

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Agronomia



Tese

**Dinâmica de decomposição de resíduos culturais em sistemas
rotacionados de manejo em um Planossolo Háplico
do sul do Brasil**

Lúcia Elena Coelho da Cruz

Pelotas, 2009

Lúcia Elena Coelho da Cruz

**Dinâmica de decomposição de resíduos culturais em sistemas
rotacionados de manejo em um Planossolo Háplico
do sul do Brasil**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do Título de Doutor em Ciências (área de conhecimento: Produção Vegetal).

Orientador: Dr. Clenio Nailto Pillon – Embrapa Clima Temperado
Co-orientador (es): Dr. Sandro José Giacomini – UFSM
Dr^a. Tânia Beatriz Gamboa Morselli – UFPEL

Pelotas, 2009

Dados de catalogação na fonte:
(Marlene Cravo Castillo – CRB-10/744)

C955d Cruz, Lúcia Elena Coelho da

Dinâmica de decomposição de resíduos culturais em sistemas rotacionados de manejo em um Planossolo Háplico do Sul do Brasil / Lúcia Elena Coelho da Cruz. -Pelotas, 2009.

118f. : il.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) –Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. - Pelotas, 2009, Clenio Nailto Pillon, Orientador; co-orientadores Sandro José Giacomini e Tânia Beatriz Gamboa Morselli.

1.Sistemas de cultura 2. Plantas de cobertura 3. Adição de fitomassa 4.Ciclagem de nutrientes I Pillon, Clenio Nailto (orientador) II .Título.

CDD 631.431

Banca examinadora:

Dr. Clenio Nailto Pillon (Presidente)
Orientador – Embrapa Clima Temperado

Dr. Celso Aita
UFSM/ Departamento de Solos

Dr. Luis Antônio Veríssimo Correa
UFPEL/FAEM/Departamento de Fitotecnia

Dr^a. Walkyria Bueno Scivittaro
Embrapa Clima Temperado

Aos meus pais Parobé e Maltina
Aos meus irmãos e cunhados (as)
Aos meus sobrinhos
Aos meus amigos irmãos,
que são muitos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade de realizar o curso de Pós-Graduação.

Aos professores do Departamento de Fitotecnia, pela receptividade e carinho a mim dispensados.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Clima Temperado), pelo suporte técnico e financeiro que possibilitou a realização deste trabalho.

Ao meu Orientador, pesquisador Doutor Clênio Nailto Pillon, pela oportunidade, confiança, incentivo, pela amizade e pela liberdade de crescer.

Ao meu Co-orientador, Prof. Sandro José Giacomini, pela amizade e por proporcionar um maior conhecimento técnico.

Aos Pesquisadores Carlos Alberto Flores, José Maria Filippini Alba e Walkyria B. Scivittaro pela atenção, acompanhamento e colaboração.

A Prof. Tânia Morselli por ter aberto para mim as portas do conhecimento.

As minhas amigas, “irmãs”, queridas Carla Moraes, Denise dos Santos e Mariana Potes pela amizade, dedicação, apoio incansável nesta trajetória não só para que este trabalho tenha se realizado, mas também para um crescimento pessoal, a vocês meu agradecimento eterno.

Ao meu querido amigo José Carlos Leite pela amizade, pelo apoio, pelo conhecimento profissional e acima de tudo pela tua dedicação e companheirismo em todas as horas, principalmente as mais difíceis, com o teu jeito de ser (correto em tuas ações e fala rápida), contribuiu para eu ser uma profissional melhor, a tua colaboração só abrilhantou este trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Física do Solo, José Carlos e Paulão, e aos estagiários que por esta casa passaram Roni, Patrícia, Wiliam, Dani, Tati, Betânia e Esmael, pela colaboração, dedicação e confiança.

Aos funcionários do Laboratório de Nutrição Vegetal, Adão, Dino, Edite e Paulinho, pela amizade e pelo apoio técnico para a realização deste trabalho.

A Heliana Bicca pelo seu carinho, delicadeza e generosidade em todos os momentos angustiantes.

Aos funcionários da Embrapa Paulo Tim, Pingo, Canarinho, Cláudio Loe, Seu Edson, Zé Luiz, Seu Joãozinho, Fernandão, Zé Borges, Arthur, Danúbio, Tarouco, Rosa, Chico pelo incansável apoio de todas as horas, principalmente quando o trabalho era realizado na área experimental aos finais de semana.

Aos funcionários da gráfica da Embrapa João Carlos L. da Silva (Le), Claudio Ruas e Elton Teixeira (Índio) pela compreensão, pelo carinho e dedicação a mim dispensado.

Aos amigos que a vida se encarregou de me presentear Cláudia, Gláucia, Guto, Loren, Mauara e Shirley, pela amizade sincera, que me fizeram crescer.

Aos colegas Bagé, Daiane e Marla pela amizade e apoio profissional.

Aos meus queridos amigos Janete, Euclides, Dilon e Vitor pelo carinho e incentivo, que mesmo “à distancia” não foi uma barreira para uma palavra de conforto.

A minha querida vizinha Lú, pelo seu apoio, companheirismo e seus sábios conselhos em todas as horas.

Em especial aos meus queridos pais Parobé e Maltina, e aos meus irmãos Vera e Antônio, Carmem e Renato, Milton e Gil, Ilton e Lúcia, aos meus queridos e mimosos sobrinhos pelo suporte emocional, carinho, paciência, incentivo, confiança, apoio incondicional, enfim, pelo amor, sem o qual seria impossível trilhar este caminho e pelo qual não há obstáculo que torne impossível a caminhada.

À todas as pessoas que, mesmo não sendo citadas, contribuíram para a realização deste trabalho.

Agradeço a Deus, por permitir que este trabalho tenha se realizado.

Resumo

CRUZ, Lúcia Elena Coelho da. **Dinâmica de decomposição de resíduos culturais em sistemas rotacionados de manejo em um Planossolo Háplico do sul do Brasil**. 2009. 118f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Sistemas conservacionistas de manejo, que incluem plantas de cobertura de solo no inverno em sucessão a culturas comerciais de verão constituem-se estratégia fundamental para a busca da sustentabilidade do agroecossistema. O presente trabalho objetivou avaliar o potencial de produção de fitomassa de sistemas de cultura e a dinâmica de decomposição de resíduos culturais em ambiente de terras baixas como subsídio ao desenho de sistemas rotacionados de manejo para um Planossolo Háplico do sul do Brasil. O trabalho foi conduzido sob condições de campo, a partir do outono de 2005 ao verão 2006/2007, na área experimental da Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, em Capão do Leão, Rio Grande do Sul. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas com três repetições, composto por cinco sistemas de cultura, dois sistemas de preparo de solo (plantio direto – PD e preparo convencional – PC), e duas doses de adubação nitrogenada (sem adubação nitrogenada mineral e a dose de N recomendada para a cultura comercial gramínea de verão). Os sistemas de cultura avaliados quanto à produção de fitomassa seca e acúmulo de nutrientes foram: azevém (*Lolium multiflorum* Lam) + cornichão (*Lotus corniculatus*)/ pousio (Az+Cor/P); pousio/ rotação (P/R); azevém + trevo branco (*Trifolium repens*)/milho (*Zea mays* L) (Az+TB/M); azevém/ soja (*Glycine max* L) (Az/S) e azevém + cornichão/rotação (Az+Cor/R); e duas áreas de referências (Ref. 1 e 2) cultivadas com arroz irrigado (*Oryza sativa*) (A). Para o estudo de decomposição dos resíduos culturais e liberação de nutrientes, avaliaram-se: azevém, trevo-branco, azevém+trevo-branco, arroz, milho e soja. Para a quantificação da fitomassa seca (FS) das espécies de inverno, a coletada foi realizada em plena floração, enquanto que, para as espécies de verão, no estágio de grão leitoso. Os sistemas rotacionados de manejo em um Planossolo Háplico, permitiram inferir que sistemas de cultura com cultivos consorciados envolvendo gramíneas e leguminosas de inverno apresentaram maior aporte de resíduos culturais, estratégia fundamental como cobertura de solo, ciclagem e liberação de nutrientes para as culturas comerciais de verão. Para ocorrer o maior aproveitamento de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio liberados pelos resíduos culturais de inverno às culturas comerciais de verão, nos sistemas que envolvem leguminosas de inverno como plantas antecessoras, o período de maior necessidade da cultura subsequente deve coincidir até 30dias após o manejo químico/mecânico da espécie. Se o sistema estiver envolvendo gramíneas este período pode ocorrer até 60dias após o manejo.

Palavras-chave: sistemas de cultura, plantas de cobertura, adição de fitomassa, ciclagem de nutrientes.

Abstract

CRUZ, Lúcia Elena Coelho da. **Dynamics of decomposition of crop residue on rotate management systems in a Typic Albaquilt on southern Brazil**. 2009. 118p. Tesis (Philosophy Doctor's) – Pos-graduate Program in Agronomy, Federal University of Pelotas, Pelotas.

Conservation management systems which include plants for ground covering in the winter in succession to summer commercial cultures are a vital strategy on the search of sustainability of the agroecosystem. This research aims to assess the potential production of biomass of cultivation systems and the process of decomposition of cultivation leftovers in low ground environments as subvention to the design of rotate management systems in a Typic Albaquilt from the south of Brazil. The research has been conducted through field conditions; beginning in the autumn of 2005 and ending in the summer of 2006/2007, in the experimental area of Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, in Capão do Leão, Rio Grande do Sul. The experimental lineation used was: random blocks with subdivided installments with three repetitions, set by five culture systems, two ground preparation systems (no-tillage – NT and conventional preparation – CP), and two doses of nitrogenous fertilization (with no mineral nitrogenous fertilization and the dose of N recommended for the summer grassy commercial culture). The cultivation systems assessed for the production of dry biomass and accumulation of nutrients were: ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam) + birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus*)/fallow (R+B/F); fallow/ rotation (F/R); ryegrass + white clover (*Trifolium repens*)/ maize (*Zea mays* L) (R+WC/M); ryegrass/soybean (*Glycine max* L) (R/S) and ryegrass + birdsfoot trefoil/rotation (R+B/R); and two areas of reference (Ref. 1 and 2) cultivated with irrigated rice (*Oryza sativa*) (O). For the study of the process of decomposition of cultivation leftovers and nutrients release, the aspects assessed were: ryegrass, white clover, ryegrass + white clover, rice, maize and soybean. For the quantifying of dry biomass (BD) for winter species the gathering was done during the flowering while for summer species it was done during the milky stage of grain. The rotate management systems in a Typic Albaquilt made it possible to deduce that cultivation systems with associate culture involving winter grassy and winter leguminous present a bigger amount of cultivation leftovers, which is a vital strategy as land coverage, cycle exchanges and also as a release of nutrients for summer commercial cultivations. In order to occur a higher utilization of nitrogen, phosphor, potassium, calcium and magnesium released by the winter cultivation leftovers to summer commercial cultures, in the systems that involve winter leguminous as antecessor plants, the period with the most need of the subsequent culture must coincide with the period of 30 days after chemist/mechanical handling of specie. If the system involves grassy, this period may occur 60 days after the handling.

Keywords: crop systems, cover plants, addition of phytomass, nutrient cycling.

Lista de Figuras

- Figura 1. Croqui da área experimental – Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS.30
- Figura 2. Precipitação pluviométrica mensal (a) e temperaturas médias mensais (b) no período de janeiro a dezembro de 2005, 2006 e 2007, e valores médios mensais de precipitação e temperatura dos últimos 30 anos. Estação meteorológica da Embrapa Clima Temperado/UFPEL/INMET, Capão do Leão, RS.37
- Figura 3. Porcentagem de fitomassa seca (FS) inicial remanescente dos resíduos culturais das espécies de inverno (azevém (*Lolium multiflorum* Lam) (Az), trevo-branco (*Trifolium repens*) (TB) e azevém+trevo-branco (Az+TB)) e de verão (arroz (*Oryza sativa*) (A), milho (*Zea mays* L) (M) e soja (*Glycine max* L) (S)), dias após a disposição dos sacos de decomposição no campo. Em dois anos de estudo 2005-2006 (a) e 2006-2007 (b).60
- Figura 4. Liberação acumulada de carbono (C) dos resíduos culturais das espécies de inverno (azevém (*Lolium multiflorum* Lam) (Az), trevo-branco (*Trifolium repens*) (TB) e azevém+trevo-branco (Az+TB)) e de verão (arroz (*Oryza sativa*) (A), milho (*Zea mays* L) (M) e soja (*Glycine max* L) (S)), dias após a disposição dos sacos de decomposição no campo. Em dois anos de estudo 2005-2006 (a) e 2006-2007 (b).64
- Figura 5. Relações carbono/nitrogênio (C/N) (a, b), carbono/fósforo (C/P) (c, d), lignina/nitrogênio (L/N) (e) dos resíduos culturais das espécies de inverno (azevém (*Lolium multiflorum* Lam) (Az), trevo-branco (*Trifolium repens*) (TB) e azevém+trevo-branco (Az+TB)) e de verão (arroz (*Oryza sativa*) (A), milho (*Zea mays* L) (M) e soja (*Glycine max* L) (S)), dias após a disposição dos sacos de decomposição no campo.67
- Figura 6. Porcentagem de nitrogênio (N) inicial remanescente (a, c) e liberação acumulada de N (b, d) dos resíduos culturais das espécies de inverno (azevém (*Lolium multiflorum* Lam) (Az), trevo-branco (*Trifolium repens*) (TB) e azevém+trevo-branco (Az+TB)) e de verão (arroz (*Oryza sativa*) (A), milho (*Zea mays* L) (M) e soja (*Glycine max* L) (S)), dias após a disposição dos sacos de decomposição no campo. Em 2005-2006 e 2006-2007.78
- Figura 7. Porcentagem de fósforo (P) inicial remanescente (a, c) e liberação acumulada de P (b, d) dos resíduos culturais das espécies de inverno (azevém (*Lolium multiflorum* Lam) (Az), trevo-branco (*Trifolium repens*) (TB) e azevém+trevo-branco (Az+TB)) e de verão (arroz (*Oryza sativa*) (A), milho (*Zea mays* L) (M) e soja (*Glycine max* L) (S)), dias após a disposição dos sacos de decomposição no campo. Em 2005-2006 e 2006-2007.82
- Figura 8. Porcentagem de potássio (K) inicial remanescente (a, c) e liberação acumulada de K (b, d) dos resíduos culturais das espécies de inverno (azevém (*Lolium multiflorum* Lam) (Az), trevo-branco (*Trifolium repens*) (TB) e azevém+trevo-branco (Az+TB)) e de verão (arroz (*Oryza sativa*) (A), milho (*Zea mays* L) (M) e soja

(*Glycine max* L) (S)), dias após a disposição dos sacos de decomposição no campo. Em 2005-2006 e 2006-2007.....86

Figura 9. Porcentagem de cálcio (Ca) inicial remanescente (a) e liberação acumulada de Ca (b) dos resíduos culturais das espécies de inverno (azevém (*Lolium multiflorum* Lam) (Az), trevo-branco (*Trifolium repens*) (TB) e azevém+trevo-branco (Az+TB)) e de verão (arroz (*Oryza sativa*) (A), milho (*Zea mays* L) (M) e soja (*Glycine max* L) (S)), dias após a disposição dos sacos de decomposição no campo.90

Figura 10. Porcentagem de magnésio (Mg) inicial remanescente (a, c) e liberação acumulada de Mg (b, d) dos resíduos culturais das espécies de inverno (azevém (*Lolium multiflorum* Lam) (Az), trevo-branco (*Trifolium repens*) (TB) e azevém+trevo-branco (Az+TB)) e de verão (arroz (*Oryza sativa*) (A), milho (*Zea mays* L) (M) e soja (*Glycine max* L) (S)), dias após a disposição dos sacos de decomposição no campo. Em 2005-2006 e 2006-2007.....92

Lista de Tabelas

Tabela 1. Seqüência de culturas da área experimental para o período de 2003 a 2007. Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão - RS.	31
Tabela 2. Produção de fitomassa seca (FS) da parte aérea das plantas pelos sistemas de cultura, sob dois sistemas de preparo de solo (plantio direto e preparo convencional), e duas doses de adubação nitrogenada. Capão do Leão, RS, 2009.	39
Tabela 3. Estimativa das adições anuais de fitomassa seca total (FS) e de carbono (C) da parte aérea das plantas pelos sistemas de cultura, sob dois sistemas de preparo de solo (plantio direto e preparo convencional), e duas doses de adubação nitrogenada. Capão do Leão, RS, 2009.	43
Tabela 4. Produção de fitomassa seca e acúmulo de nutrientes na parte aérea das espécies de inverno e de verão. Capão do Leão, RS, 2009.	44
Tabela 5. Relação C/N, C/P e L/N da parte aérea das espécies de inverno e de verão. Capão do Leão, RS, 2009.	48
Tabela 6. Estimativa do teor e conteúdo de C e N na planta inteira (folha, caule/colmo e raiz), das espécies de inverno e de verão. Capão do Leão, RS, 2009.	49
Tabela 7. Precipitação pluviométrica e temperatura média do ar em cada intervalo de amostragem dos sacos de decomposição, para as espécies de inverno e de verão, no primeiro (2005 - 2006) e segundo (2006 - 2007) ano de estudo. Capão do Leão, RS, 2009.	58
Tabela 8. Parâmetros do modelo ajustado aos valores observados da fitomassa seca (FS) remanescente, tempo de meia vida ($T_{1/2}$) da FS do compartimento lábil e valores de R^2 para diferentes espécies. Capão do Leão, RS, 2009.	62
Tabela 9. Composição química da fitomassa que compõe os sacos de decomposição para cada espécie. Capão do Leão, RS, 2009.	75
Tabela 10. Parâmetros do modelo ajustado aos valores observados de nitrogênio (N), tempo de meia vida ($T_{1/2}$) de N do compartimento lábil e valores de R^2 para diferentes espécies. Capão do Leão, RS, 2009.	80
Tabela 11. Parâmetros do modelo ajustado aos valores observados de fósforo (P), tempo de meia vida ($T_{1/2}$) de P do compartimento lábil e valores de R^2 para diferentes espécies. Capão do Leão, RS, 2009.	84
Tabela 12. Parâmetros do modelo ajustado aos valores observados de potássio (K) remanescente, tempo de meia vida ($T_{1/2}$) de K no compartimento lábil e valores de R^2 para diferentes espécies. Capão do Leão, RS, 2009.	88

Tabela 13. Parâmetros do modelo ajustado aos valores observados de cálcio (Ca) remanescente, tempo de meia vida ($T_{1/2}$) de Ca do compartimento lábil e valores de R^2 para diferentes espécies. Capão do Leão, RS, 2009.91

Tabela 14. Parâmetros do modelo ajustado aos valores observados de magnésio (Mg) remanescente, tempo de meia vida ($T_{1/2}$) de Mg do compartimento lábil e valores de R^2 para diferentes espécies. Capão do Leão, RS, 2009.93

Sumário

1 Introdução geral	16
2 Revisão de literatura	18
2.1 Sistemas de manejo em ambiente de terras baixas	18
2.2 Diversificação de culturas alternativas ao arroz irrigado em ambiente de terras baixas	19
2.3 Dinâmica da matéria orgânica no ambiente	21
2.4 Caracterização qualitativa do material vegetal em decomposição	21
2.5 Decomposição dos resíduos culturais	22
2.6 Ciclagem e liberação de nutrientes dos resíduos culturais em decomposição	24
2.7 Indicadores de decomposição dos resíduos vegetais	25
3 Metodologia geral	28
4 Capítulo 1 – Produção e composição química da fitomassa de espécies culturais em sistemas rotacionados em um Planossolo Háplico	32
4.1 Introdução	32
4.2 Material e métodos	34
4.3 Resultados e discussão	38
4.3.1 Produção de fitomassa seca (FS) pelos sistemas de cultura	38
4.3.2 Adição anual de fitomassa seca (FS) e de C pelos sistemas de cultura	42
4.3.3 Acúmulo de nutrientes na parte aérea das espécies de inverno e de verão	43
4.3.4 Relação C/N, C/P e L/N	47
4.3.5 Teor e conteúdo de C e N na planta inteira das espécies de inverno e de verão	48
4.4 Conclusões	52
5 Capítulo 2 - Decomposição de resíduos culturais em sistemas rotacionados de manejo em um Planossolo Háplico	53
5.1 Introdução	53
5.2 Material e métodos	55
5.3 Resultados e discussão	59
5.3.1 Decomposição dos resíduos culturais	59
5.3.2 Relações C/N, C/P e L/N	66
5.4 Conclusões	71

6 Capítulo 3 – Liberação de nutrientes dos resíduos culturais em sistemas rotacionados em um Planossolo Háplico	72
6.1 Introdução	72
6.2 Material e métodos.....	74
6.3 Resultados e discussão.....	76
6.3.1 Liberação de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) dos resíduos culturais	76
6.4 Conclusões.....	94
7 Conclusões gerais.....	95
8 Referências	96
Apêndices.....	103

1 Introdução geral

Historicamente o Brasil tem sido um dos grandes consumidores e importadores de insumos para uso na agricultura, em especial de matérias-primas para a produção de fertilizantes. Segundo a ANDA (2009), a quantidade de fertilizantes entregue ao consumidor final em 2008 alcançou 22,4 milhões de toneladas, enquanto que a produção nacional de fertilizantes foi de 8,87 milhões de toneladas, com importação total da ordem de 15,4 milhões de toneladas, o que representa 69% das necessidades do País.

Levando em consideração os custos crescentes das matérias-primas no mercado internacional e que somente algumas poucas empresas dominam esse mercado e considerando que tal dependência impõe elevados riscos à produção interna de alimentos, à segurança alimentar e à soberania do País, torna-se estratégico o fortalecimento de ações de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) que visem identificar novas rotas para a produção de insumos agrícolas. É necessário a valorização de matérias-primas nacionais e aproveitamento de co-produtos de processos agroindustriais, bem como o desenvolvimento de estratégias de manejo mais sustentáveis, com menor dependência de insumos externos, a partir da adoção de práticas conservacionistas de manejo do solo, incluindo o desenvolvimento de sistemas de cultura mais eficientes no uso de fertilizantes, melhor aproveitamento da ciclagem de nutrientes, utilização de plantas fixadoras de nitrogênio e a minimização de perdas, como a erosão e lixiviação.

Sistemas conservacionistas de manejo buscam a minimização das operações de preparo do solo e sistemas de cultura que propiciem elevado e permanente aporte de resíduos culturais, contribuindo para a melhoria da qualidade do solo pelo aumento do estoque de nitrogênio (N) e de carbono orgânico (C). Nesse contexto, o uso de plantas de cobertura no inverno, que antecedem as culturas de interesse comercial no verão, assume um papel importantíssimo para o fornecimento e ciclagem de nutrientes, especialmente de N. Entretanto, o grande desafio para o planejamento de sistemas sustentáveis de manejo é conciliar a manutenção de resíduos culturais sobre o solo pelo maior período de tempo possível e sincronizar a mineralização de nutrientes à demanda nutricional das culturas subseqüentes. A adoção dessas práticas em adição à rotação de culturas e de práticas mecânicas para o controle da enxurrada, contribuem decisivamente para o aumento da

eficiência do uso de nutrientes nos agroecossistemas, com ganhos econômicos e reflexos ambientais altamente positivos, os quais se refletem na sustentabilidade dos ecossistemas e biomas.

Embora o Brasil seja considerado referência internacional em agricultura conservacionista, especialmente pela larga adoção do sistema plantio direto, grande parte desta tecnologia foi desenvolvida e validada em ambiente de terras altas. Tradicionalmente, em ambiente de terras baixas do Rio Grande do Sul, cultiva-se o arroz irrigado integrado e/ou em sucessão com a pecuária extensiva, por vezes em rotação com a cultura da soja e, em menor escala do milho, o que se justifica pela existência de solos com baixa capacidade de drenagem interna e, na maioria dos casos, de baixa fertilidade natural. Neste contexto, escassas são as informações relativas ao desenvolvimento e validação de estratégias conservacionistas de manejo do solo em agroecossistema de terras baixas.

O presente trabalho objetivou avaliar o potencial de produção de fitomassa de sistemas de cultura e a dinâmica de decomposição de resíduos culturais em ambiente de terras baixas como subsídio ao desenho de sistemas rotacionados de manejo para um Planossolo Háplico do sul do Brasil.

O presente trabalho está dividido em três capítulos, quais sejam: 1 - Produção e composição química da fitomassa de espécies culturais em sistemas rotacionados de manejo em um Planossolo Háplico; 2 - Decomposição de resíduos culturais em sistemas rotacionados de manejo em um Planossolo Háplico e 3 - Liberação de nutrientes dos resíduos culturais em sistemas rotacionados de manejo em um Planossolo Háplico.

2 Revisão de literatura

2.1 Sistemas de manejo em ambiente de terras baixas

A região sul do Rio Grande do Sul é bastante dependente economicamente da atividade primária, principalmente da cultura do arroz irrigado e da pecuária de corte (COELHO et al., 2002). A utilização cada vez maior dos solos de terras baixas com a agricultura convencional, associado à monocultura do arroz irrigado, provocou alterações no conteúdo de matéria orgânica (MO) do solo ao longo do tempo, levando este agroecossistema à degradação da qualidade do solo. Neste cenário, o solo funciona como fonte de CO₂ para a atmosfera (GOMES; MAGALHÃES, 2004). Scivittaro, Mattos e Martins (2004) pressupõem que estas alterações são provocadas pelo manejo intensivo do solo e pelo consumo de grandes quantidades de insumos, modelo que objetiva prioritariamente o aumento da produtividade em curto prazo. Atualmente existe uma grande preocupação com a sustentabilidade, através da busca por alimentos seguros e que durante o processo de produção tragam o menor dano possível ao meio ambiente. Em consequência, técnicos e agricultores buscam a produção sustentável, com a adoção de boas práticas de manejo, visando maior produtividade e rentabilidade com benefícios ambientais por meio da maior eficiência na utilização de insumos e dos recursos naturais.

Os sistemas conservacionistas de manejo do solo baseiam-se na minimização das operações de preparo do solo e na concepção de sistemas de cultura que propiciem elevado e permanente aporte de resíduos vegetais ao solo e de nutrientes limitantes à produção de fitomassa, como o N. Entretanto, o grande desafio para o planejamento de sistemas sustentáveis de manejo é conciliar a manutenção de resíduos vegetais no solo pelo maior período de tempo possível e sincronizar a mineralização de nutrientes à demanda nutricional das culturas subsequentes, respeitando as características edafoclimáticas de cada região.

Os solos de terras baixas apresentam fertilidade natural de média a baixa, sendo comum a baixa disponibilidade de fósforo, reduzido conteúdo de MO, baixa disponibilidade de N e baixos valores de pH (GOMES et al., 2002). Neste contexto, o monitoramento da decomposição/mineralização de resíduos vegetais de plantas cultivadas pode permitir a identificação de parâmetros quali/quantitativos relacionados ao processo de decomposição dos resíduos vegetais e, conseqüentemente, à liberação/ciclagem de nutrientes no sistema. Tais informações

são fundamentais para o planejamento e desenvolvimento de sistemas sustentáveis de manejo do solo para este ambiente.

2.2 Diversificação de culturas alternativas ao arroz irrigado em ambiente de terras baixas

A região Sul do Rio Grande do Sul é dependente economicamente da cultura do arroz irrigado. Apesar do aumento de produtividade experimentado pela cultura do arroz irrigado nos últimos anos, a rentabilidade não tem atendido as expectativas dos agricultores. O elevado custo de produção, devido aos custos elevados de agrotóxicos e de fertilizantes, incluindo a aplicação de herbicidas, fungicidas e inseticidas, fatores climáticos, problemas técnicos que incluem, principalmente, a compactação e a redução da fertilidade do solo, perdas devido à ocorrência de doenças e diante das incertezas no cenário de preço pago ao produtor têm contribuído para esse fato. Neste contexto, o desenvolvimento de sistemas de manejo com inclusão de culturas para diversificação do sistema de produção em terras baixas constitui-se em uma estratégia para aumento da sustentabilidade econômica e ambiental deste agroecossistema.

A adição de resíduos vegetais pelos sistemas de cultura é a principal variável que define o estoque de MO em solos sob sistema plantio direto. A quantidade inicial de resíduo produzida pelos sistemas de cultura depende de fatores bióticos (ex.: espécie vegetal) e abióticos (clima, adubação nitrogenada, tipo de solo, disponibilidade hídrica etc.) (PAUL; CLARK, 1996, CORREIA; ANDRADE, 1999, AMADO; SANTI; ACOSTA, 2003). Quando o objetivo é incrementar o estoque de MO no solo através da adição de resíduos, plantas de importância econômica, como o milho, e plantas de cobertura do solo, com elevada produção de fitomassa, passam a ter um papel essencial dentro dos sistemas de cultura (DIEKOW, 2003).

A adoção do sistema plantio direto com o uso da aveia preta e de outras culturas de cobertura de inverno, antecedendo o cultivo da soja e do milho no verão, tem-se mostrado muito eficiente como estratégia de manejo de solo. Dentre as principais vantagens desse sistema, destacam-se o controle da erosão e a ciclagem de nutrientes, com reflexos ambientais positivos na qualidade do solo (AMADO et al., 2001).

As espécies comerciais alternativas de verão ao arroz irrigado (*Oryza sativa*) que têm melhor se adaptado a esses solos são o milho (*Zea mays* L), a soja

(*Glycine max* L) e o sorgo (*Sorghum vulgare*) (SILVA; PARFITT: PORTO, 2001). As espécies cultivadas adaptadas a este ambiente no outono/inverno são a aveia preta (*Avena strigosa* Schieb), azevém (*Lolium multiflorum* Lam), festuca (*Festuca arundinacea*), capim lanudo (*Holcus lanatus* L.), trevo-branco (*Trifolium repens* L.), trevo-subterrâneo (*Trifolium subterraneum* L.), trevo-persa (*Trifolium resupinatum* L.) e cornichão (*Lotus corniculatus*), (RODRIGUES; COELHO; REIS, 2002).

A importância da inclusão de plantas de cobertura em sistemas agrícolas reside no fato das mesmas realizarem o processo biológico mais relevante da natureza que é a fixação autotrófica de CO₂ através da fotossíntese, transferindo C da atmosfera para o solo. Quando leguminosas são empregadas, é possível valorizar também o segundo processo biológico mais importante, que é a fixação biológica de N (FBN), envolvendo a conversão enzimática do N₂ atmosférico em amônia, através de bactérias associadas simbioticamente às leguminosas. Portanto, a inclusão de espécies leguminosas em sistemas de cultura é de fundamental importância como uma estratégia para a diminuição da dependência externa de fertilizantes nitrogenados às culturas comerciais, mas também para a sustentabilidade dos agroecossistemas (AITA; GIACOMINI, 2006).

Segundo Aita e Giacomini (2003), para que as plantas de cobertura possam ser utilizadas eficientemente visando ao aumento da MO do solo e ao fornecimento de nutrientes, especialmente de N, às culturas comerciais e à preservação da qualidade ambiental, é fundamental o conhecimento do potencial destas espécies em produzir fitomassa. Também é necessário compreender a dinâmica de decomposição e de liberação dos nutrientes dos resíduos vegetais no solo e as conseqüências deste processo sobre o acúmulo de C e de N no solo e aumento da eficiência da ciclagem e aproveitamento de nutrientes pelas culturas subseqüentes.

Informações sobre a consorciação de espécies de plantas de cobertura de solo no outono/inverno ainda são escassas no Brasil. Trabalho realizado por Giacomini et al. (2003), na região Sul, com culturas puras (aveia preta, ervilhaca e nabo forrageiro) e consorciadas (aveia preta + ervilhaca; aveia preta + nabo forrageiro), avaliaram a produção de fitomassa seca e a quantidade de C adicionado ao solo. O consórcio entre espécies proporcionou uma fitomassa com relação C/N dos resíduos culturais intermediária àquela obtida pelas culturas puras. Os autores concluíram que, consorciando-se as plantas de cobertura, é possível reunir as

vantagens de cada espécie, obtendo-se uma fitomassa quantitativa e qualitativamente superior àquela obtida pelo cultivo isolado de cada espécie.

2.3 Dinâmica da matéria orgânica no ambiente

Em oposição ao processo de degradação do solo, a recuperação do conteúdo de MO é lenta. A maioria dos estudos sobre a dinâmica da MO no ambiente são de curta duração e realizados em solos desenvolvidos em regiões de clima temperado e/ou em ambientes de terras altas (PILLON, 2000). Em função disso, escassas são as informações relacionadas ao efeito de sistemas de cultura e sistemas de preparo de solo sobre a MO a longo prazo em agroecossistemas de terras baixas.

O ciclo do C, como qualquer ciclo biogeoquímico, consiste em reservatórios, fluxos e processos (transformações). Os processos influenciam os fluxos de matéria e energia entre os compartimentos (reservatórios). O solo constitui-se num reservatório de C importante. Neste contexto, o sistema de manejo do solo influencia vários processos determinantes dos fluxos de entrada e saída do C. Compreender melhor a relação entre o sistema de manejo do solo e o ciclo do C justifica-se por duas razões. A primeira é que o C é o elemento presente em maior concentração na MO do solo. A segunda, baseada nas discussões sobre o processo de mudanças climáticas globais, diz respeito ao fato do C ser constituinte de moléculas de gases de efeito estufa, como CO₂ e CH₄. Assim, a partir do conhecimento da relação entre o manejo do solo e o ciclo do C é possível desenvolver sistemas de manejo que maximizem os fluxos de entrada e minimizem os fluxos de saída de C do solo (DIEKOW et al., 2005), com ganhos para a qualidade do solo e do ambiente (BURLE; MIELNICZUK; FOCCHI, 1997).

