



## Sistemas de produção para cereais de inverno: três décadas de estudos

# **Sistemas de produção para cereais de inverno: três décadas de estudos**

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Trigo  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# **Sistemas de produção para cereais de inverno: três décadas de estudos**

*Henrique Pereira dos Santos  
Renato Serena Fontaneli  
Silvio Túlio Spera  
Genei Antonio Dalmago  
João Leonardo Fernandes Pires  
Anderson Santi  
Editores Técnicos*

**Embrapa**  
*Brasília, DF*  
2019

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Trigo**

Rodovia BR 285, km 294  
Caixa Postal 3081  
Telefone: (54) 3316-5800  
Fax: (54) 3316-5802  
99050-970 Passo Fundo, RS  
<https://embrapa.br/fale-conosco/sac>

**Unidade responsável pelo conteúdo e edição:**

Embrapa Trigo

**Comitê de Publicações**

Presidente

*Mercedes Concórdia Carrão-Panizzi*

Vice-Presidente: *João Carlos Haas*

Membros: *Douglas Lau, Elene Yamazaki*

*Lau, Flávio Martins Santana, Gisele*

*Abigail Montan Torres, Joseani Mes-*

*quita Antunes, Maria Regina Cunha*

*Martins, Leandro Vargas, Renato Serena*

*Fontaneli*

Normalização bibliográfica

*Maria Regina Martins*

Capa

*Fátima Maria De Marchi*

Diagramação eletrônica

*Fátima Maria De Marchi*

Fotos capa

*Trigo - Pedro Luiz Scheeren*

*Soja e triticales - Paulo Odilon Kurtz*

*Ervilhaca e Milho - Renato Serena Fontaneli*

*Cevada - Fátima Maria De Marchi*

**1ª edição**

versão digital (2019)

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Trigo

---

Sistemas de produção para cereais de inverno: três décadas de estudos/ editores técnicos,  
Henrique Pereira dos Santos ... [et al.]. – Brasília, DF : Embrapa, 2019.  
307 p. ; 15,5 x 22,0 cm.

ISBN 978-85-7035-495-2

1. Cereais de inverno – Sistemas de produção. I. Santos, Henrique Pereira dos.  
II. Embrapa Trigo.

CDD: 633.1

---

© Embrapa, 2019



# Autores



## **Alfredo do Nascimento Junior**

Engenheiro-Agrônomo, doutor em Melhoramento Vegetal - Triticale/ Centeio, Pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

## **Anderson Santi**

Engenheiro-Agrônomo, mestre em Agronomia, Pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

## **Genei Antonio Dalmago**

Engenheiro-agrônomo, Dr. em Fitotecnia/Agrometeorologia, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

## **Henrique Pereira dos Santos**

Engenheiro Agrônomo, doutor em Agronomia / Fitotecnia, Pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

## **João Leonardo Fernandes Pires**

Engenheiro Agrônomo, doutor em Fitotecnia, Pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

## **Renato Serena Fontaneli**

Engenheiro Agrônomo, doutor em Agronomia, Pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

## **Silvio Tulio Spera**

Engenheiro Agrônomo, doutor em Agronomia / Produção Vegetal, Pesquisador da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT.

# Apresentação



Na década de 1970, aplicações de doses elevadas de calcário nos solos do Rio Grande do Sul determinaram intensa ocorrência, nas lavouras de trigo, de doenças de raiz, tais como o mal-do-pé (*Gaeumannomyces graminis*) e a podridão comum (*Bipolaris sorokiniana*).

Nessa época foi criada a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em Brasília, DF, e posteriormente o Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, em Passo Fundo, RS, com a missão de intensificar os trabalhos de pesquisa com a cultura do trigo. Estudos com sistemas de rotação de culturas foram implementados para aumento de rendimento de grãos do cereal.

Esse livro relata três décadas de estudos realizados por pesquisadores da Embrapa Trigo sobre sistemas de produção de grãos ou de rotação de culturas com o trigo. Com base nos trabalhos desenvolvidos, foi possível indicar os primeiros sistemas de rotação ou sucessão de culturas por um, dois, três ou quatro períodos no Sul do Brasil, utilizando espécies de inverno disponíveis na região.

Do ponto de vista fitopatológico, experimentos de longa duração sobre sistemas de rotação de culturas e produção de grãos em sistema plantio direto, na região de Guarapuava, PR, indicaram a rotação de trigo com aveia branca e aveia preta, as quais apresentam resistência ao mal-do-pé e reduzida infecção para a podridão comum.

Esses trabalhos, desenvolvidos em um período de 30 anos, juntamente com outros desenvolvidos pela Embrapa Trigo, permitiram a indicação de um inverno sem trigo ou cevada, em sistema plantio direto; mostraram que a rotação de culturas é eficiente para melhorar a conversão e o balanço energético dos sistemas de produção de trigo, de cevada e de triticale;

indicaram que sistemas de produção com intervalos de um ano de rotação para trigo, cevada e triticale são alternativas eficientes para diminuir riscos e maior rentabilidade para a região de Guarapuava, PR, e de Passo Fundo, RS; e também destacaram que a integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto é viável para engorda de animais no período invernal e na rotação com culturas de inverno e de verão.

*Oswaldo Vasconcellos Vieira*  
Chefe-Geral da Embrapa Trigo

# Agradecimentos



Os autores agradecem a Vânia Bianchin pela leitura e sugestões no capítulo deste livro sobre a importância da rotação de culturas.

# Sumário



## Introdução

13

### Capítulo 1

## **Histórico e Composição de Sistemas de Rotação de Culturas Importantes para Trigo no Sul do Brasil**

Henrique Pereira dos Santos, Renato Serena Fontaneli, João Leonardo Fernandes Pires, Silvio Tulio Spera

17

### Capítulo 2

## **A Importância da Rotação de Culturas para os Cereais de Inverno**

Henrique Pereira dos Santos, Renato Serena Fontaneli, Silvio Tulio Spera

29

### Capítulo 3

## **Avaliação de Sistemas de Rotação de Culturas na Severidade de Doenças do Sistema Radicular e no Rendimento de Grãos de Cereais de Inverno, nas Décadas de 1980 a 2010**

Henrique Pereira dos Santos, Renato Serena Fontaneli, João Leonardo Fernandes Pires, Alfredo do Nascimento Junior, Genei Antonio Dalmago

45

Capítulo 4

**Avaliação de Sistemas de Rotação de Culturas no Rendimento de Grãos de Culturas de Verão, nas Décadas de 1980 a 2010**

Henrique Pereira dos Santos, Renato Serena Fontaneli 83

Capítulo 5

**Avaliação de Sistemas de Rotação de Culturas na Fertilidade e na Matéria Orgânica do Solo, nas Décadas de 1980 a 2010**

Henrique Pereira dos Santos, Silvio Tulio Spera, Renato Serena Fontaneli, Anderson Santi 140

Capítulo 6

**Avaliação de Sistemas de Rotação de Culturas na Física do Solo, nas Décadas de 1990 a 2010**

Silvio Tulio Spera, Henrique Pereira dos Santos, Renato Serena Fontaneli, Anderson Santi, Genei Antonio Dalmago 193

Capítulo 7

**Avaliação de Sistemas de Rotação de Culturas na Conversão e no Balanço Energético, nas Décadas de 1980 a 2010**

Henrique Pereira dos Santos, Renato Serena Fontaneli, Genei Antonio Dalmago, Anderson Santi 217

Capítulo 8

**Avaliação de Sistemas de Rotação de Culturas na Análise Econômica e de Risco, nas Décadas de 1980 a 2010**

Henrique Pereira dos Santos, Renato Serena Fontaneli, Alfredo do Nascimento Junior, Anderson Santi, Genei Antonio Dalmago 256

# Introdução



Há mais de quarenta anos, no Sul do Brasil, alguns técnicos definiram ser a rotação de culturas o principal meio para se obter maior estabilidade no rendimento de grãos na cultura do trigo, baseados em observações de lavouras e de experimentos realizados a campo. De acordo com alguns autores, a prática de rotação de culturas é a única medida fitossanitária de que se dispõe para evitar a forte pressão de inóculo de determinados fitoparasitos. Ainda, se constitui em uma estratégia de reduzir custos de produção das lavouras, de promover a diversificação de culturas e, conseqüentemente, diminuir risco de perder a produção de grãos. A rotação de culturas é, também, fator de manutenção ou melhoria da fertilidade e da conservação do solo.

Um dos mais notáveis efeitos da rotação de culturas tem sido observado na redução da população de fitopatógenos causadores de algumas doenças importantes em cereais de inverno. Tais fitopatógenos podem ser classificados segundo seus requerimentos nutricionais e suas implicações na sobrevivência e nas estratégias de controle (Reis; Casa, 2007).

Fitopatógenos são os agentes causais de doenças em plantas, podendo ser classificados em parasitos biotróficos e necrotróficos. Os parasitos biotróficos são aqueles que extraem seus nutrientes, única e exclusivamente de tecidos vivos, exercendo parasitismo somente em plantas vivas e apresentando alto grau de especificidade. Portanto, a morte de tecidos do hospedeiro significa o fim do parasitismo desse grupo de patógenos, que não sobrevive em resíduos de culturas.

Como exemplo de biotróficos, pode-se mencionar os agentes causais de ferrugens (*Puccinia* spp) e do oídio [*Blumeria graminis* (DC) Speer]. A prática de rotação de culturas não afeta os parasitas biotróficos.

Os parasitos necrotróficos são aqueles que se utilizam de tecidos mortos como fonte de nutrientes. De maneira prática, poder-se-ia afirmar que vivem como saprófitas em plantas vivas. Isto significa que, primeiro, determinam a morte de pequenas áreas do limbo foliar, pela ação de toxinas ou de enzimas e, em seguida, a morte celular, passando a extrair seus nutrientes das áreas necrosadas. As manchas foliares são tecidos mortos no hospedeiro vivo. Após a colheita, continuam extraíndo nutrientes, saprofiticamente, dos resíduos culturais. Enquadram-se como necrotróficos os agentes causais de manchas foliares, como *Bipolaris sorokiniana*, *Drechslera avenae*, *D. teres*, *D. tritici-repentis*, *Septoria nodorum*, *S. tritici* e doenças do sistema radicular, tais como mal-do-pé (*Gaeumannomyces graminis*) e podridão comum (*Bipolaris sorokiniana*).

A rotação de culturas tem efeito redutor sobre os patógenos que sobrevivem nos resíduos culturais (necrotróficos) e que não possuem estruturas de resistência como esclerócios, clamidósporos e oósporos. Assim, como parasitas necrotróficos, podem ser relacionados os agentes causais das doenças radiculares, as doenças do caule em soja, colmo em milho e as manchas foliares em cereais de inverno.

A partir de 1975, a Embrapa Trigo iniciou trabalhos com espécies alternativas de inverno, visando estudar os efeitos da prática de rotação de culturas na resposta de cinco espécies: trigo e cevada (no inverno), soja, milho e sorgo (no verão). Porém, nestes primeiros trabalhos, no inverno havia somente as gramíneas trigo e cevada, as quais hospedavam os mesmos fitopatógenos, das raízes ou das folhas, o que não caracterizava um estudo adequado de rotação das culturas. Para tentar equacionar esse problema, a partir do final da década de 1970, foram programados experimentos de rotação de culturas com outras alternativas de inverno, tais como: colza, linho e leguminosas. Além disso, para diminuir o efeito das doenças necrotróficas era preciso definir o tempo necessário para não semeadura de trigo ou cevada na mesma área. Por outro lado, tinha que se considerar que a partir de vários anos de cultivo, na mesma área, as principais gramí-



neas produtoras de grãos, de cobertura de solo ou componentes de pastagens, tivessem a mesma reação às doenças do sistema radicular. Foram destacadas a cevada, a festuca e o azevém, espécies mais suscetíveis à podridão comum do que o centeio e a aveia branca. A aveia preta, no entanto, mostrava resistência à podridão comum. Portanto, restava saber quais dessas gramíneas poderiam ser utilizadas como alternativas de inverno, intercalando com as culturas de maior relevância econômica. Para responder esse questionamento, foram programados sistemas de rotação de culturas, envolvendo o trigo com aveias, já que, naquela época, não havia estudos desse tipo de manejo com essas espécies conjuntamente.

Na década de 1980, as indicações de adubação e calagem eram baseadas em estudos de calibração, onde as culturas eram implantadas em áreas com preparo convencional de solo (lavração e gradagem com grade de discos). Além disso, também não havia estudos dessas condições sobre sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. Em trabalhos desenvolvidos nos Estados Unidos da América (EUA) foram observados para a cultura de milho que, após seis anos de plantio direto, havia acúmulo de resíduos culturais e elevação dos teores de matéria orgânica e de nutrientes (P, Ca, Mg e K), na camada de 0-5 cm, em relação ao método de preparo convencional de solo (Blevins et al., 1977, 1978).

Nesse período inicial de pesquisas, a Embrapa Trigo desenvolvia trabalhos com vários cereais de inverno. Porém, faltavam estudos mais específicos de sistemas de rotação com trigo e triticale, intercalados, no inverno, com espécies de famílias diferentes. Era necessário responder se seria possível cultivar esses cereais por dois anos consecutivos e quanto tempo seria necessário para retornar à mesma área de cultivo.

Pode-se dizer que, neste período de estudo, os resultados de pesquisa desenvolvidos pela Embrapa Trigo foram relevantes, com grande contribuição para o conhecimento sobre sistemas de rotação de culturas envolvendo culturas produtoras de grãos de inverno e de verão. O resultado

mais destacado foi a possibilidade do estabelecimento prévio do período de rotação de cada espécie na mesma área de cultivo.

A geração de tecnologia e opções de manejo para as principais culturas foram os resultados obtidos destes tipos de estudos, os quais têm viabilizado a agricultura em muitos locais da região Sul do Brasil. Contudo, os questionamentos não foram esgotados, novos cenários se apresentam a cada época, como a predominância dos fitopatógenos, oscilações de clima, exigências dos genótipos, dentre outros. Novas frentes de pesquisa devem ser formadas e os resultados compilados neste livro propiciarão informações para futuras comparações entre o efeito da rotação de culturas no presente e no passado.

## Referências

BLEVINS, R. L.; MURDOCK, L. W.; THOMAS, G. W. Effect of lime application on no-tillage and conventionally tilled corn. **Agronomy Journal**, v. 70, n. 2, p. 322-326, 1978.

BLEVINS, R. L.; THOMAS, G. W.; CORNELIUS, P. L. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years of continuous corn. **Agronomy Journal**, v. 69, n. 3, p. 383-386, 1977.

REIS, E. M.; CASA, R. T. **Doenças dos cereais de inverno**: diagnose, epidemiologia e controle. Lages: Graphel, 2007. 176 p.

Capítulo

1

# Histórico e Composição de Sistemas de Rotação de Culturas Importantes para Trigo no Sul do Brasil

Henrique Pereira dos Santos, Renato Serena Fontaneli, João Leonardo Fernandes Pires, Silvio Tulio Spera

## Introdução

No início da década de 1970, com a criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em Brasília, DF, e posteriormente, do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (Embrapa Trigo), em Passo Fundo, RS, iniciaram-se os primeiros trabalhos de pesquisa com a cultura de trigo, em nível nacional. Dentro deste contexto, as atividades de pesquisa com rotação de culturas paralisadas desde 1965 foram retomadas.

De acordo com Rosa (1988), até então, pouca importância era dada às doenças do sistema radicular do trigo. Estas não foram percebidas nos primeiros anos de ocupação dos solos no Planalto Rio-Grandense, principalmente pela informação de que a sucessão trigo/soja era suficiente para controlar esse tipo de moléstias, e por haver ainda muitos solos nunca cultivados com trigo. A aplicação de doses elevadas de calcário determinou ocorrência mais intensa de mal-do-pé nas lavouras de trigo, a qual passou a ser uma preocupação dos pesquisadores a partir de 1975.

As doenças das raízes do trigo de maior importância ocorrentes em lavouras do Rio Grande do Sul, já eram naquela época, a podridão comum

e o mal-do-pé, causadas por *Bipolaris sorokiniana* e *Gaeumannomyces graminis*, respectivamente.

No entanto, Rosa (1988) afirmou que somente com resistência genética, único recurso disponível até 1974, não era possível controlar todas as doenças. Assim, não se conseguia oferecer ao tricultor gaúcho um sistema de produção de trigo seguro para safras com condições climáticas desfavoráveis. Os resultados da safra de 1977, contudo, demonstraram que o controle químico em adição à resistência genética disponível não era suficiente para assegurar um nível de rendimento de grãos satisfatório. No entanto, algumas lavouras e alguns experimentos conduzidos em áreas que não foram semeadas com trigo em anos anteriores, mostravam rendimento de grãos excelentes.

No final de 1977, considerou-se a inclusão do pousio de inverno ou a rotação de culturas no sistema de produção para trigo no Rio Grande do Sul, embora ainda não se soubesse qual o intervalo de pousio de inverno necessário para controlar as doenças do sistema radicular (Rosa, 1988).

Decorrente disso, foi solicitada uma reunião extraordinária da Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo para estudar, entre outros assuntos, a possível inclusão da rotação de culturas no sistema de produção com trigo (Rosa, 1988). A reunião foi realizada na Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Porto Alegre, RS, no dia 1º de fevereiro de 1978. A proposta, mesmo baseada apenas nas observações já descritas, foi aprovada por unanimidade. Porém, somente com os resultados de Diehl (1979) é que realmente a Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo iria alterar a indicação de rotação ou de pousio para três anos.

Os estudos preliminares realizados pela Embrapa Trigo a partir de 1978 mostraram, também, que a podridão comum ocorria com maior intensidade em lavouras com monocultura de trigo. Seu controle podia ser atingido pela manutenção destas lavouras sem o cultivo de trigo, ou cereais suscetíveis, por três ou mais anos (Diehl, 1979; Diehl et al., 1982).

Segundo Reis e Bacaltchuk (1979), a intensidade do mal-do-pé começou a aumentar significativamente a partir de 1969, principalmente pelas elevadas doses de calcário aplicadas ao solo - prática comum para corrigir a acidez do solo para a soja - e do cultivo intensivo de trigo. Os autores concluíram que, na monocultura de cereais de inverno, o pH elevado e a alta umidade do solo eram os principais fatores que favoreciam a ocorrência do mal-do-pé.

