v. 101, p. 252-260, Fev. 2009.