Diekow et al. (2005) afirmaram que entre vários sistemas de preparo de solo, o sistema plantio direto altera o ciclo do C por diminuir a taxa de mineralização da MO, as perdas de solo por erosão e o consumo de combustíveis fósseis. A diminuição das perdas de C por mineralização e erosão resulta no aumento dos estoques de MO, associado ao seqüestro de C atmosférico.

2.4 Caracterização qualitativa do material vegetal em decomposição

A decomposição pode ser definida como a alteração da estrutura química original de um composto orgânico ou tecido. Inicialmente, os organismos do solo decompõem estruturas presentes nos resíduos de plantas que estão mais

disponíveis e que envolvem menor gasto de energia, enquanto a decomposição avança, compostos com estruturas químicas mais recalcitrantes tendem a acumular (BALDOCK; OADES; WATERS, 1992; PILLON, 2000). Kögel Knabner (2002) confirma que a decomposição das plantas envolve perda inicial de carboidratos (celulose e hemicelulose), seguida pela lenta transformação de estruturas aromáticas das moléculas de lignina e finalmente do C altamente recalcitrante (alquilas).

Com o desenvolvimento do processo de decomposição, determinados compostos orgânicos mais recalcitrantes da estrutura de plantas e os produtos microbianos passam a constituir a maior parte da massa residual intacta (CHESHIRE; MUNDIE; SHEPEHERD, 1974). Estudos de incubação com resíduos de plantas marcados com ^{14}C têm mostrado que o C é incorporado às frações ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina da MO em poucas semanas; a fração AF contém polissacarídeos com tempos de reciclagem menor e são de origem mais recente ou relacionados à fração humina (PAUL; VAN VEEN, 1979).

A lignina é um polímero natural muito importante, responsável por 25% da fitomassa seca produzida anualmente na biosfera. É recalcitrante em função do seu alto peso molecular e estrutura química tridimensional, que lhe confere alta estabilidade. A lignina, em materiais lignocelulósicos, protege a celulose e a hemicelulose das enzimas que digerem esses polissacarídeos, por isso, o teor desse componente relaciona-se inversamente com a taxa de decomposição dos resíduos vegetais (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

2.5 Decomposição dos resíduos culturais

A decomposição dos resíduos culturais é um processo realizado essencialmente pelos microrganismos heterotróficos do solo, que deles retiram o C e os nutrientes necessários à produção da energia para as reações envolvidas na síntese celular (AITA; GIACOMINI, 2006). Os principais fatores que afetam o processo de decomposição e, conseqüentemente, a liberação dos nutrientes são as condições edafoclimáticas (temperatura, umidade, pH, teor de oxigênio, disponibilidade de nutrientes no solo) e a qualidade do substrato (fração solúvel, lignina, polifenóis e as relações C/N, lignina/N e lignina + polifenóis/N) (PAUL; CLARK, 1996, CORREIA; ANDRADE, 1999, AMADO; SANTI; ACOSTA, 2003). Dentre esses fatores, a relação C/N dos resíduos assume importante papel na

imobilização ou mineralização do N. Valores de relação C/N em torno de 25 causam equilíbrio entre esses processos; valores superiores causam imobilização líquida, enquanto os valores inferiores promovem mineralização líquida de N (AITA, 1997).

A decomposição e a formação da MO e sua transformação em húmus compreende dois processos fundamentais: mineralização e a imobilização. A mineralização é a conversão de um elemento da forma orgânica para a forma inorgânica. Celulose, hemicelulose e proteínas são bastante suscetíveis à decomposição microbiana, sendo rapidamente utilizadas como fonte de C, nutrientes e energia. Parte delas é decomposta em CO₂, H₂O, NH₃, etc., sendo a outra incorporada à biomassa microbiana. Este é o caminho principal para a formação do húmus. A mineralização bruta pode ser entendida como a transformação total obtida, enquanto que a mineralização líquida é a diferença entre a mineralização bruta e a quantidade incorporada na biomassa dos microrganismos. A imobilização é a conversão de um elemento de forma inorgânica em orgânica, via absorção pelos microrganismos e plantas, seguida pela incorporação na biomassa (SILVA; RESCK, 1997).

Grandes diferenças nas taxas de decomposição têm sido observadas entre os diferentes resíduos culturais, as quais são atribuídas às características destes resíduos, como a concentração de N, C, lignina, hemicelulose, celulose, nutrientes, compostos fenólicos e relação C/N (AZEVEDO; SPEHAR, 2002). Segundo Moreira e Siqueira (2006), os resíduos de soja possuem elevados teores de componentes solúveis e de N e baixos teores de celulose e cinzas, o que explica a sua decomposição mais rápida em relação às gramíneas. A maioria dos trabalhos realizados com plantas de cobertura de solo sob sistema plantio direto tem focado o uso dessas espécies em cultivos isolados ou consorciados envolvendo o efeito das espécies na produtividade das culturas comerciais em sucessão, na dinâmica do N no solo e na conservação do solo e da água (AITA, 1997). Pouca atenção tem sido dada ao estudo da liberação de P e de K dos resíduos dessas culturas, especialmente quando em consórcio (GIACOMINI et al., 2003).

Em um estudo de decomposição, em dois ecossistemas com espécies arbóreas e arbustivas, realizado na Espanha, Gallardo e Merino (1993), identificaram duas fases no processo de decomposição. Na primeira, entre um a dois meses, ocorre a perda dos compostos solúveis; e na segunda, ocorre o ataque nos compostos estruturais, que pode durar anos, dependendo da constituição do

material em decomposição. A transformação ocorre na seguinte ordem: biodegradação rápida da maioria dos compostos hidrossolúveis e polissacarídeos, diminuição lenta dos hidrossolúveis fenólicos e hemiceluloses e aumento relativo do conteúdo de ligninas e proteínas.

2.6 Ciclagem e liberação de nutrientes dos resíduos culturais em decomposição

Para Raven, Evert e Eichhorn (2001), todas as plantas vasculares requerem 17 elementos essenciais ou nutrientes inorgânicos (Hidrogênio, Carbono, Oxigênio, Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Enxofre, Cloro, Ferro, Boro, Manganês, Zinco, Cobre, Níquel, Molibdênio), para um crescimento e desenvolvimento normal. Sendo a terra um sistema fechado, a disponibilidade desses elementos normalmente está condicionada a sua ciclagem entre e dentro de cada ambiente ou agroecossistema. Tanto macro como micronutrientes estão constantemente sendo reciclados através dos resíduos de plantas e animais.

Em sistemas naturais os processos de liberação dos nutrientes da liteira e de absorção destes pelas plantas, ocorrem em sincronia, resultando alta eficiência de uso, o que explica a sustentabilidade destes ecossistemas. Nos agroecossistemas, aqueles processos são separados no tempo, resultando baixa eficiência no uso de nutrientes. Isso é particularmente crítico com o N, em que quantidades excessivas são perdidas por lixiviação, desnitrificação e volatilização em forma de amônia (SANCHES et al., 1989).

Uma das etapas mais importantes da ciclagem de nutrientes é a decomposição do material orgânico depositado sobre o solo. É de grande importância entender os mecanismos que regulam esse processo dinâmico de entrada do material via deposição e, saída, via decomposição, que ocorrem quase que simultaneamente (CORREIA; ANDRADE, 1999). Qualquer intervenção na dinâmica desse processo modifica a sincronia entre a disponibilidade de nutrientes oriundos da decomposição dos resíduos vegetais e a demanda nutricional das plantas, ocorrendo uma maior perda de nutrientes do solo (MYERS et al., 1994). Estas perdas podem ocorrer por erosão, queimadas, lixiviação, volatilização e desnitrificação (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A ciclagem dos nutrientes inicia-se pela decomposição da biomassa vegetal (parte aérea e raiz), ao final do seu ciclo e pode devolver ao solo parte do C-CO₂

assimilado pelo processo fotossintético, parte do N assimilado simbioticamente e todos os nutrientes absorvidos pelas raízes (SANCHES et al., 1989). Além da relação C/N, a velocidade de liberação de nutrientes dos resíduos culturais durante o processo de decomposição depende da qualidade do resíduo, da localização e da forma em que esse nutriente se encontra no tecido vegetal e de fatores climáticos (temperatura e umidade) que controlam a taxa de decomposição. O potássio, por exemplo, se encontra em componentes não estruturais e na forma iônica no vacúolo das células das plantas, sendo rapidamente lixiviado logo após o manejo das plantas de cobertura, com pequena dependência dos processos microbianos. No caso do fósforo, a maior parte encontra-se na planta associada a componentes orgânicos do tecido vegetal (MARSCHNER, 1995). Sua liberação está intimamente ligada ao processo de decomposição pelos microrganismos do solo (GIACOMINI et al., 2003). O cálcio é um dos constituintes da lamela média da parede celular, cujos constituintes são compostos mais recalcitrantes ao ataque microbiano (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Em trabalho realizado por Ceretta et al. (2002), sob sistema plantio direto, em dois anos agrícolas, com consorciação de aveia preta + ervilhaca, os autores observaram que houve uma variação na contribuição de cada espécie na produção de fitomassa seca nos dois anos. No primeiro ano, quando a gramínea + leguminosa foram cultivadas sobre resíduos de soja, houve maior participação da aveia preta na produção de fitomassa seca, ao contrário do segundo ano quando a consorciação foi estabelecida sobre resíduos de milho. Isso vem comprovar que onde ocorre um acúmulo de resíduos com relação C/N alta, tenderá a ocorrer uma redução na disponibilidade de N. Naquele caso, a leguminosa teve maior poder de competição com a gramínea, devido à capacidade desta em suprir parte ou totalmente sua necessidade de nitrogênio através da fixação simbiótica.

2.7 Indicadores de decomposição dos resíduos vegetais

Segundo Vanlauwe et al. (1997), ainda não existe um consenso em relação ao melhor indicador de decomposição. Em consequência, alguns fatores têm sido adotados como indicadores de decomposição, tais como: relação C/N, lignina/N, concentração de lignina e polifenóis (MELILLO; ABER; MURATORE, 1982; BERENDSE; BERG; BOSSATA, 1987).

Espindola et al. (2006), avaliando a decomposição e liberação de nutrientes de resíduos de leguminosas em duas estações (seca e chuvosa), observaram que os teores de celulose relacionaram-se com a taxa de decomposição dos resíduos nas duas estações. Já os teores de hemicelulose afetaram a decomposição dos resíduos apenas na estação seca, concluindo que esses carboidratos estruturais podem ser bons indicadores de decomposição.

Aita e Giacomini (2003), em um estudo de decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas, observaram que as gramíneas, apesar de terem apresentado menor concentração de lignina ($66,5\text{gkg}^{-1}$) do que a ervilhaca ($83,4\text{gkg}^{-1}$), foram mais lentamente decompostas do que as leguminosas. A proporção entre lignina/N e a concentração de celulose dos resíduos culturais foram os melhores indicadores da dinâmica de decomposição. Estes resultados evidenciam que a concentração de lignina, utilizada isoladamente, pode não ser um bom indicador de decomposição dos resíduos culturais.

Buchanan e King (1993), não encontraram efeitos consistentes para a relação C/P e taxa de decomposição e de liberação de P em resíduos culturais. Relacionaram dados de alguns estudos que encontraram quantidade variável e significativa de P inorgânico presente em resíduos culturais e que podem afetar amplamente modelos de liberação de P. Ainda observaram a presença de P inorgânico em 40 a 60% do P de gramíneas e leguminosas, concluindo que estavam predominantemente na fração solúvel em água e que podiam ser rapidamente perdidos por lixiviação e absorvido pela biomassa microbiana. Giacomini (2003), observou a importância da concentração do P solúvel em água na liberação de P durante a decomposição. O P solúvel em água foi o constituinte que melhor se correlacionou negativamente com as quantidades remanescentes do P dos resíduos culturais nos primeiros 29 dias, demonstrando a importância em se conhecer a concentração inicial dessa fração de P a fim de utilizá-la como indicador da taxa de liberação de P dos resíduos culturais na fase inicial de decomposição.

Os resíduos culturais contribuem significativamente para o armazenamento da MO, com reflexos positivos na melhoria de diversos indicadores químicos, físicos e biológicos, essenciais para o aumento da qualidade e produtividade do solo. As alterações qualitativas que ocorrem durante o processo de decomposição dos resíduos vegetais adicionados ao solo são pouco conhecidas, especialmente em

ambiente de terras baixas. A identificação de indicadores quanti e qualitativos da decomposição destes resíduos permitirá identificar épocas mais adequadas ao seu manejo, permitindo um maior sincronismo entre o processo de liberação de nutrientes e seu aproveitamento pelas culturas subseqüentes.

3 Metodologia geral

O estudo foi realizado na área experimental da Estação Experimental Terras Baixas (EETB), da Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS. As coordenadas geográficas são: 31°49' S, 52°27'O e altitude média 14m. O clima da região de acordo com a classificação climática de Köppen é do tipo Cfa (C: clima temperado quente, com temperatura média do mês mais frio entre 3 a 18°C; f: em nenhum mês a precipitação é inferior a 60mm; a: temperatura do mês mais quente é superior a 22°C).

O estudo sobre a dinâmica de decomposição de resíduos culturais em sistemas rotacionados de manejo em um Planossolo Háplico do sul do Brasil, foi desenvolvido no âmbito do projeto “Avanços Tecnológicos para o Aumento da Rentabilidade da Exploração Agrícola no Ecossistema de Terras Baixas de Clima Temperado”, no plano de ação 4 – “Manejo do solo em terras baixas de clima temperado cultivadas com culturas alternativas ao arroz irrigado”, constante da programação de projetos de pesquisa e desenvolvimento da Embrapa Clima Temperado.

O desenvolvimento das atividades constantes do referido plano de ação teve início em 2003, e foi programado para um período de quatro anos, numa área total de 4ha. O solo é classificado como um Planossolo Háplico (EMBRAPA, 2006), de textura superficial franco (370gkg^{-1} de silte, 460gkg^{-1} de areia e 170gkg^{-1} de argila). No começo do experimento o solo da área experimental apresentava $\text{pH-H}_2\text{O} = 6,0$; $\text{MO} = 20\text{gkg}^{-1}$; $\text{K} = 42\text{mgdm}^{-3}$; $\text{P} = 17,9\text{mgdm}^{-3}$; $\text{Ca} = 3,6\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$; $\text{Mg} = 2,0\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$.

Anteriormente à implantação do experimento, a área tradicionalmente cultivada com arroz irrigado, estava sendo cultivada com sorgo para pastejo há dois anos. Na implantação do experimento, o solo foi revolvido com grade aradora (preparo primário) e grade niveladora (preparo secundário). No primeiro ano, a cultura de arroz irrigado foi utilizada para uniformizar o solo em toda a área experimental, seguida de pousio invernal.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas com três repetições, composto por cinco sistemas de cultura, dois sistemas de preparo de solo (plantio direto – PD e preparo convencional – PC), e duas doses de adubação nitrogenada (sem adubação nitrogenada mineral e a dose

de N recomendada para a cultura comercial gramínea de verão). Os sistemas de cultura foram dispostos em parcelas medindo 34m x 34m, os sistemas de preparo de solo foram dispostos em subparcelas medindo 17m x 34m, enquanto que as duas doses de N foram dispostas em sub-subparcelas medindo 17m x 17m. Lateralmente à área experimental existem três áreas, sendo que duas áreas estão divididas em parcelas, cultivadas com arroz irrigado usadas como referências (Ref. 1 e Ref. 2), e a terceira área foi usada como pousio (Figura 1).

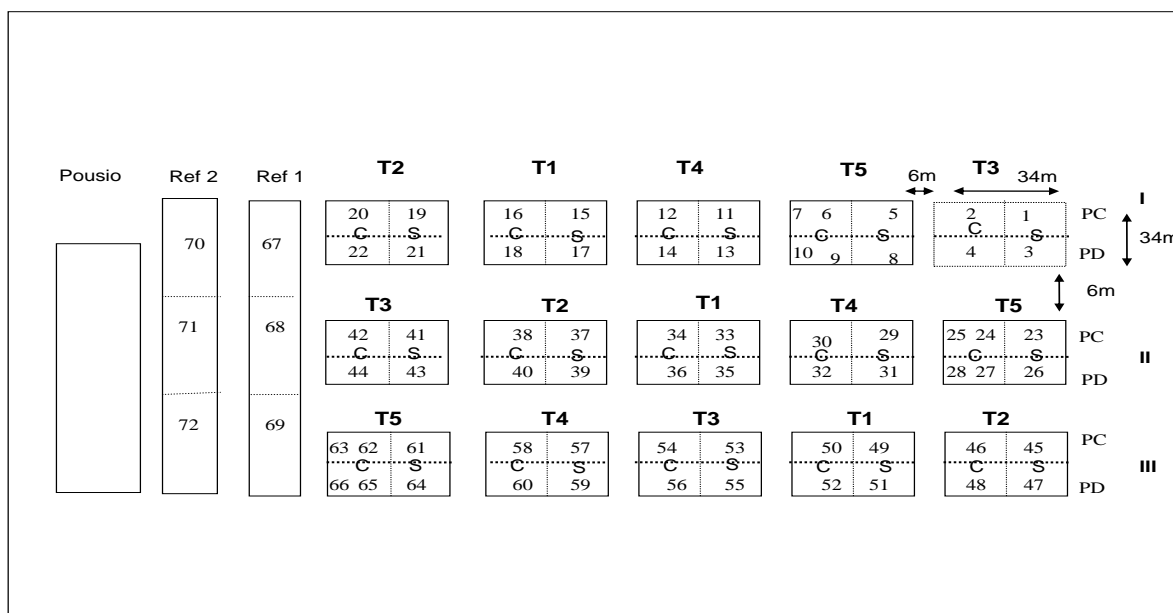
Os sistemas de cultura (tabela 1) contemplaram culturas de interesse comercial no verão, alternativas ao arroz irrigado, e culturas de cobertura de solo no inverno, sendo três sistemas em sucessão e dois sistemas em rotação no verão. A área de Ref. 1 é composta pelo cultivo de arroz irrigado todos os anos sob PC no verão e pousio invernal, enquanto que a área de Ref. 2, o arroz é cultivado sob PC dois anos consecutivos, seguido de dois anos em pousio.

O manejo de adubação adotado para o sistema PD e PC foi sempre baseado na recomendação de adubação de manutenção para as culturas de verão com N, P e K, utilizando-se fonte minerais, respectivamente, de uréia, superfosfato triplo (SFT) e cloreto de potássio (KCl). A adubação de cobertura com N-uréia foi realizada somente para o milho, sorgo e arroz irrigado. No sistema PC, o manejo do solo foi o tradicionalmente usado na região de terras baixas, utilizando-se grade aradora seguida de grade niveladora. A semeadura das culturas de verão foi realizada com auxílio de máquina semeadora em linha, e as culturas de cobertura de inverno semeadas a lanço, para os dois sistemas de preparo (PD e PC).

Para a quantificação da fitomassa seca (FS) das espécies de inverno, foram coletadas amostras (três repetições por tratamento) da parte aérea das plantas em plena floração, com um quadro de 1m², aleatoriamente, dentro da área útil das parcelas. Para as espécies de verão a coleta da parte aérea foi realizada no estágio de grão leitoso. A quantificação da fitomassa do milho e da soja foi através da contagem da população. O material coletado foi pesado, subamostrado, seco em estufa à 65°C até massa constante, moído em um triturador de forragens e moído novamente em um moinho modelo Willey até 0,5mm.

Para o estudo de decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais foram selecionadas algumas das espécies de interesse, sendo as culturas de verão arroz (*Oryza sativa*) (A), milho (*Zea mays* L.) (M) e soja (*Glycine max* L) (S), e as de inverno azevém (*Lolium multiflorum* Lam) (Az), trevo-branco (*Trifolium*

repens) (TB) e a consorciação azevém+trevo-branco (Az+TB). O estudo foi realizado sob condições de campo. A fitomassa das espécies de inverno (Az, TB, Az+TB) foi coletada em plena floração. Para as espécies de verão (A, M, S), a fitomassa foi coletada no estágio de grão leitoso. Inicialmente para as espécies de Az, TB Az+TB e A, foram coletadas três subamostras ao acaso dentro da área útil da parcela, com um quadro de 0,25m² em cada tratamento, as quais formaram uma amostra composta. A fitomassa das espécies de M e S foi quantificada a partir da contagem da população. Cada espécie foi separada em folha, caule ou colmo e inflorescência, secas ao ar até massa constante; em seguida foram transferidas para uma estufa ventilada a 65°C e secas até peso constante para a quantificação da FS.



C – subparcela com aplicação de N mineral cobertura
 S – subparcela sem aplicação de N mineral cobertura
 PC – preparo convencional
 PD – plantio direto
 Ref1 – arroz todos anos PC, pousio invernal
 Ref2 – arroz dois anos PC, pousio dois anos
 Seq 1-72 – numeração das parcelas

Figura 1. Croqui da área experimental – Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS.

Tabela 1. Seqüência de culturas da área experimental para o período de 2003 a 2007. Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão - RS.

Sistemas	Tratam.	Ano 1		Ano 2		Ano 3		Ano 4	
		2003/04	2004	2004/05	2005	2005/06	2006	2006/07	2007
		verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno
Az+Cor/P	T1	A	P	P	Az+Cor	P	Az+Cor	P	Az+Cor
P/R	T2	A	P	S	P	M	P	Sr	P
Az+TB/M	T3	A	P	M	Az+TB	M	Az+TB	M	Az+TB
Az/S	T4	A	P	S	Az	S	Az	S	Az
Az+Cor/R	T5	A	P	S	Az+Cor	M	Az+Cor	Sr	Az+Cor

A – arroz (*Oryza sativa*), Az - Azevém (*Lolium multiflorum* Lam), Cor – cornichão (*Lotus corniculatus*), M – milho (*Zea mays* L.), S – soja (*Glycine max* L), Sr – sorgo (*Sorghum vulgare*), TB – trevo branco (*Trifolium repens*), P – pousio, R – rotação (soja/milho/sorgo).

4 Capítulo 1 – Produção e composição química da fitomassa de espécies culturais em sistemas rotacionados em um Planossolo Háplico

4.1 Introdução

A região Sul do Rio Grande do Sul é dependente economicamente da cultura do arroz sob plantio convencional. Apesar do aumento de produtividade experimentado pela cultura do arroz irrigado nos últimos anos, a rentabilidade não tem atendido as expectativas dos agricultores, especialmente pelo aumento dos custos de produção (FISCHER, 2008). Desenvolvimento de sistemas de manejo com inclusão de culturas para diversificação do sistema de produção em terras baixas constitui estratégia para aumento da sustentabilidade econômica, ambiental e social deste agroecossistema.

Os solos de terras baixas normalmente apresentam fertilidade natural de média a baixa, sendo comum a baixa disponibilidade de N e P, o estoque de MO reduzido, e baixos valores de pH (GOMES et al., 2002). Em oposição ao processo de degradação do solo, a recuperação do conteúdo de MO é lenta. A maioria dos estudos sobre a dinâmica da MO no ambiente são de curta duração e realizados em regiões de clima temperado e/ou em ambientes de terras altas (PILLON, 2000). Em função disso, escassas são as informações relacionadas ao efeito de sistemas de cultura e sistemas de preparo de solo sobre a MO do solo a longo prazo em agroecossistema de terras baixas.

A adição de resíduos vegetais pelos sistemas de cultura é a principal variável que define o estoque de MO em solos sob o sistema plantio direto. A quantidade inicial de fitomassa produzida pelos sistemas de cultura depende de fatores bióticos (ex.: espécie vegetal) e abióticos (clima, adubação nitrogenada, tipo de solo, disponibilidade hídrica, etc.) (PAUL; CLARK, 1996, CORREIA; ANDRADE, 1999, AMADO; SANTI; ACOSTA, 2003). Quando o objetivo é incrementar o estoque de MO e reduzir a dependência à aplicação de insumos, como por ex. fertilizantes no solo através da adição de resíduos, plantas de importância econômica, como o milho, e plantas de cobertura do solo, com elevada produção de fitomassa, passam a ter um papel essencial dentro dos sistemas de cultura (DIEKOW, 2003; VEZZANI et al., 2008).

A ciclagem dos nutrientes inicia-se pela decomposição da biomassa vegetal (parte aérea e raiz), ao final do seu ciclo, contribuindo para o retorno ao solo parte do C-CO₂ assimilado pelo processo fotossintético, parte do N assimilado simbioticamente e todos os nutrientes absorvidos pelas raízes (SANCHES et al., 1989). Além da relação C/N, a liberação de nutrientes dos resíduos orgânicos depende da função que cada elemento exerça na planta e de fatores climáticos (temperatura e umidade) que controlam a taxa de decomposição. Nutrientes que não fazem parte de compostos estruturais, como o K, são rapidamente liberados pelo processo de decomposição da biomassa, enquanto que aqueles que fazem parte de estruturas, têm liberação mais lenta, como o C, N, P, Ca, Mg e S (SILVA; RESCK, 1997).

Sistemas de manejo que visam a conservação e recuperação da qualidade do solo devem atender aos seguintes requisitos: i) proporcionar elevada cobertura de solo durante o ano, por plantas ou resíduos, com ênfase nos períodos de maior precipitação e insolação; ii) proporcionar aporte contínuo e abundante de resíduos vegetais para contrabalançar a rápida decomposição da matéria orgânica e dos resíduos vegetais e, iii) promover o mínimo revolvimento do solo, permitindo o máximo de resíduos na superfície e redução das reações de oxidação da matéria orgânica (MIELNICZUC, 2008). Diante do exposto salienta-se a importância das espécies de inverno, antecessoras às culturas comerciais de verão, não só por sua capacidade de produção de fitomassa, mas também por sua composição química e sua capacidade de contribuir para a diminuição das perdas de nutrientes por lixiviação durante o inverno, mantendo o nutriente no tecido vegetal, fundamental em ambiente de terras baixas que, por natureza, tem baixa fertilidade natural. Diante deste contexto, o objetivo deste estudo foi: i) avaliar o potencial de produção de fitomassa e a adição de C pelos sistemas de cultura; ii) caracterizar a composição química das espécies de inverno e de verão e iii) quantificar a contribuição de C e N pelas diferentes partes da planta (folha, caule/colmo e raiz), em sistemas de manejo rotacionados em terras baixas.

4.2 Material e métodos

O presente estudo foi conduzido sob condições de campo, a partir do outono de 2005 ao verão 2006/2007, na área experimental da Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, em Capão do Leão, RS. A localização geográfica, clima e as características de solo foram descritas no item 3 (Metodologia geral).

As médias mensais de temperatura e precipitação durante os dois anos de estudo e as médias mensais dos últimos 30 anos, estão apresentados na Figura 2. Informações obtidas junto a Estação Meteorológica da Embrapa Clima Temperado/UFPEL/INMET.

O delineamento experimental está apresentado no item 3 (Metodologia geral). Os sistemas de cultura avaliados neste Capítulo são – azevém (*Lolium multiflorum* Lam) + cornichão (*Lotus corniculatus*)/ pousio (Az+Cor/P); pousio/ rotação (P/R); azevém + trevo branco (*Trifolium repens*)/milho (*Zea mays* L) (Az+TB/M); azevém/ soja (*Glycine max* L) (Az/S) e azevém + cornichão/rotação (Az+Cor/R) (tabela 1). Contemplam culturas de interesse comercial no verão alternativas ao arroz irrigado, e culturas de cobertura no inverno, sendo três sistemas em sucessão e dois sistemas em rotação no verão. A área de referência 1 (Ref. 1) é composta pelo cultivo de arroz irrigado todos os anos sob PC no verão e pousio invernal, enquanto que na área de referência 2 (Ref. 2), o arroz é cultivado sob PC dois anos consecutivos, seguido de dois anos em pousio.

O manejo de adubação adotado foi sempre baseado na recomendação de adubação de manutenção para as culturas de verão com N, P e K, utilizando-se fontes minerais de SFT e KCl, e de cobertura com N, usando-se a uréia como fonte, somente para o milho (178kg ha^{-1} de uréia) e arroz irrigado (133kg ha^{-1} de uréia).

Para determinação da fitomassa seca (FS) das espécies de inverno, foram coletadas amostras (três repetições por tratamento) da parte aérea das culturas de cobertura de solo em plena floração, com um quadro de 1m^2 , aleatoriamente, dentro da área útil da parcela. Para as espécies de verão a coleta da parte aérea foi realizada no estágio de grão leitoso. A estimativa da fitomassa do milho e da soja foi através da contagem da população. As plantas de milho foram coletadas, aleatoriamente, 5 plantas de cinco linhas centrais com espaçamento de 0,5m

entrelinhas e em uma extensão de 5m, compondo uma área útil de 12,5m². As plantas de soja foram amostradas, aleatoriamente coletando-se, 10 plantas retiradas de 3 linhas centrais com espaçamento de 0,5m entrelinhas e uma extensão de 5m, formando uma área útil de 7,5m². O procedimento para a coleta da parte aérea do arroz foi semelhante ao procedimento adotado para as espécies de inverno. O material coletado foi pesado, subamostrado, seco em estufa à 65°C até massa constante, moído em um triturador de forragens e moído novamente em um moinho modelo Willey até 0,5mm.

No mesmo momento da coleta da parte aérea para determinação da fitomassa seca das espécies de inverno 2005 (Az e TB) e de verão 2005/06 (A, M e S) foram coletadas plantas inteiras (folha, caule/colmo e raiz) para a quantificação da fitomassa total da planta. Para cada espécie, primeiro foi selecionado plantas contíguas, presentes na área útil da parcela experimental a fim de minimizar o efeito de bordadura. Após a seleção das plantas, demarcou-se uma área para retirar a planta inteira, diferente entres as espécies (Az e TB - 0,25 x 0,25 x 0,25m), (M - 1,00 x 0,50 x 0,25m), (S - 0,50 x 0,50 x 0,25m) e (A - 0,25 x 0,15 x 0,25m), (comprimento x largura x profundidade), respectivamente, afim de contemplar um número de plantas e volume de solo (bloco) possível ao desenvolvimento do estudo. Para cada espécie foram avaliadas três repetições. Inicialmente, coletou-se a parte aérea das plantas (Az, TB, A, M e S), com cuidado para cortá-las bem rente ao solo. Para M e S, foram coletadas 3 plantas por bloco; as demais espécies, o número de plantas foi variável pela forma de semeadura. Para o A e Az, foram contados os perfilhos e, para o TB, os estolões. Após a retirada da parte aérea das plantas, coletou-se toda a massa de solo. A extração das raízes da massa de solo foi realizada no laboratório de Física do Solo da Embrapa Clima Temperado. Primeiro, retiraram-se as raízes de maior diâmetro, catando-se manualmente as demais. Todas as raízes foram lavadas em água corrente para retirar partículas de solo, secas em estufa a 65°C até massa constante, moídas em um moinho modelo Willey até 0,5mm.

Na fitomassa seca da parte aérea das plantas e na planta inteira (folha, caule/colmo e raízes), foram determinadas as concentrações de carbono orgânico (C) e nitrogênio total (N) através do Analisador Elementar modelo FlashEA 1112 da marca Thermo Electron. Somente na parte aérea das plantas, foram determinadas as concentrações de fósforo total (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e lignina (L). As determinações de P, K, Ca e Mg foram efetuadas a partir da oxidação

úmida de 0,2g de tecido vegetal, na presença de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4 18M), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), mistura de digestão (sulfato de sódio + sulfato de cobre) e calor. A determinação do P foi por espectrofotometria, após a adição de molibdato de amônio e ácido aminonaftolsulfônico. O K por fotometria de chama e o Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica (TEDESCO et al., 1995). O teor de lignina foi quantificado através da metodologia descrita em Van Soest (1963).

Neste Capítulo, os resultados serão apresentados e discutidos em 5 etapas, quais sejam: i) produção de fitomassa seca; ii) adições anuais de fitomassa seca (FS) e de carbono (C), dados somente dos quatro cultivos do experimento (inverno 2005 ao verão 2006/2007); iii) acúmulo de nutrientes na fitomassa seca; iv) relações C/N, C/P e L/N e, v) conteúdo de C e acúmulo de N na planta inteira (folha, colmo/caule e raiz). Estas três últimas etapas foram realizadas somente com as espécies selecionadas no experimento para o estudo de decomposição e liberação de nutrientes, estudo que será apresentado no Capítulo 2 desta Tese.

Os resultados de produção de fitomassa seca (FS), adição anual de FS total, composição química da parte aérea das culturas, conteúdo de C e acúmulo de N na planta inteira (folha, caule/colmo e raiz) foram submetidos à análise de variância. A comparação entre médias de tratamentos foi avaliada pelo teste de Tukey a nível de 5%.