Em 1980 e 1981, foram avaliadas várias lavouras de trigo do Rio Grande do Sul, com e sem rotação de culturas (Diehl et al., 1983), e foi verificado que a podridão comum ocorreu em todas as lavouras avaliadas. Sua intensidade foi elevada em lavouras de semeadura anual de trigo ou em lavouras com um a dois anos de pousio ou de rotação, independente das outras culturas usadas. A intensidade da doença só foi reduzida nas lavouras com pousio de três a quatro anos e naquelas semeadas com trigo pela primeira vez. O mal-do-pé ocorreu em cerca de 30% das lavouras sob condições de semeadura anual de trigo e de um ano de pousio ou de cultivo com culturas não suscetíveis, como linho, tremoço, aveia ou colza. Esta doença, entretanto, não foi encontrada em lavouras com dois ou mais anos com aveia, pousio, ou da combinação de pousio com cultura anual não suscetível.

Naquela época, foram utilizados, também, experimentos em condições de campo para avaliar a reação à podridão comum em dez espécies de gramíneas, como: trigo, cevada, centeio, aveia amarela, aveia branca, aveia preta, capim lanudo, azevém, festuca e pensacola (Diehl et al., 1983). Trigo, cevada, festuca e azevém foram as espécies mais suscetíveis ao mal-do-pé. Centeio, aveia amarela e aveia branca (Figura 1), apesar de mostrarem menor grau de infecção do que as espécies anteriormente descritas, também foram afetadas pela doença. A aveia preta mostrou resistência à doença, enquanto que, a pensacola morreu devido ao ataque severo nas raízes (Figura 2).

Foto: Renato Serena Fontaneli



**Figura 1.** Aveia branca.

Foto: Paulo Odilon Ceratti Kurtz



**Figura 2.** Aveia preta.



Baseados em levantamentos efetuados em nível de lavoura e devido à elevada incidência de mal-do-pé e também de podridão comum no Brasil, naquela oportunidade, pesquisadores da Embrapa Trigo e de outros órgãos de pesquisa, que participavam das Reuniões de Pesquisa com Trigo, recomendaram que não deveria ser semeado trigo por três invernos seguidos numa mesma área agrícola (Diehl et al., 1974; Diehl, 1979, Reunião...,1980). Caso fosse necessário o cultivo da área, este deveria ser feito com espécies de outras famílias.

Paralelamente aos trabalhos de levantamento das doenças do sistema radicular de trigo em lavouras, também foram iniciados, na Embrapa Trigo, estudos sobre sistemas de rotação de culturas envolvendo o trigo. Além disso, buscava-se esclarecer o efeito da aveia branca ou da aveia preta em rotação de culturas com a cultura de trigo, uma vez que, naquela época, não havia estudos no País sobre aqueles sistemas.

De 1980 a 1990, foram desenvolvidos vários estudos, em Passo Fundo, RS, e em Guarapuava, PR, sobre sistemas de rotações de ciclos curtos e longos, envolvendo a cultura de trigo. Inicialmente, esses estudos eram conduzidos sob preparo convencional de solo, mudando posteriormente para sistema plantio direto.

Baseados nos trabalhos desenvolvidos pela Embrapa Trigo (capítulos 3 a 8) com sistemas de rotação de culturas envolvendo culturas de inverno (aveia branca, aveia preta, azevém, cevada, colza, ervilha, ervilhaca, linho, girassol e serradela, tremoço, trevo e trigo) e de verão (milho, milheto, soja e sorgo), foi possível diminuir o período de rotação de culturas para dois invernos (Reunião... , 1988) e depois para um inverno sem trigo (Reunião..., 1997). Além disso, foi indicado que as culturas de aveia branca e aveia preta poderiam compor os sistemas de rotação de culturas com trigo, sem restrição sob o ponto de vista fitopatológico (Reunião..., 1989).

## **Principais resultados obtidos em experimentos de longa duração, nas décadas de 1980 e 2010, na Embrapa Trigo**

Os resultados mostrados a seguir abrangeram diferentes sistemas de rotações, com ciclos de duração curtos e longos (períodos em que o trigo retornava à mesma área cultivada). Os trabalhos foram desenvolvidos pela Embrapa Trigo, desde a sua criação até a década de 1990, enfatizando as variáveis: rendimento de grãos, intensidade de doenças do sistema radicular, análise energética de sistemas de rotação ou de sistemas de produção de grãos, análise econômica e de risco de sistemas de rotação ou de sistemas de produção de grãos para a cultura de trigo.

### **Resultados em sistemas de rotação de ciclos curtos (até três anos) incluindo trigo**

Como sistemas de rotação de período curto para o trigo, com maior rendimento de grãos, menor intensidade de doenças do sistema radicular (Santos et al., 1996, 1998), melhor desempenho energético (Santos et al., 2000b, 2001b, 2005, 2010), econômico e de menor risco (Ambrosi et al., 2001; Fontaneli et al., 2000; Santos et al., 2000a, 2002, 2003, 2004), salientaram-se as seguintes sequências de culturas:

- 1) trigo/soja e ervilhaca/milho ou sorgo;
- 2) trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho;
- 3) trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho;
- 4) trigo/soja e aveia branca/soja;
- 5) trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; e



6) trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho ou sorgo.

Na maioria dos trabalhos desenvolvidos com estas sequências de culturas, os sistemas de rotações com um e dois invernos sem trigo mostraram maior rendimento de grãos e menor intensidade de doenças do sistema radicular, em comparação com a monocultura trigo/soja. Além disso, os sistemas trigo/soja e ervilhaca/milho ou sorgo e trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho ou sorgo foram mais eficientes no aproveitamento de energia e no retorno econômico e de menor risco para serem utilizados pelos agricultores.

### **Resultados em sistemas de rotação de ciclos longos (mais de três anos) incluindo trigo**

Como sistemas de rotação de período longo para o trigo, com maior rendimento de grãos, menor intensidade de doenças do sistema radicular (Santos et al., 1990, 1998), melhor desempenho energético (Santos et al., 1995a, 2001b), econômico (Santos et al., 1995b, 2001a), e de menor risco (Santos et al., 2002), destacaram-se as seguintes:

- 1) trigo/soja, colza/soja, cevada/soja e leguminosa/milho;
- 2) trigo/soja, colza/soja, linho/soja e leguminosa/milho;
- 3) trigo/soja, trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho ou sorgo;
- 4) trigo/soja, aveia branca/soja, linho/soja e ervilhaca/milho;
- 5) trigo/soja, trigo/soja, aveia branca/soja, linho/soja e ervilhaca/milho.

Para serem utilizados por longos períodos de rotação, destacaram-se opções de sistemas de produção com espécies de famílias diferentes das do trigo. Nos trabalhos desenvolvidos, alguns sistemas de rotação de ciclos longos mostraram maior rendimento de grãos e menor intensidade de doenças do sistema radicular do trigo. Além disso, todos os sistemas de

rotação de ciclo longo destacaram-se pela conversão de energia, economicidade e menor risco ao agricultor. Ainda, foi observado que o trigo podia ser semeado por dois invernos seguidos, deixando-se dois invernos de rotação (trigo/soja, trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho ou sorgo).

Quanto à fertilidade do solo, tanto nos sistemas de rotações com trigo, de ciclos curto ou de longo, houve concentração de matéria orgânica, de P e de K, na camada de 0-5 cm, cujos valores, porém, gradativamente declinaram com o aprofundamento da camada de solo sob sistema plantio direto.

## **Conclusões dos experimentos com rotação de culturas em ciclos curtos ou longos envolvendo a cultura de trigo**

Com base nos estudos apresentados, foram indicados os primeiros sistemas de rotação/sucessão de culturas utilizando espécies de famílias diferentes do trigo, com um, dois e três invernos sem este cereal, tais como: a) trigo após colza, linho e tremoço; b) trigo após leguminosa; e c) trigo após colza, cevada e tremoço e cultivando, no verão, soja, milho ou sorgo.

Do ponto de vista fitopatológico, tanto a aveia branca quanto a aveia preta são indicadas para cultivos em sistemas de rotação com a cultura do trigo, pois ambas apresentam resistência ao mal-do-pé e baixa infecção por podridão comum.

O trigo, dessa forma, pode ser semeado por dois invernos seguidos, deixando-se dois invernos sem o cultivo dessa gramínea (trigo/soja, trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho).

A rotação de culturas, além de ter reduzido os custos de produção das

lavouras pelo aumento do rendimento de grãos, promove a diversificação de culturas e, como consequência, diminui o risco de insucesso dos triticultores.

Diversos trabalhos fundamentaram as indicações de sistemas de produção com um inverno sem trigo (trigo/soja e ervilhaca/milho).

## Referências

AMBROSI, I.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; ZOLDAN, S. M. Lucratividade e risco de sistema de produção de grãos combinados com pastagens de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 10, p. 1213-1219, out. 2001.

DIEHL, J. A. Influência de sistemas de cultivo sobre podridões de raízes de trigo. **Summa Phytopathologica**, v. 5, n. 3/4, p. 134-139, 1979.

DIEHL, J. A.; CASTRO, C.; CAETANO, V. R. Teste com cultivares de trigo a problemas sanitários do sistema radicular, no sul do Brasil. **Fitopatologia**, v. 9, n. 1, p. 100-104, 1974.

DIEHL, J. A.; KOCHHANN, R. A.; TINLINE, R. D. Sistemas de cultivo sobre podridão comum de raízes e mal-do-pé do trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 18, n. 3, p. 235-241, 1983.

DIEHL, J. A.; TINLINE, R. D.; KOCHHANN, R. A.; SHIPTON, P. J.; ROVIRA, A. D. The effect of fallow periods on common root rot of wheat in Rio Grande do Sul, Brazil. **Phytopathology**, v. 72, n. 9, p. 1297-1301, 1982.

FONTANELI, R. S.; AMBROSI, I.; SANTOS, H. P. dos; IGNACZAK, J. C.; ZOLDAN, S. M. Análise econômica de sistemas de produção de grãos com pastagens de inverno, em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 11, p. 2129-2137, nov. 2000.

REIS, E. M.; BACALTCHUK, B. O mal-do-pé do trigo. **Trigo e Soja**, v. 45, n. 1, p. 3-15, 1979.

REUNIÃO DA COMISSÃO SUL BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 12., 1980, Porto Alegre. **Ata...** Porto Alegre: IPAGRO, 1980. não paginado.

REUNIÃO DA COMISSÃO SUL-BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 20., 1988, Porto Alegre. **Recomendações da Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo para a cultura do trigo em 1988**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT: Porto Alegre UFRGS-FA, 1988. 76 p.

REUNIÃO DA COMISSÃO SUL BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 21., 1989, Passo Fundo. **Recomendações da Comissão Sul Brasileira de Pesquisa de Trigo - 1989**. Cruz Alta: FUNDACEP: FECOTRIGO, 1989. 68 p.

REUNIÃO DA COMISSÃO SUL-BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 29., 1997, Porto Alegre. **Recomendações da Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo-1997**. Porto Alegre: Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo, 1997. 82 p.

ROSA, O. de S. **Controle integrado de doenças e de pragas do trigo no Rio Grande do Sul – desenvolvimento, resultados e perspectiva**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1988. 24 p. (Embrapa-CNPT. Documentos, 9).

SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; IGNACZAK, J. C.; LHAMBY, J. C. B.; SCHENEIDER, G. A. Análise econômica de sistemas de rotação de

culturas para a região do Planalto Médio do RS. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 7, n. 2, p. 175-182, 2001a.

SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; LHAMBY, J. C. B.; SCHNEIDER, G. A. Comparação econômica de sistemas de rotação de culturas para a região do Planalto Médio do RS. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 8, n. 1, p. 25-29, 2002.

SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; WOBETO, C. Risco de sistemas de rotação de culturas de inverno e verão, sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 30, n. 1, p. 37-42, 2000a.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S. ; AMBROSI, I. Análise de risco de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens anuais de inverno e de verão, sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 10, n. 1/2, p. 59-65, 2004.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; AMBROSI, I. Análise econômica de culturas de inverno e de verão em sistemas mistos, sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 9, n. 1/2, p. 121-128, 2003.

SANTOS, H. P dos; FONTANELI, R. S.; IGNACZAK, J. C.; ZOLDAN, S. M. Conversão e balanço energético de sistemas de produção de grãos com pastagens sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 4, p. 743-752, 2000b.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; MALDANER, G. L. Conversão e balanço energético de sistemas de produção com integração lavoura-pecuária (SPILP), sob plantio direto. In: PIRES, J. L. F.; PASINATO, A.; CAIERÃO, E.; TIBOLA, C. S. (Org.). **Trigo: resultados de pesquisa - safra 2009**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2010. p. 71-87. (Embrapa Trigo. Documentos, 96).

- SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O.; MANTO, L. Conversão e balanço energético de culturas de inverno e de verão em sistemas de produção mistos sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 11, n. 1/2, p. 39-46, 2005.
- SANTOS, H. P. dos; IGNACZAK, J. C.; LHAMBY, J. C. B. Produtividade cultural de sistemas de rotação de culturas para trigo, num período de dez anos, em Passo Fundo, RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 12, p. 1397-1402, dez. 1995a.
- SANTOS, H. P. dos; IGNACZAK, J. C.; LHAMBY, J. C. B.; AMBROSI, I. Análise econômica de quatro sistemas de rotação de culturas para trigo, num período de dez anos, em Passo Fundo, RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 9, p. 1167-1175, set. 1995b.
- SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B.; IGNACZAK, J. C.; SCHNEIDER, G. A. Conversão energética e balanço energético de sistemas de sucessão e de rotação de culturas. **Ciência Rural**, v. 1, n. 2, p. 191-198, 2001b.
- SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B.; PRESTES, A. M.; REIS, E. M. Características agrônômicas e controle de doenças radiculares de trigo, em rotação com outras culturas de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 3, p. 277-288, 1998.
- SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M.; LHAMBY, J. C. B.; WOBETO, C. Efeito da rotação de culturas sobre o trigo, em sistema plantio direto, em Guarapuava, PR. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n. 4, p. 259-267, abr. 1996.
- SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M.; PEREIRA, L. R. Rotação de culturas. XVII. Efeitos no rendimento de grãos e nas doenças do sistema radicular do trigo de 1980 a 1987. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, n. 11, p. 1627-1635, nov. 1990.

Capítulo

2

## **A importância da Rotação de Culturas para os Cereais de Inverno**

Henrique Pereira dos Santos, Renato Serena Fontaneli, Silvio Tulio Spera

### **Introdução**

Ao se cultivar cereais de inverno no Sul do Brasil, deve-se observar as indicações da pesquisa para cada espécie, principalmente das culturas produtoras de grãos, tais como trigo, cevada, aveia branca e triticale. Dentre as práticas que compõem estas indicações de cultivo, destaca-se a rotação de culturas envolvendo cereais de inverno e outras espécies, cujos resultados de pesquisa desenvolvida nas décadas de 1980 e 1990, na Embrapa Trigo, são apresentados neste capítulo. Também são abordados aspectos de fertilidade de solo, de balanço energético e de análise econômica e de risco de alguns sistemas de rotação de culturas com cereais de inverno.

### **Rotação de culturas e sistema plantio direto**

No sistema plantio direto, os resíduos culturais são deixados sobre o solo. O não revolvimento implica na decomposição lenta e, por consequência,

na criação de condições favoráveis à multiplicação de fitopatógenos necrotróficos. Estes apresentam uma fase saprofítica, onde encontram abrigo e nutrição na palhada. Os patógenos controláveis pela rotação de cultura são ditos patógenos sem habilidade de competição saprofítica, isto é, não trocam facilmente de substrato, têm uma restrita gama de hospedeiros (Reis; Casa, 2007).

De modo geral, para que as lavouras cultivadas com espécies de inverno visando à colheita de grãos sejam viáveis economicamente, se faz necessário a redução de perdas causadas por doenças, bem como a redução de custos com a aplicação de fungicidas. A rotação de culturas, juntamente com a resistência genética das cultivares e a sanidade de sementes, é a principal medida de controle que deve ser adotada, especialmente sob sistema de plantio direto.

## Principais doenças dos cereais de inverno

Dentre as principais doenças das culturas de inverno está o mal-do-pé do trigo (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*), que pode reduzir o rendimento do trigo em mais de 50% (Reis et al., 1983). A rotação de culturas constitui a única medida de controle para esta doença (Reis et al., 2001). Também são alvos de controle pela rotação, os fungos causadores de manchas foliares: *Septoria tritici*, *Septoria nodorum*, *Bipolaris sorokiniana*, *Drechslera tritici-repentis*, *Drechslera avenae* e *Drechslera teres*, com exceção de *B. sorokiniana*, que causa podridão comum das raízes.

Desta forma, a rotação de culturas, além dos demais benefícios como a melhoria na ciclagem de nutrientes, na estruturação física do solo e no controle de plantas daninhas, também viabiliza o manejo integrado das



doenças que acometem os cereais de inverno e sobrevivem nos resíduos culturais mantidos no plantio direto.

Desta maneira, a monocultura, como na cultura de trigo, pode afetar negativamente o rendimento de grãos e os componentes do rendimento. Pesquisas com trigo mostraram que, intercalando com aveia ou feijão, se produz mais do que a monocultura desse cereal (Slope; Etheridge, 1971). Selman (1975) também demonstrou que melhores rendimentos de grãos de trigo foram obtidos quando este foi substituído por outra cultura de inverno, por um ou dois anos, em relação ao cultivo sucessivo dessa gramínea.