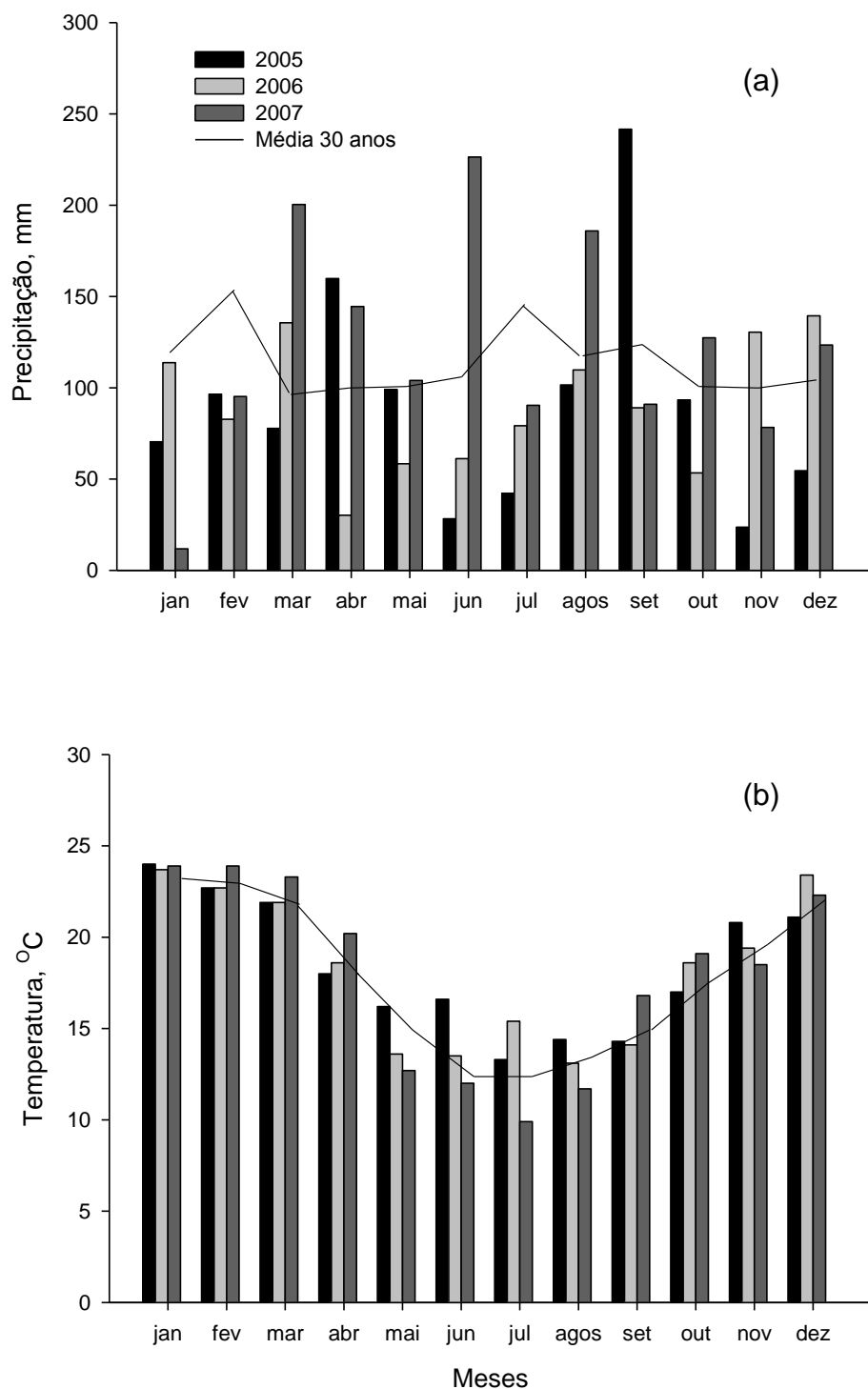


Figura 2. Precipitação pluviométrica mensal (a) e temperaturas médias mensais (b) no período de janeiro a dezembro de 2005, 2006 e 2007, e valores médios mensais de precipitação e temperatura dos últimos 30 anos. Estação meteorológica da Embrapa Clima Temperado/UFPEL/INMET, Capão do Leão, RS.

4.3 Resultados e discussão

4.3.1 Produção de fitomassa seca (FS) pelos sistemas de cultura

A produção de FS pelos sistemas de cultura sob dois sistemas de preparo de solo (PD e PC), e duas doses de adubação nitrogenada (S/N e C/N), está apresentada na Tabela 2, (apêndice A e B).

Para as espécies de verão de 2005-2006, os valores médios de FS total no PC (S/N e C/N) foram superiores em 37% ao PD (S/N e C/N), enquanto que, no PD (S/N e C/N), as espécies de inverno e verão 2006-2007, terceiro e quarto cultivos, foram superiores em 42 e 12%, respectivamente, ao PC (S/N e C/N). Estes resultados podem ser atribuídos à maior dificuldade de implantação das culturas sob PD neste tipo de solo, bem como pela ocorrência de efeitos alelopáticos de plantas de trevo não completamente controladas pelo herbicida, em especial sobre a germinação e crescimento do milho, as quais não foram observadas sob PC. Adicionalmente, segundo Bayer (1996), no início da utilização de sistemas conservacionistas, as melhorias nas condições físicas, químicas e biológicas do solo não se expressam no potencial das culturas, especialmente naquelas exigentes em nitrogênio, pois a redução do revolvimento resulta numa menor taxa de mineralização do N orgânico do solo e dos resíduos culturais das culturas anteriores. A recuperação da capacidade do solo exercer suas funções em áreas degradadas é lenta (NORTCLIFF, 2002), sendo que a utilização de experimentos de longa duração permite avaliar a influência do manejo sobre a qualidade do solo no decorrer do tempo (ARSHAD; MARTIN, 2002).

A média de produção de FS total entre os cinco sistemas de cultura para os três primeiros cultivos foi de 4,22, 4,32 e 2,56Mgha⁻¹, para o PD S/N, e de 4,06, 4,27 e 2,44Mgha⁻¹ para o PD C/N, respectivamente. No quarto cultivo, a média de produção de FS total entre os cinco sistemas de cultura no PD C/N (6,99Mgha⁻¹) se sobressaiu ao PD S/N (6,52Mgha⁻¹). No PC C/N, as médias de produção de FS total entre os cinco sistemas de cultura, no segundo (7,7Mgha⁻¹) e quarto (6,3Mgha⁻¹) cultivos foram superiores ao PC S/N (5,9 e 5,6Mgha⁻¹), respectivamente. Analisando os resultados sobre o PD (S/N e C/N) e PC (S/N e C/N), pode-se dizer que uma das causas do baixo aporte de fitomassa e rendimento das culturas, em solos degradados, principalmente de gramíneas, é a baixa disponibilidade de N do solo às plantas (TEIXEIRA; TESTA; MIELNICZUK, 1994), os quais corroboram com

resultados encontrados por Bayer, Mielniczuk e Pavinato (1998), onde o efeito dos sistemas de cultura (aveia+vica/milho sob PD, PC e preparo reduzido) foi dependente da aplicação de N mineral. Naquele estudo Bayer, Mielniczuk e Pavinato (1998) observaram que, com aplicação de 120kg ha^{-1} de N, a média do rendimento do milho foi $5,05\text{Mgha}^{-1}$ e sem aplicação de N, a média do rendimento nos três preparos de solo foi de $2,43\text{Mgha}^{-1}$.

Tabela 2. Produção de fitomassa seca (FS) da parte aérea das plantas pelos sistemas de cultura, sob dois sistemas de preparo de solo (plantio direto e preparo convencional), e duas doses de adubação nitrogenada. Capão do Leão, RS, 2009.

Sistemas de cultura	PD		PC	
	S/N	C/N	S/N	C/N
----- Mgha ⁻¹ -----				
espécies de inverno 2005*				
Az+Corn/P ⁽¹⁾	3,01 c ⁽²⁾	3,89 ab	-	-
P/R	3,95 bc	2,90 b	-	-
Az+TB/M	3,97 bc	3,95 ab	-	-
Az/S	4,87 ab	4,52 a	-	-
Az+Corn/R	5,31 a	5,05 a	-	-
Ref 1**	-	-	-	2,23 c
Ref 2***	-	-	-	1,88 c
espécies de verão 2005-2006				
Az+Corn/P	2,32 c	2,32 b	5,53 ab	5,53 ab
P/R	6,39 a	7,58 a	7,84 a	9,26 a
Az+TB/M	3,75 bc	2,61 b	5,14 ab	9,06 a
Az/S	6,03 a	6,03 a	4,57 b	4,57 b
Az+Corn/R	3,09 c	2,82 b	6,34 ab	10,04 a
Ref 1**	-	-	-	6,31 ab
Ref 2***	-	-	-	6,23 ab
espécies de inverno 2006				
Az+Corn/P	3,26 a	3,28 a	1,36 a	1,07 a
P/R	1,41 a	1,49 a	1,40 a	1,46 a
Az+TB/M	3,05 a	2,49 a	2,26 a	1,86 a
Az/S	1,77 a	1,77 a	1,43 a	1,47 a
Az+Corn/R	3,32 a	3,18 a	1,05 a	1,20 a
Ref 1**	-	-	-	1,40 a
Ref 2***	-	-	-	1,41 a
espécies de verão 2006-2007				
Az+Corn/P	3,95 bc	3,95 b	2,19 b	2,19 b
P/R	9,05 ab	12,08 a	6,49 ab	6,70 ab
Az+TB/M	4,14 bc	4,51 b	3,86 b	5,87 ab
Az/S	3,06 c	3,06 b	6,61 ab	6,61 ab
Az+Corn/R	12,38 a	11,34 a	8,83 a	10,11 a
Ref 1**	-	-	-	8,84 a
Ref 2***	-	-	-	SM

⁽¹⁾Az - Azevém (*Lolium multiflorum* Lam), Cor – cornichão (*Lotus corniculatus*), M – milho (*Zea mays* L.), S – soja (*Glycine max* L), Sr – sorgo (*Sorghum vulgare*), TB – trevo branco (*Trifolium repens*), P – pousio, R – rotação (milho/sorgo). PD – plantio direto; PC – preparo convencional; S/N - sem adubação nitrogenada mineral; C/N - dose de N recomendada para a espécie gramínea de verão; SM – sem material.

⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

*No inverno de 2005 toda área foi cultivada sob plantio direto (S/N e C/N) .

**Ref 1 cultivo de arroz irrigado todos os anos sob preparo convencional

***Ref. 2 cultivo de arroz irrigado sob preparo convencional dois anos consecutivos, seguido de dois anos em pousio.

Entre os sistemas de cultura, no primeiro cultivo de inverno, a produção de FS foi significativamente maior para o sistema Az+Cor/R (5,31 no PD S/N e 5,05Mgkg⁻¹ no PD C/N), envolvendo gramíneas e leguminosas no inverno e rotação de culturas no verão. Consorciando-se as plantas de cobertura, é possível reunir as vantagens de cada espécie, obtendo-se uma fitomassa quantitativamente e qualitativamente superior àquela obtida em cultivos isolados (AITA; GIACOMINI, 2006).

A produção de FS dos sistemas de cultura no verão 2005-2006, foi significativamente maior para o sistema P/R sob PD S/N (6,39Mgkg⁻¹) e PD C/N (7,58Mgkg⁻¹), em relação aos outros dois sistemas de cultura que neste período envolveram o milho (Az+TB/M e Az+Corn/R). A superioridade do milho cultivado sobre resíduos do pousio invernal em relação aos outros dois sistemas que envolveram resíduos de Az+TB, justifica-se pela ocorrência de plantas espontâneas de trevo branco e de cornichão no período inicial de desenvolvimento do milho, com competição por água, nutrientes e também possível efeito alelopático. Estes resultados se confirmam quando se observa a produção de FS do milho no PC nos três sistemas de cultura (P/R, Az+TB/M e Az+Corn/R), os quais não diferiram entre si.

Os sistemas de cultura no inverno de 2006 apresentaram uma produção de FS de 1,41 a 3,32Mgkg⁻¹, sob PD S/N; de 1,49 a 3,28Mgkg⁻¹, sob PD C/N; de 1,05 a 2,26Mgkg⁻¹, sob PC S/N e de 1,07 a 1,86Mgkg⁻¹, sob PC C/N, os quais não diferiram estatisticamente entre si. Comparando estes resultados com a produção de FS dos sistemas de cultura do inverno 2005, os valores médios de FS total (PD S/N e C/N) foram inferiores em 39,6% à produção de FS daquele ano. Este resultado pode ser atribuído ao fato de que, nos meses de maio a outubro de 2006, a precipitação pluviométrica foi inferior à média dos últimos 30 anos (Figura 2), prejudicando o desenvolvimento das culturas de inverno.

Quando se comparam os valores médios da produção de FS dos sistemas de cultura, no inverno 2006, entre os cultivos solteiros (1,59Mgha⁻¹) e os consorciados (3,21Mgha⁻¹), observa-se que os cultivos consorciados que envolveram gramíneas e leguminosas no PD S/N foram superiores em 50% aos cultivos solteiros. Estes resultados demonstram que o consórcio é uma estratégia positiva em relação ao cultivo solteiro, principalmente num ambiente cujos solos apresentam baixa fertilidade. Giacomini (2003), consorciando plantas de cobertura, em cultivo solteiro e cultivo consorciado, em três anos de estudo, obteve produção média FS de

3,81Mgha⁻¹ para as culturas solteiras e de 4,31Mgha⁻¹ para o consórcio. Ceretta et al. (2002), observaram que a produção de fitomassa seca em cultivo solteiro de aveia preta (4,05Mgha⁻¹) foi inferior ao cultivo consorciado com aveia preta+ervilhaca (4,61Mgha⁻¹), quando cultivados sobre resíduos de milho.

Para os sistemas de cultura no verão 2006-2007, a maior produção de FS no PD (S/N e C/N) ocorreu nos dois sistemas de cultura envolvendo o sorgo (P/R e Az+Corn/R). Estes resultados podem ser explicados pela maior resistência do sorgo em comparação a outras espécies cultivadas, como, por exemplo, o milho. Estes dados são confirmados pelo déficit hídrico (Figura 2) observado nos meses de janeiro e fevereiro de 2007, dificultando um bom desenvolvimento das outras culturas de verão (soja e milho). Segundo Silva e Parfitt (2005), a maior redução no rendimento do milho é ocasionada pela deficiência hídrica durante o período de floração, incluindo a formação da inflorescência, a formação dos estigmas e a polinização.

A média geral de produção de FS pelos sistemas de culturas, no verão de 2006-2007, foi superior a dos demais anos, em todos os sistemas sob PD (S/N e C/N), com exceção do sistema Az/S, fato que pode estar associado à maior precipitação pluviométrica observada neste ciclo, comparativamente aos anos anteriores (Figura 2), em adição ao processo de contínua melhoria da qualidade do solo ao longo do tempo (MIELNICZUK, 2008).

A utilização de espécies de inverno tem-se mostrado como uma estratégia positiva em relação a vegetação espontânea (pousio). Pode-se observar no inverno de 2006, quando a média da produção de FS das espécies, sob PD S/N e C/N, foram 50,5 e 44,4% superiores ao pousio. Scivittaro e Silva (2007), num trabalho realizado em área experimental na Estação Experimental Terras Baixas, com coberturas de inverno como fonte de nitrogênio para o milho nos sistemas PC e PD, encontraram diferenças significativas entre as coberturas de inverno quanto à produção de fitomassa seca e o pousio, sendo que o azevém (3,55Mgha⁻¹) apresentou desempenho superior à vegetação espontânea (2,04Mgha⁻¹). Estes resultados mostram a importância da inclusão de espécies de inverno nestes sistemas, não só como produção de FS, mas também como fornecedores de C, N, P e K, em maior quantidade que a vegetação espontânea.

4.3.2 Adição anual de fitomassa seca (FS) e de C pelos sistemas de cultura

Os valores médios das adições anuais de FS total e de carbono (C), em quatro cultivos consecutivos, da parte aérea das plantas pelos sistemas de cultura, sob dois sistemas de preparo de solo (PD e PC), e duas doses de adubação nitrogenada (S/N e C/N), estão apresentados na Tabela 3.

As adições anuais de FS total pelos sistemas de cultura, não diferiram entre si, embora o sistema Az+Corn/R tenha se destacado por sua adição de FS total (6,03 no PD S/N, 5,60 no PD C/N, 5,41 no PC S/N e 7,12Mgha⁻¹ no PC C/N) e adição de C (2,41 no PD S/N, 2,24 no PD C/N, 2,16 no PC S/N e 2,85Mgha⁻¹ no PC C/N). Os menores valores de adição de FS total (3,13 no PD S/N, 3,36 no PD C/N, 3,03 no PC S/N e 2,93Mgha⁻¹ no PC C/N) e adição de C (1,25 no PD S/N, 1,34 no PD C/N, 1,21 no PC S/N e 1,17Mgha⁻¹ no PC C/N), foi observado no sistemas de cultura Az+Corn/P. Estes resultados demonstram que sistemas de cultura com espécies de verão precedidas por um consórcio entre gramíneas e leguminosas, como cobertura de solo no inverno em relação a vegetação espontânea (pousio), constitui uma estratégia importante para o maior aporte de FS, acúmulo de MO no solo, recuperação dos estoques de C e N e contribuição para o seqüestro de CO₂ atmosférico.

Além da importância econômica das leguminosas, substituindo em parte o N a ser aplicado na cultura do milho, o uso de leguminosas, combinado com maior diversidade de espécies em sucessão ou rotação de culturas, aumenta de forma significativa a retenção de C e N no solo (AMADO et al., 2001). Outro aspecto que se destaca é o maior aporte de resíduos vegetais ao solo, tanto pelas culturas de cobertura como pelas culturas comerciais, o que acelera o processo de recuperação do solo (BAYER; MIELNICZUK; PAVINATO, 1998). O emprego de sistemas conservacionistas de manejo de solo, baseados em alta adição de fitomassa e no mínimo revolvimento do solo, entre outros benefícios, contribui para o seqüestro de carbono no solo, e conseqüente mitigação do efeito estufa, sendo que a dimensão de ambos está vinculada a sua crescente adoção, aliada à busca incessante pela sua qualificação (SANTI; DALMAGO; DENARDIN, 2007).

Segundo Lovato et al. (2004), em um experimento de longa duração, num período de 13 anos de estudo sob um Argissolo Vermelho típico, localizado no município de Eldorado do Sul (RS), além da adição de C pelas leguminosas, estas

aumentaram a adição de C ao solo pelo milho, quando comparado a contribuição do milho, sem adubação nitrogenada, nos sistemas aveia+ervilhaca/milho+caupi ($7,4\text{Mgha}^{-1}$) e ervilhaca/milho ($6,0\text{Mgha}^{-1}$) com o sistema aveia/milho ($4,11\text{Mgha}^{-1}$). Outros trabalhos nesta mesma área experimental, após 18 anos de estudo, obtiveram uma correlação positiva e significativa entre o estoque de C no solo e a adição de C pelos sistemas de cultura, tanto no PD como PC. Entre os sistemas de cultura, as adições de C e conseqüentemente os estoques de C cresceram na ordem aveia/milho < ervilhaca/milho < aveia+ervilhaca/milho+caupi, indicando o potencial das leguminosas em aumentar a produção de fitomassa e o estoque de C no solo em relação ao sistema aveia/milho (COSTA et al., 2008).

Tabela 3. Estimativa das adições anuais de fitomassa seca total (FS) e de carbono (C) da parte aérea das plantas pelos sistemas de cultura, sob dois sistemas de preparo de solo (plantio direto e preparo convencional), e duas doses de adubação nitrogenada. Capão do Leão, RS, 2009.

Sistemas de cultura	Adição							
	FS total *				C**			
	PD		PC		PD		PC	
	S/N	C/N	S/N	C/N	S/N	C/N	S/N	C/N
	----- Mgha ⁻¹ -----				----- Mgha ⁻¹ -----			
Az+Corn/P ⁽¹⁾	3,13	3,36	3,03	2,93	1,25	1,34	1,21	1,17
P/R ⁽²⁾	5,20	6,01	5,24	5,81	2,08	2,41	2,10	2,32
Az+TB/M	3,73	3,39	3,76	5,60	1,49	1,36	1,50	2,24
Az/S	3,93	3,84	4,20	4,22	1,57	1,54	1,68	1,69
Az+Corn/R	6,03	5,60	5,41	7,12	2,41	2,24	2,16	2,85

⁽¹⁾Az - Azevém (*Lolium multiflorum* Lam), Cor – cornichão (*Lotus corniculatus*), M – milho (*Zea mays* L), S – soja (*Glycine max* L), Sr – sorgo (*Sorghum vulgare*), TB – trevo branco (*Trifolium repens*), P – pousio, R – rotação (milho/sorgo).

PD – plantio direto; PC – preparo convencional; S/N - sem adubação nitrogenada mineral; C/N - dose de N recomendada para a espécie gramínea de verão.

⁽²⁾ Foi realizado comparação de médias entre os sistemas de cultura para FS total e não houve diferenças significativas pelo teste de tukey a 5%.

*Média de adições anuais de fitomassa seca dos quatro primeiro cultivos do experimento.

**Estimativa baseada em uma concentração média de 40% de C na fitomassa seca.

4.3.3 Acúmulo de nutrientes na parte aérea das espécies de inverno e de verão

A produção de FS (tabela 4) no primeiro cultivo de inverno foi maior para o TB ($5,52\text{Mgha}^{-1}$), seguido pelo Az ($4,87\text{Mgha}^{-1}$) e do consórcio de Az+TB ($3,97\text{Mgha}^{-1}$). No segundo cultivo de inverno, não houve diferenças significativas entre as espécies. Scivittaro e Silva (2007), num trabalho realizado no mesmo tipo de solo, encontraram uma produção de fitomassa seca maior para o azevém ($3,55\text{Mgha}^{-1}$) em relação às leguminosas trevo branco ($1,69\text{Mgha}^{-1}$), trevo persa ($2,07\text{Mgha}^{-1}$) e cornichão ($2,29\text{Mgha}^{-1}$), atribuindo a este fato o comportamento do azevém estar

associado a boa adaptação ao cultivo em terras baixas durante o inverno. A diferença encontrada nos resultados observados no estudo, pode estar relacionada a alguns fatores, como às condições de fertilidade do solo, sendo que no estudo em questão, as plantas de cobertura de inverno não receberam suporte de N mineral, enquanto que no trabalho realizado por Scivittaro e Silva, o azevém recebeu como adubação de cobertura por ocasião do perfilhamento, 60kg ha^{-1} de N, utilizando-se como fonte a uréia. Ceretta et al. (2002), em dois anos de estudo com produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, observaram que, no primeiro ano, quando o consórcio aveia preta+ervilhaca foi cultivado sobre resíduos de soja, houve maior participação da aveia preta na produção de fitomassa seca, sendo que no segundo ano, quando o consórcio foi cultivado sobre resíduos de milho, houve maior contribuição da leguminosa. Este fato demonstra que onde ocorre uma redução da disponibilidade de N a leguminosa apresenta maior poder de competição com a gramínea. Adicionalmente, a precipitação também pode ter influenciado esses resultados nos meses de maio a agosto de 2005 e 2006, a média mensal de precipitação foi inferior a média dos últimos 30 anos. Segundo Aita e Giacomini (2006), o desempenho das plantas de cobertura no outono/inverno está diretamente relacionado às condições edafoclimáticas predominantes em cada local.

Tabela 4. Produção de fitomassa seca e acúmulo de nutrientes na parte aérea das espécies de inverno e de verão. Capão do Leão, RS, 2009.

Espécies	FS	C	N	P	K	Ca	Mg	L
	Mg ha^{-1}	kg ha^{-1}						
inverno 2005								
Az ⁽¹⁾	4,87ab	2088ab	48c	10b	55b	19c	7b	432b
TB	5,52a	2232a	156a	15a	112a	62a	21a	827a
Az+TB	3,97b	1633b	78b	11b	66b	32b	10b	212c
verão 2005 - 2006								
A	6,31a	2691a	53b	13a	69a	13b	10b	508a
M	3,75b	1626b	27b	4b	38b	8b	11b	221b
S	6,03a	2508a	171a	16a	66a	72a	36a	612a
inverno 2006								
Az	1,77a	739a	20b	3a	16b	3b	3b	ND
TB	3,5a	1229a	120a	9a	97a	31a	11a	ND
Az+TB	3,05a	1220a	79ab	8a	57ab	11b	11ab	ND
verão 2006 - 2007								
A	8,84a	3336a	67a	12a	97a	13a	11a	ND
M	4,14b	1584b	34b	5b	60b	16a	17a	ND
S	3,06b	1290b	61a	5b	35b	22a	12a	ND

⁽¹⁾ A – arroz (*Oryza sativa*), Az - Azevém (*Lolium multiflorum* Lam), M – milho (*Zea mays* L), S – soja (*Glycine max* L), TB – trevo branco (*Trifolium repens*).

ND – não determinado. Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Para as espécies de verão, o arroz (A) se destaca com alta produção de fitomassa seca (6,31 e 8,84Mgha⁻¹) e conteúdo de C (2.691 e 3.336kggha⁻¹), no primeiro e segundo cultivos, respectivamente. A leguminosa de verão (S) não diferiu do A no primeiro cultivo de verão, quanto à produção de FS (6,03Mgha⁻¹) e conteúdo de C (2.508kggha⁻¹). O M obteve uma produção de FS (3,75Mgha⁻¹) menor que a S e o A, mas não diferiu da S quanto à produção de FS (4,14Mgha⁻¹) e conteúdo de C (1.584kggha⁻¹) no segundo cultivo. Assim, como a quantidade de nutrientes, o conteúdo de C, depende da concentração do elemento no tecido vegetal e da fitomassa seca produzida pela espécie.

Buchanan e King (1993), num estudo sobre perdas de C e P na decomposição de resíduos culturais, em condições edafoclimáticas diferentes do presente estudo, encontraram para a FS da parte aérea do milho, sob plantio direto, teores de C (432gkg⁻¹), N (10,85gkg⁻¹), P (1,38gkg⁻¹) e L (76,40gkg⁻¹) muito próximos aos encontrados para o M no presente estudo [C (433,20gkg⁻¹), N (7,10gkg⁻¹), P (1,10gkg⁻¹) e lignina (58,90gkg⁻¹)].

O acúmulo de N pelo TB na média dos dois cultivos foi de 138kggha⁻¹ e pela S foi de 116kggha⁻¹. A leguminosa de inverno (TB) foi 75,4% superior à média dos dois cultivos em acúmulo de N em relação a gramínea (Az). A leguminosa de verão (S) foi 76,7% superior as médias do acúmulo de N do M e A, no primeiro cultivo de verão. Este fato está relacionado à capacidade que estas espécies apresentam em associar-se as bactérias fixadoras de N (AITA; GIACOMINI, 2006), bem como à quantidade de fitomassa seca produzida por elas. Giacomini et al. (2003), em dois anos de estudo com produção e composição química da fitomassa de plantas de cobertura, encontraram maior acúmulo de N para a ervilhaca (102kggha⁻¹) e menor para a aveia (58kggha⁻¹).

Ceretta et al. (2005), em dois anos de estudo, avaliando produção de fitomassa seca e acúmulo de N, P e K, encontraram um acúmulo de N de 28 e 20kggha⁻¹, para a parte aérea do milho. Resultado similar foi encontrado na média dos dois cultivos para o milho (30kggha⁻¹).

A quantidade de nutrientes acumulada na fitomassa do consórcio Az+TB, nos dois cultivos foi de 78 e 79 para o N, 11 e 8 para o P, 66 e 57 para o K, 32 e 11 para o Ca e 10 e 11kggha⁻¹ para o Mg. Principalmente em ambientes de terras baixas, o qual apresenta baixa fertilidade natural e requer o aporte de fontes exógenas de nutrientes, o consórcio torna-se uma estratégia positiva não só quanto à ciclagem de

nutrientes, mas também quanto à produção de fitomassa seca e pelo maior tempo de permanência dos resíduos no solo, em relação ao cultivo solteiro de leguminosas. Ceretta et al. (2002), consideraram que a presença da ervilhaca na consorciação com aveia preta pode ter sido a justificativa para o maior teor e quantidade de N acumulado na fitomassa seca da parte aérea do consórcio, determinando uma menor relação C/N.

No primeiro cultivo das espécies de inverno o acúmulo de N, P, K, Ca e Mg para o Az foi de 48, 10, 55, 19, 7kg ha^{-1} , respectivamente. Resultados próximos foram encontrados por Scivittaro e Silva (2007), na mesma estação experimental, onde para o azevém o acúmulo foi 47 de N, 13 de P, 67 de K, 13 de Ca e 9kg ha^{-1} de Mg.

Quanto ao acúmulo de P, K, Ca e Mg, o TB foi superior ao Az no primeiro cultivo de inverno, mas não diferiu do Az no segundo cultivo em relação ao acúmulo de P (tabela 4). Segundo Giacomini (2003), o maior acúmulo de P e K nas leguminosas, se deve a maior concentração do P no tecido vegetal da leguminosa e de sua habilidade em reciclar o K disponível no solo.

No M, observam-se os valores mais baixos de FS (3,75Mg ha^{-1}), conteúdo de C (1.626kg ha^{-1}) e acúmulo de nutrientes (N 27, P 4, K 38, Ca 8 e Mg 11kg ha^{-1}) no primeiro cultivo de verão em relação à S, mas não diferiu do A em acúmulo de N, Ca e Mg (tabela 4). No segundo cultivo não houve diferenças significativas com a S.

Os teores de lignina foram maiores para as leguminosas TB (14,98%) e S (10,15%), e menores para as gramíneas Az (8,88%), A (8,05%) e M (5,89%) (apêndice C). Resultados próximos foram encontrados por Fukushima e Savioli (2001), para a gramínea aveia (8,8%) e para as leguminosas siratro (27,4%) e soja (17,8%). Cruz (2005), avaliando a qualidade de resíduos culturais de diferentes sistemas de cultura em um Cambissolo Háplico na região de Piratini, RS, encontrou um teor de lignina para a ervilhaca (13,87%) e para as gramíneas aveia (7,88%) e milho (6,62%). As espécies leguminosas geralmente apresentam teores de lignina mais elevados do que as gramíneas. Caracteristicamente as leguminosas tendem a possuir menor conteúdo de parede celular (altamente lignificada) e maior conteúdo celular, em relação às gramíneas (VAN SOEST, 1994).

4.3.4 Relação C/N, C/P e L/N

A relação C/N das leguminosas (tabela 5), média dos dois cultivos, foi de 12,28 para o TB e de 17,9 para a S. Para as gramíneas, as médias foram 40,23, 50,42 e 51,48, para o Az, A e M, respectivamente. Num trabalho sobre decomposição de resíduos culturais sob plantio direto e plantio convencional, Lupwayi et al. (2004), encontraram uma relação C/N de 22,3 para o trevo e de 59,2, para o trigo.

Para o consórcio entre gramíneas e leguminosas (Az+TB), a relação C/N e C/P foi intermediária ao cultivo solteiro de ambos. Para o primeiro cultivo, a relação C/N e C/P foi de 20,99 e 152,24, para o segundo cultivo foi de 15,52 e 147,97, respectivamente. Giacomini (2003) encontrou uma relação C/N para o consórcio (30%aveia+70%ervilhaca) de 23,9, no primeiro ano e 17,0 no segundo ano de cultivo. A adição contínua de resíduos culturais com relação C/N contrastantes proporciona fluxos diferenciados de C e N ao solo (SÁ et al. 2005). Aita (1997) observou que a relação C/N dos resíduos aportados ao solo assume papel importante na decomposição e imobilização/mineralização. Espécies com relação C/N em torno de 25 causam equilíbrio entre esses processos; valores superiores causam imobilização líquida, enquanto os valores inferiores promovem mineralização líquida de N. Este último implica numa rápida decomposição dos resíduos culturais e, conseqüentemente, na liberação de N ao sistema o que não é desejável, pois o nutriente está sujeito à lixiviação, desnitrificação e outras formas de perdas. Uma combinação de espécies com diferentes relações C/N pode ser o ideal para a liberação de nutrientes (LUPWAYI et al., 2004) e para a maior eficiência no aproveitamento pelas culturas subseqüentes.

A relação C/P encontrada nas gramíneas Az, A e M foi de 232,29, 238,97 e 341,82, médias dos dois anos de cultivo. Para o cultivo solteiro da ervilhaca e da aveia preta, Giacomini et al. (2003), encontraram uma relação C/P de 104 e 154, respectivamente. A relação L/N para Az, A e M foi de 9,05, 9,59 e 8,30, respectivamente. Buchanan e King (1993), num estudo sobre perdas de C e P na decomposição de resíduos culturais, encontraram uma relação C/P (312,59) e L/N (7,0) para a parte aérea do milho.

Tabela 5. Relação C/N, C/P e L/N da parte aérea das espécies de inverno e de verão. Capão do Leão, RS, 2009.

Espécies	C/N	C/P	L/N
inverno 2005			
Az ⁽¹⁾	43,73	214,51	9,05
TB	14,33	144,31	5,31
Az+TB	20,99	152,24	2,72
verão 2005 - 2006			
A	50,80	203,13	9,59
M	61,02	393,82	8,30
S	14,69	153,98	3,59
inverno 2006			
Az	36,74	232,07	ND
TB	10,24	143,88	ND
Az+TB	15,52	147,97	ND
verão 2006 - 2007			
A	50,05	274,82	ND
M	41,94	289,83	ND
S	21,11	235,56	ND

⁽¹⁾ A – arroz (*Oryza sativa*), Az - Azevém (*Lolium multiflorum* Lam), M – milho (*Zea mays* L), S – soja (*Glycine max* L), TB – trevo branco (*Trifolium repens*).
ND – não determinado.

4.3.5 Teor e conteúdo de C e N na planta inteira das espécies de inverno e de verão

Os teores de C foram maiores na parte aérea (folha e caule/colmo) e menores na raiz, para todas as espécies (tabela 6) (apêndice D). Para o M, os teores de C foram 39,94% para a folha, 41,91% para o colmo e 27,95% para as raízes. Cruz (2005) encontrou teores mais elevados para a parte aérea de duas variedades de milho (39,98 e 40,05% para as folhas e 41,40 e 42,09% para o colmo) e mais baixos para as raízes (37,97 e 38,29%). Outros resultados semelhantes foram encontrados por Azevedo e Spehar (2002), para a parte aérea do arroz (41,68%), próximos ao teor de C encontrado no presente trabalho para o colmo de arroz (39,66%). Balesdent e Balabane (1996), avaliando a contribuição relativa das raízes do milho para o armazenamento do carbono no solo, observaram que embora as adições de C pela parte aérea do milho tenham sido superiores à contribuição das raízes e exudatos, as raízes contribuíram mais para o acúmulo de C no solo (37,5%), enquanto que somente 10% da parte aérea ficaram retidos no solo. O sistema radicular constitui-se uma das principais vias para o acúmulo de C orgânico em profundidade, pela interação direta das raízes na matriz mineral, a qual favorece a

proteção dos compostos orgânicos da degradação microbiana (BALESDENT; CHENU; BALABANE, 2000).

Tabela 6. Estimativa do teor e conteúdo de C e N na planta inteira (folha, caule/colmo e raiz), das espécies de inverno e de verão. Capão do Leão, RS, 2009.

Espécies	FS	C	conteúdo de C	N	acúmulo de N	C/N
	kg ha^{-1}	gkg $^{-1}$	kg ha^{-1}	gkg $^{-1}$	kg ha^{-1}	
----- folha -----						
Az ⁽¹⁾	1425 c	523	793 ab	12	19 c	42,17
TB*	578 c	433	251 b	52	30 bc	8,28
A**	4229 a	397	1676 a	12	48 ab	34,65
M	3844 ab	399	1534 a	11	40 bc	38,78
S	2020 bc	426	858 ab	35	70 a	12,30
----- caule/colmo -----						
Az	5160 b	420	2167 b	6	33 ab	66,09
TB*	2240 b	402	900 b	24	53 a	16,86
A**	12393 a	397	4918 a	5	57 a	85,99
M	4805 b	419	2015 b	3	16 b	128,35
S	2879 b	412	1185 b	13	37 ab	32,38
----- raiz -----						
Az	2558 b	254	637 bc	10	26 ab	24,75
TB*	1862 b	260	461 c	17	31 ab	15,04
A**	ND	ND	ND	ND	ND	ND
M	6476 b	279	1742 b	3	22 ab	78,44
S	942 b	394	371 c	18	17 b	22,18

⁽¹⁾ A – arroz (*Oryza sativa*), Az - azevém (*Lolium multiflorum* Lam), M – milho (*Zea mays* L), S – soja (*Glycine max* L), TB – trevo branco (*Trifolium repens*).

* N° de estolões.

**N° de perfilhos.

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

ND – não determinado

O conteúdo de C na folha foi mais elevado para o A (1.676kg ha^{-1}) e M (1.534kg ha^{-1}) em relação ao TB (251kg ha^{-1}), que não diferiu do Az e da S. No colmo e na raiz, o conteúdo de C foi maior para o A (4.918 e 3.309kg ha^{-1}), respectivamente. De acordo com o que se observa nos resultados, o conteúdo de C está relacionado diretamente à quantidade de FS produzida pela espécie.

Amado et al. (2007), avaliando a qualidade do solo, em dois experimentos de longa duração, concluíram que os níveis mais altos de qualidade do solo foram alcançados sob sistema plantio direto associados a sistemas de cultura diversificados, com destaque para àqueles com leguminosas tropicais, os quais aportaram elevadas quantidades de C e N ao solo via resíduos culturais.

A cultura do arroz irrigado apresentou contribuição expressiva para a ciclagem de carbono no sistema, a adição pela parte aérea foi de 6,6Mg ha^{-1} . Farias et al. (2005), trabalhando com aporte de carbono pelo sistema radicular do arroz em

casa de vegetação, encontraram uma contribuição de $0,90\text{Mgha}^{-1}$ de C durante todo o ciclo da cultura, a partir da produção de FS das raízes. Moreira e Siqueira (2006) estimam que cerca de 60% do carbono fotoassimilado seja transportado para as raízes. Dessas, 50% são liberados na forma de CO_2 pela respiração e, os outros 50%, utilizados para o crescimento das raízes ou liberados para o solo, contribuindo para o aumento da matéria orgânica do solo e para a nutrição dos organismos.

Os teores de N foram mais elevados nas folhas do que no caule/colmo e na raiz, para todas as espécies em estudo. Entre as espécies avaliadas, o teor de N na folha, caule/colmo e na raiz, foram mais elevados para as leguminosas TB (5,25, 2,37 e 1,73%) e S (3,50 1,28 e 1,78%), respectivamente. Para duas cultivares de milho, Cruz (2005) obteve teores de N mais elevados nas folhas (1,82 e 2,31%). Bayer, Mielniczuk e Pavinato (1998) observaram que, além da importância econômica das espécies leguminosas, substituindo em parte o N a ser aplicado na cultura do milho, outro aspecto que se destaca é o maior aporte de resíduos culturais ao solo tanto pelas culturas de cobertura como pelas culturas comerciais.

O conteúdo de N respondeu de forma diferente ao teor de N, para as diferentes partes das espécies. Na S (70kggha^{-1}) e no M (40kggha^{-1}) foi mais elevado na folha. Para o TB (53kggha^{-1}) e o Az (33kggha^{-1}) foi mais elevado no caule/colmo. No arroz o acúmulo de N foi mais elevado na raiz (71kggha^{-1}).

Os resultados confirmam que o acúmulo de N está diretamente relacionado à produção de FS. Segundo Giacomini (2003), a quantidade de nutrientes acumulada na fitomassa da parte aérea das plantas de cobertura de solo depende da concentração desses nutrientes no tecido vegetal e da FS produzida pela espécie utilizada. O referido autor, em dois anos de estudo, num experimento com produção de fitomassa seca e acúmulo de N, P e K em plantas de cobertura de solo, obteve uma média dos dois anos de acúmulo de N na parte aérea da gramínea (aveia preta) de 59kggha^{-1} e para a leguminosa (ervilhaca) de 102kggha^{-1} . No presente experimento, a média do acúmulo de N na parte aérea entre gramíneas (Az, A e M), foi de 36kggha^{-1} e a média entre leguminosas (TB e S) foi de 45kggha^{-1} . Essa diferença entre os resultados do estudo em questão e os de Giacomini podem estar baseados, segundo os autores Ntanos e Koutroubas (2002), em que a capacidade fotossintética vegetal, o posterior acúmulo de N e a distribuição de fitomassa seca, estão fortemente relacionados a fatores ambientais como às condições climáticas, edáficas e à disponibilidade de nutrientes.

Entre as diferentes partes das plantas de todas as espécies estudadas, a maior relação C/N foi para o colmo. Cruz (2005), encontrou uma relação C/N de 110,7 para o colmo e de 45,58 para a raiz do milho. No presente trabalho, a relação C/N do milho foi de 128,35 para o colmo e 78,44 para a raiz.

A relação C/N na folha foi maior para Az (42,17), enquanto que no caule/colmo e na raiz, foi maior para o M (128,35 e 78,44). Valores mais baixos foram observados para o TB (8,28 na folha, 16,86 no caule e 15,04 na raiz). Valores mais baixos para a relação C/N em leguminosas pode ser explicado pela capacidade que as mesmas apresentam de se associarem as bactérias fixadoras de N, onde uma fração significativa deste nutriente (50 a 70% do N total acumulado) é obtido diretamente da atmosfera e o restante do solo, enquanto que a quantidade de N acumulado nas gramíneas depende exclusivamente da capacidade de suprimento pelo solo (AITA; GIACOMINI, 2006).

4.4 Conclusões

Os resultados do presente estudo permitem as seguintes conclusões:

- a) Sistemas de cultura com cultivos consorciados envolvendo gramíneas e leguminosas apresentam maior potencial para adição de fitomassa seca ao solo comparativamente aos cultivos solteiros;
- b) Observa-se maior acúmulo de todos os nutrientes avaliados na fitomassa seca da parte aérea das plantas de trevo branco;
- c) Maiores conteúdos de C são observados no caule/colmo para todas as culturas avaliadas;
- d) O acúmulo de N apresenta-se diferente entre as partes das plantas, sendo observado no milho e na soja maior acúmulo na folha, para o arroz, azevém e o trevo branco no caule/colmo.

5 Capítulo 2 - Decomposição de resíduos culturais em sistemas rotacionados de manejo em um Planossolo Háplico

5.1 Introdução

Os sistemas conservacionistas de manejo do solo baseiam-se na minimização das operações de preparo do solo e na concepção de sistemas de culturas que propiciem elevado e permanente aporte de resíduos vegetais ao solo e de nutrientes limitantes à produção de fitomassa, como o N. Entretanto, o grande desafio para o planejamento de sistemas sustentáveis de manejo é conciliar a manutenção de resíduos vegetais sobre o solo pelo maior período de tempo possível e sincronizar a disponibilização de nutrientes à demanda nutricional das culturas subseqüentes, respeitando-se as características edafoclimáticas da região de cultivo.

Os solos de terras baixas apresentam fertilidade natural de média a baixa, sendo comum a baixa disponibilidade de fósforo e N, reduzido conteúdo de MO e baixos valores de pH (GOMES et al., 2002). Neste contexto, o monitoramento do processo de decomposição/mineralização dos resíduos vegetais de plantas cultivadas nesse ambiente permite identificar parâmetros quali/quantitativos relacionados ao processo de decomposição dos resíduos vegetais e, conseqüentemente, à liberação/ciclagem de nutrientes no sistema. Tais informações são fundamentais para o planejamento e desenvolvimento de sistemas sustentáveis de manejo do solo para esse ambiente. Segundo Silva, Sousa e Pocojeski, (2008), em condições anaeróbias, a decomposição de compostos orgânicos é mais lenta e menos eficiente e apresenta produtos finais diferentes dos produzidos pela decomposição aeróbia. A maior parte dos estudos relacionados à dinâmica da matéria orgânica no solo é realizada em condições de solos oxidicos, havendo necessidade de informações mais detalhadas a respeito da sua dinâmica em ambientes com períodos de anaerobiose.

Grandes diferenças nas taxas de decomposição têm sido observadas entre os diferentes resíduos culturais. Os principais fatores que afetam o processo de decomposição e, conseqüentemente, a liberação dos nutrientes são as condições edafoclimáticas (temperatura, umidade, pH, teor de oxigênio, disponibilidade de nutrientes no solo) e a qualidade do substrato (fração solúvel, lignina, polifenóis e as

relações C/N, lignina/N e lignina + polifenóis/N) (PAUL; CLARK, 1996, CORREIA; ANDRADE, 1999, AMADO; SANTI; ACOSTA, 2003).

O monitoramento da dinâmica de decomposição de resíduos culturais das plantas de cobertura de inverno como azevém, trevo branco e azevém+trevo branco, e dos resíduos das culturas comerciais de verão como o arroz irrigado, milho e a soja, em um agroecossistema de terras baixas, permitirá a identificação de sistemas com maior potencial para ciclagem de nutrientes e de C, bem como possibilitará estabelecer estratégias de manejo visando maior aproveitamento dos nutrientes mineralizados no processo pelas culturas subseqüentes, contribuindo para o aumento da produtividade biológica do sistema, bem como para a qualidade ambiental. Diante deste contexto o presente estudo teve como objetivo: i) avaliar a dinâmica de decomposição dos resíduos culturais de gramíneas e leguminosas de inverno, utilizadas como plantas de cobertura de solo, e de culturas de verão utilizadas como as culturas comerciais alternativas ao arroz irrigado em um Planossolo Háplico típico de agroecossistema de terra baixas; ii) avaliar o potencial dos sistemas de cultura para o fornecimento de N ao solo.

5.2 Material e métodos

O presente estudo foi conduzido a campo, a partir do inverno de 2005 ao verão 2006/2007, na área experimental da Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, em Capão do Leão, RS. A localização, o clima e as características de solo foram descritos na Metodologia geral.

As condições climáticas (precipitação pluviométrica e temperatura do ar) durante o período de estudo estão apresentadas na tabela 7.

Para o estudo de decomposição de resíduos culturais, foram selecionadas espécies de inverno, utilizadas como plantas de cobertura de solo, e espécies de verão utilizadas como culturas comerciais alternativas ao arroz irrigado. Este trabalho faz parte do estudo de “Produção e composição química da fitomassa de espécies culturais em sistemas rotacionados de manejo em um Planossolo Háplico” (Capítulo 1).

As espécies de inverno foram selecionadas de modo a compor resíduos culturais de gramíneas e leguminosas, em cultivo solteiro e consorciado, como o azevém (*Lolium multiflorum* Lam) (Az), trevo-branco (*Trifolium repens*) (TB) e azevém+trevo-branco (45%Az+55%TB). Para o estudo com as espécies de verão, foram selecionadas somente gramíneas e leguminosas em cultivo solteiro, como o arroz (*Oryza sativa*) (A), milho (*Zea mays* L.) (M) e soja (*Glycine max* L) (S). A semeadura das plantas de cobertura no inverno foi realizada em junho de 2005 e maio de 2006, manualmente a lanço. A semeadura das culturas de verão foi realizada em novembro de 2005 e 2006, com auxílio de máquina semeadora em linha com tração mecanizada.

A fitomassa das espécies de inverno (Az, TB, Az+TB) foi coletada em plena floração. Para a quantificação da fitomassa, inicialmente, foram coletadas três subamostras ao acaso dentro da área útil da parcela, com um quadro de 0,25m² em cada tratamento, as quais formaram uma amostra composta. No tratamento consorciado (45%Az+55%TB), foi realizada a separação das espécies para determinar a produção total de fitomassa seca (FS) das duas espécies envolvidas no consórcio. Para as espécies de verão (A, M, S), a fitomassa foi coletada no estágio de grão leitoso. A coleta para a quantificação da fitomassa do M e da S foi através da contagem da população (método descrito no item Material e Métodos do Capítulo 1). O procedimento de coleta para a quantificação da fitomassa do A foi semelhante

ao procedimento adotado para as espécies de inverno. Após a coleta, o método de quantificação da FS foi semelhante entre as espécies de inverno e de verão, sendo que cada espécie foi separada em folha, caule/colmo e inflorescência, seca ao ar até a massa não sofrer mais perda de água por processo natural, em seguida foram transferidas para uma estufa ventilada a 65°C e secas até massa constante para a quantificação da FS. No momento da coleta das amostras para a quantificação da FS, foi coletado um volume de material de cada espécie suficiente para o desenvolvimento do estudo. A fitomassa verde foi colocada em um local abrigado de chuvas, com ventilação natural e seca ao ar até a massa não sofrer mais perda de água por processo natural. Os resíduos culturais, posteriormente ao processo de secagem e ajustamento da quantificação da FS, foram cortados manualmente em pedaços de aproximadamente 0,18m e acondicionados em sacos de poliéster com dimensões de 0,20 x 0,20m e malha de 0,005m, obedecendo-se a proporção entre os diferentes constituintes para cada espécie. Para as plantas de M, devido ao maior volume dos resíduos, foi determinado um tamanho maior de saco de poliéster, medindo 0,40 x 0,40m e malha de 0,005m, o tamanho de corte dos resíduos de M acompanhou o tamanho do saco de poliéster (0,38m).

Os tratamentos com os resíduos culturais de inverno (Az, TB e Az+TB) foram distribuídos na superfície do solo no dia 22 de dezembro de 2005 e repetidos em 27 de dezembro de 2006. Os tratamentos com os resíduos culturais de verão (A, M e S), foram colocados na superfície do solo em 30 de julho de 2006 e repetidos em 25 de maio de 2007. Ambos os estudos (de inverno e verão), foram instalados e repetidos, 30 dias após a semeadura das culturas em sucessão. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com três repetições. Em cada bloco, foram colocados 30 sacos por tratamento, retirando-se três sacos por repetição e data de coleta, totalizando nove sacos por tratamento, com a finalidade de obter um volume de material suficiente para as análises químicas.

Aos 7, 14, 21, 28, 60, 90, 120, 150, 180 e 210 dias após a disposição (DAD) dos sacos com resíduos de inverno (Az, TB e Az+TB) no campo e aos 7, 14, 21, 28, 60, 90, 120, 150 e 180 DAD para os resíduos de verão (A, M e S), os mesmos foram coletados. Após a coleta, foram secos em estufa ventilada a 65°C até massa constante, moídos em moinho modelo Willey até 0,5 mm e acondicionados para posterior análise química. Uma subamostra de 1g foi incinerada em mufla a 550°C durante quatro horas para a determinação de cinzas, com a finalidade de expressar

a matéria seca livre da contaminação com solo, conforme procedimento descrito por Christensen (1985).

Os teores de carbono (C) e nitrogênio (N) foram determinados na matéria seca (MS) remanescente de cada espécie, através da oxidação seca utilizando-se um analisador elementar C, N e S, modelo FlashEA 1112 HT da marca Thermo Electron. As determinações dos macronutrientes (P, K, Ca e Mg), foram realizadas segundo o método descrito em Tedesco et al. (1995). O teor de lignina foi determinado através de método descrito em Van Soest (1963).

As taxas de decomposição dos resíduos culturais e liberação de N, P, K, Ca e Mg foram estimadas ajustando-se aos valores observados, modelos não lineares de regressão conforme proposto por Wieder e Lang (1982). Entre os modelos propostos pelos autores, o que mais se adequou ao estudo foi o modelo assintótico, o qual, considera que a fitomassa ou os nutrientes dos resíduos culturais podem ser divididos em dois compartimentos: lábil (A) e recalcitrante (100 – A). No primeiro compartimento, somente a fitomassa ou os nutrientes são transformados, diminuindo exponencialmente a uma taxa relativa constante. A fitomassa ou os nutrientes do segundo compartimento são considerados como recalcitrantes e não sofrem transformação no período de tempo considerado. A escolha do tipo de modelo foi feita com base nos valores do coeficiente de correlação (R^2), o qual indica o grau de associação entre o modelo ajustado e os valores observados. O modelo tem a seguinte expressão matemática:

$$\text{FSR ou CNPKCaMgR} = Ae^{-k_{at}t} + (100 - A) \quad [1]$$

Onde:

FSR ou CNPKCaMgR é a porcentagem da fitomassa seca ou nutriente remanescente no tempo (t), respectivamente.

t = tempo (dias)

k_{at} = taxa constante de decomposição da fitomassa seca ou de liberação de nutrientes do compartimento lábil (A) e recalcitrante (100 – A), respectivamente.

O tempo de meia vida ($T_{1/2}$) foi calculado a partir dos valores da constante de decomposição da FS ou da liberação de nutrientes de cada compartimento. O $T_{1/2}$ é o tempo necessário para que 50% da FS daquele compartimento seja decomposta, ou que 50% dos nutrientes sejam liberados. A fórmula utilizada é apresentada por Paul e Clark (1996).

$$T_{1/2} = 0,693/k_a \quad [2]$$

Tabela 7. Precipitação pluviométrica e temperatura média do ar em cada intervalo de amostragem dos sacos de decomposição, para as espécies de inverno e de verão, no primeiro (2005 - 2006) e segundo (2006 - 2007) ano de estudo. Capão do Leão, RS, 2009.

Amostragem	Intervalo ---- dias ----	Precipitação, mm		Temperatura, °C	
		2005 - 2006	2006 - 2007	2005 - 2006	2006 - 2007
----- espécies de inverno -----					
1	0 - 7	0,0	0,0	22,3	25,7
2	8 - 14	26,6	4,6	22,7	24
3	15 - 21	14,8	1,8	25,3	26,7
4	22 - 28	49,4	4,8	24,5	26,1
5	29 - 60	70,8	89,0	21,4	23,6
6	61 - 90	152,8	198,6	21,5	23,9
7	91 - 120	50,8	126,8	20,5	21,9
8	121 - 150	37,1	130,0	15,2	14,1
9	151 - 180	84,1	190,2	13,7	12,0
10	181 - 210	77,6	126,6	14,8	10,3
----- espécies de verão -----					
1	0 - 7	12,0	1,6	15,1	9,3
2	8 - 14	43,6	0,0	17,2	11,2
3	15 - 21	6,8	181,8	16,6	14,7
4	22 - 28	16,8	5,4	12,9	13,2
5	29 - 60	117,0	128,0	13,0	10,4
6	61 - 90	81,8	147,8	14,8	10,4
7	91 - 120	53,4	76,1	18,6	16,0
8	121 - 150	130,4	84,5	19,4	17,5
9	151 - 180	139,4	112,1	23,4	19,0

5.3 Resultados e discussão

5.3.1 Decomposição dos resíduos culturais

Os resíduos das leguminosas apresentaram uma decomposição inicial mais rápida do que os das gramíneas (Figura 3). No primeiro ano de estudo, aos 30DAD dos sacos com resíduos culturais no campo, somente 45 e 49% da FS de TB e S ainda permaneciam sobre o solo, contra 60, 63 e 72% dos resíduos de M, A e Az, respectivamente. Estes resultados foram confirmados no segundo ano de estudo, onde 58% da FS da S e TB e 67, 77 e 82% da FS de A, Az e M, respectivamente, permaneciam sobre o solo. Embora a decomposição inicial da FS tenha sido diferente entre as espécies leguminosas e gramíneas, a curva de decomposição da FS de todos os resíduos vegetais obedeceu à mesma tendência, com uma fase inicial rápida, seguida de uma fase mais lenta, confirmando resultados encontrados por Giacomini (2001). Como produto da decomposição, componentes solúveis de relativa facilidade de degradação, como açúcares e proteínas, são rapidamente utilizados pelos decompositores, enquanto que materiais mais recalcitrantes como a celulose, gorduras, ceras, taninos e ligninas são decompostos a uma taxa relativamente mais lenta (WIEDER; LANG, 1982; PAUL; CLARK, 1996). A porcentagem da FS remanescente do consórcio de Az+TB, nos dois anos de estudo, neste mesmo período, ficou num nível intermediário entre as espécies gramíneas e leguminosas em cultivo solteiro.

Aos 90DAD dos sacos com resíduos culturais no campo, no primeiro ano de estudo, havia menos que 50% de FS remanescente sobre o solo de todas as espécies estudadas. Observando no segundo ano de estudo, neste mesmo período (90DAD), havia mais de 50% da FS remanescente sobre o solo dos resíduos culturais das espécies gramíneas. Provavelmente estes resultados estejam relacionados aos fatores climatológicos no período mencionado (tabela 7). A precipitação acumulada até os 90DAD dos sacos com resíduos culturais de verão no campo, no primeiro ano (278mm) comparada com o segundo ano (464,6mm), foi 40% menor que no segundo ano, e a temperatura média foi similar para os dois períodos. Este fato pode ter contribuído para a menor decomposição dos resíduos culturais das gramíneas no segundo ano, permanecendo esta mesma tendência para os resíduos de A e M, até o final do período em estudo (180dias), quando a precipitação acumulada foi 601mm para o primeiro ano e 737mm para o segundo

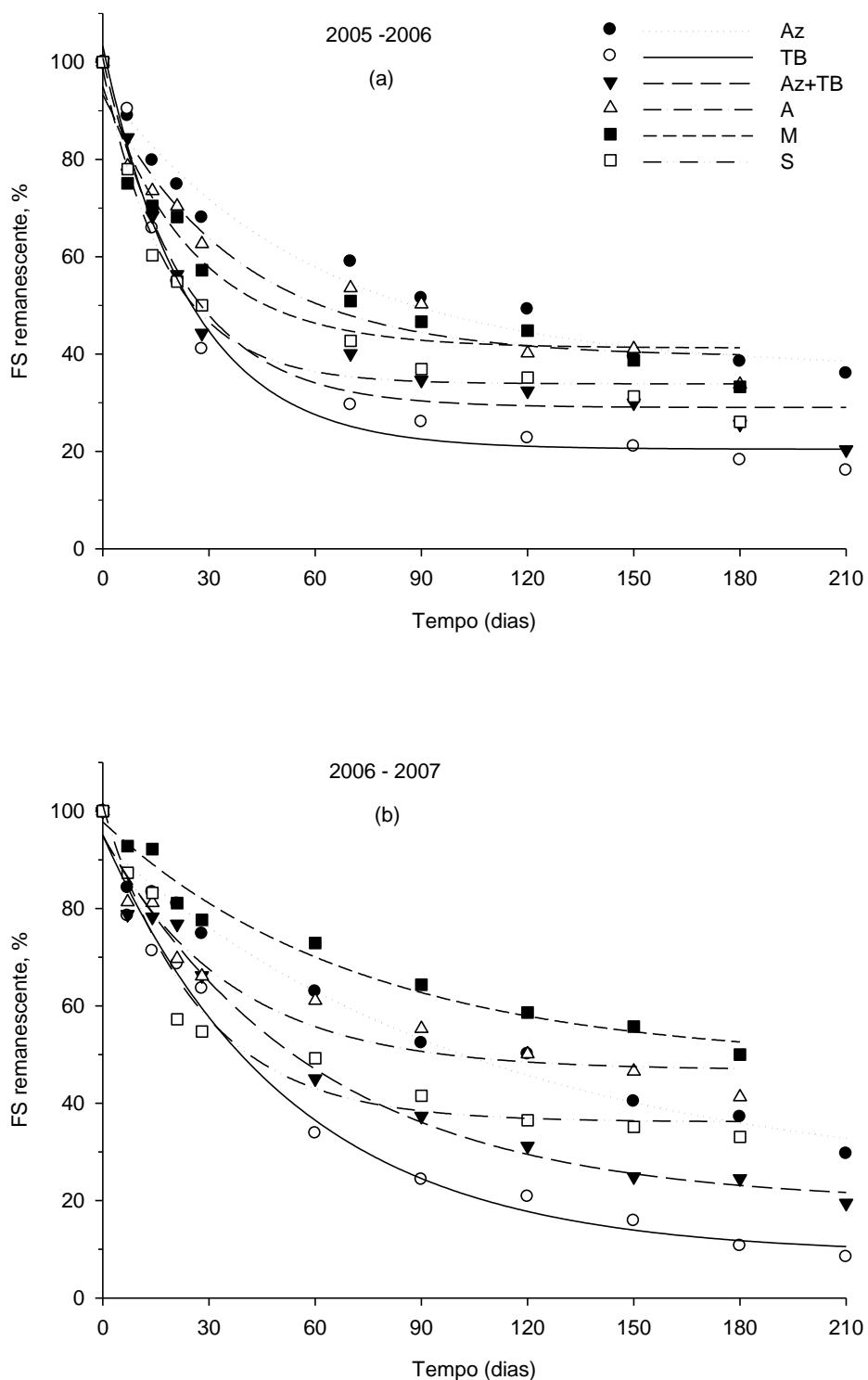


Figura 3. Porcentagem de fitomassa seca (FS) inicial remanescente dos resíduos culturais das espécies de inverno (azevém (*Lolium multiflorum* Lam) (Az), trevo-branco (*Trifolium repens*) (TB) e azevém+trevo-branco (Az+TB)) e de verão (arroz (*Oryza sativa*) (A), milho (*Zea mays* L) (M) e soja (*Glycine max* L) (S)), dias após a disposição dos sacos de decomposição no campo. Em dois anos de estudo 2005-2006 (a) e 2006-2007 (b).

ano, com temperatura média menor em 3°C para o segundo ano. Os resíduos culturais das espécies leguminosas (TB e S) e do consórcio (Az+TB) tiveram um comportamento diferenciado das gramíneas, provavelmente pela diferença na sua composição química. Até os 90DAD dos sacos com resíduos culturais no campo, a decomposição da FS destas espécies era maior no primeiro ano, permanecendo entre 23 e 35%, enquanto que no segundo ano havia aproximadamente de 25 a 40% da FS remanescente. A partir de 90 a 210DAD dos sacos com resíduos culturais, no período de inverno, a taxa de decomposição da FS remanescente dos resíduos de TB e Az+TB foi maior no segundo ano até o final do período, quando também a precipitação acumulada foi 56% maior. Os resíduos de S obedeceram à mesma tendência, com maior decomposição de FS no primeiro ano, quando para este mesmo período a precipitação acumulada e a temperatura média foi maior (323,2mm e 20,5°C) em relação ao segundo ano (272,7mm e 17,5°C).

O comportamento diferenciado entre gramíneas e leguminosas, também pode estar relacionado com o ambiente de terras baixas, onde os solos possuem a característica de mal drenados, proporcionando em algumas ocasiões condições anaeróbias. Silva, Sousa e Pcojeski (2008), comentam que nestas condições a degradação de compostos orgânicos é mais lenta e menos eficiente, e apresentam produtos finais diferentes dos produzidos pela degradação aeróbia. A maior parte dos estudos relacionados a matéria orgânica do solo é realizado em condições aeróbias, havendo necessidade de informações mais detalhadas a respeito da sua dinâmica em ambientes anaeróbios. Ranells e Waggoner (1996) observaram a decomposição e liberação de N mais rápida nos resíduos culturais de centeio, trevo vermelho e ervilhaca peluda em cultivos solteiros e consorciados, durante as quatro primeiras semanas depois dos sacos de decomposição serem distribuídos no campo, quando a precipitação foi cinco vezes maior e a temperatura média 4°C mais alta, no primeiro ano de estudo.

O resíduo cultural da S obteve a maior taxa (k) de decomposição entre todos os resíduos das espécies estudadas (tabela 8). No primeiro ano de estudo, o compartimento lábil representou 64,80% da FS dos resíduos de S, o qual se decompõe a uma taxa (k) 0,0542dia⁻¹, o que resulta num tempo de meia vida (T_{1/2}) da FS deste compartimento de 13 dias (Eq. 2). No segundo ano de estudo, houve uma redução na taxa de decomposição para 0,0375dias⁻¹, conseqüentemente aumentando o T_{1/2} da FS do compartimento lábil para 18 dias representando cerca

de 65,07% da FS dos resíduos de S. Segundo Moreira e Siqueira (2006), os resíduos de soja possuem elevados teores de componentes solúveis e N e baixos teores de celulose e cinzas. Isso explica a sua decomposição mais rápida em relação às gramíneas. Pode-se observar entre todas as espécies estudadas, com exceção do arroz, que a taxa de decomposição do compartimento lábil, no segundo ano de estudo foi menor, aumentando o tempo de meia vida da FS dos resíduos culturais. A redução da taxa de decomposição do compartimento lábil, no segundo ano, pode estar relacionada a maior precipitação acumulada (1609,7mm) no período total de estudo (tabela 7), em adição à reduzida condutividade hidráulica deste solo, característico do ambiente de terras baixas, proporcionando em algumas ocasiões condições de anaerobiose, onde o tipo da população microbiana é alterada de modo que a decomposição de compostos orgânicos nestas condições se torna mais lenta e menos eficiente (MOREIRA; SILQUEIRA, 2006; SILVA; SOUSA; POCOJESKI, 2008).

Tabela 8. Parâmetros do modelo ajustado aos valores observados da fitomassa seca (FS) remanescente, tempo de meia vida ($T_{1/2}$) da FS do compartimento lábil e valores de R^2 para diferentes espécies. Capão do Leão, RS, 2009.

Espécies	A*	k_a	$T_{1/2}A$	R^2
	%	---dias ⁻¹ ---	---dias ---	
2005 - 2006				
Az	58,15	0,0170	41	0,99
TB	82,84	0,0409	17	0,99
Az+TB	71,83	0,0443	16	0,98
A	53,91	0,0264	26	0,97
M	53,73	0,0393	18	0,97
S	64,80	0,0542	13	0,98
2006 - 2007				
Az	70,37	0,0095	73	0,99
TB	86,09	0,0190	36	0,99
Az+TB	75,15	0,0168	41	0,99
A	48,24	0,0282	25	0,97
M	49,33	0,0138	50	0,99
S	65,07	0,0375	18	0,98

A – arroz (*Oryza sativa*), Az - azevém (*Lolium multiflorum* Lam), M – milho (*Zea mays* L), S – soja (*Glycine max* L), TB – trevo branco (*Trifolium repens*).

*A – fitomassa seca do compartimento lábil; k_a – taxa constante de decomposição; $T_{1/2}$ – tempo de meia vida; R^2 – coeficiente de correlação.

No consórcio observa-se que no primeiro ano de estudo, o compartimento lábil representou 71,83% da FS dos resíduos do consórcio, com uma taxa de decomposição ($k = 0,0443$), superando a dos cultivos solteiros dessas espécies, com um $T_{1/2}$ da FS deste compartimento de 16 dias. No segundo ano, os resultados

apresentaram uma taxa de decomposição ($k = 0,0168$) e um $T_{1/2}$ (41dias), intermediária aos cultivos solteiros, com o compartimento lábil representando 75,15% da FS dos resíduos de culturais. Estes resultados demonstram que a alteração na composição química das espécies quando em consórcio, pode aumentar o tempo de permanência dos resíduos sobre o solo em relação ao cultivo solteiro do TB, confirmando resultados encontrados por Giacomini (2003).

Em solos com baixa capacidade de fornecimento de nutrientes e com algum grau de degradação de sua qualidade, a adoção de sistemas conservacionistas de manejo, baseados no mínimo revolvimento do solo, em adição à produção de biomassa vegetal com maior relação C/N, visando manutenção de cobertura do solo por mais tempo em consórcio a plantas leguminosas fixadoras de N, constitui-se numa estratégia de manejo que permite a sustentabilidade do sistema, a sua produtividade biológica bem como a redução na utilização de insumos externos, em especial de fertilizantes.