## **Escolha das espécies para ser utilizadas em sistemas de rotação de culturas**

A escolha das culturas que poderão constituir um sistema de rotação depende de vários fatores, entre os quais destaca-se a habilidade para solucionar problemas específicos (por exemplo, controle de doenças radiculares), a finalidade de uso (para grãos, forragem ou cobertura de solo) e, principalmente, os aspectos econômicos para a região em cultivo (Loomis; Connor, 2002). Desde a antiguidade, as leguminosas têm sido utilizadas para diversas finalidades. Entre elas destaca-se: controlar doenças, plantas daninhas e insetos (Monegat, 1991); diminuir a erosão dos solos (Denardin et al., 2005); e fornecer nitrogênio às culturas em sucessão (Santos et al., 2001a). Algumas leguminosas têm grande importância econômica, como a soja (Figura 1), enquanto outras têm sido usadas, principalmente, para cobertura de solo e adubação verde, como o tremoço, a ervilhaca (Figura 2), a serradela entre outras (Santos; Reis, 2003). O valor das leguminosas como adubo verde, deve ser melhor avaliado quando se considera que a semeadura de algumas espécies, como ervilhacas e serradela, constituem

importantes fontes de nitrogênio. Nas comparações iniciais, realizadas na Embrapa Trigo, entre espécies de leguminosas de inverno, não foram observadas diferenças entre as médias de rendimento de grãos de milho, quando este foi antecedido por trevo vesiculoso ou tremoço branco (Santos et al., 1987a), por ervilhaca comum, serradela e tremoço branco (Muzilli, 1978). No Instituto de Pesquisa do Paraná, mesma tendência foi observada quando foi utilizada ervilhaca e serradela (Santos et al., 1987a) e ervilhaca comum e tremoço (Santos et al., 1987b). Em experimentos de campo, no Rio Grande do Sul, foi obtido, sem adubação nitrogenada de cobertura, rendimentos de grãos de milho entre 3,6 t/ha e 9,8 t/ha, com ervilhaca comum e serradela (Pöttker; Roman, 1994; Santos; Pöttker, 1990), e de 6,9 t/

Foto: Henrique Pereira dos Santos



**Figura 1.** Soja.

ha a 7,6 t/ha, com ervilhaca comum e tremoço, no Paraná (Santos; Pereira, 1994). Resultados da Embrapa Trigo e da Fundação Agrária de Pesquisa Agronômica (Fapa), de Guarapuava, PR, onde se comparou o rendimento de grãos de milho após ervilhaca comum ou após tremoço azul, por cinco anos, mostraram que o milho cultivado sobre resteva de ervilhaca comum, rendeu mais que o cultivado após tremoço (Santos; Pereira, 1994). Nesse período de estudo, o tremoço produziu menor quantidade de matéria seca do que nos períodos anteriores.



Foto: Henrique Pereira dos Santos

**Figura 2.** Ervilhaca.

## Efeito alelopáticos dos resíduos culturais

Os resíduos culturais que permanecem na superfície do solo de um cultivo para outro, desempenham papel importante no sistema plantio direto, pois controlam a erosão, conservam a fertilidade e a umidade do solo e, também, reduzem a incidência de plantas daninhas (Roman; Didonet, 1990). Além desses efeitos, os resíduos culturais podem proporcionar efeitos negativos sobre o crescimento de culturas, os quais estão relacionados aos efeitos alelopáticos sobre o desenvolvimento de plantas e de agentes fitopatogênicos que se multiplicam em tecidos mortos deixados na superfície do solo, causando diminuição do rendimento de grãos de culturas em sucessão (Almeida, 1988; Santos; Reis, 1991; Santos; Tonet, 1997). Esse efeito depende, por sua vez, do tipo, da distribuição e da quantidade de resíduo cultural.

As aveias (branca e preta) para cobertura de solo no inverno, geralmente produzem maior quantidade de massa seca, em relação a outras gramíneas, tais como cevada, trigo e triticale após a colheita dos grãos (Roman, 1990). A ervilhaca e a colza produzem quantidades intermediárias, e a cultura de linho gera menor produção de massa seca residual.

A taxa de decomposição de resíduos vegetais depende de vários fatores. De acordo com Kochhann e Selles (1991), quando resíduos culturais são incorporados ao solo, os materiais orgânicos aumentam a superfície de contato com as partículas de solo e são colonizados rapidamente pelos microrganismos, que usam os resíduos como substrato, decompondo-os. Se esses resíduos permanecem na superfície do solo, a taxa de decomposição será menor do que quando incorporados, pois os microrganismos decompositores terão acesso limitado ao substrato. Além disso, na superfície, os resíduos permanecem secos por períodos de tempo mais longos do que

quando incorporados, reduzindo a atividade microbiana e, consequentemente, reduzindo a taxa de decomposição.

A alelopatia entre plantas tem interesse agrônômico, especialmente no que diz respeito às técnicas de rotação ou sucessão de culturas sob plantio direto. Os trabalhos desenvolvidos na Embrapa Trigo têm demonstrado alguns efeitos entre culturas, que podem, pelo menos em parte, ser atribuídos a efeitos alelopáticos. O rendimento de grãos e a estatura das plantas de soja foram afetados pelos resíduos de aveia branca, de colza e de linho (Santos et al., 1989, 1998; Santos; Lhamby, 1996). Em trabalho realizado por Santos et al. (1989), a menor estatura de plantas ocorreu na soja cultivada após colza, em comparação à soja cultivada após trigo. A estatura da soja cultivada após aveia branca e após linho também mostrou algum efeito. Em outros trabalhos conduzidos por Santos e Lhamby (1996) e por Santos et al. (1998), o menor rendimento de grãos e a menor estatura de soja foram relacionados à inadequada cobertura de solo proporcionada pelo linho, em relação à aveia branca, à aveia preta, à cevada ou ao trigo.

Por outro lado, a ciclagem de nutrientes é muito importante nos sistemas agrícolas que mantêm resíduos vegetais na superfície do solo, especialmente nos climas tropicais e subtropicais, em que é intensa a lixiviação de cátions básicos (cálcio, magnésio e potássio).

## **Ciclagem de nutrientes em sistemas de rotação de culturas**

O efeito da ciclagem é mais importante com emprego de plantas leguminosas, como adubação verde, em sistemas de rotação de culturas (Monegat, 1991). Assim, leguminosas incorporam ao solo maior quantidade de nitro-



gênio do que as gramíneas. Desta maneira, a rotação de culturas melhora igualmente os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, promovendo melhores condições de desenvolvimento às culturas. Santos e Siqueira (1996), estudando sistemas de rotação de culturas com cevada, observaram menor teor de matéria orgânica na monocultura cevada/soja, em comparação aos demais sistemas de rotação de culturas, na camada de 0-5 cm. A diferença cumulativa no aporte de biomassa, na camada de 0-5 cm, de aveia branca e de ervilhaca, no inverno, e de milho, no verão, contribuiu para manter o teor de matéria orgânica mais elevado nos sistemas cevada/soja e ervilhaca/milho; cevada/soja, linho/soja e ervilhaca/milho; e cevada/soja, linho/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho do que na sucessão cevada/soja. Nas demais camadas de solo, não houve diferenças no teor de matéria orgânica entre sistemas.

A manutenção do teor de matéria orgânica no plantio direto, em valores mais elevados apenas na camada superficial do solo, decorre do acúmulo de resíduos vegetais sobre a superfície do mesmo em função da ausência de incorporação física destes pela aração e gradagem, o que diminui a taxa de mineralização.

Santos e Tomm (1996, 1998), estudando sistemas de rotação de culturas com cevada e com trigo, sob plantio direto, verificaram em alguns sistemas diferenças em pH, Al, Ca + Mg, matéria orgânica, P e K do solo. O efeito mais destacado observado por Santos e Tomm (1999), consistiu na monocultura trigo/soja que apresentou na camada de 0 a 5 cm, maior teor de P ( $12,0 \text{ mg/dm}^3$ ) do que os sistemas: trigo/soja e aveia branca/soja ( $6,4 \text{ mg/dm}^3$ ); trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja ( $7,0 \text{ mg/dm}^3$ ); e trigo/soja, ervilhaca/milho, cevada/soja e aveia branca/soja ( $7,1 \text{ mg/dm}^3$ ). Isso pode ser atribuído ao menor consumo e extração de P na monocultura do que nas rotações de culturas.

## Efeito de sistemas de rotação de culturas no dispêndio de energia

Do ponto de vista energético, assume importância crescente o conhecimento do desempenho dos sistemas de rotação de culturas. Tem sido observado que, toda vez que se acrescentam novos fatores para modernizar a agricultura, pode-se estar intensificando o uso de energia (De Mori, 1998). Se esse consumo de energia for eficientemente aproveitado em sistemas de rotação de culturas, pode-se, a médio e longo prazos, garantir a estabilidade e a elevação do rendimento de grãos das espécies cultivadas e da rentabilidade da propriedade rural.

No Brasil, também têm sido realizados estudos relacionados à conversão e ao balanço energético entre as espécies, isoladamente, ou as despesas de uma propriedade agrícola. Destes estudos, destacaram-se os de Quesada et al. (1987), Quesada e Costa Beber (1990) e Monegat (1998). No estudo de Quesada et al. (1987) foi avaliado o balanço energético das culturas de arroz (119.579 kcal/ha), cana de açúcar (40.188 kcal/ha), fumo (323 kcal/ha), mandioca (145.594 kcal/ha), milho (149.613 kcal/ha), soja (504.528 kcal/ha) e trigo (316.014 kcal/ha), nos municípios de Cachoeira do Sul e Agudo, no Rio Grande do Sul. Quesada e Costa Beber (1990) avaliaram no Município de Ibirubá, RS, o balanço energético do custo (41.600 kcal/ha) e do rendimento (101.400 kcal/ha) de uma propriedade rural. Existem, relativamente, poucos trabalhos sobre conversão e balanço energético em sistemas com rotação de culturas, entre os quais encontram-se os de Santos et al. (2000; 2001b). Santos et al. (2000) estudaram em Passo Fundo, RS, o balanço energético para sistemas de rotação de culturas para triticales: (triticales/soja: 18.643 Mcal/ha; triticales/soja e aveia branca/soja: 20.552 Mcal/ha; triticales/soja e ervilhaca/milho: 14.014 Mcal/ha; triticales/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja: 17.728 Mcal/ha; e triticales/soja,

triticale/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja: 17.806 Mcal/ha) e Santos et al. (2001b) estudaram sistemas de rotação de culturas para trigo: (trigo/soja: 15.998 Mcal/ha; trigo/soja, ervilhaca/milho: 19.239 Mcal/ha; trigo/soja, aveia branca/soja, linho/soja e ervilhaca/milho: 18.618 Mcal/ha; trigo/soja, trigo/soja, aveia preta/soja e ervilhaca/milho: 19.646 Mcal/ha; trigo/soja, trigo, aveia branca/soja, linho/soja e ervilhaca milho: 18.702 Mcal/ha; e pousio/soja: 10.279 Mcal/ha).

## **Efeito da rotação de culturas na diminuição dos riscos que afetam o rendimento de grãos dos cereais de inverno**

A atividade agrícola é afetada por grande número de riscos e incertezas, que afetam o desenvolvimento de culturas produtoras de grãos. Esses fatores que têm origem nas variações naturais incluem quantidade e distribuição das precipitações pluviais, temperatura do ar, incidência de pragas, doenças, plantas daninhas e outros fatores (Ambrosi; Zentner, 1991). Ao mesmo tempo, existe um risco econômico ou de mercado, derivado de mudanças no preço dos produtos ou dos insumos e nas oportunidades de mercado.

O nível de risco pode ser diminuído mediante a adoção de práticas agrícolas que levem à diversificação da produção. A rotação de culturas resulta em diversificação da produção e em diminuição de riscos (Silva; Dhein, 1994).

De acordo com Ambrosi e Zentner (1991), a adoção de sistemas de manejo conservacionistas (plantio direto), que visam manter ou aumentar as condições dos solos favoráveis à produção, podem reduzir os efeitos do risco de



ambiente, enquanto o uso de sistemas de rotação de culturas mais diversificados, pode diminuir o risco econômico. Além disso, torna-se necessário a incorporação da análise de risco à avaliação econômica nos estudos sobre rotação de culturas. Assim, além das informações sobre rentabilidade de determinada tecnologia, o agricultor poderia antecipar o risco que estaria sujeito quando da adoção de determinada tecnologia (Porto et al., 1982).

## Referências

ALMEIDA, F. A. **A alelopatia e as plantas**. Londrina: IAPAR, 1988. 60 p. (IAPAR. Circular, 53).

AMBROSI, I.; ZENTNER, R. P. Aspectos econômicos no sistema de manejo conservacionista. In: FERNANDES, J. M.; FERNANDEZ, M. R.; KOCHHANN, R. A.; SELLES, F.; ZENTNER, R. P. (Ed.). **Manual de manejo conservacionista do solo para os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT; Swift Current: CIDA, 1991. p. 63-69. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 1).

DE MORI, C. **Mensuração do desempenho produtivo de unidades de produção agrícola considerando aspectos agroeconômicos e agroenergéticos**. 1998. 65 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FLORES, C. A.; FERREIRA, T. N.; CASSOL, E. A.; MONDARDO, A.; SCHWARZ, R. A. **Manejo de enxurrada em sistema plantio direto**. Porto Alegre: Forum Estadual de Solo e Água, 2005. 88 p.

KOCHHANN, R. A.; SELLES, F. O solo no sistema de manejo conservacionista. In: FERNANDES, J. M.; FERNANDEZ, M. R.; KOCHHANN, R. A.; SELLES, F.; ZENTNER, R. P. (Ed.). **Manual de manejo conservacionista do solo para os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT; Swift Current: CIDA, 1991. p. 9-20. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 1).

LOOMIS, R. S.; CONNOR, D. J. **Ecologia de cultivos**: productividad y manejo en sistemas agrarios. Madri: Ediciones Mundi-Prensa, 2002. 591 p.

MONEGAT, C. **Avaliação multidimensional do desempenho do manejo do solo no sistema do pequeno agricultor**. 1998. 144 p. Dissertação (Mestrado em Agrossistemas) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

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

MUZILLI, O. Manejo da fertilidade do solo. In: MANUAL agropecuário para o Paraná. Londrina: IAPAR, 1978. v. 2, p. 45-61.

PORTO, V. H. da F.; CRUZ, E. R. da; INFELD, J. A. Metodologia para incorporação de risco em modelos de decisão usados na análise comparativa entre alternativas: o caso da cultura do arroz irrigado. **Revista de Economia Rural**, v. 20, n. 2, p. 93-211, abr./jun. 1982.

PÖTTKER, D.; ROMAN, E. S. Efeito de resíduos de culturas e do pousio de inverno sobre a resposta do milho a nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 5, p. 763-770, maio 1994.

QUESADA, G. M.; COSTA BEBER, J. A. C. Energia e mão-de-obra. **Ciência Hoje**, v. 11, n. 62, p. 21-26, 1990.

QUESADA, G. M.; COSTA BEBER, J. A. C.; SOUZA, S. P. de. Balanços energéticos agropecuários. Uma proposta metodológica para o Rio Grande do Sul. **Ciência e Cultura**, v. 39, n. 1, p. 20-28, 1987.

REIS, E. M.; CASA, R. T. **Doenças dos cereais de inverno**: diagnose, epidemiologia e controle. Lages: Graphel, 2007. 176 p.

REIS, E. M.; CASA, R. T.; MEDEIROS, C. A. **Diagnose, patometria e controle de doenças de cereais de inverno**. Passo Fundo: UPF, 2001. 94 p.

REIS, E. M.; SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B. Rotação de culturas. I. Efeito sobre doenças radiculares do trigo nos anos 1981 e 1982. **Fitopatologia Brasileira**, v. 8, n. 3, p. 431-437, 1983.

ROMAN, E. S. Effect of cover crops on the development of weeds. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS, 1990, Passo Fundo. **Conservation tillage for subtropical areas**. Passo Fundo: CIDA/EMBRAPA-CNPT, 1990. p. 258-262.

ROMAN, E. S.; DIDONET, A. D. **Controle de plantas daninhas no plantio direto de trigo e soja**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1990. 32 p. (EMBRAPA-CNPT. Circular técnica, 2).

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeito de sistemas de produção de grãos e de pastagens sob plantio direto sobre o nível de fertilidade do solo após cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 25, n. 3, p. 645-653, 2001a.

SANTOS, H. P. dos; IGNACZAK, J. C.; LHAMBY, J. C. B.; BAIER, A. C. Conversão energética e balanço energético de sistemas de rotação de culturas para triticale. **Ciência Rural**, v. 30, n. 1, p. 43-48, 2000.

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B. Efeito de culturas de inverno sobre a soja cultivada em sistemas de rotação de culturas para trigo. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. **Soja**: resultados de pesquisa do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, 1995/96. Passo Fundo, 1996. p. 153-165. (Embrapa-CNPT. Documentos, 28).

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B.; IGNACZAK, J. C.; SCHNEIDER, G. A. Conversão energética e balanço energético de sistemas de sucessão e de rotação de culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 2, p. 191-198, 2001b.

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B.; WOBETO, C. Efeito de culturas de inverno em plantio direto sobre a soja cultivada em rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 3, p. 289-295, mar. 1998.

SANTOS, H. P. dos; PEREIRA, L. R. Rotação de culturas em Guarapuava, XIV. Efeitos de sistemas de sucessão de culturas de inverno sobre algumas características agrônômicas de milho, em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 11, p. 1691-1699, nov. 1994.

SANTOS, H. P. dos; PEREIRA, L. R.; REIS, E. M. Rotação de culturas. XXIII. Efeitos das culturas de inverno sobre o rendimento de grãos e sobre algumas características agrônômicas de plantas de soja, num período de nove anos. In: SOJA: resultados de pesquisa 1988-1989. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1989. p. 88-89. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 4). Trabalho apresentado na XVII Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul, Porto Alegre, 1989.

SANTOS, H. P. dos; PÖTTKER, D. Rotação de culturas. XX. Efeito de leguminosas de inverno sobre o rendimento de grãos e sobre algumas características agrônômicas do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, n. 11, p. 1647-1654, nov. 1990.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. Efeitos de culturas de inverno sobre o rendimento de grãos e sobre a estatura de plantas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 5, p. 729-735, maio 1991.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. **Rotação de culturas em plantio direto**. 2. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003. 212 p.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M.; PEREIRA, L. R.; VIEIRA, S. A. Rotação de culturas. XIII. Efeito no rendimento de grãos e de doenças radiculares do trigo e de outras culturas de inverno e de verão de 1980 a 1986. In: SOJA: resultados de pesquisa 1986/1987. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1987a. p. 90-104.

SANTOS, H. P. dos; SIQUEIRA, O. J. W. Plantio direto e rotação de culturas para cevada: efeitos sobre a fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n. 2, p. 163-169, 1996.

SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O. Estudo da fertilidade do solo sob quatro sistemas de rotação de culturas envolvendo trigo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n. 3, p. 407-414, 1996.

SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O. Rotação de culturas para cevada, após dez anos: efeitos na fertilidade do solo. **Ciência Rural**, v. 28, n. 4, p. 573-580, 1998.

SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O. Rotação de culturas para trigo, após quatro anos: efeitos na fertilidade do solo em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 2, p. 259-265, 1999.

SANTOS, H. P. dos; TONET, G. E. L. Efeito de sistemas de produção incluindo culturas produtoras de grãos e pastagens anuais de inverno e de verão no rendimento de grãos e em outras características agrônômicas de soja, sob sistema plantio direto. In: SOJA: resultados de pesquisa do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, 1996/97. Passo Fundo:

EMBRAPA-CNPT, 1997. p. 88-93. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 35) Trabalhos apresentados na XXV Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul, Passo Fundo, 1997.

SANTOS, H. P. dos; WOBETO, C.; PEREIRA, L. R.; REIS, E. M. Rotação de culturas em Guarapuava. IV. Rendimento de grãos do trigo e de outras culturas de inverno e de verão, em semeadura direta de 1984 a 1986. In: REUNIÃO DE ROTAÇÃO DE CULTURAS, 1., 1987, Ponta Grossa. **Rotação de culturas:** resultados de pesquisa 1986. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1987b. p. 48-58.

SELMAN, M. Experiments in continuous wheat. Part I. The effect of break crops introduced into a run of continuous wheat (Sykes' Field). **Experimental Husbandry**, v. 29, n. 1, p. 1-7, 1975.

SILVA, R. I. da; DHEIN, R. A. Viabilização sócio-econômica da rotação de culturas e da adubação verde na CONTRIJUI. In: REUNIÃO CENTRO-SUL DE ADUBAÇÃO VERDE E ROTAÇÃO DE CULTURAS, 4. 1993, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1994. p. 15-27. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 14).

SLOPE, D. B.; ETHERIDGE, J. Grain yield and incidence of Take-all (*Ophiobolus graminis* Sacc.) in wheat grown in different crop sequences. **Annals of Applied Biology**, v. 67, n. 1, p. 13-22, 1971.

Capítulo

3

## **Avaliação de Sistemas de Rotação de Culturas na Severidade de Doenças do Sistema Radicular e no Rendimento de Grãos de Cereais de Inverno, nas Décadas de 1980 a 2010**

Henrique Pereira dos Santos, Renato Serena Fontaneli, João Leonardo Fernandes Pires, Alfredo do Nascimento Junior, Genei Antonio Dalmago

### **Introdução**

As condições meteorológicas favoráveis às doenças de trigo, na maioria das vezes, são responsáveis pelo baixo rendimento e pela instabilidade do rendimento de grãos desta cultura (Reis et al., 1983; 1985; Santos, 2000; Santos; Reis, 2003). Esse fato é aplicável, também, às demais espécies de cereais cultivadas no inverno, tais como cevada, aveia branca e triticale. Uma das práticas agrícolas mais eficientes no controle de doenças tem sido a rotação de culturas. O histórico do desenvolvimento desta tecnologia no Brasil foi, detalhadamente, relatado por Rosa (1988).

Os sistemas de produção de grãos que incluem trigo, na região Sul do Brasil, são variados devido à gama de condições ecológicas (clima, solo e topografia) que influem na flora de plantas daninhas, nas doenças, nas pragas, na mecanização, etc (Santos et al., 1990b; Reis; Santos, 1993a; Reis et al., 1997; Santos; Reis, 2003). Outrossim, as condições socioeconômicas contrastantes, tais como diferentes tamanhos de propriedades,

custo de produção, mercado etc., contribuem para a diversidade desses sistemas.

Alguns dos sistemas de rotação/sucessão mais usados, até o início da década de 1970, foram: soja/trigo; arroz/trigo; milho/trigo; algodão/trigo e batata/trigo. Devido ao desenvolvimento de um novo sistema agrícola e à combinação ideal de leguminosa com uma gramínea, a sequência trigo-soja, nas décadas de 1970 e 1980, difundiu-se no Brasil, na Argentina e no Paraguai.

Acredita-se que, com a experiência adquirida no Brasil, será possível responder à seguinte pergunta: a rotação de culturas e a adubação verde contribuem para atingir uma agricultura sustentável nos sistemas trigo/soja, nas regiões de clima tropical? Também acredita-se que a experiência brasileira deu elementos úteis para pesquisa e para o desenvolvimento de rotações de culturas em outras regiões e em outros países. Para um melhor entendimento da sequência trigo/soja no Sul do Brasil, é necessário ressaltar que a cultura de soja é semeada, na estação quente (outubro a dezembro) e a de trigo é semeado na estação fria (abril a julho).

A monocultura, praticada de forma generalizada no Brasil, vinha apresentando problemas alarmantes, tanto no que diz respeito ao custo de produção, como nos baixos índices de produtividade das culturas (Reis; Santos, 1985, 1987, 1993b). A degradação química dos solos, a erosão, o aumento de doenças, de pragas e de plantas daninhas, os problemas físicos e biológicos de solos, entre outros, foram alguns dos fatores que levaram a decadência da prática de monocultura. Os esforços técnicos e econômicos para remediar esses fatores, utilizando-se principalmente, de insumos modernos, chegaram ao limite da viabilidade econômica.

Por outro lado, as doenças do sistema radicular do trigo, conhecidas como mal-do-pé (agente *Gaeumannomyces graminis*) e podridão comum (agente *Bipolaris sorokiniana* e *Fusarium graminearum*), eram amplamente distribuídas no Brasil, sendo que os danos econômicos são mais associados às regiões frias e de elevada precipitação pluvial, como as dos estados



do Rio Grande do Sul e Santa Catarina e pelo sul do Paraná (Reis et al., 1988).

A maneira viável de reduzir a ocorrência de doenças do sistema radicular dos cereais de inverno (mal-do-pé e podridão comum) é por meio do pouso de inverno ou da rotação de culturas não suscetíveis (Santos; Reis, 2003). Além disso, a rotação de culturas reduz também a população de outros fungos que atacam os órgãos aéreos do trigo (Reis et al., 1988).

Na década de 1980, a maior dificuldade enfrentada pelos agricultores na implantação de sistemas de cultivos de inverno era a falta de espécies alternativas, com características desejáveis para realizar rotação de culturas com trigo, cevada e triticale. Além disso, o agricultor tinha que optar por espécie alternativa para adubação verde, cobertura do solo ou produção de forragem. Esta falta de disponibilidade de culturas de inverno estava relacionada, diretamente, a fatores técnicos e econômicos (Santos; Reis, 2003). Dentre os fatores técnicos podem ser citados: a adaptação da cultura à região, influenciando no nível de risco do investimento; aspectos fitossanitários, relativos ao controle de doenças e de pragas; e a possibilidade da cultura tornar-se planta daninha nos cultivos subsequentes. Entre os fatores econômicos estão os relativos ao custo de produção, à segurança de mercado, à disponibilidade de crédito para exploração, entre outros.

Na Embrapa Trigo, desde 1979 são realizados com culturas alternativas de inverno. A aveia branca, a colza, o linho, a ervilhaca e a serradela têm sido observadas em sistemas de cultivos com trigo, considerando o desempenho técnico (Santos et al., 1987). Além disso, desde de 1989, tem sido estudadas plantas forrageiras (aveia preta, azevém, ervilhaca e milheto), em sistemas de produção de grãos, visando à integração lavoura-pecuária nas zonas produtoras de trigo, no Planalto do Rio Grande do Sul.

Em trabalhos desenvolvidos nos EUA, as aveias foram praticamente imunes ao mal-do-pé (Turner, 1960; Slope; Etheridge, 1971), porém apresentaram graus de resistência à podridão comum (Reis; Baier, 1983; Fernandez; Santos, 1990). Entre a aveia branca e aveia preta, a preta foi a mais

resistente à podridão comum. Como mal-do-pé foi um dos principais agentes causadores de perdas de rendimento de grãos de trigo cultivado em monocultura, nas lavouras do Sul do Brasil, as aveias, de maneira geral, e especialmente a aveia preta, se constituiu em uma opção para os agricultores que não poderiam semear cultura alternativa. Lavouras com problemas de mal-do-pé, não podiam ser repetidas por mais de um ano nas sequências de rotação.

De acordo com Derpsch e Calegari (1992), no Estado do Paraná, o trigo foi menos afetado por doenças do sistema radicular quando cultivado em rotação com aveia preta.

Neste capítulo, relata-se o rendimento de grãos dos cereais de inverno, com foco em trigo, cevada e triticales, abrangendo o final da década de 1970 até início da década de 2010. Desta maneira, são relatados vários trabalhos de pesquisa demonstrando os efeitos positivos da rotação de culturas para o trigo, com algumas espécies cultivadas no sul do Brasil.

## **Rendimentos de grãos, severidade das doenças do sistema radicular e características agronômicas dos cereais de inverno**

### **Rendimento de grãos e severidade das doenças do sistema radicular de trigo**

Uns dos primeiros trabalhos desenvolvidos na Embrapa Trigo, em Passo Fundo, RS, período de 1980 a 1989 (Santos et al., 1990b), com sistemas de rotação de culturas, envolvendo cereais de inverno foram os seguintes:

Sistema I – trigo/soja;

Sistema II – trigo/soja, colza/soja, cevada/soja e leguminosa/milho;

Sistema III – trigo/soja, aveia branca/soja e leguminosa/milho; e

Sistema IV – trigo/soja, colza/soja, linho/soja e leguminosa/milho.

Os sistemas II (2.403 kg/ha), III (2.430 kg/ha) e IV (2.563 kg/ha) mostraram rendimentos de grãos de trigo mais elevados, em comparação ao sistema I (monocultura de trigo: 1.993 kg/ha). Resultados similares foram obtidos por Selman (1975) e por Slope e Etheridge (1971), na Inglaterra, intercalando um ou dois anos de rotação de cultura com aveia ou feijão, em relação à monocultura de trigo. Porém, o sistema I (monocultura de trigo) mostrou maior severidade (57%) de doenças do sistema radicular: podridão comum (*Bipolaris sorokiniana*) e mal-do-pé (*Gaeumannomyces graminis*), do que os sistemas II (34%), III (28%) e IV (28%). Isso vem comprovar os dados obtidos, anteriormente, por Diehl et al. (1983), em lavouras do Rio Grande do Sul.

Assim, o rendimento de grãos de trigo aumentou à medida que houve acréscimo na massa de mil grãos. Isto explica as diferenças entre a monocultura e os sistemas de rotação que foram avaliados. Isto ocorreu, provavelmente, pelo efeito das doenças sobre a massa e a qualidade dos grãos, o que explicaria as diferenças entre a monocultura e os sistemas de rotação que foram avaliados.

Da mesma forma, o rendimento de grãos de trigo diminuiu linearmente com o aumento da severidade de doenças do sistema radicular, fator que tem sido responsável por 78% da variação na produção observada durante o período de 1984 a 1987. Isto confirma os dados obtidos por Slope e Etheridge (1971) para o mal-do-pé.

Os dados dos anos de 1981 a 1984, obtidos nesse experimento, revelaram que os rendimentos de grãos de trigo, após alguns anos de monocultura,

tornaram-se praticamente nulos, porém melhoraram, consideravelmente, nos anos de 1986 a 1987, pelo preparo do solo com arado de aivecas, associado às condições meteorológicas adequadas (Santos et al., 1987). Notou-se também que as doenças do sistema radicular se manifestaram em menor intensidade (de 1985 a 1987) e, principalmente, nas fases menos críticas da cultura. Isto porque, a decomposição da palhada foi mais rápida em relação aos anos anteriores, reduzindo, com isso, o substrato que nutre os patógenos, resultando em redução da fonte de inóculo.

Deve ser destacado que o efeito das condições meteorológicas é fundamental para afetar a intensidade de doenças do sistema radicular e da parte aérea do trigo, quando cultivado em monocultura. Como nesses anos de estudo choveu adequadamente e a temperatura não foi ideal para o desenvolvimento das principais doenças do trigo, esta cultura apresentou rendimentos relativamente elevados, principalmente em monocultura. Neste caso, o efeito da rotação não foi marcante, o que muitas vezes, confunde o agricultor, tornando difícil a adoção desta tecnologia. Além disso, o tamanho da propriedade rural, ou seja, pouca área para ser cultivada em sistemas de rotação de culturas, deve ser levado em consideração, pois este fator é de importância fundamental na aceitação, ou não, da rotação de culturas.

No período de 1985 a 1988, na Embrapa Trigo, em Passo Fundo, RS, foram desenvolvidos estudos para esclarecer a interferência da aveia branca ou aveia preta, em relação à cultura de trigo, em sistemas de rotação de culturas. Intercalando trigo com aveia branca e preta visando o rendimento de grãos de trigo, foram avaliados um total de oito sistemas (Santos; Reis, 1995):

Sistema I: monocultura de trigo;

Sistema II: rotação de um inverno com trigo e um com aveia preta;

Sistema III: rotação de um inverno com trigo e dois com aveia preta;

Sistema IV: rotação de um inverno com trigo e três com aveia preta;

Sistema V: rotação de um inverno com trigo e dois com aveia branca;

Sistema VI: rotação de um inverno com trigo e três com aveia branca;

Sistema VII: monocultura de aveia branca; e

Sistema VIII: monocultura de azevém.

Para sistemas de rotação de culturas, intercalando trigo com aveia preta e azevém visando rendimento de matéria seca, foram avaliados um total de quatro sistemas (Santos; Reis, 1994), mais um sistema adicional com monocultura de aveia preta:

Sistema I: monocultura de trigo;

Sistema II: rotação de um inverno com trigo e dois com azevém;

Sistema III: rotação de um inverno com trigo e dois com aveia preta;

Sistema IV: rotação de um inverno com trigo e três com aveia preta;

Sistema V: monocultura de aveia preta (Santos; Reis, 1994).

Nos sistemas de rotação de culturas intercalando trigo com aveia branca ou preta para rendimento de grãos de trigo, houve diferenças entre os tratamentos apenas em 1988, quando as rotações com aveia branca foram superiores aos demais tratamentos, com exceção do tratamento em que o trigo foi intercalado por dois invernos consecutivos com aveia preta, ou seja, o trigo intercalado por dois (2.800 kg/ha) ou três invernos com aveia branca (2.808 kg/ha) foi superior ao trigo cultivado em monocultura (2.387 kg/ha) ou ao intercalado por dois anos com aveia preta (2.459 kg/ha).

A severidade das doenças do sistema radicular do trigo mostrou diferenças entre as médias dos sistemas de cultivo nos anos estudados (1988 e 1989)

e na média geral. Os valores mais elevados ocorreram na monocultura do trigo (58%), em comparação com trigo intercalado por um inverno com aveia preta (45%), trigo intercalado por dois invernos com aveia preta (41%), trigo intercalado por três invernos com aveia preta (46%), trigo intercalado por dois invernos com aveia branca (48%) e trigo intercalado por três anos com aveia branca (37%). O menor percentual de severidade das doenças do sistema radicular, em valor, ocorreu em 1988, mas na média dos anos manifestou-se no trigo após três invernos consecutivos com aveia branca e alcançou 37%. Provavelmente, neste período, a aveia branca foi a cultura que menos perpetuou as doenças do sistema radicular para o trigo.

Neste caso, as doenças do sistema radicular do trigo em monocultura se manifestaram num limiar relativamente baixo e nas fases menos críticas da cultura. Desta maneira, a rotação de culturas mantém a estabilidade e o aumento do rendimento de grãos relativo à cultura do trigo, mesmo nas condições meteorológicas adversas (Tabela 1).

Desta maneira, do ponto de vista fitopatológico, tanto a aveia branca, quanto a aveia preta, podem ser cultivadas em diferentes sistemas com a cultura do trigo. Além de serem imunes ao mal-do-pé, apresentaram baixa infecção por podridão comum, confirmando dados reportados por Turner (1960), Slope e Etheridge (1971) e Fernandez e Santos (1990).

Nos sistemas de rotação de culturas, intercalando trigo com aveia preta e azevém, houve diferença no rendimento de grãos do trigo somente no ano de 1989. Os tratamentos de trigo em rotação com dois (3.835 kg/ha) e três (3.762 kg/ha) invernos consecutivos com aveia preta foram superiores em rendimento de grãos, em relação à monocultura (3.526 kg/ha), sendo, no entanto, este último, semelhante ao trigo em rotação com dois invernos consecutivos com azevém (3.640 kg/ha).

No caso deste estudo, tanto o azevém como a aveia preta, durante o ciclo, foram cortadas por três vezes e retiradas das parcelas, simulando efeito

de pastejo. Isto praticamente eliminou a incidência das doenças da parte aérea dessas gramíneas, bem como a possível transmissão de moléstias comuns para o trigo.

**Tabela 1.** Precipitação pluvial, temperaturas mínima (mín), média (méd) e máxima (máx) e umidade relativa, da normal (1961 a 1990) e dos anos de 1988 e 1989, em Passo Fundo, RS.

Ano	Mês					Total
	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	
<b>Precipitação pluvial (mm)</b>						<b>Total</b>
1991 a 1990	129	153	166	207	167	822
1988	153	21	28	417	144	763
1989	74	210	174	452	153	1.063
<b>Temperatura (°C)</b>						<b>Média</b>
1961 a 1990 mín	8,9	8,9	9,9	11,0	12,9	10,3
méd	12,7	12,8	14,0	14,8	17,7	14,4
máx	18,4	18,5	19,9	21,2	23,8	20,4
1988 mín	8,5	10,5	11,2	10,7	13,8	10,9
méd	10,9	10,6	15,2	15,3	17,4	13,9
máx	16,4	16,7	22,0	21,0	24,2	20,1
1989 mín	8,6	8,2	8,8	11,5	12,2	9,9
méd	12,6	10,7	13,8	13,3	16,5	13,4
máx	18,1	16,6	19,8	18,7	22,9	19,2
<b>Umidade relativa (%)</b>						
1961 a 1990	82	81	79	78	74	79
1988	82	71	70	76	67	73
1989	79	78	65	76	74	74

Houve diferença entre os tratamentos, em relação à severidade das doenças do sistema radicular nos anos 1988 e 1989. No ano de 1988, o trigo

em rotação com dois invernos consecutivos com azevém mostrou maiores valores de severidade das doenças do sistema radicular (70%) em comparação aos demais tratamentos, inclusive ao da monocultura do trigo (51%). No ano de 1989, o trigo em rotação com dois invernos consecutivos com aveia preta mostrou severidade de doenças do sistema radicular menor (40%), em relação ao trigo em monocultura (58%), trigo intercalado por dois invernos com azevém (48%) e trigo intercalado por três invernos com aveia preta (52%). Considerando os dois invernos, em valores absolutos, o trigo em rotação com dois invernos consecutivos com azevém, apresentou maior percentual de severidade das doenças do sistema radicular (64%).