Observando o comportamento do C liberado (Figura 4a, b) entre os dois anos de estudo e entre as espécies de inverno e de verão, observa-se que, até aos 60DAD dos sacos de decomposição no campo, para as espécies de inverno o C liberado variou entre 950 a 1700kg ha^{-1} no primeiro ano (2005-2006), com quantidades similares no ano subsequente (900 a 1600kg ha^{-1}), o que pode ser resultado da quase equivalência entre os valores de precipitação e de temperatura observados para ambos os anos (tabela 7). As espécies de verão apresentaram comportamento do C liberado diferente das espécies de inverno. Aos 60DAD dos sacos de decomposição no campo, o C liberado no primeiro ano de estudo foi aproximadamente de 1300 a 1650kg ha^{-1} , e no segundo ano o C liberado ficou próximo de 650 a 1450kg ha^{-1} . A precipitação acumulada e a temperatura média neste período foi de 196,2mm e 15°C (primeiro ano) e de 316,8mm e 12°C (segundo ano). Relacionando os resultados do C liberado aos dados climáticos, pode-se dizer que, para os resíduos das espécies de verão, a menor precipitação acumulada e maior temperatura média favoreceram a maior liberação do C no primeiro ano. Tais resultados também podem estar associados a menor demanda interna do solo neste ambiente, e ainda com a época em que os sacos de decomposição estão no campo. Durante os primeiro 60dias de estudo, os sacos com resíduos, das espécies de inverno, estão expostos ao ambiente durante o verão, enquanto que os sacos com

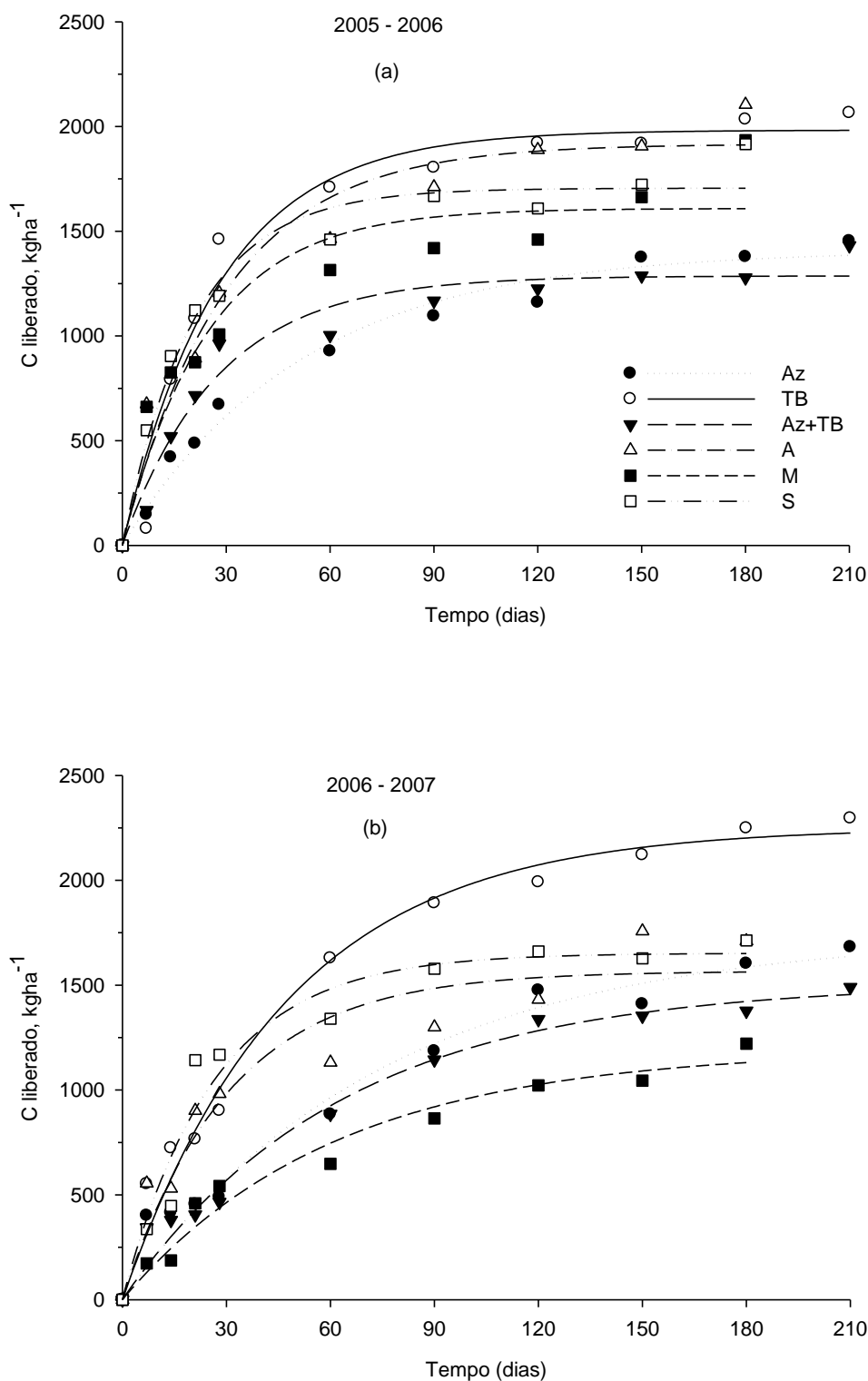


Figura 4. Liberação acumulada de carbono (C) dos resíduos culturais das espécies de inverno (azevém (*Lolium multiflorum* Lam) (Az), trevo-branco (*Trifolium repens*) (TB) e azevém+trevo-branco (Az+TB)) e de verão (arroz (*Oryza sativa*) (A), milho (*Zea mays* L) (M) e soja (*Glycine max* L) (S)), dias após a disposição dos sacos de decomposição no campo. Em dois anos de estudo 2005-2006 (a) e 2006-2007 (b).

resíduos das espécies de verão ficam expostos ao ambiente durante o outono/inverno. Estes resultados demonstraram que, no ambiente de terras baixas, a maior precipitação no verão altera pouco a liberação do C mas, no inverno, a maior precipitação torna mais lenta a sua decomposição. Segundo Scholes et al. (1994), a taxa de decomposição e liberação de nutrientes são dependentes das condições ambientais (tipo de solo e clima) e práticas de manejo. Assim, variações climáticas devem ser reconhecidas como reguladores importantes no estudo da decomposição e liberação de nutrientes (BUCHANAN; KING, 1993).

No restante do período estudado, de 60 a 210 dias, para os resíduos das espécies de inverno, e de 60 a 180 dias, para os resíduos das espécies de verão, a liberação do C seguiu a mesma tendência do período anterior. Para os resíduos das espécies de inverno a liberação do C foi maior (1489 a 2295 kg ha⁻¹) no segundo ano de estudo, quando a precipitação acumulada foi maior (772,2 mm) e a temperatura média mais baixa (16,4°C). Para os resíduos das espécies de verão, a liberação do C foi maior (1600 a 1900 kg ha⁻¹) no primeiro ano de estudo, quando a precipitação acumulada foi menor e a temperatura foi mais alta (15,5°C) (tabela 7).

Nos dois anos de estudo, ficaram bem caracterizadas as curvas mais altas de liberação do C dos resíduos culturais das leguminosas (TB e S), durante todo o período estudado, em relação aos resíduos culturais das espécies gramíneas (Az, A e M). Atribui-se esses resultados às diferenças na composição química das espécies e ao fato da relação C/N das leguminosas ser menor, comparativamente às gramíneas. Paul e Clark (1996) comentam que a taxa de mineralização dos resíduos vegetais é controlada pelo pH, umidade, temperatura, aeração e disponibilidade de nutrientes no solo, pela composição química do substrato e pelos aspectos ligados aos teores de nutrientes na fração solúvel, concentração total de nutrientes, lignina, polifenóis e pelas relações C/N, lignina/N e lignina+polifenóis/N. Ceretta et al. (2002) também observaram que a taxa de decomposição de resíduos vegetais está associada à relação C/N do tecido vegetal. Por isso espécies não gramíneas possuem maior taxa de decomposição, quando comparadas com gramíneas.

O C liberado dos resíduos culturais do consórcio entre a gramínea e a leguminosa (Az+TB), no primeiro ano de estudo apresentou uma taxa de mineralização do C intermediária aos resíduos em cultivos solteiros até o período de 120 DAD dos sacos de decomposição no campo. Dos 120 aos 210 dias, o aumento da taxa de liberação do C dos resíduos do consórcio foi inferior a taxa de liberação

do C dos resíduos de Az e TB em cultivos solteiros. No segundo ano, durante os 210 dias de estudo, a mineralização do C do Az+TB foi inferior à liberação do C dos resíduos em cultivos solteiros. Assim, observando-se manutenção da cobertura vegetal, seria mais adequada a maior proporção de espécies gramíneas. Entretanto, a elevada relação C/N dos resíduos poderia promover imobilização temporária de nutrientes, especialmente o N. Por outro lado, se o objetivo é o maior fornecimento/ciclagem de N no sistema, leguminosas seriam mais adequadas, porém, com prejuízo à proteção à superfície do solo devido a sua rápida decomposição. Neste sentido, a consorciação entre espécies gramíneas e leguminosas geralmente apresenta melhores benefícios comparativamente aos cultivos solteiros. Segundo Ceretta et al. (2002), a manutenção da palha na superfície do solo é de fundamental importância para a manutenção do sistema plantio direto, reforçando a preocupação em produzir resíduos vegetais que tenham decomposição mais lenta, o que significaria manter o resíduo protegendo o solo por maior período de tempo. Também corroborando com os resultados do estudo, Aita e Giacomini (2003), ao consorciarem aveia e ervilhaca em diferentes proporções de densidade de semeadura, constataram que quanto maior a proporção de ervilhaca nos consórcios menor a relação C/N e maior a velocidade de decomposição e liberação de N dos resíduos culturais mantidos na superfície do solo, e o consórcio entre estas espécies diminuiu a decomposição em relação ao cultivo solteiro da ervilhaca.

5.3.2 Relações C/N, C/P e L/N

A relação carbono/nitrogênio (C/N) (Figura 5a, b), foi mais elevada para os resíduos das espécies gramíneas (Az, A e M) e mais baixa para os resíduos das espécies leguminosas (TB e S), durante os dois anos de estudo. Resultados semelhantes foram obtidos para resíduos de trevo vermelho (relação C/N 15) e centeio (relação C/N 44), por Waggoner (1989); para resíduos de ervilhaca peluda (relação C/N 11) e centeio (relação C/N 42), por Ranells e Waggoner (1996); para resíduos de ervilhaca peluda (relação C/N 65,9) e trigo (relação C/N 75,8), por Lupwayi et al. (2004).

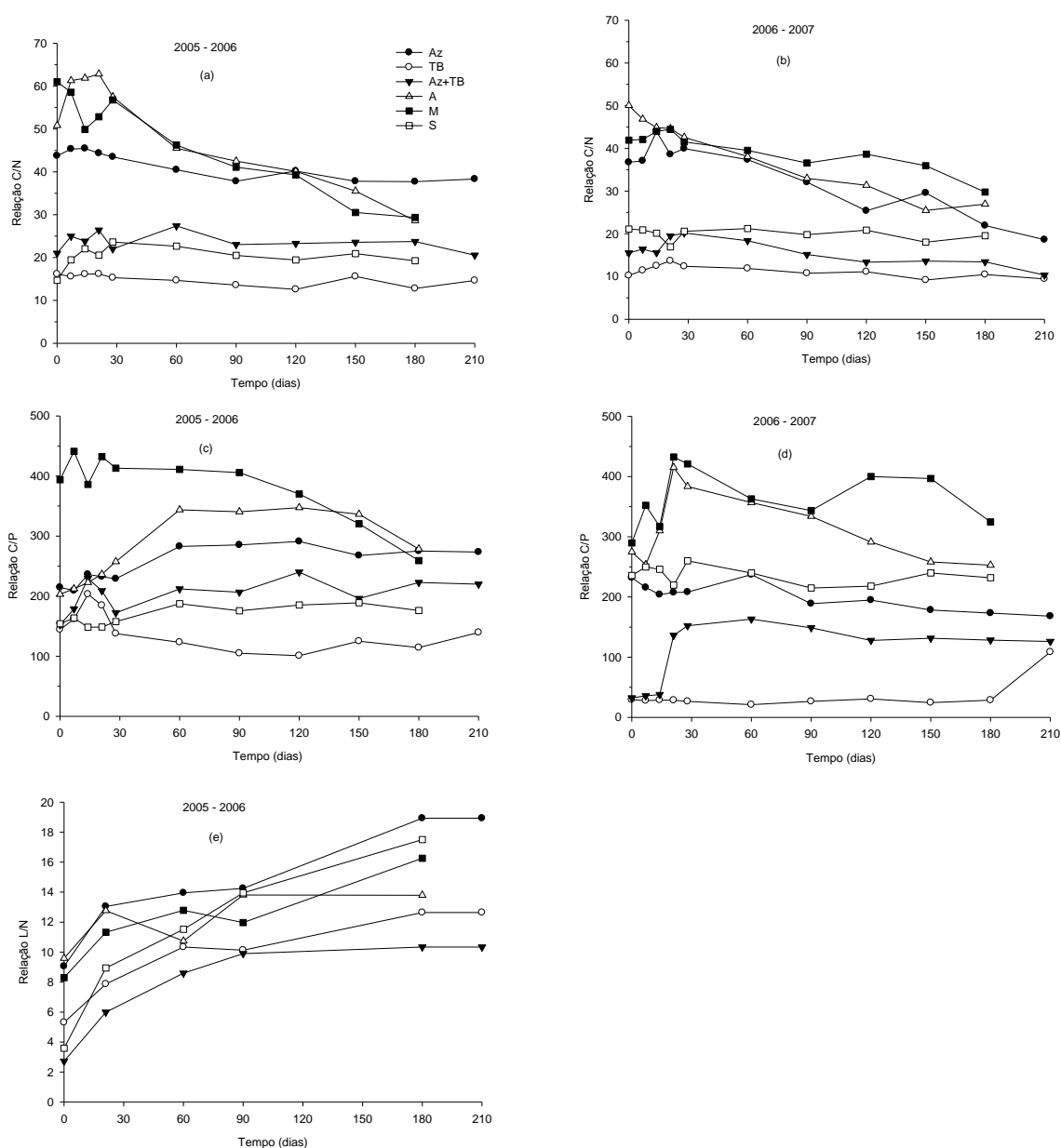


Figura 5. Relações carbono/nitrogênio (C/N) (a, b), carbono/fósforo (C/P) (c, d), lignina/nitrogênio (L/N) (e) dos resíduos culturais das espécies de inverno (azevém (*Lolium multiflorum* Lam) (Az), trevo-branco (*Trifolium repens*) (TB) e azevém+trevo-branco (Az+TB)) e de verão (arroz (*Oryza sativa*) (A), milho (*Zea mays* L) (M) e soja (*Glycine max* L) (S)), dias após a disposição dos sacos de decomposição no campo.

Os resíduos culturais das leguminosas são fontes importantes de N de fácil decomposição no solo, por possuírem maior teor de proteína e menor relação C/N do que os resíduos de gramíneas. Portanto, possuem maior concentração de constituintes orgânicos facilmente decomponíveis (STEVENSON, 1986). Os resíduos culturais do consócio, apresentaram uma relação C/N intermediária aos resíduos culturais das espécies em cultivos solteiros, nos dois anos de estudo.

Resultado semelhante foi encontrado por Ranells e Wagger (1996), num trabalho sobre liberação de nitrogênio de gramíneas e leguminosas em cultivo solteiro e consorciado, onde a relação C/N do consórcio entre gramíneas e leguminosas (centeio+ervilhaca peluda e centeio+trevo vermelho) foi intermediária aos cultivos solteiros das espécies em dois anos de estudo.

A relação C/N de todos resíduos culturais avaliados, com exceção dos resíduos de TB, sofreu maiores alterações até os primeiros 30DAD dos sacos de decomposição no campo, nos dois anos de estudo. Após este período, estas alterações foram menores. A relação C/N dos resíduos vegetais das gramíneas, continuou decrescendo até o final do período estudado, enquanto que para os resíduos culturais das leguminosas, após o período de 30dias, a relação C/N apresentou-se constante até o final do estudo. As maiores alterações no período inicial seguida de uma fase de menores alterações na decomposição, corroboram com o que dizem Paul e Clark (1996), onde a rápida decomposição inicial dos resíduos culturais deve-se ao fato dos microrganismos do solo atacarem inicialmente os constituintes de fácil decomposição, que incluem proteínas e substâncias solúveis como açúcares, ácidos orgânicos e aminoácidos. A fase seguinte é uma decomposição mais lenta, que inclui constituintes mais recalcitrantes como a lignina. Trinsoutrot et al. (2000), comentam que a qualidade do resíduo cultural e condições ambientais regulam a taxa e o grau de decomposição dos materiais orgânicos pelos organismos do solo. Lupwayi et al. (2004), encontraram uma correlação positiva entre a FS decomposta e a concentração de N dos resíduos culturais, e uma correlação negativa com as relações C/N e L/N.

O processo de decomposição dos resíduos culturais é responsável pela liberação da maior parte dos nutrientes acumulados na sua fitomassa. Fatores bióticos e abióticos governam o processo de decomposição e, conseqüentemente, a liberação dos nutrientes. Dentre esses fatores, a relação C/N dos resíduos aportados ao solo assume importante papel na decomposição e imobilização/mineralização de N (AMADO; SANTI; ACOSTA, 2003).

Materiais com relação C/N em torno de 25 causam equilíbrio entre esses processos, valores superiores causam imobilização líquida, enquanto os valores inferiores promovem mineralização líquida de N (AITA, 1997). Conforme evidenciado na Figura 5a, b, nos resíduos culturais de leguminosas (S e TB) e no consórcio (Az+TB), não há mineralização seletiva de compostos orgânicos, isto é, à medida

que o C é oxidado e liberado para a atmosfera na forma C-CO₂, o N é mineralizado na mesma proporção, mantendo-se a relação C/N dos resíduos praticamente constantes ao longo do processo de decomposição. Entretanto, para as espécies gramíneas (A, M e Az), é provável que à medida que avança o processo de decomposição, ocorra imobilização de N do solo nos resíduos culturais pela ação microbiológica, contribuindo para a redução da relação C/N ao longo do tempo. Neste caso, provavelmente a capacidade de suprimento de N pelo solo às plantas em crescimento poderá ser reduzida, acarretando redução da produtividade biológica do sistema.

A relação carbono/fósforo (C/P) (Figura 5c, d), foi mais elevada para os resíduos das espécies gramíneas (Az, A e M), e mais baixa para os resíduos de leguminosas (TB e S) durante os dois anos de estudo, com exceção para os resíduos culturais de S no segundo ano. Resultado semelhante foi encontrado por Buchanan e King (1993), com maior relação C/P para resíduos culturais de milho e trigo e menor relação C/P para resíduos culturais de folhas de soja e raízes de trevo vermelho, durante 40 semanas de estudo. Lupwayi et al. (2004), encontraram uma relação C/P de 1247,7 para resíduos de trigo e 650 para resíduos de ervilha. A relação C/P do consórcio (Az+TB), foi intermediária à relação C/P das espécies em cultivo solteiro.

A relação C/P apresentou comportamento similar à relação C/N (Figura 5c, d). As maiores alterações na relação C/P foram observadas até 30DAD dos sacos de decomposição a campo. Após este período, estas alterações foram menores, mas diferentes entre os resíduos culturais.

Comparando a relação C/P entre os dois anos de estudo, a relação C/P foi mais alta para os resíduos culturais de Az, TB, Az+TB e M, no primeiro ano e, para os resíduos culturais de A e S, foi maior no segundo ano. Estes resultados provavelmente, podem estar relacionados com os dados climáticos (tabela 7). No segundo ano, a precipitação acumulada total do período de inverno foi 35% maior que no primeiro ano e, no período de verão, foi 28% superior ao primeiro ano. As maiores precipitações favoreceram a maior mineralização de C (Figura 4) e a maior liberação de P (Figura 7), no segundo ano, resultando em menores relações C/P dos resíduos culturais de Az, TB, Az+TB e M. Segundo Buchanan e King (1993), as diferenças nas perdas de C e P dos resíduos culturais estão provavelmente relacionadas aos efeitos climáticos, conteúdo inicial de N e P e a quantidade

proporcional de lignina nos resíduos. Segundo os autores, estudos prévios não têm encontrado efeitos consistentes para a relação C/P na taxa de decomposição e liberação de P em resíduos vegetais. E ainda, em outros trabalhos foi encontrado variável e significativa quantidade de P inorgânico presente em resíduos vegetais de gramíneas e leguminosas e que afetam amplamente modelos de liberação de P.

A relação lignina/nitrogênio (L/N) (Figura 5e), inicialmente apresentou-se semelhante às relações C/N e C/P, mais elevada para os resíduos das espécies gramíneas e mais baixa para os resíduos das leguminosas, até o período de 60DAD dos sacos de decomposição no campo. Fica evidente que os constituintes mais decomponíveis como as proteínas e substâncias solúveis foram atacadas pelos decompositores, decrescendo a concentração de N nos resíduos, e aumentando a concentração dos constituintes mais recalcitrantes como a lignina. Buchanan e King (1993) comentaram que a taxa de L/N inicial mais alta de alguns resíduos culturais torna o processo de decomposição mais lento. Tais efeitos ficaram bem evidentes nas perdas maiores de C nas folhas (taxa mais baixa de L/N) comparadas com talos e ramos (taxa mais alta L/N) de soja. Ranells e Wagger (1996) observaram diferenças na lignina de resíduos de leguminosa e de não leguminosas, e que essas diferenças em não leguminosas, geralmente resultam em uma maior proporção de fitomassa seca resistente à decomposição. Aita e Giacomini (2003) observaram que a gramínea (aveia), apesar de ter apresentado menor proporção de lignina ($66,5\text{gkg}^{-1}$) do que a ervilhaca ($83,4\text{gkg}^{-1}$), foi mais lentamente decomposta do que a leguminosa. A proporção entre L/N e a concentração de celulose dos resíduos culturais foram considerados melhores indicadores da dinâmica da decomposição, porém a concentração de lignina usada isoladamente pode não ser um bom indicador da taxa de decomposição dos resíduos culturais.

Os teores de C, N, P, K, Ca e Mg de todos os resíduos culturais avaliados durante todo o tempo de exposição no campo, estão dispostos nos apêndices E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O e P.

5.4 Conclusões

Os resultados do presente estudo permitem as seguintes conclusões:

- a) Resíduos culturais de gramíneas apresentam maior tempo de permanência sobre o solo;
- b) Resíduos de plantas leguminosas (trevo branco e soja), comparativamente às gramíneas (azevém, arroz e milho), apresentam maior potencial para mineralização de nitrogênio no sistema;
- c) A utilização de consórcios entre espécies gramíneas e leguminosas permitem conciliar mineralização de nutrientes e proteção da superfície do solo;
- d) A taxa de decomposição dos resíduos culturais foi inversamente relacionada à relação C/N e L/N, constituindo-se bons indicadores para o processo de decomposição no ambiente em estudo.

6 Capítulo 3 – Liberação de nutrientes dos resíduos culturais em sistemas rotacionados em um Planossolo Háplico

6.1 Introdução

A ciclagem dos nutrientes inicia-se pela decomposição da biomassa vegetal (parte aérea e raízes), ao final do seu ciclo, podendo devolver ao solo parte do C-CO₂ assimilado pelo processo fotossintético, parte do N assimilado simbioticamente e todos os nutrientes absorvidos pelas raízes (SANCHES et al., 1989). Além da relação C/N, a liberação de nutrientes dos resíduos culturais depende de fatores edafoclimáticos (temperatura, umidade, aeração, pH, etc.) que controlam a taxa de decomposição, da qualidade do resíduo, da localização e da forma em que esse nutriente se encontra no tecido vegetal.

Em sistemas naturais, os processos de liberação dos nutrientes da liteira e de absorção destes pelas plantas ocorrem em sincronia, resultando em alta eficiência de uso, o que explica a sustentabilidade dos ecossistemas. Nos agroecossistemas, tais processos são separados no tempo, resultando em baixa eficiência de uso. Isso é particularmente crítico com o N, em que quantidades excessivas são perdidas por lixiviação, desnitrificação e volatilização na forma de amônia (SANCHES et al., 1989).

O solo no ambiente de terras baixas por natureza apresenta-se com baixa fertilidade natural, principalmente pelos baixos teores de N, P e MO. A decomposição e a liberação de nutrientes dos resíduos culturais diferencia-se entre gramíneas e leguminosas. Wagger (1989), Ranells e Wagger (1996), Ceretta et al. (2002), Amado, Santi e Acosta (2003), Giacomini (2003), Torres et al. (2005), encontraram maior decomposição e liberação de N dos resíduos culturais de espécies leguminosas em relação às gramíneas, mas fica evidente nestes estudos a importância das gramíneas para a permanência dos resíduos em superfície. Neste contexto, a adoção de sistemas conservacionistas de manejo, incluindo plantas de cobertura de solo no inverno em sucessão a culturas comerciais de primavera/verão, constitui-se estratégia fundamental para a busca da sustentabilidade do agroecossistema de terras baixas. Especialmente gramíneas, por aportarem maior relação C/N, apresentam maior tempo de permanência no sistema, porém, podem promover imobilização de nutrientes pelos microrganismos durante a sua decomposição. Por outro lado, espécies leguminosas são rapidamente decompostas, liberando grandes quantidades de N e outros nutrientes em curto período de tempo,

os quais, quando não são completamente absorvidos pela cultura subsequente, se permanecerem na forma mineral, podem facilmente ser lixiviados, especialmente o N e o K.

Hoje existem muitos trabalhos sobre decomposição e liberação de nutrientes em terras altas, mas infelizmente ainda são raros os trabalhos que avaliam a dinâmica de decomposição de resíduos culturais e de liberação de nutrientes em ambiente de terras baixas. Diante deste contexto o presente estudo teve como objetivo avaliar a liberação de nutrientes dos resíduos culturais das espécies gramíneas e leguminosas de inverno e de verão em um Planossolo Háplico do sul do Brasil.

6.2 Material e métodos

O presente estudo foi conduzido a campo, a partir do inverno de 2005 ao verão 2006/2007, na área experimental da Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS. A localização, o clima e as características de solo foram descritas na Metodologia geral.

As condições climáticas (precipitação pluviométrica e temperatura do ar) durante o período de estudo estão apresentadas na tabela 7(Capítulo 2).

O estudo de liberação de nutrientes dos resíduos culturais de inverno (azevém (*Lolium multiflorum* Lam) (Az), trevo-branco (*Trifolium repens*) (TB) e azevém+trevo-branco (Az+TB)) e de verão (arroz (*Oryza sativa*) (A), milho (*Zea mays* L) (M) e soja (*Glycine max* L) (S)), é um segmento do estudo anterior, por esse motivo, não será apresentado os processos de coletas, secagem e quantificação da fitomassa seca (FS), o qual está descrito no Material e métodos do Capítulo 2.

Aos 7, 14, 21, 28, 60, 90, 120, 150, 180 e 210dias após a disposição (DAD) dos sacos com resíduos de inverno (Az, TB e Az+TB) no campo e aos 7, 14, 21, 28, 60, 90, 120, 150 e 180DAD para os resíduos de verão (A, M e S), os mesmos foram coletados. Após a coleta, foram secos em estufa ventilada a 65°C até peso constante, moídos em moinho modelo Willey até 0,5 mm e acondicionados para posteriores análises químicas.

As determinações dos macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg), foram realizadas segundo o método descrito em Tedesco et al. (1995). O teor de lignina foi determinado através de metodologia descrita em Van Soest (1963). A composição química da fitomassa (FS) dos resíduos culturais das espécies de inverno e de verão que compõe os sacos de decomposição está apresentada na tabela 9.

As taxas de decomposição dos resíduos culturais e liberação de N, P, K, Ca e Mg foram estimadas através de parâmetros dos modelos ajustados aos valores observados, modelos não lineares de regressão conforme proposto por Weider e Land (1982), a escolha do tipo de modelo e a representação matemática estão apresentadas no Material e métodos (Capítulo 2).

Tabela 9. Composição química da fitomassa que compõe os sacos de decomposição para cada espécie. Capão do Leão, RS, 2009.

Espécies	N	P	K	Ca	Mg	C/N
	----- gkg ⁻¹ -----					
2005 - 2006						
Az ⁽¹⁾	9,81	2,00	11,40	4,00	1,40	43,73
TB	28,20	2,80	20,30	11,20	3,80	14,33
Az+TB	19,59	2,70	16,50	8,10	2,60	20,99
A	8,40	2,10	11,00	2,00	1,60	50,80
M	7,10	1,10	10,00	2,00	2,80	61,02
S	28,31	2,70	11,00	12,00	5,90	14,69
2006 - 2007						
Az	11,37	1,80	9,00	1,50	1,50	36,74
TB	39,34	1,40	25,93	2,02	3,68	10,24
Az+TB	25,75	1,20	19,41	3,50	3,56	15,52
A	7,54	1,37	11,00	1,49	1,22	50,05
M	9,13	1,32	14,55	3,94	4,20	41,94
S	19,98	1,79	11,31	7,31	3,95	21,11

⁽¹⁾ A – arroz (*Oryza sativa*), Az - Azevém (*Lolium multiflorum* Lam), M – milho (*Zea mays* L), S – soja (*Glycine max* L), TB – trevo branco (*Trifolium repens*).

6.3 Resultados e discussão

6.3.1 Liberação de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) dos resíduos culturais

A porcentagem de nitrogênio (N) inicial remanescente nos resíduos culturais das espécies de inverno (azevém (*Lolium multiflorum Lam*) (Az), trevo-branco (*Trifolium repens*) (TB) e azevém+trevo-branco (Az+TB)) e de verão (arroz (*Oryza sativa*) (A), milho (*Zea mays L.*) (M) e soja (*Glycine max L*) (S)), estão apresentados na Figura 6a, c. O comportamento do N inicial remanescente, de todos os resíduos estudados, foi semelhante ao observado para a fitomassa seca remanescente (Figura 3). Os resíduos culturais das espécies leguminosas apresentaram uma maior liberação inicial de N, em relação aos resíduos das gramíneas. Também para todos os resíduos culturais em estudo foi observada uma fase inicial rápida de liberação de N, seguida de uma fase mais lenta, para os dois anos de estudos avaliados, corroborando com resultados encontrados por Wilson e Hargrove (1986), Amado, Santi e Acosta (2003), Giacomini (2003).

Até os primeiros 30 dias após a disposição (DAD) dos sacos de decomposição no campo, os resíduos culturais das leguminosas (TB e S) já haviam liberado mais de 60% do N, enquanto os resíduos culturais das gramíneas (Az, A e M) haviam liberado menos que 45% de N, no primeiro ano de estudo. No segundo ano, esta porcentagem foi menor para ambos tipos de resíduos (leguminosas e gramíneas), mas seguiu a mesma tendência de maior liberação para os resíduos das leguminosas, com menor relação C/N (tabela 9), em relação às gramíneas. Estes resultados são superiores aos encontrados por Amado, Santi e Acosta (2003), para o mesmo período de tempo, quando aos 30 dias de decomposição dos resíduos culturais, ocorreu uma liberação de 51 e 46% do N total acumulado na fitomassa da ervilhaca em dois anos de estudo. Giacomini (2003) observou uma liberação de 53% do N para a ervilhaca e de apenas 20% para aveia, aos 30 dias de decomposição. O autor observou que a liberação do N relacionou-se de forma inversamente proporcional à relação C/N.

Quando se relaciona a liberação de N aos fatores climatológicos durante todo o período avaliado, pode-se observar que os resíduos das espécies de Az e TB em cultivo solteiro apresentaram um comportamento diferenciado dos resíduos das espécies de verão (A, M e S). A maior porcentagem de liberação de N para os

resíduos de Az e TB ocorreu quando a precipitação acumulada no período foi maior e a temperatura média foi similar (tabela 7). Para os resíduos das espécies de verão, a menor precipitação acumulada no período e a maior temperatura favoreceram a maior liberação de N. Este comportamento entre os resíduos de verão e de inverno seguiram a mesma tendência do C mineralizado (Figura 4). No ambiente de terras baixas, no período de inverno, a maior precipitação altera a atividade microbiana tornando a decomposição mais lenta, conseqüentemente retardando a liberação de N. A diferença nos resultados apresentada neste ambiente, ainda pouco estudado quanto à decomposição de resíduos culturais, são corroborados quando confrontados com estudos em outros ambientes, como os de Ranells e Waggar (1992,1996).

Wilson e Hargrove (1986), quando confrontaram a liberação de N de resíduos de trevo vermelho sob dois sistemas de cultivo com a liberação de N de resíduos de ervilhaca em outros estudos e sob outras condições ambientais, encontraram uma rápida liberação de N (37%) nas quatro primeiras semanas, resultado superior aos encontrados pelos outros autores. Para esses autores, as condições de ambiente e o sistema de manejo solo-planta são importantes fatores que influenciam a decomposição dos resíduos culturais e que existem necessidades de estudos adicionais em diferentes climas para determinar modelos de liberação de N para resíduos de leguminosas de inverno.

A porcentagem do N remanescente dos resíduos culturais do consórcio (Az+TB), durante a maior parte do período avaliado, foi intermediária aos resíduos das espécies em cultivos solteiros. Até aos 21DAD dos sacos de decomposição no campo, a liberação do N dos resíduos do consórcio foi semelhante aos dos resíduos do TB. Neste período, a contribuição de Az para a mineralização do N foi bem menor comparativamente ao TB, o que justifica tal comportamento. Após esse período, a liberação do N foi menor para o consórcio, intermediária dos resíduos das espécies em cultivos solteiros.

A quantidade de N total liberado (Figura 6b, d) pelos resíduos culturais, variou de 16 a 144kg ha^{-1} , no primeiro ano e de 14 a 222kg ha^{-1} , no segundo ano de estudo. Os menores valores foram observados para os resíduos das gramíneas (Az, A e M) e maiores valores para os resíduos das leguminosas (TB e S). A liberação de N foi maior para os resíduos culturais das gramíneas (29 e 29kg ha^{-1}) e leguminosas (144 e 222kg ha^{-1}) de inverno em relação aos resíduos das espécies de verão (16 e

14kg ha^{-1} para gramíneas) e (139 e 78kg ha^{-1} para leguminosas), nos dois anos avaliados. Estes resultados mostram a importância das plantas de cobertura de solo, principalmente das espécies de inverno, as quais, pelo processo de decomposição, contribuem para o fornecimento de nutrientes às culturas subsequentes.

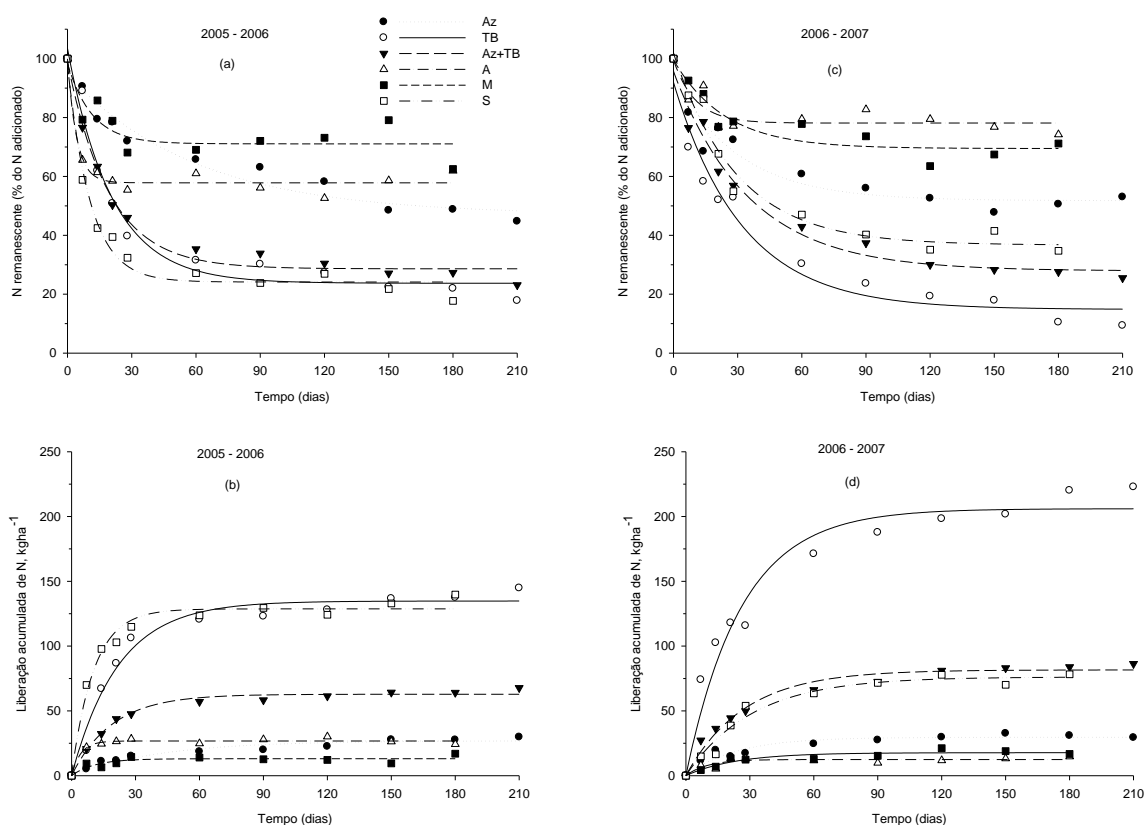


Figura 6. Porcentagem de nitrogênio (N) inicial remanescente (a, c) e liberação acumulada de N (b, d) dos resíduos culturais das espécies de inverno (azevém (*Lolium multiflorum* Lam) (Az), trevo-branco (*Trifolium repens*) (TB) e azevém+trevo-branco (Az+TB) e de verão (arroz (*Oryza sativa*) (A), milho (*Zea mays* L) (M) e soja (*Glycine max* L) (S)), dias após a disposição dos sacos de decomposição no campo. Em 2005-2006 e 2006-2007.

Houve diferença de liberação total de N entre os resíduos das leguminosas em comparação aos das gramíneas (Figura 6b, d). Estes resultados podem ser explicados pela maior quantidade de N estocado na fitomassa dessas espécies (tabela 9), pela menor relação C/N (Figura 5a, b) e pela sua produção de fitomassa. O consórcio entre gramíneas e leguminosas (Az+TB), apresentou uma quantidade total de liberação de N (67 e 86kg ha^{-1}) intermediária aos das espécies em cultivo solteiro, nos dois anos de estudo. Resultados semelhantes foram encontrados por Ranells e Wagger (1996), onde o consórcio de centeio+trevo vermelho promoveu

liberação de N de 34 e 85kg ha^{-1} , enquanto que para o centeio foi de 14 e 47kg ha^{-1} , em dois anos avaliados. Comparando-se os resultados encontrados no presente trabalho com os de Giacomini (2003), pode-se observar que a liberação de N do consórcio foi superior ao N total liberado pela leguminosa (56kg ha^{-1} de N da ervilhaca) no estudo do referido autor, devido à maior produção de FS dos resíduos culturais (Az+TB).

O potencial de N fornecido pelos resíduos culturais torna-se um dos fatores mais importantes da decomposição, principalmente para as culturas comerciais em sucessão. Observando-se a quantidade de N liberado pelos resíduos das espécies de inverno, até o período de 60dias, média entre os dois anos de liberação de N presente no estudo, foi de 21kg ha^{-1} no Az, 145kg ha^{-1} para o TB e 62kg ha^{-1} para o Az+TB. Considerando como referência a recomendação de 80kg ha^{-1} de N exigida pela cultura do milho para uma expectativa de 4Mgha $^{-1}$ de rendimento para este ambiente, e com base nos resultados do estudo, pode-se afirmar que o Az, o TB e Az+TB seriam capazes de fornecerem respectivamente, 26, 100 e 77% da demanda de N pela cultura do milho. Ranells e Wagger (1996), observaram que a estimativa de liberação acumulada de N pela ervilhaca peluda seria capaz de fornecer 75% do N requerido pelo milho no primeiro ano de estudo, superando o requerimento total no segundo ano, considerando o período de 16 semanas de monitoramento. Giacomini (2003) observou que a maior quantidade de N liberado ocorreu nos primeiros 15dias após o manejo das culturas de cobertura e que a demanda de N pelo milho neste período é praticamente nula. No momento de maior demanda de N (29 a 82 dias) pelo milho, apenas 10, 7 e 8% do N adicionado pela ervilhaca e pelos consórcios foram liberados, muito aquém das necessidades da cultura do milho. Por isso, o sincronismo entre a liberação de N dos resíduos culturais e a sua demanda pelas culturas comerciais é fundamental para maior eficiência de uso do N, bem como para a sustentabilidade ambiental.

Na tabela 10, estão apresentados os parâmetros do modelo ajustado aos valores observado de N. A constante de liberação (k_a) de N do compartimento lábil dos resíduos culturais no primeiro ano de estudo, variou de 0,0167 para o Az a 0,2302dias $^{-1}$ para o A, resultando numa liberação mais lenta para o Az com um tempo de meia vida ($T_{1/2}$) de 41dias e mais rápida para o A com um $T_{1/2}$ de 3dias. No segundo ano, a constante de liberação de N variou de 0,0284 no Az+TB a 0,0978dias $^{-1}$ no A, com um $T_{1/2}$ de 24 e 7dias $^{-1}$, respectivamente. Observa-se que a

constante de liberação de N, com menor $T_{1/2}$, foi maior para todos os resíduos culturais avaliados, com exceção para os resíduos de Az, no primeiro ano, quando a precipitação acumulada foi menor.

Tabela 10. Parâmetros do modelo ajustado aos valores observados de nitrogênio (N), tempo de meia vida ($T_{1/2}$) de N do compartimento lábil e valores de R^2 para diferentes espécies. Capão do Leão, RS, 2009.

Espécies	A*	k_a	$T_{1/2}A$	R^2
	%	---dias ⁻¹ ---	---dias ---	
2005 - 2006				
Az	47,66	0,0167	41	0,97
TB	79,72	0,0485	14	0,99
Az+TB	70,40	0,0514	13	0,99
A	42,10	0,2302	3	0,98
M	27,35	0,0871	8	0,85
S	74,27	0,0936	7	0,99
2006 - 2007				
Az	42,65	0,0332	21	0,96
TB	77,14	0,0311	22	0,98
Az+TB	67,83	0,0284	24	0,99
A	21,54	0,0978	7	0,88
M	30,19	0,0418	17	0,95
S	65,31	0,0338	21	0,98

A – arroz (*Oryza sativa*), Az - azevém (*Lolium multiflorum* Lam), M – milho (*Zea mays* L), S – soja (*Glycine max* L), TB – trevo branco (*Trifolium repens*).

*A – fitomassa seca do compartimento lábil; k_a – taxa constante de liberação; $T_{1/2}$ – tempo de meia vida; R^2 – coeficiente de correlação.

Os resíduos do consórcio (Az+TB) apresentaram uma liberação de N de 70,4 e 67,8% do compartimento lábil, muito próximo da liberação de N dos resíduos do TB (79,7 e 77,1%), e superior à liberação de N do compartimento lábil dos resíduos de Az (47,6 e 42,7%), nos dois anos avaliados. Giacomini (2003) encontrou resultados diferentes para os resíduos da leguminosa e do consórcio (gramínea+leguminosa) e inferior para a gramínea 51,9% de N do compartimento lábil dos resíduos da ervilhaca contra 39,6% de N dos resíduos do consórcio (45%aveia+55%ervilhaca) e 31,4% de N para os resíduos da aveia. Estes dados demonstram que as leguminosas liberam maiores quantidades de N do compartimento lábil em relação às gramíneas e, no presente estudo, a presença da leguminosa foi determinante para uma maior diferença na liberação de N do compartimento lábil entre o consórcio e os resíduos da gramínea (Az) em cultivo solteiro.

A porcentagem de fósforo (P) inicial remanescente (Figura 7a, c) dos resíduos culturais das espécies de inverno e de verão apresentou um comportamento semelhante ao do N remanescente (Figura 6a, c), quanto à diferença na liberação de P entre resíduos das espécies de inverno e de verão. Para os resíduos culturais de inverno, a maior liberação de P ocorreu no período de maior precipitação acumulada, no segundo ano, quando foi 27,6% superior a do primeiro ano de estudo (tabela 7). Para os resíduos de verão, ocorreu o inverso, com exceção dos resíduos culturais do milho. O P é um nutriente importante na armazenagem de energia e na integridade estrutural, sendo componente de fosfato, ácidos nucléicos, nucleotídeos, coenzimas, fosfolipídios, etc. (TAIZ; ZEIGER, 2004), considerando que os resíduos culturais de inverno foram dispostos no campo no fim da primavera e permaneceram até o fim do outono, e que os resíduos de verão foram monitorados do fim do outono ao fim da primavera, a maior precipitação no período de inverno pode ter influenciado a população microbiana, tornando a decomposição mais lenta, fato que pode contribuir para explicar o comportamento diferenciado da liberação do P nos resíduos de verão.

A maior porcentagem de liberação de P de todos os resíduos culturais avaliados nos dois anos de estudo, ocorreu durante os primeiros 30DAD dos sacos de decomposição no campo. Segundo Buchanan e King (1993), a perda de P muito rápida (inferior a 30dias) pode estar relacionada ao P da fração solúvel em água. Giacomini (2003) observou a importância da concentração do P solúvel em água na liberação de P durante a decomposição. O P solúvel em água foi o constituinte que melhor se correlacionou negativamente com as quantidades remanescentes do P dos resíduos culturais nos primeiros 29dias, demonstrando a importância em se conhecer a concentração inicial dessa fração de P a fim de utilizá-la como indicador da velocidade de liberação de P dos resíduos culturais na fase inicial de decomposição.

Os resíduos culturais das espécies leguminosas apresentaram maior liberação de P em relação aos resíduos das gramíneas, seguindo o mesmo comportamento do N remanescente (Figura 6a, c). Estes resultados são explicados pela composição química dos resíduos culturais (tabela 9), especialmente pela maior concentração de P presente na fitomassa, e pela menor relação C/P das leguminosas (Figura 5c, d). Estes dados justificam o fato de os resíduos culturais das espécies leguminosas serem mais facilmente decompostos. Lupwayi et al.

(2004), observaram que a porcentagem de fitomassa seca e a taxa de decomposição foram positivamente correlacionadas com a concentração de N e P e negativamente correlacionada com a relação C/N, lignina/P e lignina/K. Para Mafongoya et al. (2000), resíduos culturais com maior conteúdo de N e P aumentam a decomposição, enquanto que o conteúdo de C, lignina e polifenóis promovem a redução na sua taxa.

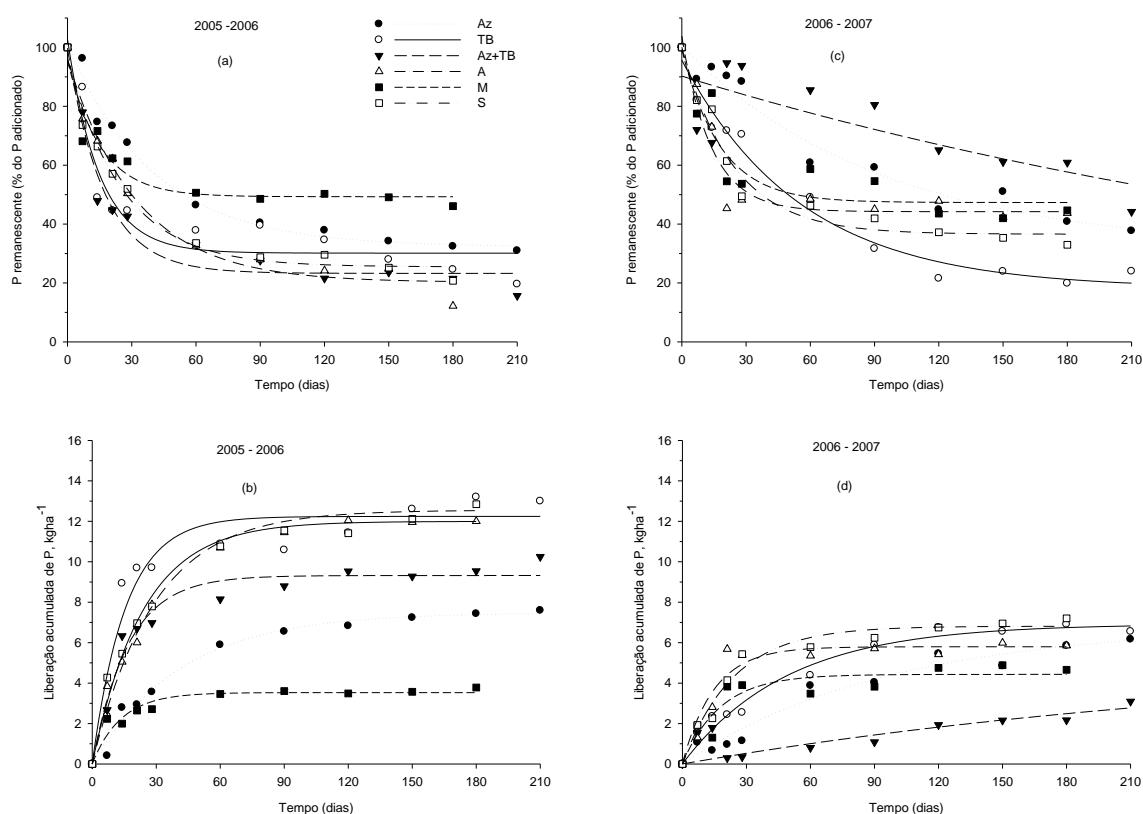


Figura 7. Porcentagem de fósforo (P) inicial remanescente (a, c) e liberação acumulada de P (b, d) dos resíduos culturais das espécies de inverno (azevém (*Lolium multiflorum* Lam) (Az), trevo-branco (*Trifolium repens*) (TB) e azevém+trevo-branco (Az+TB)) e de verão (arroz (*Oryza sativa*) (A), milho (*Zea mays* L) (M) e soja (*Glycine max* L) (S)), dias após a disposição dos sacos de decomposição no campo. Em 2005-2006 e 2006-2007.

A quantidade de nutrientes acumulada depende da espécie, do estágio fenológico, da produção de fitomassa e da época de plantio. Carpim et al. (2008), avaliando a liberação de nutrientes pela palhada de milho em diferentes estágios fenológicos, encontraram nos resíduos vegetais do milho 6,10kg ha⁻¹ de P remanescente (76% de P liberado), após 150 dias dos sacos de decomposição serem dispostos no campo, inferior ao encontrado para os resíduos culturais do

milho, para o mesmo período de tempo (150dias). No presente trabalho, determinou-se $3,5\text{kgha}^{-1}$ (55% de P liberado), considerando a média dos dois anos de estudo. Uma das diferenças para estes resultados está relacionada ao período fenológico de coleta da fitomassa. No trabalho conduzido por Carpim et al. (2008), a fitomassa do milho foi coletada aos 52dias após a semeadura (início do florescimento) e a fitomassa do milho foi coletada aos 90dias após a semeadura (grão leitoso). Boer et al. (2007), estudando a ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura, encontraram para os resíduos vegetais do milho (fitomassa coletada quando a cultura apresentava 50% do florescimento) $3,84\text{kgha}^{-1}$ de P remanescente (77,8% de P liberado), após 180dias dos sacos de decomposição serem dispostos no campo.

Possivelmente, a maior concentração de N, P, K, Ca e Mg na fitomassa seca dos resíduos de TB tenha contribuído para maior liberação desses nutrientes da leguminosa comparativamente aos outros resíduos (tabela 9). A quantidade de N, P, K, Ca e Mg na fitomassa seca do TB (tabela 4) (média dos dois anos de estudo) foi de 138, 12, 105, 46 e 16kgha^{-1} respectivamente, enquanto que para o Az foi de 34, 6, 36, 11 e 5kgha^{-1} de N, P, K, Ca e Mg. Resultados similares foram obtidos por Scivittaro e Silva (2007), no mesmo tipo de solo (30, 6, 39, 11 e 8kgha^{-1} de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente) na fitomassa seca do trevo branco e, de 47,4, 13,2, 66,9, 13,3 e $8,5\text{kgha}^{-1}$ de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente, na fitomassa seca do azevém.

A quantidade de P liberado (Figura 7b, c) variou de 2,7 no M a $9,7\text{kgha}^{-1}$ no TB, até os primeiros 30dias. Após esse período, a liberação de P foi praticamente constante para todos os resíduos culturais, alcançando o máximo para o M de $3,8\text{kgha}^{-1}$ aos 180dias e 14kgha^{-1} para o TB aos 210dias, no primeiro ano de estudo. No segundo ano, o comportamento foi semelhante para todos os resíduos culturais avaliados. Avaliando os resíduos culturais das espécies de inverno, os resíduos do TB (80 e 76% do P adicionado) foi o que liberou maiores quantidades de P, no primeiro e segundo ano de estudo, respectivamente. Nas espécies de verão, os resíduos culturais que percentualmente mais liberaram P foram o A (88 e 57% do P adicionado), seguido da S (80 e 68% do P adicionado), no primeiro e segundo ano de estudo, respectivamente.

Na tabela 11 estão apresentados os parâmetros do modelo ajustado aos valores observados de P. Observa-se que a quantidade de P no compartimento lábil variou de 46,44 a 76,49% (primeiro ano) e de 52,01 a 99,02% (segundo ano) foi

diferente entre os dois anos de estudo para todos os resíduos culturais, com exceção do consórcio (Az+TB). Para os resíduos de Az, TB e M, a liberação de P no compartimento lábil foi mais rápida no primeiro ano e, para os resíduos culturais de A e S, o mesmo ocorreu no segundo ano. Observar-se que a liberação do P do compartimento lábil apresentou um comportamento diferente do P inicial remanescente (Figura 7). Quando ocorreu a liberação mais rápida de P no compartimento lábil (primeiro ano) dos resíduos culturais de Az, TB e M, o P inicial remanescente desses resíduos apresentou uma menor liberação de P. Este fato deu-se no período de menor precipitação acumulada (tabela 7). O inverso ocorreu com os resíduos culturais de A e S. A de liberação de P remanescente foi inversamente proporcional à liberação do P do compartimento lábil.

Tabela 11. Parâmetros do modelo ajustado aos valores observados de fósforo (P), tempo de meia vida ($T_{1/2}$) de P do compartimento lábil e valores de R^2 para diferentes espécies. Capão do Leão, RS, 2009.

Espécies	A*	k_a	$T_{1/2}A$	R^2
	%	---dias ⁻¹ ---	---dias ---	
2005 - 2006				
Az	69,10	0,0252	28	0,99
TB	72,65	0,0668	10	0,96
Az+TB	76,49	0,0590	12	0,98
A	75,81	0,0311	22	0,99
M	46,44	0,0650	11	0,96
S	70,76	0,0385	18	0,99
2006 - 2007				
Az	69,25	0,0108	64	0,98
TB	95,92	0,0116	60	0,99
Az+TB	99,02	0,0596	12	0,97
A	59,64	0,0723	10	0,96
M	52,01	0,0557	12	0,93
S	63,53	0,0417	17	0,98

A – arroz (*Oryza sativa*), Az - azevém (*Lolium multiflorum* Lam), M – milho (*Zea mays* L), S – soja (*Glycine max* L), TB – trevo branco (*Trifolium repens*).

*A – fitomassa seca do compartimento lábil; k_a – taxa constante de liberação; $T_{1/2}$ – tempo de meia vida; R^2 – coeficiente de correlação.

A meia vida do P do TB foi menor do que a do Az, nos dois anos avaliados. Resultado semelhante foi encontrado por Giacomini (2003), que observou um tempo de meia vida de P da leguminosa cerca de três vezes menor que para a aveia. O autor observou, ainda, que o aumento da proporção de aveia nos consórcios com ervilhaca provocou uma diminuição na taxa de liberação de P dos resíduos culturais em relação à ervilhaca solteira. Para os resíduos de verão (gramíneas e leguminosa),

as meias vidas para o P foram muito próximas. Carpin et al. (2008) encontraram na fitomassa seca do milheto uma fração do P potencialmente liberado (Q_0) de $22,64\text{kg ha}^{-1}$, com uma taxa (k_a) de liberação de P de $0,0144\text{dias}^{-1}$ e com um $T_{1/2}$ de 48dias. Já Boer et al. (2007), na mesma área experimental dos autores anteriores, encontraram uma Q_0 de $16,38\text{kg ha}^{-1}$, com uma k_a de $0,0075\text{dias}^{-1}$ e com um $T_{1/2}$ de 92dias para o milheto, confirmando que o período fenológico de manejo da fitomassa, espécie, quantidade do nutriente acumulado na fitomassa e fatores climáticos têm interferência direta na liberação de P.

A porcentagem do potássio (K) inicial remanescente (Figura 8a, c) dos resíduos culturais das espécies de inverno e de verão apresentaram uma cinética diferente entre os dois anos de estudo. A maior porcentagem de liberação de K de todos os resíduos culturais ocorreu até os primeiros 30DAD dos sacos de decomposição no campo, no primeiro ano avaliado. Para o segundo ano, esta maior liberação de K ocorreu mais tarde, até os primeiros 60dias. O K é um nutriente que permanece na forma iônica sendo requerido como cofator de mais de 40 enzimas, não está associado a componente estrutural do tecido vegetal (TAIZ; ZEIGER, 2004). Por isso, pode ser extraído facilmente das plantas pela água da chuva ou pela umidade do solo (CARPIM et al., 2008). Assim, relacionando a liberação de K a fatores climáticos como a precipitação acumulada observa-se que a maior precipitação acumulada ocorreu no segundo ano de estudo (27,6% superior ao primeiro ano), favorecendo uma maior liberação de K, onde até os primeiros 30dias para o TB, A, M e S foram superiores em 8, 16, 20, 1% ao primeiro ano, respectivamente, e por um período maior, atingindo o máximo de liberação aos 60dias.

O comportamento da porcentagem de liberação de K no primeiro ano foi semelhante à liberação de P nos dois anos de estudo. Boer et al. (2007), observaram uma maior liberação de P e K até aos 30dias após o manejo com plantas de cobertura, e relacionaram a este fato, a forma como estes nutrientes são encontrados no tecido vegetal e que são facilmente extraídos do tecido vegetal no período de maior umidade no solo.

Torres e Pereira (2008) comentam que o K chega a ser três ou quatro vezes mais acumulado nos resíduos vegetais do que o P. É o cátion mais abundante nos tecidos vegetais, sendo absorvido na solução do solo em grandes quantidades pelas raízes na forma de íons K^+ .

A quantidade de K liberado (Figura 8b, d), variou de 35kg ha^{-1} no Az a 106kg ha^{-1} no TB, no o período de maior liberação (30dias). Após esse período, as liberações de K foram constantes, alcançando o máximo de 56kg ha^{-1} no Az e 123kg ha^{-1} no TB, ao final de 210dias, no primeiro ano de estudo. No ano seguinte, até os primeiros 30dias, a liberação de K variou de 16kg ha^{-1} no Az a 133kg ha^{-1} no TB, chegando ao máximo de liberação aos 210dias, de 45 e 160kg ha^{-1} para o Az e o TB, respectivamente. Para uma expectativa de 4Mgha $^{-1}$ de rendimento, para a cultura do milho, a recomendação para este tipo de solo é de 60kg ha^{-1} de K $_2$ O para o primeiro cultivo. A partir desses dados, e com base nos resultados apresentados, pode-se avaliar que a necessidade de K pela cultura do milho poderia ser parcialmente atendida pela liberação de K dos resíduos culturais de inverno à cultura comercial no verão, no caso a cultura do milho.

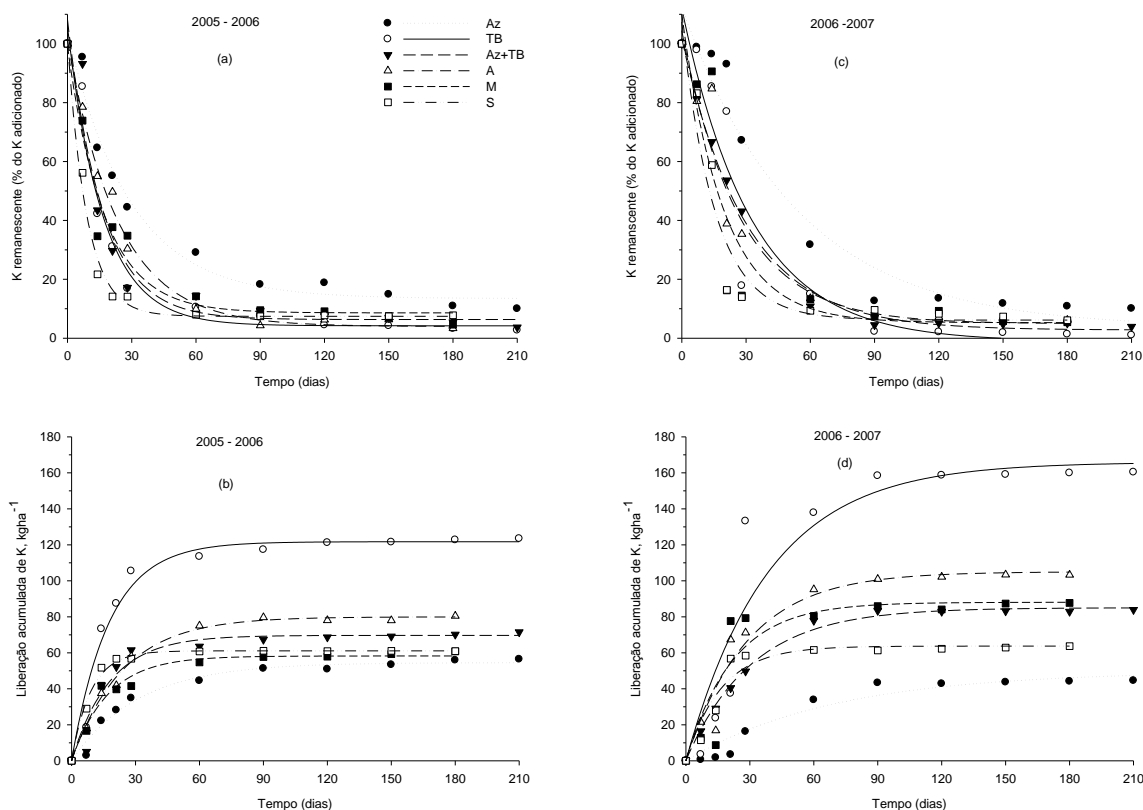


Figura 8. Porcentagem de potássio (K) inicial remanescente (a, c) e liberação acumulada de K (b, d) dos resíduos culturais das espécies de inverno (azevém (*Lolium multiflorum* Lam) (Az), trevo-branco (*Trifolium repens*) (TB) e azevém+trevo-branco (Az+TB)) e de verão (arroz (*Oryza sativa*) (A), milho (*Zea mays* L) (M) e soja (*Glycine max* L) (S)), dias após a disposição dos sacos de decomposição no campo. Em 2005-2006 e 2006-2007.

Os resíduos culturais do TB apresentou maior quantidade de K liberado em relação a todos os resíduos, nos dois anos avaliados. O consórcio (Az+TB) demonstrou uma liberação intermediária aos resíduos das espécies em cultivo solteiro. A importância das leguminosas na ciclagem e liberação de nutrientes, neste ambiente, está demonstrada quando observa-se quantidade total de K liberado de 142kg ha^{-1} no TB, em comparação aos 51kg ha^{-1} no Az, média dos dois anos avaliados. Giacomini (2003), encontrou uma percentagem de liberação de K maior para a leguminosa (ervilhaca) e menor para a gramínea (aveia), enquanto que quantitativamente houve maior liberação para a gramínea (98kg ha^{-1}) e menor para leguminosa (68kg ha^{-1}). Estes resultados estão relacionados à produção de fitomassa e teor do nutriente no resíduo cultural. No estudo de Giacomini, a gramínea teve maior produção de fitomassa em relação a leguminosa. No presente estudo a leguminosa de inverno (TB) apresentou maior produção de fitomassa e maior teor de K, nos dois anos de estudo. Torres e Pereira (2008), observaram que o maior acúmulo de K ocorreu naquelas plantas com maior produção de fitomassa seca, porém a liberação do K contido nos resíduos culturais ocorreu de forma diferenciada.

Torres e Pereira (2008), encontraram para o milho uma quantidade de K remanescente de 18kg ha^{-1} , aos 154 dias após o manejo. Carpin et al. (2008), observaram uma quantidade de 7kg ha^{-1} de K remanescente (98% de K liberado), para o período de 150 dias após o manejo dos resíduos culturais de milho, semelhante ao observado para os resíduos culturais do milho no presente estudo para o mesmo período (150 dias) na média dos dois anos de estudo (5kg ha^{-1} - 94% K liberado).

A constante (k_a) de liberação de K foi maior para todos os resíduos culturais em estudo, com exceção dos resíduos culturais do A, no primeiro ano avaliados, e conseqüentemente menor tempo de meia vida ($T_{1/2}$) (tabela 12). Relacionando a constante de liberação de K e o tempo de meia vida à precipitação acumulada no período de estudo, verifica-se que o período de menor umidade favoreceu a maior taxa de liberação de K do compartimento lábil, relacionando-se inversamente proporcional a liberação do K remanescente (Figura 8). Torres e Pereira (2008), relacionaram condições climáticas como à precipitação e temperatura com a decomposição e a liberação de K. Observaram que, com exceção das plantas de cobertura (crotalária, aveia e braquiária), o milho, o sorgo e o andaraí tiveram a

constante de liberação de K maior e menor tempo de meia vida no ano de menor precipitação.

Tabela 12. Parâmetros do modelo ajustado aos valores observados de potássio (K) remanescente, tempo de meia vida ($T_{1/2}$) de K no compartimento lábil e valores de R^2 para diferentes espécies. Capão do Leão, RS, 2009.

Espécies	A*	k_a	$T_{1/2}A$	R^2
	%	---dias ⁻¹ ---	---dias ---	
2005 - 2006				
Az	90,40	0,0344	20	0,99
TB	101,55	0,0604	11	0,99
Az+TB	101,84	0,0611	11	0,97
A	97,26	0,0423	16	1,00
M	90,73	0,0580	12	0,98
S	93,85	0,1112	6	1,00
2006 - 2007				
Az	108,80	0,0186	37	0,98
TB	113,53	0,0338	21	0,94
Az+TB	104,03	0,0373	19	0,98
A	99,86	0,0584	12	0,94
M	104,81	0,0512	14	0,92
S	113,72	0,0509	14	0,92

A – arroz (*Oryza sativa*), Az - azevém (*Lolium multiflorum* Lam), M – milho (*Zea mays* L), S – soja (*Glycine max* L), TB – trevo branco (*Trifolium repens*).

*A – fitomassa seca do compartimento lábil; k_a – taxa constante de liberação; $T_{1/2}$ – tempo de meia vida; R^2 – coeficiente de correlação.

A taxa de liberação de K nos resíduos das espécies de inverno foi maior para a leguminosa (11 e 21dias no TB) e o consórcio (11 e 19dias no Az+TB) e menor para a gramínea (20 e 37dias no Az), nos dois anos avaliados, respectivamente. Nos resíduos das espécies de verão, a velocidade de liberação de K foi maior para a leguminosa (6dias na S) no primeiro ano, e não houve diferença na velocidade de liberação de K entre os resíduos (gramíneas e leguminosas) no segundo ano avaliado. Resultados são corroborados com os de Giacomini (2003), o qual obteve maior velocidade de liberação de K para a ervilhaca (4,2dias) e menor para aveia (12,5dias).