Deve-se considerar que a aveia preta é resistente ao mal-do-pé e mostra baixa infecção à podridão comum, o que permite seu uso sem restrição em rotação com trigo.

No período de 1987 a 1991, em Passo Fundo, RS, foram desenvolvidos sistemas de rotação de culturas para triticales com espécies de diferentes famílias, com um ou dois invernos sem triticales, ou ainda, com dois anos com triticales, seguidos de dois anos sem triticales. Esse sistema, na época, foi sugerido para a cultura de trigo, pelo Serviço de Extensão Rural, do Estado do Rio Grande do Sul. Se houve produção satisfatória de trigo ao nível de lavoura, no ano anterior, seria viável repetir esta cultura no inverno seguinte? E, essa afirmação também vale para a cultura de triticales?

Para responder a estes questionamentos foram desenvolvidos cinco sistemas de rotação de culturas: Sistema I: triticales/soja; Sistema II: triticales/soja e aveia preta rolada com rolo-facas/soja; Sistema III: triticales/soja e ervilhaca/milho; Sistema IV: triticales/soja, aveia preta rolada com rolo-facas/soja e ervilhaca/milho; e Sistema V: triticales/soja, triticales/soja, aveia preta rolada com rolo-facas/soja e ervilhaca/milho.

No período de 1986 a 1988, não houve diferença entre as médias para rendimento de grãos de triticales (Santos et al., 1990a). Contudo, no ano de 1988, os dois tratamentos precedidos por triticales no inverno anterior (sis-



tema I: 2.013 kg/ha e sistema V: 2.036 kg/ha) tenderam a produzir menos do que os demais, os quais foram cultivados com ervilhaca ou aveia preta rolada com rolo-facas (sistema II: 2.415 kg/ha, sistema III: 2.449 kg/ha, sistema IV: 2.561 kg/ha e sistema V: 2.711 kg/ha).

Nos anos de 1987 e 1988, e na média dos anos, não houve diferença para severidade das doenças do sistema radicular do triticales. No ano de 1988, observou-se redução na severidade das doenças do sistema radicular, no triticales precedido pela ervilhaca e o milho (sistemas III: 9% e IV: 9%) e elevação, quanto precedido por triticales ou aveia preta rolada com rolo-facas (Sistemas I: 21% e II: 23%). Os valores mais elevados de severidade de doenças do sistema radicular do triticales foram verificados na monocultura triticales/soja (sistema I) e na rotação de triticales intercalado com um inverno com aveia preta rolada com rolo-facas (sistema II), em comparação ao triticales intercalado com um inverno com ervilhaca (sistemas III e V: 10%).

Não foi encontrada diferença entre as médias para rendimento de grãos e severidade de doenças do sistema radicular de triticales, provavelmente em função das condições meteorológicas que apresentaram precipitação dentro da média no período de estudo. Isto, também, foi constatado anteriormente por Santos et al. (1990b).

No período de 1987 a 1995, em Passo Fundo, RS, foram desenvolvidos, também, sistemas de rotação de culturas para trigo, com um ou dois invernos sem trigo, ou ainda, com dois anos com trigo, seguidos de dois anos sem trigo. Os tratamentos consistiram de seis sistemas de rotação de culturas com trigo (Santos et al., 1998):

Sistema I: monocultura de trigo;

Sistema II: monocultura de trigo, de 1987 a 1989, seguidos de um inverno sem trigo, de 1990 a 1995;

Sistema III: rotação de um inverno, com dois invernos sem trigo;

Sistema IV: rotação de um inverno, com três invernos sem trigo;

Sistema V: rotação de um inverno, com dois invernos sem e dois com trigo;  
e

Sistema VI: rotação de um inverno, com três invernos sem e dois com trigo.

As culturas de inverno foram manejadas com preparo convencional de solo (arado e grade de discos) e as de verão, com semeadura direta.

Em todos os anos avaliados (1991, 1992, 1993, 1994 e 1995) e na média dos anos, o rendimento de grãos de trigo diferiu entre os sistemas de rotação. Em todos os anos, exceto em 1991, a monocultura rendeu menos. Um inverno sem trigo incrementou o rendimento de trigo em até 50% (2.338 kg/ha para 3.502 kg/ha). A rotação de culturas, além de aumentar o retorno econômico da produção das lavouras, pelo aumento do rendimento de grãos, promove a diversificação de culturas e, em consequência, diminui o risco da dependência de apenas uma cultura de inverno.

Reis et al. (1983), observaram que o rendimento obtido na monocultura de trigo foi o mais baixo (377 kg/ha), em relação a um inverno (1.045 kg/ha) e a dois invernos (2.044 kg/ha) sem esse cereal. Na sequência desse trabalho, Reis e Kohli (1994) verificaram menores rendimentos de grãos na monocultura de trigo (1.790 kg/ha), quando comparado com dois invernos (2.528 kg/ha) ou com três invernos (média de tratamentos: 2.619 kg/ha) sem essa gramínea.

No trabalho conduzido por Slope et al. (1973), na Inglaterra, observou-se que o rendimento de grãos, na monocultura de trigo (4.530 kg/ha) foi menor que o de dois invernos (5.460 kg/ha) sem trigo. Em trabalho realizado no Canadá, Sturz e Bernier (1989) também observaram que a monocultura de trigo (3.179 kg/ha) mostrou menor rendimento de grãos do que um inverno sem essa gramínea, alternando com colza (4.203 kg/ha) ou com linho (4.076 kg/ha).

A severidade das doenças do sistema radicular de trigo (mal-do-pé e podridão comum), de 1993 a 1995 e na média dos anos, diferiu entre os sistemas de rotação e a monocultura. Os valores mais elevados para severidade das doenças do sistema radicular ocorreram na monocultura (50%), em comparação aos sistemas de rotação sem trigo (13% a 19%). Isso demonstra que um ano de rotação de culturas, com espécies não suscetíveis, já elimina os inconvenientes da monocultura.

Trabalhos conduzidos por Reis et al. (1983), no Rio Grande do Sul, com o mesmo tipo de preparo de solo, mostra a monocultura de trigo (92%) com valores mais elevados de severidade das doenças do sistema radicular, em relação a um inverno (67%) e dois invernos (12%) de rotação sem essa gramínea. Na continuidade desse estudo, Reis e Kohli (1994) obtiveram resultados similares de severidade do mal-do-pé e podridão comum, na monocultura de trigo (71%), em comparação a dois invernos (29%) e a três invernos (média dos tratamentos: 32%) sem trigo.

Ledinghan (1961), em trabalho realizado no Canadá, relata os seguintes percentuais de severidade da podridão comum: monocultura de trigo (68%), um inverno (64%), dois invernos (37%), três invernos (34%) e cinco invernos (14%) sem esse cereal. Slope et al. (1973), na Inglaterra, verificaram diferentes valores de severidade do mal-do-pé entre a monocultura de trigo (35%) e dois invernos com rotação de culturas não-suscetíveis (3%).

Além disso, nesse período 1991 a 1995 de avaliação, somente na média dos anos houve diferenças entre as médias da população inicial de plantas/m<sup>2</sup>, das espigas/m<sup>2</sup> e do número de grãos por planta de trigo (Santos et al. 1998). A menor população inicial (266 plantas/m<sup>2</sup>) ocorreu na monocultura de trigo. Contudo, diferiu apenas dos sistemas de rotações com três invernos sem trigo (286 plantas/m<sup>2</sup>) e dois invernos sem e dois com trigo (298 plantas/m<sup>2</sup>).

A menor densidade de espigas/m<sup>2</sup> ocorreu na monocultura de trigo (341). Todavia, esse sistema não diferiu do de dois invernos sem trigo (363). Re-

sultados semelhantes foram obtidos por Sturz e Bernier (1989). A monocultura de trigo apresentou menor número de grãos por planta (32,51). Entretanto, esse sistema não diferiu do de três invernos sem trigo (33,70) e a dois invernos sem e dois com trigo (segundo trigo: 34,26).

A massa de mil grãos de trigo diferiu, em todos os anos estudados e na média dos anos dos sistemas estudados. A massa hectolétrica de trigo mostrou diferenças em 1992, em 1993 e na média dos anos. Na estatura de plantas de trigo, houve diferenças em 1991, 1992 e na média do período. Os menores valores de massa de mil grãos, massa hectolétrica e estatura de plantas ocorreu na monocultura de trigo, na média dos anos. Resultados das estaturas de plantas estão de acordo com os obtidos por Sturz e Bernier (1989).

O rendimento de grãos de trigo correlacionou-se positivamente com o número de grãos por planta ( $r = 0,86$ ), com o peso de grãos por planta ( $r = 0,75$ ) e com a estatura de plantas ( $r = 0,76$ ), todos ao nível de significância de 1% de probabilidade de erro.

Na comparação entre os sistemas de rotação ao longo dos anos, ficou demonstrada a eficiência da rotação de culturas (trigo/soja e ervilhaca/milho; trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; trigo/soja, girassol ou aveia preta/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; trigo/soja, trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; e trigo/soja, trigo/soja, girassol ou aveia preta/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho) no controle das doenças do sistema radicular de trigo, na região de Passo Fundo, RS.

O sistema de rotação com um inverno sem trigo também pode ser indicado em sistema de produção. Zentner et al. (1990), avaliando economicamente quatro sistemas, de 1984 a 1989, concluíram que o sistema com um inverno de rotação de culturas para trigo foi o que propiciou o melhor retorno econômico.

Além disso, o trigo pode ser semeado por dois invernos seguidos, desde que se observe pelo menos dois invernos sem trigo, como nos sistemas de

rotação estudados (trigo/soja, trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; e trigo/soja, trigo/soja, aveia branca/soja linho/soja e ervilhaca/milho). Na indicação da Reunião da Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo (Reunião..., 1988) já constava essa sugestão desde a década de 1980, todavia, ainda sem uma completa avaliação da pesquisa. Na época, a recomendação de trigo baseou-se nas informações dos técnicos que atuavam diretamente nas lavouras, desde que os agricultores, no ano anterior, tivessem atingindo um patamar de rendimento de grãos acima de 1.800 kg/ha.

No período de 1984 a 1993, a Embrapa Trigo, juntamente com a Cooperativa Agrária Mista Entre Rios Ltda., Guarapuava, PR, desenvolveu estudos para averiguar, sob sistema plantio direto, qual seria o intervalo de rotação de culturas com trigo, naquelas condições. **Os tratamentos consistiram em quatro sistemas de rotação de culturas com trigo:** Sistema I: trigo/soja; Sistema II: trigo/soja e ervilhaca/milho; Sistema III: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja; e Sistema IV: trigo/soja, ervilhaca/milho, cevada/soja e aveia branca/soja (Santos et al., 1996).

O rendimento de grãos de trigo, em 1990, em 1992 e em 1993 e na média conjunta dos anos diferiu entre os sistemas de rotação. O menor rendimento de grãos ocorreu na monocultura de trigo (3.014 kg/ha), em relação a um inverno (3.355 kg/ha), a dois invernos (3.494 kg/ha) e a três invernos (3.362 kg/ha) sem trigo. A rotação de culturas, além de ter reduzido os custos de produção das lavouras, pelo aumento de rendimento de grãos, promoveu a diversificação de culturas e, como consequência, diminuiu o risco de prejuízos ao produtor.

Nos anos de 1987, 1989, 1990, 1991 e 1993 e na média conjunta dos anos, a severidade das doenças do sistema radicular do trigo mostrou diferentes graus de intensidade entre os sistemas de rotação. Os valores mais elevados da intensidade do mal-do-pé e da podridão comum manifestaram-se na monocultura de trigo (39%), em relação àqueles obtidos com rotação de um inverno (12%), de dois invernos (9%) e de três invernos (11%) sem o trigo. Isso demonstra que a rotação de culturas com espécies não-susce-

tíveis elimina os inconvenientes do sistema plantio direto, em comparação ao aumento de doenças, por possibilitar a decomposição biológica dos resíduos vegetais.

No ano de 1993 e na média conjunta dos anos, houve diferenças na massa hectolétrica entre os sistemas de rotação. A maior massa hectolétrica foi observada com dois invernos sem trigo.

A estatura da planta de trigo diferiu entre os sistemas de rotação somente na média dos anos e uma diferença foi observada entre a monocultura e o sistema com dois invernos sem trigo.

O rendimento de grãos de trigo diminuiu linearmente com o aumento do grau de intensidade das doenças do sistema radicular ( $r^2 0,92$ ), sendo elas responsáveis por 92% da variação na produção, durante o período de 1987 a 1993.

Nesse período de estudo (1987 a 1993) foi demonstrado que os efeitos benéficos da rotação foram mais evidentes em invernos com excesso de precipitação pluvial e, portanto, mais favoráveis ao desenvolvimento das doenças.

Nos anos 1987 e 1991 a precipitação pluvial (568 mm e 590 mm, respectivamente) foi acima da média ideal para o trigo, aproximadamente 400 mm, em Ponta Grossa, PR, que para o cultivo com semeadura no mês de junho é de 269 a 311 mm (Oliveira, 1990). Nesse caso, não houve diferenças entre as médias da severidade das doenças do sistema radicular e do rendimento de grãos do trigo nos sistemas de rotação estudados. Contudo, nos anos 1990 (995 mm), 1992 (863 mm), e 1993 (1.026 mm), nos quais a precipitação pluvial foi acima da normal (849 mm), houve diferenças entre as médias do rendimento de grãos dos sistemas de rotação. O trigo produziu menos em monocultura do que com um, dois e três invernos excluindo este cereal.

Na comparação entre os sistemas estudados ao longo dos anos, ficou demonstrada a eficiência da rotação de culturas (trigo/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja; trigo/soja, linho/soja e ervilhaca/milho; trigo/soja, aveia branca/soja, cevada/soja e tremoço/milho) no controle das doenças do sistema radicular de trigo, na região de Guarapuava, PR, mesmo em clima adverso e em sistema plantio direto. Ficou evidenciado também que a rotação com apenas um inverno sem trigo pode ser indicada em sistema plantio direto nessa região.

Paralelamente, no mesmo período dos estudos de trigo (1984 a 1993) foram desenvolvidos trabalhos coordenados pela Embrapa Trigo, junto à Cooperativa Agrária Mista Entre Rios Ltda., Guarapuava, PR, **em sistemas de rotação de culturas para cevada, sob sistema plantio direto**. Os tratamentos consistiram em quatro sistemas de rotação de culturas com cevada: Sistema I: cevada/soja; Sistema II: cevada/soja e ervilhaca/milho; Sistema III: cevada/soja, linho/soja e ervilhaca/milho; e Sistema IV: cevada/soja, linho/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho (Santos et al., 1995).

Em relação ao rendimento de grãos de cevada, em 1987, 1991 e 1992 e na média conjunta dos anos, em sistema plantio direto, houve diferença entre os sistemas de rotação. O menor rendimento de grãos ocorreu na monocultura de cevada (2.747 kg/ha), em comparação com um inverno (3.064 kg/ha), com dois invernos (3.163 kg/ha) e com três invernos sem cevada (3.338 kg/ha). No Município de Passo Fundo, RS, em sistema plantio direto, de 1986 a 1989, Santos et al. (1985) não observaram diferenças quanto ao rendimento de grãos entre a monocultura de cevada (2.750 kg/ha) e a cevada com dois invernos (2.758 kg/ha) e com três invernos de rotação (2.740 kg/ha).

A severidade das doenças do sistema radicular da cevada diferiu entre os sistemas de rotação nos anos de 1987, 1988, 1989 e 1991, e na média conjunta dos anos. Os valores mais elevados no tocante à severidade do mal-do-pé e da prodridão comum ocorreram na monocultura de cevada

(32%), em relação a um inverno (15%), a dois invernos (15%) e a três invernos sem cevada (15%).

No trabalho conduzido por Santos et al. (1985) em sistema plantio direto, por quatro anos, não houve diferenças quanto à severidade das doenças do sistema entre a monocultura de cevada (28%) e os sistemas com dois (21%) e com três invernos sem cevada (24%). Já no Canadá, Piening e Or (1988) observaram os seguintes valores em severidade da podridão comum: 81% em monocultura de cevada por vinte anos; 73% e 14% quando houve um e quatro invernos sem cevada, respectivamente. Com dois invernos sem cevada, esses valores foram 64% após pousio e canola, e de 37%, após pastagem e aveia.

Nos anos de 1988 e 1990 e na média conjunta dos anos, no que tange ao número de espiguetas por planta de cevada, foram observadas diferenças entre os sistemas de rotação, sendo que sob monocultura, a cevada mostrou os menores valores, em relação a esse componente de rendimento. O número de grãos por planta, entre os sistemas de rotação, diferiu nos anos de 1988 e 1991 e na média conjunta dos anos. A cevada, nos sistemas de rotação de um, dois e três invernos, mostrou os maiores valores, quanto ao número de grãos.

Quanto à massa de grãos por planta, houve diferença entre os sistemas de rotação em 1988 e 1992 e na média conjunta dos anos. A monocultura de cevada mostrou menor massa de grãos por planta.

O rendimento de grãos de determinada espécie deve estar diretamente relacionado com os componentes primários do rendimento (número de espiguetas, número de grãos e massa de grãos por planta). Isto ficou claro quanto ao número de espiguetas por planta, que foi alterado pelo sistema de rotação, e este, por sua vez, contribuiu para aumentar o rendimento de grãos de cevada.