O comportamento do Ca remanescente (Figura 9a), apresentou-se diferente dos outros nutrientes já apresentados, provavelmente porque o Ca é um constituinte da lamela média das paredes celulares, cujas estruturas geralmente são mais recalcitrantes ao ataque microbiano. Adicionalmente a sua permanência na forma iônica (TAIZ; ZEIGER, 2004), determina a maior dificuldade para sua liberação ao solo (Carpim et al., 2008).

A porcentagem de liberação do Ca dos resíduos do Az, atingiu o máximo (46%) durante os primeiros 14 DAD dos sacos de decomposição no campo. Já os outros resíduos atingiram o máximo de liberação de Ca próximo dos 60 dias (46% no TB e no Az+TB, 15% no M e 66% na S). Os resíduos das espécies de inverno tiveram as curvas de liberações mais próximas durante o período avaliado, enquanto que os resíduos das espécies de verão apresentaram suas curvas de liberações bem distintas, resultando numa maior liberação para os resíduos da leguminosa (S).

Os resíduos culturais do M e do A demonstraram um comportamento diferenciado dos demais resíduos. Para o M, a partir dos 60 dias apresentou uma porcentagem de liberação constante de 8% até o final do período avaliado, chegando a 23% aos 180 dias. Para o A, a porcentagem de liberação foi crescente até o final da avaliação (180 dias) quando alcançou 61%.

A quantidade de liberação de Ca (Figura 9b), até os 60 DAD dos sacos de decomposição a campo, variou de 2 no M a 47kg ha^{-1} na S, chegando a 3 e 58kg ha^{-1} para o M e a S, respectivamente, ao final de 180 dias. Os resíduos culturais das leguminosas (49 no TB e 58kg ha^{-1} na S) e do consórcio (26kg ha^{-1} no Az+TB), liberaram as maiores quantidades de Ca. Provavelmente a liberação do Ca está mais relacionada à composição química (tabela 9) e a forma como é encontrado no resíduo cultural, do que à produção de FS, já que essas espécies apresentaram maiores teores de Ca, enquanto que a S apresentou a menor produção de fitomassa seca entre as espécies de verão. Espindola et al. (2006) avaliando a decomposição e liberação de nutrientes de resíduos de leguminosas em duas estações (seca e chuvosa) observaram que a decomposição da fitomassa seca e a liberação de N, P, K, Ca e Mg, foi mais lenta na estação de seca. Cerca de 50% dos nutrientes contidos nas leguminosas foram liberados em até 120 dias, exceto o Ca, que necessitou de mais tempo para liberação. Na estação chuvosa, a mesma proporção de nutrientes foi liberada em até 60 dias.

A constante de liberação (k_a) do Ca (tabela 13), foi maior para os resíduos de Az ($0,2431\text{dias}^{-1}$) e menor para o A ($0,0083\text{dias}^{-1}$), resultando numa maior velocidade de liberação de Ca para Az (3 dias) e menor para A (83 dias). Os resíduos do consórcio tiveram sua constante de liberação de Ca ($0,0231\text{dias}^{-1}$) muito próximo aos resíduos do TB ($0,0286\text{dias}^{-1}$).

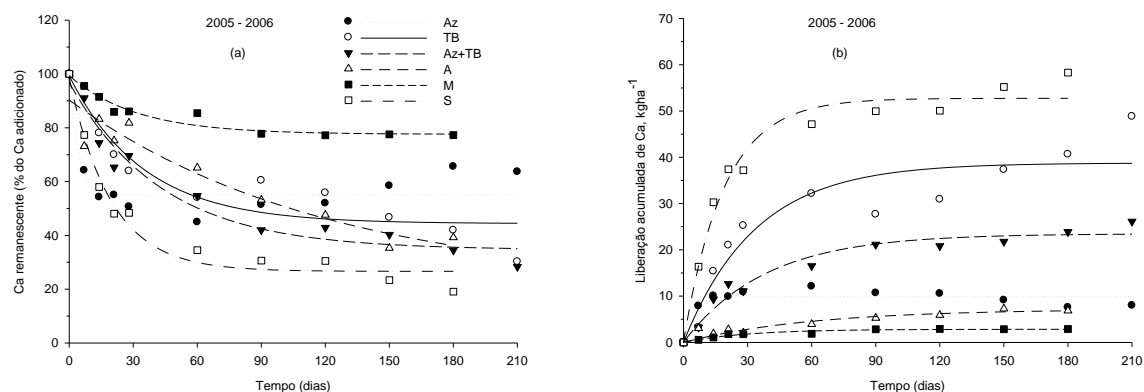


Figura 9. Porcentagem de cálcio (Ca) inicial remanescente (a) e liberação acumulada de Ca (b) dos resíduos culturais das espécies de inverno (azevém (*Lolium multiflorum* Lam) (Az), trevo-branco (*Trifolium repens*) (TB) e azevém+trevo-branco (Az+TB)) e de verão (arroz (*Oryza sativa*) (A), milho (*Zea mays* L) (M) e soja (*Glycine max* L) (S)), dias após a disposição dos sacos de decomposição no campo.

Boer et al. (2007), observou uma liberação de Ca (78,80%) do compartimento lábil, com um $T_{1/2}$ de 74 dias para os resíduos culturais do milho, com uma constante de liberação de $0,0094 \text{ dias}^{-1}$. Carpim et al. (2008), para os resíduos culturais da mesma espécie, encontraram uma liberação de Ca (55,05%) do compartimento lábil com um $T_{1/2}$ de 49 dias, com uma constante de liberação de $0,0142 \text{ dias}^{-1}$. Para os resíduos de milho no presente estudo, encontrou-se uma liberação de Ca (21,80%) em 22 dias com uma constante de liberação de $0,0318 \text{ dias}^{-1}$ (tabela 13). Esta diferença entre os dados demonstra que, a liberação do Ca e de todos os nutrientes avaliados está diretamente relacionada à espécie cultural, ao teor e a forma como o elemento é encontrado no tecido vegetal, ao estágio fenológico, a produção de FS e as condições climatológicas.

O comportamento de liberação do Mg (Figura 10a, c) dos resíduos culturais foi mais gradativo do que todos os nutrientes já vistos, com exceção para os resíduos da S, que alcançou a sua maior porcentagem de liberação aos 60 dias (86% de liberação), no primeiro ano de estudo. No ano seguinte, a liberação foi mais gradativa somente para os resíduos de TB, Az+TB e A. O Az, M e S, apresentaram a maior porcentagem de liberação de Mg aos 60 dias, com 48, 81 e 87%, respectivamente.

Tabela 13. Parâmetros do modelo ajustado aos valores observados de cálcio (Ca) remanescente, tempo de meia vida ($T_{1/2}$) de Ca do compartimento lábil e valores de R^2 para diferentes espécies. Capão do Leão, RS, 2009.

Espécies	A*	k_a	$T_{1/2}A$	R^2
	%	---dias ⁻¹ ---	---dias ---	
		2005 - 2006		
Az	45,10	0,2431	3	0,92
TB	54,92	0,0286	24	0,94
Az+TB	62,31	0,0231	30	0,98
A	69,62	0,0083	83	0,95
M	21,80	0,0318	22	0,97
S	72,04	0,0513	14	0,99

A – arroz (*Oryza sativa*), Az - azevém (*Lolium multiflorum* Lam), M – milho (*Zea mays* L), S – soja (*Glycine max* L), TB – trevo branco (*Trifolium repens*).

*A – fitomassa seca do compartimento lábil; k_a – taxa constante de liberação; $T_{1/2}$ – tempo de meia vida; R^2 – coeficiente de correlação.

A maior porcentagem de liberação de Mg foi observada para os resíduos de S com 88 e 93%, e a menor porcentagem foi encontrada nos resíduos de A, com 54 e 62% de liberação de Mg, aos 180dias, no primeiro e segundo ano avaliados, respectivamente. Durante os dois anos de avaliação, os resíduos culturais do consórcio (Az+TB) apresentaram liberação de Mg muito próxima a observada para os resíduos da leguminosa (TB).

A quantidade de Mg liberado (Figura 10b, d) até os primeiros 60dias, variou de 3 no Az a 30kg ha^{-1} na S, alcançando a maior quantidade de liberação de 5kg ha^{-1} no Az aos 210dias e de 31kg ha^{-1} na S aos 180 dias, no primeiro ano de estudo. No segundo ano, a quantidade de Mg liberado, variou de 4 no A a 22kg ha^{-1} no M, chegando a 67 no A e 23kg ha^{-1} no M, aos 180dias. Os resíduos culturais das gramíneas Az e A, apresentaram uma quantidade de liberação de Mg, muito próximas (4 e 5kg ha^{-1}) no Az e (6 e 6kg ha^{-1}) no A, nos dois anos avaliados, muito distante da liberação do Mg no M (12 e 23kg ha^{-1}), aos 180dias. O comportamento diferenciado na liberação de Mg entre os resíduos culturais das gramíneas nos dois anos avaliados, pode estar relacionado a composição química da espécie (tabela 9), haja visto que os resíduos do milho apresentaram maior teor de Mg do que as outras gramíneas e próximo aos teores das leguminosas, nos dois anos avaliados.

A liberação de Mg no tempo (tabela 14), apresentou-se diferente entre os resíduos culturais das espécies gramíneas e leguminosas. A constante de liberação de Mg nos resíduos das leguminosas foi maior no primeiro ano, conseqüentemente, resultando num menor tempo de liberação de Mg do compartimento lábil. Os resíduos das gramíneas apresentaram uma maior constante de liberação de Mg do

compartimento lábil no segundo ano avaliado. Os resíduos do consórcio (Az+TB) seguiram a tendência da leguminosa (TB) em cultivo solteiro, tal comportamento pode estar associado as suas diferentes composições químicas, a forma e como é encontrado no tecido vegetal. Segundo Taiz e Zeiger (2004), o Mg é requerido por muitas enzimas envolvidas na transferência de fosfatos, é constituinte da molécula de clorofila, e permanece na forma iônica.

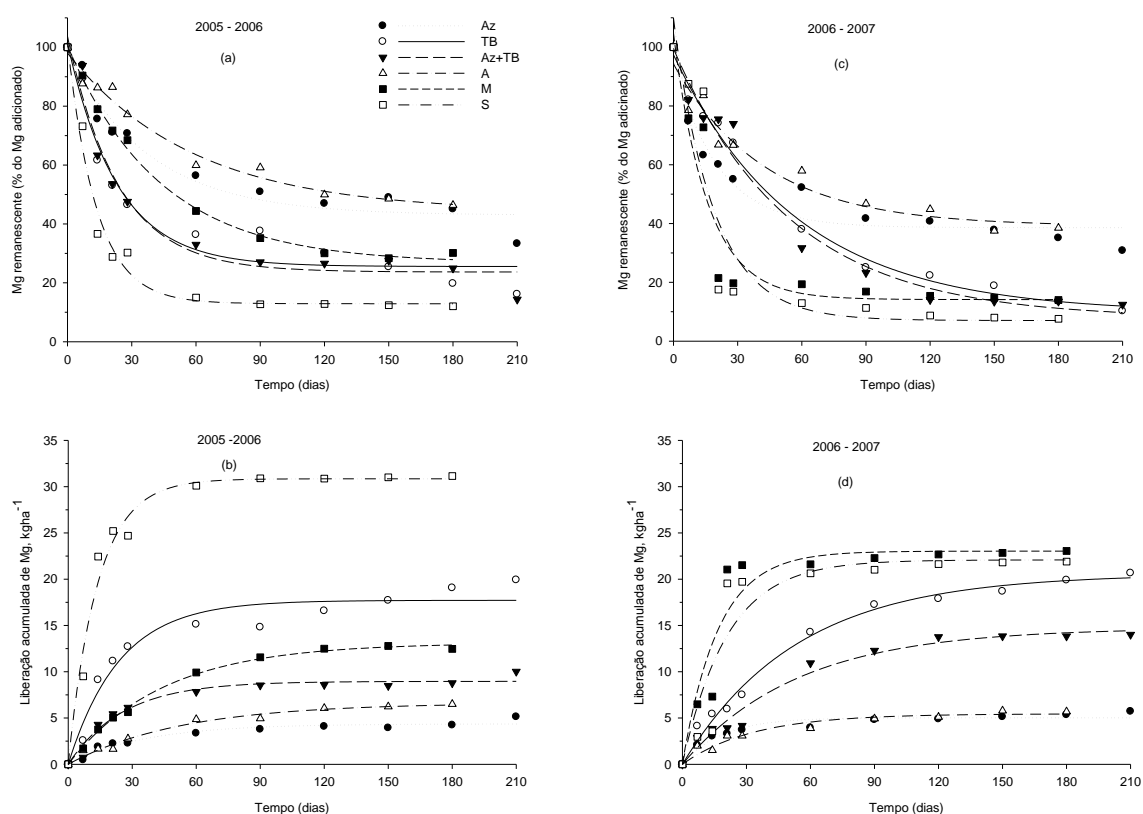


Figura 10. Porcentagem de magnésio (Mg) inicial remanescente (a, c) e liberação acumulada de Mg (b, d) dos resíduos culturais das espécies de inverno (avezém (*Lolium multiflorum* Lam) (Az), trevo-branco (*Trifolium repens*) (TB) e avezém+trevo-branco (Az+TB)) e de verão (arroz (*Oryza sativa*) (A), milho (*Zea mays* L) (M) e soja (*Glycine max* L) (S)), dias após a disposição dos sacos de decomposição no campo. Em 2005-2006 e 2006-2007.

Em razão da grande dificuldade de encontrar trabalhos de liberações de macronutrientes, principalmente Ca e o Mg, de resíduos culturais em decomposição, procurou-se relacionar as liberações dos macronutrientes do compartimento lábil, encontrados para os resíduos culturais de milho à liberação dos resíduos culturais do milheto, encontrado por alguns autores. Boer et al. (2007), encontrou uma liberação de Mg (41,47%) do compartimento lábil com um $T_{1/2}$ de 107 dias para os

resíduos culturais do milho, com uma constante de liberação de $0,0065\text{dias}^{-1}$. Carpim et al. (2008), para os resíduos culturais da mesma espécie, encontrou uma liberação de Mg (26,82%) do compartimento lábil com um $T_{1/2}$ de 41 dias, com uma constante de liberação de $0,0171\text{dias}^{-1}$. Para os resíduos de milho no presente estudo, encontrou-se uma liberação de Mg (73,90 e 90,60%) do compartimento lábil com um $T_{1/2}$ 30 e 11 dias, e a constante de liberação de $0,0230$ e $0,0629\text{dias}^{-1}$, para o primeiro e segundo ano de estudo, respectivamente.

Tabela 14. Parâmetros do modelo ajustado aos valores observados de magnésio (Mg) remanescente, tempo de meia vida ($T_{1/2}$) de Mg do compartimento lábil e valores de R^2 para diferentes espécies. Capão do Leão, RS, 2009.

Espécies	A*	k_a	$T_{1/2}A$	R^2
	%	---dias ⁻¹ ---	---dias ---	
2005 - 2006				
Az	55,77	0,0264	26	0,98
TB	75,85	0,0431	16	0,97
Az+TB	80,03	0,0419	17	0,98
A	53,98	0,0170	41	0,99
M	73,90	0,0230	30	1,00
S	88,77	0,0738	9	0,99
2006 - 2007				
Az	57,11	0,0481	14	0,97
TB	87,76	0,0174	40	1,00
Az+TB	91,80	0,0184	38	0,99
A	55,22	0,0236	29	0,97
M	90,60	0,0629	11	0,95
S	102,76	0,0530	13	0,93

A – arroz (*Oryza sativa*), Az - azevém (*Lolium multiflorum* Lam), M – milho (*Zea mays* L), S – soja (*Glycine max* L), TB – trevo branco (*Trifolium repens*).

*A – fitomassa seca do compartimento lábil; k_a – taxa constante de liberação; $T_{1/2}$ – tempo de meia vida; R^2 – coeficiente de correlação.

6.4 Conclusões

Os resultados do presente estudo permitem as seguintes conclusões:

- a) Espécies leguminosas apresentam alto potencial para liberação de nutrientes às culturas subseqüentes, tanto de inverno quanto de verão, comparativamente às gramíneas;
- b) Para a decomposição de resíduos que se processa no período de outono/inverno, temperaturas médias mais elevadas e menor precipitação aceleram a liberação de nutrientes. Para a decomposição de resíduos culturais de inverno, período de déficit hídrico constitui principal fator para a redução da taxa de liberação de nutrientes;
- c) A maior liberação dos nutrientes avaliados ocorre em momentos diferentes entre os resíduos culturais das espécies gramíneas e leguminosas. Para os resíduos das espécies gramíneas (azevém, arroz e milho) a maior liberação ocorre aos 21 dias para o nitrogênio e aos 60 dias para o fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Para os resíduos das leguminosas (trevo branco e soja) a maior liberação ocorre mais cedo, aos 21 dias para o K e aos 30 dias para o nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio;
- d) Para resíduos culturais de leguminosas, recomenda-se que a maior exigência em absorção de nutrientes da cultura subseqüente coincida com o período de até 30 dias após o manejo químico/mecânico da cultura de cobertura, sugerindo-se aproximar ao máximo possível a semeadura com o manejo das espécies.

7 Conclusões gerais

Os sistemas rotacionados de manejo em um Planossolo Háplico, permitem inferir que sistemas de cultura com cultivos consorciados envolvendo gramíneas e leguminosas de inverno apresentam maior aporte de resíduos culturais, estratégia fundamental como cobertura de solo, ciclagem e liberação de nutrientes para as culturas comerciais de verão.

Para que ocorra o maior aproveitamento de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio liberados pelos resíduos culturais de inverno às culturas comerciais de verão, nos sistemas que envolvem leguminosas de inverno como plantas antecessoras, o período de maior necessidade da cultura subsequente deve coincidir até 30dias após o manejo químico/mecânico da espécie. Se o sistema estiver envolvendo espécies gramíneas este período pode ocorrer até 60dias após o manejo.

8 Referências

- AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto**. Santa Maria: Pallotti, 1997, p.76-111.
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p.601-612, 2003.
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Plantas de cobertura de solo em sistemas agrícolas. In: **Manejo de sistemas agrícolas: Impacto no seqüestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre: Gênese, 2006. p.59-79.
- AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p.189-197, 2001.
- AMADO, T. J. C.; CONCEIÇÃO, P. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F. Qualidade do solo avaliada pelo "soil quality kit test" em dois experimentos de longa duração no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 31, p.109-121, 2007.
- AMADO, T. J. C.; SANTI, A.; ACOSTA, J. A. A.; Adubação nitrogenada na aveia preta. II – influência na decomposição de resíduos, liberação de nitrogênio e rendimento de milho sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, p.085-1096, 2003.
- ARSHAD, M. A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 88, p.153-160, 2002.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. Disponível em <<http://www.anda.org.br>>. Acesso em 04 de maio de 2009.
- AZEVEDO, D. M. P.; SPEHAR, C. R. Decomposição da palhada de culturas para plantio no período de safrinha em solos de tabuleiros costeiros. **Comunicado Técnico 147**. Embrapa. Terezina, 2002.
- BALDOCK, J. A.; OADES, J. M.; WATERS, A. G. Aspects of the chemical structure of soil organic materials as revealed by solid-state ¹³C NMR spectroscopy. **Biogeochemistry**, Netherlands, v.16, p.1-42, 1992.
- BALESDENT, J.; BALABANE, M. Major contribution of roots to soil carbon storage inferred from maize cultivated soils. **Soil Biol. Biochem.**, v. 28, n. 9, p.1261-1263, 1996.

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 53, p.215-230, 2000.

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

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Sistemas de manejo do solo e seus efeitos sobre o rendimento do milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.28, n. 1, p.23-28, 1998.

BERENDSE, F.; BERG, B.; BOSSATA, E. The effect of lignin and nitrogen on the decomposition of litter in nutrient – poor ecosystems: theoretical approach. **Journal of Botany**, Canadian, v. 65, p.1116-1120, 1987.

BOER, C. A.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F. R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 9, p.1269-1276, 2007.

BUCHANAN, M.; KING, L. D. Carbon and phosphorus losses rom decomposing crop residue in no-till and conventional till agroecosystems. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, n. 3, p.631-638, 1993.

BURLE, M. L.; MIELNICZUK, J.; FOCCHI, S. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with enfasis on soil acidification. **Plant and soil**, The Hague, v. 190, p.309-316, 1997.

CARPIM, L. K.; ASSIS, R. L.; BRAZ, A. J. B. P.; SILVA, G. P.; PIRES, F. R.; PEREIRA, V. C.; GOMES G. V.; SILVA, A. G. Liberação de nutrientes pela palha de milheto em diferentes estágios fenológicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p.2813-2819, 2008.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; HERBES, M. G.; POLETTO, N.; SILVEIRA, M. J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p.49-54, 2002.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; PAVINATO, P. S. TRENTIN, E. E.; GIROTTO, E. Produtividade de grãos de milho, produção de matéria seca e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na rotação aveia preta/milho/nabo forrageiro com aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p.1287-1295, 2005.

CHESHIRE, M. V.; MUNDIE, C. M.; SHEPEHERD, H. Transformation of sugars when rye hemicelulose labeled with ¹⁴C decomposes in soil. **Journal of Soli Science**, v. 25, p.90-95, 1974.

CHRISTESEN, B. T. Wheat and barley straw decomposition under field conditions: Effect of soil type and plant cover on weight loss, nitrogen and potassium content. **Soil Biol. Biochem**, v.17, p.691-697, 1985.

COELHO, R. W.; COSTA, N. L.; REIS, J. C. L.; RODRIGUES, R. C. Cobertura vegetal e produtividade da soja no sistema de plantio direto, nas várzeas. **Comunicado Técnico 72**. Embrapa/CPACT, Pelotas, 2002, 3p.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p.323-332, 2008.

CORREIA M. E. F., ANDRADE A. G. Formação de serrapilheira e ciclagem de nutrientes. In: **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.197–226.

CRUZ, L. E. C. **Potencial de sistemas de cultura para o seqüestro de carbono em um cambissolo háplico da serra do sudeste**. 2005. 101f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal)-Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

DIEKOW, J. **Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo em função de sistemas de culturas e adubação nitrogenada no sistema plantio direto**. 2003. 164 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)-Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

DIEKOW, J.; BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J. Preparo do solo e o ciclo do carbono: preparo convencional, preparo mínimo e plantio direto. In: Simpósio sobre plantio direto e meio ambiente – Seqüestro de carbono e qualidade de água. 2005, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2005. 249p.

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

ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMIDA, D. L.; TEIXEIRA, M. G.; URQUIAGA, S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p.321-328, 2006.

FARIAS, E. P.; ZONTA, E.; CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A. Aporte de carbono solúvel pelo sistema radicular de arroz e sua influência nos teores de substâncias húmicas de um latossolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 29, p.875-882, 2005.

FISCHER, M. M. Setor arrozeiro caminha para uma boa safra em 2008/09. **Revista Lavoura Arrozeira**. Ed. dez. 2008. Disponível em <<http://www.irga.rs.gov.br>>. Acesso em 12 fev. 2009.

FUKUSHIMA, R. S.; SAVIOLI, N. M. F. Correlação entre digestibilidade *in vitro* da parede celular e três métodos analíticos para a avaliação quantitativa da lignina. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 2, p.302-309, 2001.

GALLARDO, A.; MERINO, A. J. Leaf decomposition in two mediterranean ecosystems of southwest Spain: influence of substrate quality. **Ecology**, Washington, v.74, p.152-161, 1993.

GIACOMINI, S. J. **Consortiação de plantas de cobertura no outono/inverno e fornecimento de N ao milho em sistema plantio direto**. 2003. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

GIACOMINI, S. J. ; AITA, C.; CHIAPINOTTO, I. C.; HÜBNER, A. P.; CUBILLA, M.; FRIES, M. R. . Decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais da plantas de cobertura. In: XXVIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2001, Londrina. **Anais**. Londrina: SBCS, 2001.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; HÜBNER, A. P.; LUNKES, A.; GUIDINI, E; AMARAL, E. B. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 9, p.1097-1104, 2003.

GOMES, S. A.; PORTO, M. P.; PARFITT, J. M. B.; SILVA, C. A. S.; SOUZA, R. O.; PAULLETO, E. A. Rotação de culturas em área de várzea e plantio direto de arroz. **Documentos 89**. Embrapa Clima Temperado. Pelotas. 2002. 70p.

GOMES, S. A.; MAGALHÃES, A. M. Cultivo do arroz irrigado. **Sistema de produção 3**, 2004. Disponível em <<http://www.cpact.embrapa.br>>. Acesso em maio de 2008.

KÖGEL KNABNER, I. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 34, p.139-162, 2002.

LAL, R. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. **Soil and Tillage Research**, v. 43, p.81-107, 1997.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, p.175-187, 2004.

LUPWAYI, N. Z.; CLAYTON, J. T.; O'DONOVAN, K. N.; HARKER, K. N.; TURKINGTON, T. K.; RICE, W. A. Decomposition of crop residues under conventional and zero tillage. **Journal of Soil Science**, Canada, v. 29, p.403-410, 2004.

MAFONGOYA, P. L.; BARAK, P.; REED, J. D. Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization of tree leaves and manure. **Biol. Fertil. Soils**, v. 30, p.298-305, 2000.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.

MELILLO, J. M.; ABER, J. D.; MURATORE, J. F. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. **Ecology**, v. 63, p. 621-626, 1982.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: **Fundamentos da matéria orgânica no solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 2008. p.1-5.

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

MYERS, R. J. K.; PALM, C. A. ; CUEVAS, E. ; GUNATILEKE, I. U. N.; BROSSARD, M. The synchronisation of nutrient mineralization and plant nutrient demand. In: **The biological management of tropical soil fertility**. New York: John Wiley, p.81-116, 1994.

NTANOS, D. A.; KOUTROUBAS, S. D. Dry matter and N accumulation and translocation for Indica and Japonica Rice under Mediterranean conditions. **Field crops Research**, v. 74, p.93-101, 2002.

NORTCLIFF, S. Standardization of soil quality attributes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 88, p.161-168, 2002.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1996. 340p.

PAUL, E. A.; VAN VEEN, J. A. The use of tracers to determine the dynamic nature of organic matter. In: **Modelling nitrogen from farm wastes**, London: Applied Science Publishers, p.75-132, 1979.

PILLON C. N. **Alterações no conteúdo e qualidade da matéria orgânica do solo induzidas por sistemas de cultura**. 2000. 214f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)-Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

RANELLS, N. N.; WAGGER, M. Nitrogen release from crimson clover in relation to plant growth stage and composition. **Agronomy Journal**, v. 84, p.424-230, 1992.

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

RAVEN, P. H., EVERT, R. F., EICHHORN, S. E. A composição molecular das células vegetais. In: **Biologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S. A., 2001. 906p.

RODRIGUES, R. C.; COELHO, R. W.; REIS, J. C. L. Rendimento de forragem e composição química de cinco gramíneas de estação fria. **Comunicado Técnico 77**. Embrapa/CPACT, Pelotas, 2002, 3p.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E.; BUCKNER, J.; FORNARI, A.; SÁ, M. F. M.; SEGUY, L.; BOUZINAC, S.; VENZKE-FILHO, S. P.; PAULLETI, V. A contribuição dos resíduos culturais nos compartimentos da matéria orgânica e os mecanismos de seqüestro de carbono em solos sob o sistema plantio direto. In: Simpósio sobre plantio direto e meio ambiente – seqüestro de carbono e qualidade de água. Foz do Iguaçu, 2005. p.44-52.

SANCHES, P. A.; PALM, C. A. ; SZOTT, L. T. ; CUEVAS, E. ; LAL, R. Organic input management in tropical agroecosystems. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G., ed., **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. University of Hawaii, Honolulu, 1989. p.25-152.

SANTI, A.; DALMAGO, G. A.; DENARDIN, J. E. Potencial de seqüestro de carbono pela agricultura brasileira e a mitigação do efeito estufa. **Documentos**, n. 78. Embrapa Trigo, Passo Fundo, 2007. 8p.

SCHOLES, M. C.; SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; SANCHEZ, P. A.; INGRAM, J. S. I.; DALAL, R. Soil fertility research in response to the demand for sustainability. In: **The biological management of tropical soil fertility**: Tropical Soil Biology and Fertility Programme (TSBF), Nairobi, Kenya, 1994, p.1-4.

SCIVITTARO, W. B.; MATTOS, M. L. T.; MARTINS, J. F. S. Suprimento de nutrientes para a produção orgânica de arroz irrigado. **Comunicado Técnico 97**. Embrapa/CPACT, Pelotas, 2004. 5p.

SCIVITTARO, W. B.; SILVA, C. A. S. Coberturas de inverno como fonte de nitrogênio para o milho nos sistemas convencional e plantio direto. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n.52. Embrapa/CPACT, Pelotas, 2007. 22p.

SILVA, C. A. S.; PARFITT, J. M. B. Irrigação por inundação intermitente para culturas em rotação ao arroz em áreas de várzea do Rio Grande do Sul. **Circular Técnica**, n.46. Embrapa/CPACT, Pelotas, 2005. 12p.

SILVA, C. A. S.; PARFITT, J. M. B.; PORTO, M.P. Manejo da água para as culturas do milho, sorgo e soja em solos hidromórficos. **Circular Técnica**, n.26. Embrapa/CPACT, Pelotas, 2001. 46p.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: Embrapa – CPAC, 1997. p.467-516.

SILVA, L. S.; SOUSA, R. O.; POCOJESKI, E. Dinâmica da matéria orgânica em ambientes alagados. In: **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 2008. p.525-543.

STEVENSON, F. J. **Cycles of soil – carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients**. United State of America : John Wiley and sons, New York, 1986. 380p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. São Paulo: Artmed, 2004. 719p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN H.; VOLKWEISS S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia. Departamento de Solos Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. p.89-105.

TEIXEIRA, L. A. J.; TESTA, V. M.; MIELNICZUK, J. Nitrogênio no solo, nutrição e rendimento de milho afetados por sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p.207-214, 1994.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p.1609-1618, 2008.

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

TRINSOUTROT, I., RECOUS, S., BENTZ, B., LINERES, M., CHENEBY, D., NICOLARDOT, B. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. **Soil Sci Soc. Am. J**, v. 64, p.918-926, 2000.

VANLAUWE, B.; DIELS, J.; SANGINGA, N.; MERCKX, R. Residue quality and decomposition: An unsteady relationship? In: **Driven by nature: Plant litter quality and decomposition**. CAB International, Wallingford, 1997. p.157-166.

VAN SOEST, P. J. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds II. A rapid method of the determination of fiber and lignin. **J. Assoc. Official Agr. Chem.**, v.46, n.5, p.829-835, 1963.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. Ithaca: Cornell University Press. 1994. 476p.

VEZZANI, F. M.; CONCEIÇÃO, P. C.; MELLO, N. A.; DIECKOW, J. Matéria orgânica e qualidade de solo. In: **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Gênese, 2008. p.483-493.

WAGGER, M. G. Time of desiccation effects on plant composition and subsequent nitrogen release from several winter annual cover crops. **Agronomy Journal**, v. 81, p.236-241, 1989.

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

WILSON, D. O.; HARGROVE, W. L. Release of nitrogen from crimson clover residue under two tillage systems. **Soil Sci Soc. Am. J**, v. 50, p.1251-1254, 1986.

Apêndices

Apêndice A. Produção de fitomassa seca pelos sistemas de cultura, sob sistema plantio direto, e duas doses de adubação nitrogenada.

Tratamentos	Sistemas de Cultura	Blocos			Média
		I	II	III	
----- Mgha ⁻¹ -----					
PD S/N (inverno 2005)					
T1	Az+Corn/P ⁽¹⁾	2,70	3,48	2,83	3,01
T2	P/R	4,31	3,40	4,15	3,95
T3	Az+TB/M	3,59	3,83	4,50	3,97
T4	Az/S	4,65	4,49	5,46	4,87
T5	Az+Corn/R	5,56	4,86	5,52	5,31
PD C/N (inverno 2005)					
T1	Az+Corn/P	3,96	4,01	3,69	3,89
T2	P/R	3,36	2,84	2,49	2,90
T3	Az+TB/M	3,98	4,53	3,34	3,95
T4	Az/S	4,08	4,29	5,19	4,52
T5	Az+Corn/R	5,30	4,46	5,39	5,05
PD S/N (verão 2005-2006)					
T1	Az+Corn/P	2,19	2,46	2,32	2,32
T2	P/R	7,61	7,22	4,34	6,39
T3	Az+TB/M	3,40	4,01	3,85	3,75
T4	Az/S	6,22	5,27	6,60	6,03
T5	Az+Corn/R	3,39	2,35	3,53	3,09
PD C/N (verão 2005-2006)					
T1	Az+Corn/P	2,19	2,46	2,32	2,32
T2	P/R	7,50	7,85	7,40	7,58
T3	Az+TB/M	3,40	1,57	2,86	2,61
T4	Az/S	6,22	5,27	6,60	6,03
T5	Az+Corn/R	2,90	2,16	3,40	2,82
PD S/N (inverno 2006)					
T1	Az+Corn/P	6,41	2,15	1,22	3,26
T2	P/R	1,36	1,60	1,26	1,41
T3	Az+TB/M	3,74	4,16	1,26	3,05
T4	Az/S	2,03	2,02	1,25	1,77
T5	Az+Corn/R	4,57	4,28	1,12	3,32
PD C/N (inverno 2006)					
T1	Az+Corn/P	4,50	3,97	1,38	3,28
T2	P/R	1,90	1,53	1,04	1,49
T3	Az+TB/M	2,67	3,60	1,20	2,49
T4	Az/S	1,42	2,42	1,47	1,77
T5	Az+Corn/R	3,79	4,26	1,48	3,18
PD S/N (verão 2006-2007)					
T1	Az+Corn/P	5,11	3,45	3,30	3,95
T2	P/R	9,60	10,89	6,68	9,05
T3	Az+TB/M	5,62	3,04	3,75	4,14
T4	Az/S	3,20	2,26	3,72	3,06
T5	Az+Corn/R	13,59	14,78	8,76	12,38
PD C/N (verão 2006-2007)					
T1	Az+Corn/P	5,11	3,45	3,30	3,95
T2	P/R	14,91	10,79	10,55	12,08
T3	Az+TB/M	6,56	3,88	3,07	4,51
T4	Az/S	3,20	2,26	3,72	3,06
T5	Az+Corn/R	15,14	7,48	11,40	11,34

⁽¹⁾ A – arroz (*Oryza sativa*), Az - Azevém (*Lolium multiflorum* Lam), Cor – cornichão (*Lotus corniculatus*), M – milho (*Zea mays* L.), S – soja (*Glycine max* L), Sr – sorgo (*Sorghum vulgare*), TB – trevo branco (*Trifolium repens*), P – pousio, R – rotação (milho/sorgo).

PD – plantio direto, S/N - sem adubação nitrogenada mineral; C/N - dose de N recomendada para a espécie gramínea de verão.

Apêndice B. Produção de fitomassa seca pelos sistemas de cultura, sob plantio convencional, e duas doses de adubação nitrogenada.

Tratamentos	Sistemas de Cultura	Blocos			Média
		I	II	III	
----- Mgha ⁻¹ -----					
PC C/N (inverno 2005)*					
Ref 1**	P/A	2,39	2,52	1,77	2,23
Ref 2***	P/A	1,37	2,18	2,08	1,88
PC S/N (verão 2005-2006)					
T1	Az+Corn/P	5,76	4,31	6,54	5,53
T2	P/R	8,49	6,88	8,14	7,84
T3	Az+TB/M	6,62	4,69	4,11	5,14
T4	Az/S	5,26	3,64	4,80	4,57
T5	Az+Corn/R	5,21	8,32	5,49	6,34
PC C/N (verão 2005-2006)					
T1	Az+Corn/P	5,76	4,31	6,54	5,53
T2	P/R	9,03	8,32	10,43	9,26
T3	Az+TB/M	6,53	12,06	8,58	9,06
T4	Az/S	5,26	3,64	4,80	4,57
T5	Az+Corn/R	7,97	10,20	11,95	10,04
Ref 1	P/A	5,22	6,77	6,94	6,31
Ref 2	P/A	5,11	6,79	6,78	6,23
PC S/N (inverno 2006)					
T1	Az+Corn/P	1,20	1,55	1,33	1,36
T2	P/R	1,24	1,67	1,30	1,40
T3	Az+TB/M	2,69	2,91	1,18	2,26
T4	Az/S	2,00	1,08	1,21	1,43
T5	Az+Corn/R	1,06	1,18	0,92	1,05
PC C/N (inverno 2006)					
T1	Az+Corn/P	1,33	0,92	0,97	1,07
T2	P/R	1,79	1,31	1,28	1,46
T3	Az+TB/M	2,19	2,16	1,22	1,86
T4	Az/S	1,28	1,81	1,32	1,47
T5	Az+Corn/R	1,33	1,16	1,12	1,20
Ref 1	P/A	1,54	1,21	1,46	1,40
Ref 2	P/A	1,21	1,31	1,70	1,41
PC S/N (verão 2006-2007)					
T1	Az+Corn/P	2,22	2,00	2,34	2,19
T2	P/R	7,55	4,78	7,13	6,49
T3	Az+TB/M	5,12	2,42	4,05	3,86
T4	Az/S	6,94	7,85	5,04	6,61
T5	Az+Corn/R	12,57	6,95	6,98	8,83
PC C/N (verão 2006-2007)					
T1	Az+Corn/P	2,22	2,00	2,34	2,19
T2	P/R	9,65	2,70	7,75	6,70
T3	Az+TB/M	6,62	5,28	5,72	5,87
T4	Az/S	6,94	7,85	5,04	6,61
T5	Az+Corn/R	10,10	9,08	11,15	10,11
Ref 1	P/A	7,60	9,14	9,79	8,84
Ref 2	P/A	-	-	-	SM

⁽¹⁾A – arroz (*Oryza sativa*), Az - Azevém (*Lolium multiflorum Lam*), Cor – cornichão (*Lotus corniculatus*), M – milho (*Zea mays L.*), S – soja (*Glycine max L.*), Sr – sorgo (*Sorghum vulgare*), TB – trevo branco (*Trifolium repens*), P – pousio, R – rotação (milho/sorgo).

PC – preparo convencional; S/N - sem adubação nitrogenada mineral; C/N - dose de N recomendada para a espécie gramínea de verão; SM – sem material.

*No inverno de 2005 toda área foi cultivada sob plantio direto (S/N e C/N) .

**Ref 1 cultivo de arroz irrigado todos os anos sob preparo convencional

***Ref. 2 cultivo de arroz irrigado sob preparo convencional dois anos consecutivos, seguido de dois anos em pousio.

Apêndice C. Determinação dos teores de C, N, P, K, Ca, Mg e lignina (L), da parte aérea das espécies de inverno e verão de 2005-2006 e 2006-2007.

Tratamento	%C	%N	%P	%K	%Ca	%Mg	%L
2005-2006							
Az	42,90	0,98	0,20	1,14	0,40	0,14	8,88
TB	40,41	2,82	0,28	2,03	1,12	0,38	14,98
Az+TB	41,10	1,96	0,27	1,65	0,81	0,26	5,33
A	42,66	0,84	0,21	1,10	0,20	0,16	8,05
M	43,32	0,71	0,11	1,00	0,20	0,28	5,89
S	41,58	2,83	0,27	1,10	1,20	0,59	10,15
2006-2007							
Az	41,77	1,14	0,18	0,90	0,15	0,15	ND
TB	40,29	3,93	0,28	2,77	1,00	0,37	ND
Az+TB	39,95	2,57	0,27	1,88	0,35	0,36	ND
A	37,73	0,75	0,14	1,10	0,15	0,12	ND
M	38,28	0,91	0,13	1,45	0,39	0,42	ND
S	42,17	2,00	0,18	1,13	0,73	0,39	ND

A – arroz (*Oryza sativa*), Az - Azevém (*Lolium multiflorum Lam*), M – milho (*Zea mays L.*), S – soja (*Glycine max L*), TB – trevo branco (*Trifolium repens*).

Apêndice D. Determinações dos teores de C e N da planta inteira (folha, caule/colmo e raiz) das espécies de inverno e de verão.

	folha		caule/colmo		raiz	
	%C	%N	%C	%N	%C	%N
Blocos						
			azevém			
I	40,20	0,85	42,12	0,63	26,47	1,02
II	39,74	1,00	42,00	0,62	21,91	0,85
III	77,08	1,86	41,91	0,66	27,75	1,19
			trevo branco			
I	44,15	5,25	40,26	2,39	34,37	2,30
II	42,31	5,52	40,05	2,44	22,61	1,57
III	43,51	4,97	40,26	2,29	20,90	1,31
			arroz			
I	38,77	0,99	40,19	0,34	12,78	0,20
II	40,04	1,15	39,68	0,53	8,74	0,16
III	40,14	1,35	39,10	0,51	11,93	0,33
			milho			
I	40,43	1,11	42,04	0,41	32,42	0,34
II	39,06	0,73	42,16	0,26	30,35	0,37
III	40,32	1,36	41,53	0,29	21,07	0,32
			soja			
I	42,17	3,33	41,52	1,31	38,31	1,78
II	43,37	3,96	41,53	1,32	41,05	1,91
III	42,11	3,21	40,59	1,20	38,89	1,64

Apêndice E. Determinação dos teores de C, N, P, K, Ca e Mg dos resíduos culturais de azevém, dias após a distribuição dos sacos de decomposição no campo em 2005.

Tempo (dias)	0	7	14	21	28	60	90	120	150	180	210
Resíduos culturais de azevém 2005											
Blocos	%C										
BI	42,90	43,83	42,64	43,40	41,42	42,05	40,30	39,59	37,71	38,39	35,29
BII	42,90	43,40	43,76	43,18	42,14	43,05	42,20	42,41	29,70	29,59	29,13
BIII	42,90	44,42	43,41	43,43	43,85	43,49	37,14	42,29	37,84	39,51	39,26
	%N										
BI	0,98	0,96	0,89	0,96	0,96	1,06	0,93	0,79	1,01	1,00	0,88
BII	0,98	0,95	0,93	0,93	0,98	1,11	1,07	1,02	0,98	0,94	0,90
BIII	0,98	1,00	1,05	1,05	0,99	1,01	1,23	1,45	0,83	0,91	0,92
	%P										
BI	0,20	0,21	0,18	0,19	0,20	0,13	0,15	0,14	0,16	0,14	0,12
BII	0,20	0,20	0,19	0,18	0,19	0,16	0,14	0,13	0,10	0,11	0,13
BIII	0,20	0,22	0,18	0,19	0,17	0,17	0,13	0,16	0,14	0,14	0,13
	%K										
BI	1,14	1,15	0,96	0,82	0,75	0,58	0,38	0,56	0,42	0,26	0,26
BII	1,14	1,16	0,90	0,74	0,65	0,48	0,36	0,22	0,22	0,21	0,20
BIII	1,14	1,25	0,85	0,84	0,70	0,57	0,34	0,41	0,35	0,28	0,26
	%Ca										
BI	0,40	0,28	0,25	0,28	0,28	0,26	0,35	0,35	0,51	0,58	0,63
BII	0,40	0,26	0,28	0,28	0,30	0,32	0,38	0,44	0,36	0,48	0,42
BIII	0,40	0,30	0,27	0,28	0,26	0,31	0,34	0,40	0,50	0,51	0,57
	%Mg										
BI	0,14	0,14	0,13	0,13	0,14	0,12	0,13	0,13	0,15	0,15	0,12
BII	0,14	0,14	0,14	0,12	0,15	0,13	0,12	0,09	0,09	0,10	0,07
BIII	0,14	0,15	0,12	0,13	0,12	0,14	0,12	0,15	0,16	0,13	0,11

Apêndice F. Determinação dos teores de C, N, P, K, Ca e Mg dos resíduos culturais de trevo branco, dias após a distribuição dos sacos de decomposição no campo em 2005.

Tempo (dias)	0	7	14	21	28	60	90	120	150	180	210
Resíduos culturais de trevo branco 2005											
Blocos	%C										
BI	40,41	43,14	41,40	41,59	40,71	38,77	41,46	33,38	39,52	25,39	38,44
BII	40,41	43,86	41,33	42,45	35,31	40,24	40,76	41,25	35,36	36,01	36,39
BIII	40,41	42,30	43,01	39,68	39,12	42,94	39,98	40,76	42,06	35,29	32,24
	%N										
BI	2,82	2,72	2,33	2,78	2,91	2,79	3,15	2,86	2,99	1,82	2,61
BII	2,82	2,78	3,02	2,53	2,23	2,77	2,90	3,28	2,12	2,83	2,59
BIII	2,82	2,79	2,53	2,37	2,43	2,75	2,96	3,02	2,50	3,00	2,13
	%P										
BI	0,28	0,27	0,20	0,23	0,26	0,33	0,36	0,40	0,35	0,25	0,34
BII	0,28	0,28	0,22	0,22	0,28	0,33	0,39	0,36	0,29	0,30	0,22
BIII	0,28	0,25	0,20	0,22	0,30	0,33	0,42	0,39	0,30	0,29	0,23
	%K										
BI	2,03	1,90	1,33	1,19	0,72	0,55	0,44	0,40	0,42	0,25	0,30
BII	2,03	1,93	1,33	1,19	0,82	0,57	0,49	0,29	0,32	0,25	0,26
BIII	2,03	1,90	1,22	1,00	0,76	0,87	0,69	0,39	0,29	0,31	0,24
	%Ca										
BI	1,12	1,22	1,42	1,46	1,72	1,92	2,26	2,40	2,22	1,66	2,03
BII	1,12	1,12	1,25	1,40	1,54	1,97	2,46	2,42	1,98	2,00	1,42
BIII	1,12	1,19	1,29	1,34	1,57	1,78	2,44	2,62	2,08	2,08	1,43
	%Mg										
BI	0,38	0,39	0,36	0,36	0,40	0,41	0,47	0,49	0,43	0,26	0,39
BII	0,38	0,36	0,35	0,37	0,39	0,43	0,48	0,39	0,36	0,34	0,24
BIII	0,38	0,37	0,35	0,35	0,40	0,45	0,56	0,48	0,37	0,32	0,25

Apêndice G. Determinação dos teores de C, N, P, K, Ca e Mg dos resíduos culturais de azevém+trevo branco, dias após a distribuição dos sacos de decomposição no campo em 2005.

Tempo (dias)	0	7	14	21	28	60	90	120	150	180	210
Resíduos culturais de azevém+trevo branco 2005											
Blocos	%C										
BI	41,10	41,76	43,01	41,29	39,75	43,07	35,31	37,06	31,11	36,44	32,17
BII	41,10	40,41	41,64	41,60	38,02	37,38	32,60	33,68	28,00	31,68	36,05
BIII	41,10	42,08	40,96	39,97	35,30	38,00	40,19	31,59	34,99	43,32	30,54
	%N										
BI	1,96	1,67	1,77	1,96	1,62	1,47	1,73	1,56	1,39	1,43	1,44
BII	1,96	1,72	1,69	1,60	1,70	1,29	1,48	1,49	1,14	1,47	1,68
BIII	1,96	1,59	1,82	1,24	1,84	1,59	1,50	1,34	1,48	1,80	1,70
	%P										
BI	0,27	0,24	0,18	0,20	0,25	0,21	0,20	0,17	0,17	0,14	0,14
BII	0,27	0,25	0,17	0,21	0,21	0,17	0,17	0,13	0,15	0,15	0,17
BIII	0,27	0,21	0,20	0,18	0,20	0,18	0,16	0,13	0,16	0,22	0,14
	%K										
BI	1,65	1,66	1,02	0,79	0,70	0,72	0,42	0,39	0,29	0,22	0,22
BII	1,65	1,78	1,05	0,82	0,49	0,41	0,34	0,26	0,28	0,27	0,23
BIII	1,65	1,67	0,98	0,78	0,44	0,37	0,33	0,27	0,29	0,30	0,20
	%Ca										
BI	0,81	0,77	0,70	0,89	1,12	0,96	0,86	0,96	0,86	0,74	0,72
BII	0,81	0,86	0,82	0,89	1,11	0,87	0,74	0,88	0,70	0,70	0,93
BIII	0,81	0,82	1,04	0,80	1,00	0,96	0,82	0,72	0,90	1,01	0,80
	%Mg										
BI	0,26	0,25	0,21	0,23	0,28	0,21	0,18	0,20	0,19	0,16	0,11
BII	0,26	0,28	0,23	0,24	0,23	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,15
BIII	0,26	0,28	0,26	0,21	0,20	0,17	0,16	0,15	0,19	0,24	0,14

Apêndice H. Determinação dos teores de C, N, P, K, Ca e Mg dos resíduos culturais de arroz, dias após a distribuição dos sacos de decomposição no campo em 2005-2006.

Tempo (dias)	0	7	14	21	28	60	90	120	150	180
Resíduos culturais de arroz 2005-2006										
Blocos	%C									
BI	42,66	41,29	40,13	39,68	38,25	37,68	39,30	26,52	33,64	26,34
BII	42,66	42,02	40,10	40,42	39,70	40,13	36,76	34,37	30,78	30,78
BIII	42,66	41,79	39,81	40,28	41,34	41,39	29,63	36,68	36,51	34,81
	%N									
BI	0,84	0,64	0,66	0,61	0,70	0,84	0,93	0,64	0,93	0,91
BII	0,84	0,67	0,65	0,66	0,66	0,84	0,85	0,88	0,94	1,17
BIII	0,84	0,73	0,63	0,64	0,71	0,94	0,70	0,91	0,98	1,14
	%P									
BI	0,21	0,20	0,17	0,16	0,18	0,13	0,11	0,08	0,10	0,11
BII	0,21	0,20	0,19	0,17	0,15	0,11	0,10	0,10	0,10	0,11
BIII	0,21	0,19	0,18	0,18	0,14	0,11	0,10	0,10	0,10	0,11
	%K									
BI	1,10	1,10	0,72	0,71	0,70	0,30	0,16	0,12	0,12	0,07
BII	1,10	1,10	0,81	0,69	0,44	0,13	0,05	0,14	0,16	0,03
BIII	1,10	1,00	0,75	0,73	0,33	0,12	0,04	0,12	0,12	0,13
	%Ca									
BI	0,20	0,20	0,22	0,23	0,28	0,33	0,29	0,29	0,31	0,34
BII	0,20	0,22	0,22	0,25	0,27	0,31	0,29	0,30	0,36	0,35
BIII	0,20	0,22	0,21	0,25	0,27	0,31	0,28	0,27	0,29	0,36
	%Mg									
BI	0,16	0,16	0,17	0,17	0,19	0,16	0,19	0,14	0,17	0,16
BII	0,16	0,18	0,18	0,18	0,18	0,16	0,16	0,18	0,15	0,14
BIII	0,16	0,18	0,17	0,19	0,18	0,17	0,15	0,12	0,13	0,16

Apêndice I. Determinação dos teores de C, N, P, K, Ca e Mg dos resíduos culturais de milho, dias após a distribuição dos sacos de decomposição no campo em 2005-2006.

Tempo (dias)	0	7	14	21	28	60	90	120	150	180
Resíduos culturais de milho 2005-2006										
Blocos	%C									
BI	43,32	42,39	40,92	40,85	42,63	43,26	42,33	41,21	39,54	30,49
BII	43,32	42,48	37,91	38,79	40,79	42,20	41,16	39,32	36,16	24,02
BIII	43,32	42,71	40,72	41,17	42,82	40,57	38,45	41,13	38,46	33,53
	%N									
BI	0,71	0,77	0,82	0,79	0,87	0,84	1,14	1,11	1,38	1,13
BII	0,71	0,69	0,81	0,79	0,69	0,93	0,96	0,96	1,03	0,82
BIII	0,71	0,72	0,78	0,70	0,66	0,95	0,87	1,03	1,34	1,04
	%P									
BI	0,11	0,10	0,11	0,10	0,12	0,09	0,12	0,12	0,13	0,12
BII	0,11	0,10	0,10	0,09	0,10	0,11	0,08	0,10	0,10	0,11
BIII	0,11	0,09	0,10	0,09	0,09	0,11	0,11	0,11	0,13	0,11
	%K									
BI	1,00	1,00	0,58	0,51	0,60	0,23	0,18	0,16	0,19	0,17
BII	1,00	0,98	0,25	0,42	0,56	0,36	0,12	0,26	0,13	0,02
BIII	1,00	0,88	0,54	0,61	0,44	0,20	0,25	0,12	0,14	0,13
	%Ca									
BI	0,2	0,25	0,24	0,2	0,28	0,32	0,29	0,3	0,36	0,35
BII	0,2	0,25	0,24	0,23	0,27	0,29	0,29	0,3	0,31	0,33
BIII	0,2	0,24	0,24	0,27	0,24	0,34	0,32	0,32	0,36	0,36
	%Mg									
BI	0,28	0,32	0,29	0,28	0,32	0,23	0,18	0,14	0,16	0,16
BII	0,28	0,33	0,29	0,26	0,30	0,26	0,16	0,18	0,16	0,19
BIII	0,28	0,33	0,29	0,28	0,26	0,20	0,23	0,18	0,21	0,22

Apêndice J. Determinação dos teores de C, N, P, K, Ca e Mg dos resíduos culturais de soja, dias após a distribuição dos sacos de decomposição no campo em 2005-2006.

Tempo (dias)	0	7	14	21	28	60	90	120	150	180
Resíduos culturais de soja 2005-2006										
Blocos	%C									
BI	41,58	40,26	36,54	34,21	34,14	18,30	15,54	25,53	25,85	20,80
BII	41,58	40,75	40,39	33,47	34,77	37,73	32,65	31,23	24,64	17,37
BIII	41,58	41,43	40,18	40,97	41,03	37,84	32,87	32,33	28,79	21,92
	%N									
BI	2,83	1,92	1,64	1,73	1,26	1,12	0,84	1,32	1,26	1,08
BII	2,83	2,08	1,82	1,63	1,64	1,55	1,45	1,81	1,20	0,90
BIII	2,83	2,29	1,86	1,92	1,75	1,48	1,67	1,45	1,33	1,15
	%P									
BI	0,27	0,26	0,25	0,23	0,19	0,13	0,12	0,15	0,13	0,11
BII	0,27	0,24	0,28	0,24	0,27	0,17	0,16	0,16	0,14	0,09
BIII	0,27	0,25	0,26	0,26	0,25	0,19	0,17	0,17	0,15	0,15
	%K									
BI	1,10	0,81	0,43	0,28	0,19	0,15	0,15	0,17	0,16	0,20
BII	1,10	0,70	0,32	0,22	0,37	0,15	0,16	0,16	0,18	0,14
BIII	1,10	0,82	0,28	0,23	0,22	0,17	0,16	0,18	0,17	0,19
	%Ca									
BI	1,20	1,20	1,10	0,96	0,80	0,74	0,70	0,78	0,59	0,57
BII	1,20	1,10	0,97	0,83	1,20	0,71	0,73	0,73	0,51	0,41
BIII	1,20	1,20	0,97	0,93	0,92	0,77	0,67	0,67	0,62	0,43
	%Mg									
BI	0,59	0,54	0,40	0,35	0,25	0,14	0,14	0,17	0,15	0,16
BII	0,59	0,52	0,29	0,23	0,41	0,13	0,15	0,13	0,15	0,13
BIII	0,59	0,57	0,24	0,21	0,23	0,21	0,14	0,15	0,15	0,15

Apêndice K. Determinação dos teores de C, N, P, K, Ca e Mg dos resíduos culturais de azevém, dias após a distribuição dos sacos de decomposição no campo em 2006.

Tempo (dias)	0	7	14	21	28	60	90	120	150	180	210
Resíduos culturais de azevém 2006											
Blocos	%C										
BI	41,77	41,30	41,60	41,46	41,14	35,04	25,21	20,05	32,37	27,34	21,78
BII	41,77	41,70	41,45	41,44	41,86	38,75	38,88	22,97	27,44	23,10	22,98
BIII	41,77	41,92	41,58	41,84	42,80	40,84	36,53	35,40	30,70	26,44	28,81
	%N										
BI	1,14	1,01	0,94	1,13	1,09	1,04	1,05	1,03	1,02	1,17	1,32
BII	1,14	1,16	0,89	1,11	1,02	1,02	1,04	0,99	0,88	1,07	1,26
BIII	1,14	1,20	1,01	0,99	1,04	1,01	1,04	1,07	1,16	1,27	1,37
	%P										
BI	0,18	0,21	0,20	0,18	0,18	0,16	0,15	0,17	0,17	0,14	0,15
BII	0,18	0,18	0,21	0,23	0,21	0,14	0,18	0,11	0,18	0,16	0,12
BIII	0,18	0,19	0,20	0,20	0,23	0,19	0,19	0,14	0,16	0,15	0,17
	%K										
BI	0,90	1,07	1,05	1,04	0,77	0,60	0,19	0,17	0,22	0,18	0,18
BII	0,90	1,06	1,04	1,03	0,77	0,30	0,17	0,19	0,17	0,19	0,17
BIII	0,90	1,09	1,07	1,05	0,78	0,37	0,20	0,27	0,21	0,24	0,24
	%Mg										
BI	0,15	0,15	0,12	0,12	0,11	0,13	0,10	0,10	0,12	0,11	0,09
BII	0,15	0,13	0,11	0,11	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,11	0,10
BIII	0,15	0,13	0,12	0,11	0,10	0,11	0,11	0,12	0,10	0,10	0,11

Apêndice L. Determinação dos teores de C, N, P, K, Ca e Mg dos resíduos culturais de trevo branco, dias após a distribuição dos sacos de decomposição no campo em 2006.

Tempo (dias)	0	7	14	21	28	60	90	120	150	180	210
Resíduos culturais de trevo branco 2006											
Blocos	%C										
BI	40,29	40,59	40,53	41,52	41,61	41,45	42,43	40,51	36,77	33,64	24,64
BII	40,29	39,80	40,19	40,69	40,47	41,09	38,78	35,71	28,11	31,45	29,68
BIII	40,29	39,92	41,12	40,62	40,97	42,08	42,79	35,07	40,48	29,77	33,22
	%N										
BI	3,93	3,66	3,14	3,08	3,53	3,62	3,88	3,33	3,69	3,37	3,09
BII	3,93	3,39	3,35	3,05	3,16	3,36	3,84	3,41	3,82	2,86	2,96
BIII	3,93	3,47	3,24	2,84	3,24	3,49	3,80	3,25	3,95	2,83	3,22
	%P										
BI	0,14	0,14	0,13	0,14	0,16	0,19	0,24	0,15	0,29	0,10	0,27
BII	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,20	0,14	0,12	0,14	0,13	0,23
BIII	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,21	0,17	0,12	0,14	0,31	0,32
	%K										
BI	2,59	2,93	3,01	2,75	0,49	1,31	0,33	0,22	0,27	0,28	0,21
BII	2,59	3,63	3,28	3,25	0,97	0,77	0,23	0,25	0,22	0,28	0,21
BIII	2,59	3,14	3,12	2,76	0,72	1,33	0,19	0,25	0,31	0,22	0,25
	%Mg										
BI	0,37	0,39	0,40	0,39	0,40	0,41	0,41	0,38	0,35	0,36	0,32
BII	0,37	0,38	0,40	0,40	0,40	0,41	0,35	0,35	0,39	0,37	0,32
BIII	0,37	0,39	0,39	0,40	0,38	0,41	0,38	0,36	0,37	0,36	0,32

Apêndice M. Determinação dos teores de C, N, P, K, Ca e Mg dos resíduos culturais de azevém+trevo branco, dias após a distribuição dos sacos de decomposição no campo em 2006.

Tempo (dias)	0	7	14	21	28	60	90	120	150	180	210
Resíduos culturais de azevém+trevo branco 2006											
Blocos	%C										
BI	39,95	40,74	41,04	40,99	38,43	37,56	26,51	17,47	20,12	19,41	17,86
BII	39,95	41,19	41,25	40,71	39,66	32,23	28,67	24,06	20,62	21,41	10,82
BIII	39,95	41,33	40,51	40,42	39,88	38,23	38,53	29,48	29,43	33,62	25,14
	%N										
BI	2,57	2,43	3,69	1,83	2,20	2,05	1,76	1,30	1,61	1,76	1,50
BII	2,57	2,68	2,13	2,46	1,89	1,79	1,99	2,02	1,42	1,41	1,74
BIII	2,57	2,40	2,07	1,98	1,76	2,04	2,43	1,99	2,12	2,36	1,97
	%P										
BI	0,12	0,11	0,11	0,15	0,15	0,21	0,19	0,16	0,16	0,18	0,16
BII	0,12	0,12	0,10	0,15	0,15	0,20	0,16	0,19	0,17	0,21	0,11
BIII	0,12	0,11	0,11	0,16	0,16	0,15	0,29	0,21	0,20	0,19	0,15
	%K										
BI	1,94	2,02	1,73	1,64	1,04	0,24	0,17	0,19	0,23	0,23	0,19
BII	1,94	2,01	1,60	1,59	1,06	0,32	0,19	0,22	0,21	0,29	0,21
BIII	1,94	1,98	1,72	0,87	1,24	0,57	0,19	0,28	0,19	0,24	0,20
	%Mg										
BI	0,36	0,37	0,36	0,34	0,35	0,12	0,12	0,11	0,11	0,12	0,12
BII	0,36	0,35	0,34	0,36	0,35	0,14	0,12	0,11	0,10	0,12	0,10
BIII	0,36	0,39	0,35	0,36	0,35	0,35	0,32	0,12	0,12	0,13	0,12

Apêndice N. Determinação dos teores de C, N, P, K, Ca e Mg dos resíduos culturais de arroz, dias após a distribuição dos sacos de decomposição no campo em 2006-2007.

Tempo (dias)	0	7	14	21	28	60	90	120	150	180
Resíduos culturais de arroz 2006-2007										
Blocos	%C									
BI	37,73	37,42	37,87	35,81	38,40	36,77	33,52	33,43	34,06	29,50
BII	37,73	37,74	38,00	36,65	37,17	34,68	33,48	35,80	15,86	28,10
BIII	37,73	36,99	38,18	38,06	38,08	38,28	36,48	35,56	35,78	32,52
	%N									
BI	0,75	0,73	0,82	0,84	0,90	0,95	1,07	0,97	1,03	1,07
BII	0,75	0,86	0,79	0,81	0,89	0,97	1,02	1,22	1,12	1,00
BIII	0,75	0,80	0,93	0,83	0,88	0,96	1,05	1,15	1,21	1,28
	%P									
BI	0,14	0,14	0,11	0,09	0,10	0,14	0,09	0,10	0,10	0,11
BII	0,14	0,15	0,14	0,09	0,12	0,09	0,11	0,14	0,12	0,12
BIII	0,14	0,15	0,12	0,09	0,09	0,09	0,11	0,12	0,12	0,12
	%K									
BI	1,45	1,58	1,54	0,50	0,86	0,33	0,19	0,19	0,16	0,16
BII	1,45	1,34	1,48	0,66	1,08	0,38	0,22	0,20	0,16	0,16
BIII	1,45	1,40	1,55	1,26	0,43	0,23	0,19	0,19	0,19	0,21
	%Mg									
BI	0,12	0,12	0,13	0,12	0,12	0,12	0,10	0,08	0,10	0,10
BII	0,12	0,11	0,12	0,11	0,13	0,12	0,09	0,12	0,08	0,09
BIII	0,12	0,12	0,13	0,12	0,12	0,10	0,09	0,10	0,08	0,09

Apêndice O. Determinação dos teores de C, N, P, K, Ca e Mg dos resíduos culturais de milho, dias após a distribuição dos sacos de decomposição no campo em 2006-2007.

Tempo (dias)	0	7	14	21	28	60	90	120	150	180
Resíduos culturais de milho 2006-2007										
Blocos	%C									
BI	38,28	40,29	40,71	39,97	38,85	38,46	33,39	30,49	34,53	31,42
BII	38,28	41,04	40,81	36,38	37,53	39,94	38,96	40,52	39,92	38,82
BIII	38,28	41,05	41,17	41,51	41,55	42,21	40,93	39,49	41,96	37,03
	%N									
BI	0,91	0,91	0,88	0,95	0,91	0,93	0,94	0,89	1,10	1,20
BII	0,91	0,97	0,98	0,89	0,98	1,02	0,91	1,00	1,14	1,20
BIII	0,91	1,03	0,93	0,82	0,95	1,10	1,25	0,97	1,00	1,20
	%P									
BI	0,13	0,13	0,12	0,09	0,09	0,10	0,09	0,10	0,09	0,10
BII	0,13	0,12	0,14	0,09	0,08	0,11	0,11	0,09	0,11	0,12
BIII	0,13	0,10	0,13	0,10	0,10	0,12	0,13	0,09	0,10	0,11
	%K									
BI	1,45	1,58	1,54	0,30	0,47	0,14	0,10	0,33	0,13	0,15
BII	1,45	1,34	1,48	0,30	0,24	0,35	0,17	0,19	0,16	0,13
BIII	1,45	1,40	1,55	0,30	0,13	0,35	0,23	0,12	0,16	0,15
	%Mg									
BI	0,42	0,38	0,34	0,10	0,11	0,10	0,08	0,09	0,09	0,09
BII	0,42	0,37	0,37	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
BIII	0,42	0,34	0,35	0,13	0,11	0,13	0,12	0,11	0,12	0,12

Apêndice P. Determinação dos teores de C, N, P, K, Ca e Mg dos resíduos culturais de soja, dias após a distribuição dos sacos de decomposição no campo em 2006-2007.

Tempo (dias)	0	7	14	21	28	60	90	120	150	180
Resíduos culturais de soja 2006-2007										
Blocos	%C									
BI	42,17	41,97	42,05	27,04	33,86	34,45	20,60	23,86	32,91	30,75
BII	42,17	42,51	41,83	38,79	33,55	29,36	28,45	32,95	30,77	38,21
BIII	42,17	41,84	41,80	37,64	38,71	33,01	33,41	38,23	42,87	33,89
	%N									
BI	2,00	1,84	2,22	1,32	1,54	1,60	1,04	1,23	1,67	1,48
BII	2,00	2,24	2,04	2,61	1,68	1,66	1,63	1,64	1,87	1,79
BIII	2,00	1,96	1,98	2,18	1,93	1,31	1,49	1,69	2,36	1,99
	%P									
BI	0,18	0,18	0,18	0,11	0,12	0,14	0,13	0,11	0,15	0,13
BII	0,18	0,16	0,16	0,15	0,16	0,13	0,13	0,16	0,13	0,18
BIII	0,18	0,17	0,17	0,23	0,14	0,13	0,13	0,17	0,16	0,14
	%K									
BI	1,13	1,10	1,10	0,28	0,25	0,16	0,20	0,20	0,19	0,15
BII	1,13	1,02	1,08	0,33	0,32	0,19	0,19	0,19	0,21	0,19
BIII	1,13	1,13	0,22	0,21	0,16	0,16	0,16	0,21	0,20	0,18
	%Mg									
BI	0,39	0,40	0,39	0,10	0,10	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07
BII	0,39	0,39	0,42	0,11	0,11	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
BIII	0,39	0,41	0,41	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07	0,08