Na comparação entre os sistemas estudados ao longo dos anos, ficou demonstrada a eficiência da rotação de culturas (cevada/soja e ervilhaca/



milho ou aveia branca/soja; cevada/soja, linho/soja e ervilhaca/milho; e cevada/soja, linho/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho) no controle das doenças do sistema radicular de cevada, na região de Guarapuava, PR. A rotação de culturas viabilizou o sistema plantio direto, em relação ao controle de doenças do sistema radicular de cevada.

No período de 1990 a 1995, em Passo Fundo, RS, a Embrapa Trigo desenvolveu trabalhos, no Centro de Extensão e Pesquisa Agronômica (Cepagro), da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, com sistemas de produção integração lavoura +pecuária com pastagens anuais de inverno, sob sistema plantio direto (Fontaneli et al., 1998). Os tratamentos constaram dos seguintes sistemas: Sistema I: trigo/soja, pastagem de aveia preta/soja e pastagem de aveia preta/soja; Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; Sistema III: trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; e Sistema IV: trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja.

Os autores não observaram diferenças para severidade das doenças do sistema radicular do trigo. Como havia rotação de culturas de um e dois invernos sem trigo, era de se esperar que não ocorresse diferença entre os referidos sistemas. O rendimento de grãos de trigo apresentou diferenças somente na média dos anos. O maior rendimento de grãos de trigo manifestou-se no sistema I (2.347 kg/ha). Não foi possível explicar satisfatoriamente o porquê do trigo após aveia preta pastejada por dois invernos ter sido superior em rendimento de grãos ao trigo após aveia preta + ervilhaca pastejadas por um ou dois invernos. Pelos dados obtidos, a integração lavoura-pecuária pode ser utilizada sem restrição, aproveitando as áreas, as máquinas e a mão de obra ociosas na estação fria, no Estado do Rio Grande do Sul.

Deve ser levado em consideração que a pecuária, muitas vezes, é vista como fator complicador na agricultura, principalmente quando se trata de plantio direto. Pelo que pôde ser observado neste estudo, a engorda de

animais, durante o período de inverno, foi uma alternativa positiva para rotacionar com a lavoura (trigo). Nesse caso, houve uma complementação e não uma competição entre as atividades a serem desenvolvidas na propriedade agrícola.

Na atual situação do Estado do Rio Grande do Sul, a integração lavoura-pecuária elimina o pousio de inverno. Nesse caso, ainda tem-se alimento para oferecer aos animais no período mais crítico do ano, combatendo o baixo desempenho quantitativo, a mortalidade de animais do rebanho e as perdas no ganho do peso adquirido, na estação quente (Lobato, 1980; Siewerdt, 1980; Fontaneli; Freire Junior, 1991).

Dessa forma, estará sendo praticada uma agricultura mais estável e equilibrada, em seus componentes, e que possibilitará maior período de utilização do solo, com culturas anuais (Medeiros, 1984). Isso significa utilizar o solo de forma tão eficiente que ele produza cada vez mais alimentos e, ao mesmo tempo, mantenha ou aumente sua própria fertilidade.

No período de 1995 a 2000, em Coxilha, RS, foram estudados sistemas de produção com pastagens anuais de inverno e de verão. Os tratamentos foram constituídos por seis de produção com integração lavoura + pecuária (Santos et al., 2006):

Sistema I: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho);

Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém)/milho;

Sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho;

Sistema IV: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho;

Sistema V: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho; e

Sistema VI: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho.

Não foi verificada diferença entre o rendimento de grãos para trigo. Nesse caso, o trigo foi cultivado com um ou dois invernos de rotação. O trigo cultivado após aveias tem apresentado raízes mais saudáveis e produzido rendimento de grãos maiores quando antecedido, no inverno anterior, por aveia branca ou preta, como culturas para cobertura do solo ou para produção de grãos.

Do ponto de vista agrônomo, as aveias são de fundamental importância para serem utilizadas como alternativas de inverno, em sistemas de produção para cevada, trigo e triticale, desde que usadas adequadamente. A aveia branca e a aveia preta podem compor sistemas de integração de lavoura com a pecuária porque não favorecem as doenças do sistema radicular do trigo.

No período de 2003 a 2008, houve mudanças nos tratamentos dos sistemas de produção com integração lavoura + pecuária, conduzidos em Coxilha, RS, nos quais foram introduzidas culturas de cobertura de solo e de duplo propósito (Santos et al., 2009):

Sistema I: trigo/soja e ervilhaca/milho;

Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta/milho;

Sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta/soja;

Sistema IV: trigo/soja e ervilha/milho;

Sistema V: trigo/soja, triticale duplo propósito/soja e ervilhaca/soja; e

Sistema VI: trigo/soja, aveia branca de duplo propósito/soja e trigo duplo propósito/soja.

Entre os anos avaliados e na média conjunta dos anos de 2003 a 2008, não houve diferença dos componentes da produção, entre os sistemas com in-

tegração lavoura + pecuária, considerando somente a análise do trigo para produção de grãos. Isso deve ter ocorrido porque o trigo foi cultivado com intervalo de um ou dois invernos de rotação. Dados concordantes foram relatados por Fontaneli e Santos (2003), com trigo cultivado após pastagens anuais, pastagens perenes de inverno e de verão, sob sistemas com integração lavoura + pecuária.

A massa hectolétrica do trigo mostrou diferença somente no ano de 2008. Os sistemas I (77 kg/L), II (78 kg/L) e IV (77 kg/L) apresentaram valores mais elevados, em comparação aos sistemas III (75 kg/L) e VI (73 kg/L). Essa diferença entre os sistemas pode ser atribuída à cultura de milho, que no verão antecedeu os sistemas I, II e IV. Quanto à massa de mil grãos, houve diferença entre as médias dos sistemas de produção com integração lavoura + pecuária, somente no ano de 2005. Nesse caso, os sistemas I, II, III, IV e V proporcionaram massa de mil grãos superior ao sistema VI. Essa diferença entre os sistemas pode estar relacionada ao rendimento do trigo, que no sistema VI foi menor.

Entre os anos de 2005 a 2007 e na média conjunta dos anos de 2003 a 2008, houve diferença para o rendimento de grãos de trigo entre os sistemas de produção com integração lavoura + pecuária. No ano de 2005, os sistemas I (3.323 kg/ha), III (3.495 kg/ha), IV (3.445 kg/ha) e V (3.395 kg/ha) proporcionaram maiores rendimentos de grãos do que o sistema VI (2.784 kg/ha). Contudo, o sistema II (3.261 kg/ha) foi similar ao sistema VI para rendimento de grãos. No ano de 2006, os sistemas III (3.379 kg/ha) e V (3.340 kg/ha) foram superiores aos demais quanto ao rendimento de grãos. No ano de 2007, o sistema V (2.130 kg/ha) destacou-se em relação aos sistemas I (1.639 kg/ha), II (1.687 kg/ha), III (1.624 kg/ha) e VI (1.396 kg/ha), e não diferiu do sistema IV (1.924 kg/ha). Nesse ano, os rendimentos de grãos de trigo foram relativamente baixos devido ao ataque de giberela (*Gibberella zeae*). Além disso, essa diferença - a maior do sistema V - nesses períodos, pode ser atribuída às culturas de ervilhaca e soja, que antecederam ao trigo.

Na média conjunta dos anos de 2003 a 2008, os sistemas II (2.614 kg/ha), III (2.721 kg/ha), IV (2.653 kg/ha) e V (2.743 kg/ha) resultaram em maior rendimento de grãos de trigo em comparação ao sistema VI (2.394 kg/ha). O menor rendimento de grãos do trigo, verificado no sistema VI, em relação aos demais, pode ser devido a não observação do intervalo de rotação de culturas, já que o trigo, nesse sistema foi semeado sempre após o trigo de duplo propósito. Santos et al. (1996), estudando sistemas de produção, em Guarapuava, PR, sob sistema plantio direto, verificaram menor rendimento de grãos no cultivo de trigo todo ano, em comparação a um, dois e três invernos sem trigo. No estudo desenvolvido por Santos et al. (1998), em Passo Fundo, RS, o menor rendimento de grãos, também, manifestou-se no cultivo de trigo todo ano, em relação a um, dois e três invernos sem trigo; a dois invernos sem e dois com trigo; e a três invernos sem e dois com trigo. De acordo com esses mesmos autores, a rotação de culturas permite produzir e estabilizar o rendimento de grãos pela diversificação de espécies, devido à menor incidência das doenças do sistema radicular do trigo.

Deve-se considerar que, de maneira geral, as espécies possuem um estágio de desenvolvimento no qual a deficiência hídrica causa maior redução no rendimento de grãos. No caso de trigo, isso ocorre do estágio de folha-bandeira ao estágio de antese, que, nas condições da região sul-brasileira, na maioria das vezes, manifesta-se no final de agosto (Rodrigues et al., 1998). A quantidade de precipitação pluvial requerida para a cultura de trigo completar seu ciclo é de aproximadamente 322 mm (Matzenauer, 1992). Entretanto, na região de Passo Fundo, RS, a precipitação pluvial normal para o período é de 822 mm (Brasil, 1992). Em estudo conduzido, no período de 1998 a 2002, a precipitação pluvial foi baixa, sendo que no mês de agosto de 1999 foi somente 19 mm. Na maioria desses anos ocorreu precipitação pluvial abaixo do normal, principalmente em junho, mês de estabelecimento da cultura de trigo na região de Passo Fundo, RS. Isso pode explicar, em parte, a diferença em rendimento de grãos entre sistemas conservacionistas de manejo de solo (sistema plantio direto: 3.632 kg/ha e cultivo mínimo: 3.664 kg/ha) e sistemas convencionais de preparo de solo

(com arado de discos: 3.393 kg/ha e com arado de aivecas: 3.382 kg/ha), uma vez que os primeiros apresentam condições de armazenar mais água para ser usada nos períodos mais críticos do desenvolvimento de trigo.

Santos et al. (2006), não constataram diferença no rendimento de grãos entre os sistemas de produção com integração lavoura + pecuária, com trigo cultivado após pastagens anuais de inverno (aveia preta + ervilhaca ou aveia preta + ervilhaca + azevém) e de verão (milheto). Fontaneli et al. (1998), estudando sistemas de produção com integração lavoura + pecuária, observaram que o trigo cultivado após aveia preta pastejada por dois invernos apresentou maior rendimento de grãos do que os demais sistemas de produção. Em outro estudo, Fontaneli e Santos (2003) verificaram que o trigo cultivado após pastagens perenes de verão (pensacola + cornichão + trevo branco + trevo vermelho) e alfafa para feno resultou em maiores rendimentos de grãos do que no sistema de produção exclusivamente de grãos.

Nos anos avaliados (2003 a 2008) e na média conjunta dos anos, não houve diferença entre os sistemas de produção com integração lavoura + pecuária quanto aos componentes da produção (número de espigas, número de grãos por espigas e massa de grãos), ao se comparar trigo para produção de grãos com trigo para duplo propósito. Entretanto, Epplin et al. (2001), nos EUA, observaram, num período de 16 safras, que o trigo cultivado em duplo propósito mostrou maior retorno líquido do que o trigo semeado somente para produção de grãos. Del Duca et al. (2001), no Brasil, estudando cultivares de trigo de duplo propósito, verificaram que os genótipos submetidos ao corte para avaliar a matéria seca mostraram maior rendimento de grãos que os não cortados. Provavelmente, essa diferença decorreu do aumento do número de perfilhos por planta de trigo. Porém, os mesmos autores, não encontram diferenças no rendimento de grãos, massa hectolétrica e de mil grãos, entre o trigo para produção de grãos e o trigo para duplo propósito.

Deve ser levado em consideração que, para os cereais de inverno de duplo propósito, em especial o trigo, e conforme a região, a semeadura deve ser no outono, antecipadamente à época preferencial dessa gramínea. Pois como possuem um período fisiológico mais longo da emergência ao espigamento (Fontaneli et al., 2006), a semeadura deve ser de 20 a 40 dias antes da época recomendada, considerando ainda ciclo da cultivar. O objetivo disso é reduzir o risco de que o florescimento e espigamento ocorram na época de ocorrência de geada (Reunião..., 2008). No presente estudo, confirmou-se que, o trigo de duplo propósito não diferiu dos trigos normais quanto ao rendimento de grãos, massa hectolétrica e de mil grãos. As cultivares de trigo de duplo propósito foram semeadas de 30 a 40 dias antes das cultivares para produção de grãos.

No ano de 2004, o sistema III (2.391 kg/ha) proporcionou maior rendimento de grãos de trigo em relação ao sistema VI (1.883 kg/ha) e do trigo para duplo propósito (1.332 kg/ha). No ano de 2005, os sistemas I, II, III, IV e V (3.261 kg/ha a 3.495 kg/ha) foram superiores ao sistema VI (2.784 kg/ha) e o trigo para duplo propósito (2.750 kg/ha), quanto ao rendimento de grãos de trigo. No ano de 2006, os sistemas III (3.379 kg/ha) e V (3.340 kg/ha) proporcionaram rendimentos de grãos de trigo mais elevados, em comparação aos demais sistemas estudados. No ano de 2007, o rendimento de grãos foi maior no trigo de duplo propósito (2.694 kg/ha), em relação aos trigos somente para grãos. Nesse ano, o trigo de duplo propósito foi menos afetado pela giberela, provavelmente devido ao fato de ter sido semeado precocemente, em relação aos trigos convencionais, ou pelo efeito do pastejo, que retardou o florescimento do trigo, permitindo escapar, em parte, do período mais crítico de infecção desta pelo agente fitopatológico. No ano de 2008, o sistema III (2.986 kg/ha) e o trigo para duplo propósito (3.054 kg/ha) apresentaram maior rendimento de grãos, que os sistemas I (2.487 kg/ha), IV (2.475 kg/ha) e VI (2.398 kg/ha).

Nos anos de 2004 e 2005, os trigos para produção de grãos (73 kg/L a 80 kg/L) proporcionaram maior massa hectolétrica do que o trigo para duplo

propósito (69 kg/L e 75 kg/L). No ano de 2008, os sistemas I (77 kg/L) e II (78 kg/L) proporcionaram valor de peso do hectolitro mais elevado do que os do sistema VI (73 kg/L) e do trigo para duplo propósito (73 kg/L).

No ano de 2005, os sistemas I, II, III, IV e V destacaram-se em massa de mil grãos de trigo, em comparação ao sistema VI e ao trigo para duplo propósito. No ano de 2007, os sistemas I, II e IV foram superiores ao trigo para duplo propósito na massa de mil grãos de trigo. Deve-se levar em conta que o trigo usado para duplo propósito tem grãos menores, portanto, menor massa do que os trigos convencionais.

No geral, nos anos de 2005 (3.207 kg/ha) e 2006 (3.095 kg/ha), o rendimento de grãos de trigo foi maior do que os demais anos estudados. Por sua vez, a massa do hectolitro apresentou valor mais elevado nos anos de 2003 (78 kg/L) e 2004 (78 kg/L). Nesse caso, esses valores mantiveram-se, em média, ao redor do valor indicado para comercialização do trigo, que é acima de 78 kg/L. O ano de 2003 foi o que favoreceu maior valor de massa de mil grãos.

Além de produzir grãos, a cultura de trigo é opção de forragem verde aos animais (bovinos, ovinos e equinos), isto, sem ocorrer prejuízo no rendimento de grãos, na massa hectolétrica e na massa de mil grãos. Assim, o uso de espécies de cereais de inverno de duplo propósito favorece o sistema plantio direto, evitando perdas de solo, de nutrientes e água por erosão, contribuindo para a sustentabilidade do sistema. Além disso, propicia cobertura vegetal permanente após as culturas de verão (Del Duca et al., 1997). Assim, as cultivares de trigo de duplo propósito podem produzir farinha de trigo semelhante a dos de semente para grãos.



## Conclusões

### Sistemas de rotação de culturas para trigo de 1980 a 1989

O rendimento de grãos, a massa de mil grãos e a massa hectolétrica de trigo, nos sistemas de rotação/sucessão de culturas de inverno: a) trigo após colza, linho e tremoço; b) trigo após leguminosa; e c) trigo após colza, cevada e tremoço, são superiores à monocultura.

A severidade de doenças do sistema radicular do trigo é mais elevada na monocultura (57%), em relação a três anos de rotação para as sequências de trigo após colza, cevada e tremoço (34%), e trigo após colza, linho e tremoço (28%) ou, ainda, para dois anos de rotação na sequência trigo após leguminosa (28%).

O aumento da severidade de doenças do sistema radicular diminui, linearmente, o rendimento de grãos.

O preparo do solo com arado de aivecas, associado às condições meteorológicas favoráveis, produz rendimento de grãos de trigo relativamente elevado, mesmo em monocultura, diminuindo, neste caso, a diferença entre esse tratamento e os demais em rotação de culturas.

### Sistemas de cultivo de trigo com aveia branca e aveia preta e o rendimento de grãos de trigo, de 1985 a 1989

A severidade das doenças do sistema radicular do trigo é maior em monocultura.

Os sistemas de cultivo não afetam o rendimento de grãos de trigo.

### **Sistemas de rotação de culturas para triticale de 1987 a 1991**

Para rendimento de grãos de triticale, não há diferença entre os sistemas de rotação de culturas estudados. Em um dos anos estudados, a severidade das doenças do sistema radicular é maior nos tratamentos precedidos por triticale ou aveia preta no inverno anterior, em comparação com aqueles precedidos por ervilhaca seguida de milho.

### **Sistemas de rotação de culturas para trigo de 1987 a 1995**

A rotação de culturas é eficiente no controle das doenças do sistema radicular de trigo, na região Sul do Brasil.

Não há diferenças na severidade das doenças do sistema radicular, de rendimento de grãos, da massa de grãos por planta e da massa hectolétrica do trigo entre os sistemas de rotação estudados. Indica-se compor sistemas de rotação de culturas com pelo menos um inverno sem trigo, ou ainda dois invernos com trigo desde que seguidos por dois invernos, pelo menos, sem trigo.

### **Sistemas de rotação de culturas para trigo ou cevada, sob sistema plantio direto de 1984 a 1993**

A rotação com apenas um inverno sem trigo (trigo/soja e ervilhaca/milho ou cevada/soja e ervilhaca/milho) pode ser indicada em sistema plantio direto, na região de Guarapuava, PR.

A rotação de culturas é eficiente no controle das doenças do sistema radicular de trigo e viabiliza o sistema plantio direto na região Sul do Brasil.

### **Sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, em Passo Fundo, RS**

A severidade de doenças do sistema radicular de trigo não é afetada pela rotação com pastagens anuais de inverno, em sistema plantio direto.

Não houve diferença entre as médias para rendimento de grãos de trigo.

### **Sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão, em Passo Fundo, RS**

Não houve diferença entre as médias para rendimento de grãos de trigo.

### **Sistemas de produção de grãos com pastagens de duplo propósito, em Passo Fundo, RS**

Não há diferença entre as médias dos componentes da produção de grãos de trigo (número de espigas, número de grãos por espigas e massa de grãos) entre os sistemas de produção integração lavoura-pecuária, de trigo para produção de grãos ou de trigo de duplo propósito.

Os sistemas de II (trigo/soja e aveia preta/milho), III (trigo/soja e aveia preta/soja), IV (trigo/soja e ervilha/milho) e V (trigo/soja, triticale de duplo pro-

pósito/soja e ervilhaca/soja) proporcionam maior rendimento de grãos do que o sistema VI (trigo/soja, aveia branca de duplo propósito/soja e trigo de duplo propósito/soja), no qual o trigo é cultivado somente para produção de grãos.

Não há diferença de rendimento de grãos, de massa hectolétrica e de mil grãos entre os trigos cultivados somente para produção de grãos e o trigo cultivado para duplo propósito.

## **Tecnologias desenvolvidas**

Com base nos estudos apresentados e discutidos foram indicados os primeiros sistemas de rotação/sucessão de culturas utilizando espécies de famílias diferentes para trigo, com um, dois e três invernos sem este cereal, tais como: a) trigo após colza, linho e tremoço; b) trigo após leguminosa; e c) trigo após colza, cevada e tremoço.

Nas décadas de 1980 e 1990, do ponto de vista fitopatológico, tanto a aveia branca quanto a aveia preta foram indicadas para cultivos em sistemas de rotação com a cultura do trigo, pois ambas foram, praticamente, imunes ao mal-do-pé e apresentavam baixa infecção por podridão comum de raízes.

Com os estudos realizados na Embrapa Trigo, em Passo Fundo e em Guapuva, PR, o período de intervalo de rotação indicado para trigo, que antes era de três anos, passou para dois anos.

O uso do azevém deve ser evitado em rotação com trigo, pois, além de perpetuar a podridão comum de raízes, pode tornar-se planta daninha para a cultura seguinte, além de reduzir o rendimento de grãos.

Nos trabalhos desenvolvidos pela Embrapa Trigo, permitiu indicar a necessidade de um inverno sem trigo, cevada ou triticale (trigo/soja e ervilhaca/

milho; trigo/soja e pastagem de aveia preta/ervilhaca), como sistemas de produção mais relevantes para as condições sul-brasileiras.

No trabalho pioneiro no Brasil, com estudos em experimentos de longa duração sobre sistema de produção de grãos com trigo, com sistema plantio direto e com análise econômica e de risco, foi indicada a semeadura do trigo por dois invernos seguidos, deixando-se dois invernos de rotação (exemplo: trigo/soja, trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho).

No período em que os estudos foram conduzidos, não havia trabalhos conduzidos em experimentos de longa duração com sistemas de rotação de culturas, em sistema plantio direto, na região de Guarapuava, PR. Esse trabalho, juntamente com outros que foram desenvolvidos pela Embrapa Trigo, permitiu indicar a necessidade de um inverno sem trigo ou cevada (trigo/soja e ervilhaca/milho; trigo/soja e pastagem de aveia preta/ervilhaca), em sistema plantio direto.

O uso de cereais de inverno de duplo propósito pode viabilizar economicamente a integração lavoura-pecuária, tornando a atividade agrícola mais estável e equilibrada em seus componentes.

## Referências

BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas (1961-1990)**. Brasília, DF, 1992. 84 p.

DEL DUCA, L. J. A.; MOLIN, R.; ANTONIAZZI, N. **Resultados da experimentação de genótipos de trigo para aptidão a duplo propósito no Paraná, em 2000**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 44 p. (Embrapa Trigo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 6).

DEL DUCA, L. J. A.; RODRIGUES, O.; CUNHA, G. R.; GUARIENTE, E.; SANTOS, H. P. dos. Desempenho de trigos e aveia preta visando duplo propósito (forragem e grão) no sistema plantio direto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 2., 1997, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1997. p. 177-178.

DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno**. Londrina: IAPAR, 1992. 80 p. (IAPAR. Circular, 73).

DIEHL, J. A.; KOCHHANN, R. A.; TINLINE, R. D. Sistemas de cultivo sobre podridão comum de raízes e mal-do-pé do trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 18, n. 3, p. 235-241, 1983.

EPPLIN, F. M.; KRENZER JR., E. G.; HORN, G. Net returns from dual-purpose wheat and grain-only wheat. **Journal of the ASFMRA**, p. 8-14, 2001. Disponível em: <[http://portal.asfmra.org/userfiles/file/journal/epplin8\\_14.pdf](http://portal.asfmra.org/userfiles/file/journal/epplin8_14.pdf)>. Acesso em: 5 jun. 2018.

FERNANDEZ, M. R.; SANTOS, H. P. dos. Incidence of some wheat pathogens in living and dead gramineous and nongramineous winter crps in Southern Brasil. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS, 1990, Passo Fundo. **Conservation tillage for subtropical areas: proceedings**. Passo Fundo: CIDA/EMBRAPA-CNPT, 1990. p. 154-166.

FONTANELI, R. S.; FREIRE JUNIOR, N. Avaliação de consorciação de aveia e azevém-anual com leguminosas de estação fria. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 5, p. 623-630, maio 1991.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos. Rendimento de grãos de trigo em sistemas de produção envolvendo pastagens anuais e perenes, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 9, n. 4, p. 353-356, 2003.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; PIRES, J. L. F.; RODRIGUES, O. Estabelecimento e manejo de cereais de inverno de duplo propósito. In: SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S. (Org.). **Cereais de inverno de duplo propósito para a integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. Cap. 1, p. 15-35.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M.; AMBROSI, I. Efeito da rotação de culturas com pastagens anuais de inverno, no rendimento de grãos de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 10, p. 1581-1586, out. 1998.

LEDINGHAN, R. J. Crop rotations and common root rot in wheat. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 41, n. 3, p. 479-486, 1961.

LOBATO, J. F. P. Efeito do uso de boas pastagens e de manejo no aumento da produção animal. In: SEMINÁRIO SOBRE PASTAGENS, 1980, Porto Alegre. **De que pastagens precisamos**: anais. Porto Alegre: FARSUL, 1980. p. 189-215.

MATZENAUER, R. Evapotranspiração de plantas cultivadas e coeficientes de cultura. In: BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; MATZENAUER, R.; FONTANA, D. C.; CUNHA, G. R. da; SANTOS, M. L. V.; FARIAS, J. R. B.; BARNI, N. A. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: UFRGS, 1992. Cap. 3, p. 33-47.

MEDEIROS, R. B. de. Efeito das pastagens nas rotações agrícolas. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL, 1.; SIMPÓSIO DE CONSERVAÇÃO DE SOLO DO PLANALTO, 3., 1983, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: UPF/PIUCS, 1984. p. 183-217.

OLIVEIRA, D. de. **Evapotranspiração máxima e necessidade de água para irrigação de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e de trigo (*Triticum***

***aestivum* L.) determinadas por balanço hídrico para seis locais do Paraná.** 1990. 155 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

PIENING, L. J.; ORR, D. Effects of crop rotation on common root rot of barley. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 10, n. 1, p. 61-65, 1988.

REIS, E. M.; BAIER, A. C. Efeito do cultivo de alguns cereais de inverno na população de *Helminthosporium sativum* no solo. **Fitopatologia Brasileira**, v. 8, n. 2, p. 311-315, 1983.

REIS, E. M.; CASA, R. T.; BLUM, M. M. C.; SANTOS, H. P. dos; MEDEIROS, C. A. Efeitos de práticas culturais na severidade de manchas foliares do trigo e sua relação com a incidência de fungos patogênicos na semente colhida. **Fitopatologia Brasileira**, v. 22, n. 3, p. 407-412, 1997.

REIS, E. M.; FERNANDES, J. M. C.; PICININI, E. C. **Estratégia para o controle de doenças do trigo.** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1988. 50 p. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 7).

REIS, E. M.; KOHLI, M. M. Wheat diseases in South America and strategies for their control. In: REGIONAL WHEAT WORKSHOP FOR EASTERN, CENTRAL AND SOUTHERN AFRICA, 8., 1993, Kampala, Uganda. **Developing sustainable wheat production systems: proceedings.** Addis Ababa, Ethiopia: CIMMYT, 1994. p. 153-163.

REIS, E. M.; SANTOS, H. P. dos. The increased sporulation of *Cochliobolus sativus* on above-ground tissues of small grains and its relationship to the origin of inoculum the soil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 12, n. 3, p. 206-208, 1987.

REIS, E. M.; SANTOS, H. P. dos. Interações entre doenças de cereais de inverno e sistema plantio direto. In: PLANTIO direto no Brasil. Passo



Fundo: Aldeia Norte, 1993a. p. 105-110. Editado por: EMBRAPA-CNPT, FUNDACEP-FECOTRIGO, Fundação ABC.

REIS, E. M.; SANTOS, H. P. dos. População de *Helminthosporium sativum*, no ar quantificada através de armadilha tipo cata-vento.

**Fitopatologia Brasileira**, v. 10, n. 3, p. 515-519, 1985.

REIS, E. M.; SANTOS, H. P. dos. Potencialidade de controle de doenças de cereais de inverno por rotação de culturas. In: SIMPÓSIO DE AGRICULTURA ECOLÓGICA, 1., 1993, Campinas. **Anais...** Campinas: IAC, 1993b. p. 99-115.

REIS, E. M.; SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B. Rotação de culturas. I. Efeito sobre doenças radiculares do trigo nos anos 1981 e 1982.

**Fitopatologia Brasileira**, v. 8, n. 3, p. 431-437, 1983.

REIS, E. M.; SANTOS, H. P. dos; PEREIRA, L. R. Rotação de culturas. IV. Efeito sobre mosaico e doenças radiculares do trigo em 1983.

**Fitopatologia Brasileira**, v. 10, n. 3, p. 637-642, 1985.

REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 2., 2008, Passo Fundo. **Informações técnicas para a safra 2009**: trigo e triticale. Passo Fundo: Embrapa Trigo; Embrapa Transferência de Tecnologia, 2008. 172 p.

REUNIÃO DA COMISSÃO SUL-BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 20., 1988, Porto Alegre. **Recomendações da Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo para a cultura do trigo em 1988**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT; UFRGS-FA, 1988. 76 p.

RODRIGUES, O.; LHAMBY, J. C. B.; DIDONET, A. D.; MARCHESI, J. A.; SCIPIONI, C. Efeito da deficiência hídrica na produção de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 6, p. 839-846, 1998.

- ROSA, O. S. **Controle integrado de doenças e de pragas do trigo no Rio Grande do Sul**: desenvolvimento, resultados e perspectivas. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1988. 24 p. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 9).
- SANTOS, H. P. dos. Efeitos da rotação de culturas no rendimento de grãos de trigo. In: CUNHA, G. R.; BACALTCHUK, B. (Org.). **Tecnologia para produzir trigo no Rio Grande do Sul**: Porto Alegre: Assembléia Legislativa, Comissão de Agricultura, Pecuária e Cooperativismo; Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. p. 355-367. (Série Culturas, n. 02).
- SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; CAIERÃO, E.; SPERA, S. T.; MALDANER, G. L. Rendimento de grãos de trigo de duplo propósito, em sistemas de produção integração lavoura-pecuária, sob plantio direto. In: TRIGO: resultados de pesquisa - safra 2008. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. p. 59-74. (Embrapa Trigo. Documentos, 87).
- SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; TOMM, G. O.; AMBROSI, I. **Sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão, sob plantio**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 128 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 69).
- SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B.; PRESTES, A. M.; REIS, E. M. Características agrônômicas e controle de doenças radiculares de trigo, em rotação com outras culturas de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 3, p. 277-288, 1998.
- SANTOS, H. P. dos; PEREIRA, L. R.; REIS, E. M.; GASSEN, D. N.; PRESTES, A. M.; VIEIRA, S. A. **Sistemas de cultivo para cevada**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1985. 11 p. (Embrapa-CNPT. Projeto nº 805.05.025/2).
- SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. **Rotação de culturas em plantio direto**. 2. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003. 212 p.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. Sistemas de cultivo de trigo com azevém e aveia preta para forragem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 10, p. 1571-1576, out. 1994.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. Sistemas de cultivo para trigo com aveias brancas e aveias pretas para rendimento de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 1, p. 69-73, jan. 1995.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E.M.; BAIER, A. C. Sistemas de cultivo para triticale. I. Efeitos no rendimento de grãos e nas doenças do sistema radicular do triticale, e outras culturas de verão, em plantio direto, 1987 e 1988a. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE TRITICALE, 3., 1989, Cascavel. **Anais...** Cascavel: OCEPAR, 1990a. p.235-244.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M.; LHAMBY, J. C. B.; SANDINI, I. Características agronômicas e controle de doenças radiculares da cevada, em sistema plantio direto em rotação com outras culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 11, p. 1297-1303, 1995.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M.; LHAMBY, J. C. B.; WOBETO, C. Efeito da rotação de culturas sobre o trigo, em sistema plantio direto, em Guarapuava, PR. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n. 4, p. 259-267, 1996.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M.; PEREIRA, L. R. Rotação de culturas. XVII. Efeitos no rendimento de grãos e nas doenças do sistema radicular do trigo de 1980 a 1987. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, n. 11, p. 1.627-1.635, nov. 1990b.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M.; VIEIRA, S. A.; PEREIRA, L. R. **Rotação de culturas e produtividade do trigo no RS**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1987. 32 p. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 8).

SELMAN, M. Experiments in continuous wheat. Part I. The effect of break crops introduced into a run of continuous wheat (Sykes' Field). **Experimental Husbandry**, v. 29, n. 1, p. 1-7, 1975.

SIEWERDT, L. Fenação e espécies recomendáveis. In: SEMINÁRIO SOBRE PASTAGENS, 1980, Porto Alegre. **De que pastagens necessitamos**: anais. Porto Alegre: FARSUL, 1980. p. 158-163.

SLOPE, D. B.; ETHERIDGE, J. Grain yield and incidence of Take-all (*Ophiobolus graminis* Sacc.) in wheat grown in different crop sequences. **Annals of Applied Biology**, v. 67, n. 1, p. 13-22, 1971.

SLOPE, D. B.; ETHERIDGE, J.; WILLIAMS, R. J. B. Grain yield and incidence of Take-all and eyespot in winter wheat grown in different crop sequences at Saxmundhan. **ROTHAMSTED Report for 1972**, Part. 2, p. 160-167, 1973.

STURZ, A. V.; BERNIER, C. C. Influence of crop rotations on winter wheat growth and yield in relation to the dynamics of pathogenic crown and root rot fungal complexes. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 11, n. 1, p. 114-121, 1989.

TURNER, E. M. C. The nature of the resistance of oats to the take-all fungus. III. Distribution of the inhibitor in oat seedlings. **Journal of Experimental Botany**, v. 11, n. 3, p. 403-412, 1960.

ZENTNER, R. P.; SELLES, F.; SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I. Effect of crop rotations on yields, soil characteristics, and economic returns in Southern Brazil. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS, 1990, Passo Fundo. **Conservation tillage for subtropical áreas**: proceedings. Passo Fundo: CIDA/EMBRAPA-CNPT, 1990. p. 96-116.

Capítulo

4

## **Avaliação de Sistemas de Rotação de Culturas no Rendimento de Grãos de Culturas de Verão, nas Décadas de 1980 a 2010**

Henrique Pereira dos Santos, Renato Serena Fontaneli

### **Introdução**

A cobertura vegetal do solo pode proporcionar tantos efeitos positivos como negativos sobre sistemas de produção de grãos. Os efeitos positivos são observados no controle de plantas daninhas e na diminuição da erosão, e os negativos, no menor desenvolvimento e rendimento de grãos das culturas seguintes (Santos; Reis, 2003).

Estudos realizados por Patrick et al. (1964) revelaram que esses efeitos ocorrem devido à substâncias tóxicas que são liberadas pelos resíduos vegetais durante a decomposição. Entretanto, tais efeitos podem ser temporários (Santos; Roman, 2001).

A partir da década de 1990, uma nova série de experimentos de longa duração foi iniciada, envolvendo culturas produtoras de grãos (aveia branca, milho, soja e trigo) em rotação com pastagens anuais de inverno (aveia preta, azevém e ervilhaca) e de verão (milheto) ou com pastagens perenes compostas por festuca ou Pensacola consorciadas com trevo branco, trevo vermelho e cornichão (Ambrosi et al., 2001; Santos et al., 2001b, 2003).

As aveias (branca e preta) desempenham papel relevante no sistema de rotação de culturas como espécie produtora de grãos e como forrageira na integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil. A aveia branca destina-se à produção de grãos, sendo importante na alimentação humana e animal. O milho, a soja e o trigo, além de serem espécies muito cultivadas no País, também se enquadram perfeitamente no sistema de produção envolvendo pastagens anuais de inverno ou de verão (Fontaneli et al., 2000a).

Por outro lado, ao se estabelecer a espécie de cobertura de solo, no inverno, é interessante visar um retorno econômico da própria cultura, como produção de sementes ou produção animal obtida do consumo da biomassa das espécies compostas das pastagens, e também do fornecimento de nitrogênio para a cultura subsequente (Didonet; Santos, 1996). Por outro lado, o arranjo espacial e temporal de culturas componentes dos sistemas de produção sul-brasileiros, composta por espécies de inverno e de verão, tem contribuído para aumentar a estabilidade e os rendimentos de grãos das culturas, a exemplo do milho e sorgo praticados na América do Norte (Dick; Van Doren Jr., 1985; Langdale et al., 1990; Varvel, 1994). Os melhores rendimentos de grãos de milho e de sorgo foram obtidos com a rotação de culturas, com aveia branca, soja, trevo branco e trigo, em relação à monocultura dessas gramíneas.

Os cereais de inverno (aveia branca, centeio, cevada, trigo e triticale) têm sido ao longo dos anos, as culturas mais importantes utilizadas em sistemas de rotação/sucessão de culturas ou de produção de grãos, com espécies de verão, destacando-se a cultura da soja (Santos et al., 1987, 1993, 1997a, 2001a). Na década de 1970, a cultura da soja tornou-se viável, no Rio Grande do Sul, devido ao aproveitamento do mesmo equipamento, da mão de obra disponível, e da área utilizada na lavoura de trigo. Depois se expandiu para os demais estados do Brasil. A sucessão de culturas facilitou, naquela ocasião, semear duas espécies no mesmo ano. Além disso, na época, a estrutura das cooperativas montadas para os cereais de inverno foi aproveitada para a cultura de soja.

Neste capítulo, relata-se o rendimento de grãos das culturas de verão, desenvolvidos juntamente com os sistemas de rotação de culturas para cereais de inverno, a partir da década de 1980. São relatados a seguir vários trabalhos de pesquisa, demonstrando os efeitos das culturas de cobertura de solo e de adubação verde antecedendo as culturas de verão, no sul do Brasil.

No trabalho desenvolvido em Passo Fundo, RS, na Embrapa Trigo, no período de 1980 a 1989, com sistemas de rotação de culturas, a cultura de milho está presente em três dos quatro sistemas (Santos; Pöttker, 1990):

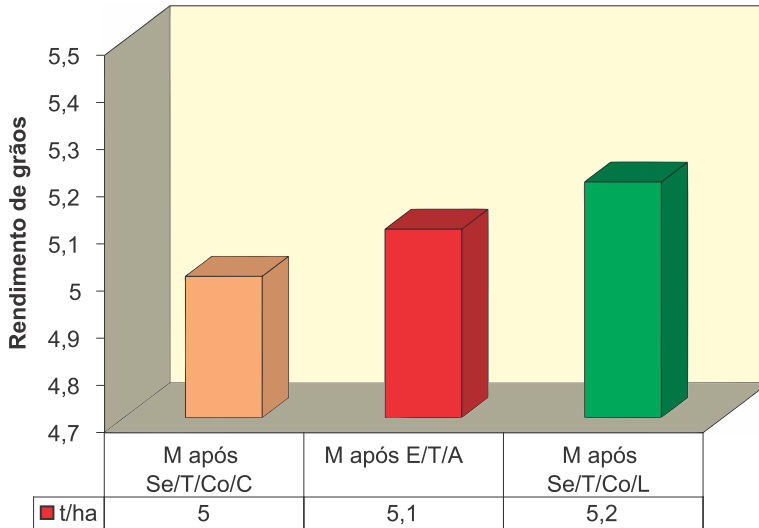
Sistema I: trigo/soja;

Sistema II: trigo/soja, colza/soja, cevada/soja e leguminosa/milho;

Sistema III: trigo/soja, aveia branca/soja e leguminosa/milho e;

Sistema IV: trigo/soja, colza/soja, linho/soja e leguminosa/milho.

No início desse estudo (1984 e 1985), as leguminosas foram ceifadas e mantidas na superfície das parcelas, sendo, em seguida, semeado o milho. Na segunda fase desse estudo (1986 e 1987), as leguminosas foram dessecadas e deixadas na superfície do solo. Na Figura 1 são apresentados rendimentos de grãos de milho nas safras de 1986/1987 e 1987/1988, quando no manejo de algumas leguminosas (ervilhaca e serradela) aplicou-se à cultura de milho somente herbicida residual ou de pós-emergência. Nesse caso, por ocasião do estabelecimento desta cultura, o milho fora semeado com a ervilhaca ainda em ciclo vegetativo (Figura 2) e após a ervilhaca (Figura 3), em áreas com número baixo de plantas daninhas de inverno. Sendo assim, evitaram-se gastos com aplicação de herbicida total, com inseticida e com adubação nitrogenada de cobertura. Isso, por si só, torna as leguminosas mais vantajosas do que outras espécies não leguminosas antecedendo a cultura do milho. Nesse estudo, não houve diferença de rendimento de grãos de milho entre os sistemas de rotação/sucessão de culturas.



**Figura 1.** Efeito de leguminosas de inverno (A: aveia branca; C: cevada; Co: Colza ; E: ervilhaca ; L: linho; M: milho; Se: Serradela e T: Trigo) no rendimento de grãos de milho (t/ha), em Passo Fundo, RS, de 1986/1987 e 1987/1988.

Foto: Henrique Pereira dos Santos.



**Figura 2.** Milho semeado com a ervilhaca ainda em ciclo vegetativo, na Embrapa Trigo, década de 1980.  
Fonte: Santos et al. (2007).





Foto: Henrique Pereira dos Santos.

**Figura 3.** Milho semeado após ervilhaca, na Embrapa Trigo, década de 1980.

Fonte: Santos et al. (2007).

Na primeira análise de 1984/1985 e 1985/1986, não houve diferenças no rendimento de grãos, componentes do rendimento (número de espigas, número e massa de grãos por planta), massa de mil grãos, estatura de plantas e altura de inserção da primeira espiga entre os tipos de rotação/sucessão de culturas. No primeiro período utilizou-se como cultura de cobertura de solo e adubação verde, a ervilhaca e o tremoço. No segundo período (1986/1987 e 1987/1988) usou-se como cultura de cobertura de solo e adubação verde, a ervilhaca e a serradela. Na análise desse período, verificaram-se diferenças de estatura de plantas entre os tipos de rotação/sucessão de culturas. Nesse caso, observou-se maior estatura em plantas de milho cultivado após ervilhaca.

O milho cultivado por: a) vários anos, após algumas leguminosas; b) inicialmente após ervilhaca (4.492 kg/ha) e tremoço (4.782 kg/ha), em 1984/1985 e 1985/1986; e c) posteriormente, após ervilhaca e da serradela (1986/1987 e 1987/1988), não mostrou diferenças entre os rendimentos de grãos. Os resultados são semelhantes aos anteriormente obtidos por Derpsch e Calegari (1992), Muzilli (1978), Santos e Pereira (1987) e Santos et al. (1997b).

No período de 1987/1988 a 1988/1989, em Passo Fundo, RS, foram desenvolvidos cinco sistemas de rotação de culturas para triticales, envolvendo a cultura de milho:

Sistema I: triticales/soja;

Sistema II: triticales/soja e aveia preta rolada com rolo-facas/soja;

Sistema III: triticales/soja e ervilhaca/milho;

Sistema IV: triticales/soja, aveia preta rolada com rolo-facas/soja e ervilhaca/milho; e

Sistema V: triticales/soja, triticales/soja, aveia preta rolada com rolo-facas/soja e ervilhaca/milho.

No rendimento de grãos de milho, na média dos dois anos (1987/1988 e 1988/1989), não houve diferenças para o fator ano, tipo de sucessão e interação ano x tipos de sucessão (Santos et al., 1990). Desta maneira, não houve diferença entre as médias de rendimento de grãos de milho, semeado após ervilhaca (6.714 kg/ha), aveia preta rolada com rolo-facas (7.375 kg/ha) ou após triticales, com um ou dois verões de rotação (7.257 kg/ha).

No período de 1987/1988 a 1995/1996, em Passo Fundo, RS, foram desenvolvidos sistemas de rotação de culturas envolvendo a cultura de milho, cujos os tratamentos consistiram de seis sistemas de rotação de culturas com trigo:

Sistema I: trigo/soja;

Sistema II: trigo/soja, de 1987 a 1989, e depois trigo/soja e ervilhaca/milho ou sorgo, de 1990 a 1995;

Sistema III: trigo/soja, aveia preta ou aveia branca/soja e ervilhaca/milho ou sorgo;

Sistema IV: trigo/soja, aveia preta ou linho/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho;

Sistema V: trigo/soja, trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho ou sorgo; e

Sistema VI: trigo/soja, trigo/soja, aveia preta ou linho/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho ou sorgo.

As culturas de inverno foram manejadas com preparo convencional de solo (arado e grade de discos) e as de verão, com semeadura direta.

Na análise conjunta do período de 1987/1988 a 1989/1990, observou-se diferenças nos rendimentos de grãos de milho, devido ao efeito das culturas antecessoras (Santos; Lhamby, 2001b). O milho estabelecido nos sistemas IV com 25% de milho (a cada quatro anos) (trigo/soja, aveia branca/soja, linho/soja e ervilhaca/milho - 7.547 kg/ha) e VI (trigo/soja, trigo/soja, aveia branca/soja, linho/soja e ervilhaca/milho - 7.739 kg/ha) mostrou rendimento de grãos mais elevado do que nas rotações compostas no sistema III (trigo/soja, aveia preta/soja e ervilhaca/milho - 6.923 kg/ha) e sistema V (trigo/soja, trigo/soja, aveia preta/soja e ervilhaca/milho - 6.890 kg/ha), que possuíam 33% de milho (a cada três anos). Santos e Pereira (1994), trabalhando com sistemas de rotação para milho, durante cinco anos, verificaram que o milho antecedido por ervilhaca (trigo/soja e ervilhaca/milho ou trigo/soja, linho/soja e ervilhaca/milho) produziu maior rendimento de grãos que o milho antecedido por tremoço (trigo/soja, aveia branca/soja, cevada/soja e tremoço/milho). Nesse mesmo trabalho a ervilhaca produziu mais matéria seca que o tremoço e, provavelmente, disponibilizou mais N no sistema.

Outra hipótese dessa diferença entre os rendimentos de grãos de milho no período de 1987/1988 a 1989/1990, pode estar relacionada com a cultura de soja. De acordo com Rodrigues et al. (1998), a soja, quando em situação de rendimento de grãos elevado, extrai mais N do que promove incorporação deste nutriente ao sistema. De acordo com esses autores, para produzir 2.800 kg/ha, a soja deixa no sistema um balanço negativo de até 50 kg/ha de N. Isso significa que, durante o seu ciclo, a soja pode reduzir o conteúdo de N no sistema.

A quantidade de água necessária para o milho completar seu ciclo é de aproximadamente 571 mm (Matzenauer, 1992). Contudo, na área de estudo, a precipitação pluvial normal é superior a esse valor, atingindo até 1.000 mm (Brasil, 1992). Pelo observado, no decorrer dos anos de condução deste trabalho, ocorreu precipitação pluvial menor que a normal somente em fevereiro de 1988 e de 1991. Isso repercutiu no rendimento de todos os tratamentos em 1987/1988. Em 1990/1991, o milho não produziu devido à ocorrência de forte estiagem.

Como em todos os sistemas estudados, a cultura de milho foi precedida por ervilhaca, sendo que parte destas diferenças pode estar relacionada com a segunda espécie que antecedeu o milho, a aveia preta (sistema III: trigo/soja, aveia preta/soja e ervilhaca/milho e; sistema V: trigo/soja, trigo/soja, aveia preta/soja e ervilhaca/milho). Nesse período, também foram usados na sequência do trigo, duas culturas de cobertura de solo no inverno (aveia preta e ervilhaca) antecedendo o milho. Deve-se considerar que para as culturas de cobertura não foi feita adubação de manutenção. Entretanto, a aveia branca que compôs o sistema IV (trigo/soja, aveia branca/soja, linho/soja e ervilhaca/milho) e o sistema V (trigo/soja, trigo/soja, aveia branca/soja, linho/soja e ervilhaca/milho), recebeu, além da adubação de manutenção, adubação nitrogenada de cobertura. Por sua vez, a palhada remanescente de linho, que foi a segunda espécie nos sistemas mais produtivos, apresenta contribuição positiva no balanço de N ao mesmo, pois, de acordo com Abrão e Canal (1982), o linho, para produzir 1 t/ha de grãos,

pode deixar no sistema 92 kg de N/ha. Desta maneira, pode ter havido um efeito diferenciado de todas as espécies que compuseram os sistemas de rotação de culturas, no desenvolvimento e acúmulo de N, pela ervilhaca que antecedeu a cultura de milho.

De 1991/1992 a 1992/1993, não houve diferenças entre as médias anuais e conjunta do rendimento de grãos de milho. Neste período, não havia aveia preta como cultura de cobertura de solo. A precipitação pluvial em 1991/1992 e 1992/1993 foi bem distribuída (Brasil, 1992). Pelo observado, nem as culturas em rotação a milho, nem a precipitação pluvial, interferiram no rendimento de grãos de milho.

De 1994/1995 a 1995/1996, não houve diferenças entre as médias de rendimento de grãos de sorgo. As culturas em rotação ao sorgo não influenciaram o rendimento de grãos desse cereal. No trabalho conduzido por Langdale et al. (1990), nos Estados Unidos da América, durante oito anos, foram encontradas diferenças entre o rendimento de grãos de sorgo a favor da rotação de culturas, (sistema I: soja, sorgo, soja e sorgo; sistema II: soja, soja, sorgo e soja; sistema III: soja, soja, sorgo e sorgo; sistema IV: sorgo, sorgo, soja e soja; sistema V: sorgo, sorgo, sorgo e soja; sistema VI: sorgo, sorgo, soja e sorgo; e sistema VII: sorgo, soja, sorgo e soja) em comparação com a monocultura dessa cultura (sorgo).

Portanto, nos dois anos de estudos (1991/1992 a 1992/1993), o rendimento de grãos de sorgo em todos os sistemas foi semelhante, daí o motivo de não haver diferenças significativas na média conjunta dos anos. No ano de 1994/1995, quando a precipitação pluvial foi bem distribuída, os rendimentos de grãos de sorgo foram superiores (8.640 kg/ha), enquanto que o baixo rendimento de grãos de 1995/1996 (4.942 kg/ha) pode ser explicado, em parte, pela estiagem ocorrida no mês de dezembro. Dessa forma, a falta de umidade no solo afetou todos os sistemas estudados. De acordo com Assis e Verona (1991), o sorgo consome em torno de 460 mm de água durante o ciclo.

Os sistemas IV e VI tinham a aveia preta como cultura de cobertura de solo. Além disso, a aveia preta era a terceira espécie alternativa de inverno (aveia preta, aveia branca e ervilhaca) antecedendo o sorgo, o que não foi tão importante como no primeiro período de estudo.

Com base nos resultados obtidos em experimentos, qualquer um dos sistemas de rotação de culturas estudados pode ser indicado para a cultura do milho. Apesar de não haver dados com experimentos de campo com a cultura do sorgo, os sistemas de rotação estudados podem ser indicados para esta cultura.

De 1987/1988 a 1989/1990, a cultura de milho apresentou maior rendimento (8.891 kg/ha) somente no último ano. No período de 1991/1992 a 1992/1993, não houve diferenças entre os anos. Em 1994/1995, o sorgo apresentou, em média, maior rendimento de grãos (8.640 kg/ha) do que em 1995/1996 (4.942 kg/ha).

No estudo realizado, em Guarapuava, PR, os resultados de rendimento de milho foram divididos em dois períodos, de 1984/1985 a 1989/1990 e 1990/1991 a 1993/1994, pois os tratamentos com milho passaram de três para duas sucessões, após as leguminosas de inverno (Santos et al., 1998b). Os tratamentos consistiram em quatro sistemas de rotação de culturas com trigo:

Sistema I: trigo/soja;

Sistema II: trigo/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja;

Sistema III: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja; e

Sistema IV: trigo/soja, ervilhaca/milho, cevada/soja e aveia branca/soja.

Isso decorreu da substituição, em 1990, no sistema II, da sucessão ervilhaca/milho por aveia branca/soja. Além disso, no inverno de 1989, a cultura de tremoço foi substituída por serradela, pois havia sido seriamente afetada por doenças, principalmente antracnose (*Colletotrichum gloesporioides*).

A cultura do milho, quando cultivada após resteevas de leguminosas de inverno (ervilhaca: 7.507 kg/ha e tremço: 6.894 kg/ha), mostrou efeito significativo na média do rendimento de grãos de 1984/1985 a 1988/1989 (Santos et al., 1998b). O agrupamento das médias com resultados de vários anos seguiu a mesma tendência, cujos rendimentos de grãos de milho cultivado após ervilhaca (sistema I: 7.431 kg/ha e sistema II: 7.583 kg/ha) foi superior ao do milho cultivado após tremço (6.894 kg/ha). Salienta-se que foi usado tremço azul (*Lupinus angustifolius* L.), indicado para a região (Recomendações..., 1988). Nas observações de campo, essa leguminosa, em termos de desenvolvimento no inverno e de cobertura de solo no verão, foi inferior à ervilhaca (Santos et al., 1998b).

Em 1989 o milho antecedido por ervilhaca (sistema II: 7.866 kg/ha e sistema III: 8.312 kg/ha) e por serradela (sistema IV: 8.558 kg/ha) não apresentou diferenças entre as médias de rendimento de grãos. Da mesma forma, o milho antecedido por ervilhaca, no sistema III (6.599 kg/ha) e no sistema IV (6.675 kg/ha), de 1990/1991 a 1993/1994, não diferiu quanto ao rendimento de grãos.

Nesse período foram desenvolvidos sistemas de rotação de culturas para cevada, envolvendo a cultura de milho:

Sistema I: cevada/soja;

Sistema II: cevada/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja;

Sistema III: cevada/soja, linho/soja e ervilhaca/milho; e

Sistema IV: cevada/soja, linho/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho, com as mesmas modificações dos sistemas de rotação de culturas com trigo (Santos et al., 1997c).

No período de 1984/1985 a 1989/1990, o milho cultivado após ervilhaca não diferiu para o rendimento de grãos (sistema II: 7.089 kg/ha, sistema III: 7.372 kg/ha e sistema IV: 7.152 kg/ha) (Santos et al., 1997c). Da mesma forma, o milho cultivado de 1990/1991 a 1993/1994 não mostrou diferenças



entre as médias para rendimento de grãos, no sistema III: 7.516 kg/ha e no sistema IV: 7.960 kg/ha.

No período de 1990 a 1995, em Passo Fundo, RS, a Embrapa Trigo desenvolveu trabalhos, no Centro de Extensão e Pesquisa Agronômica (Cepagro), da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAMV) da Universidade de Passo Fundo (UPF), com sistemas de produção integração lavoura + pecuária com pastagens anuais de inverno, envolvendo a cultura de milho, sob sistema plantio direto (Fontaneli et al., 2000b). Os tratamentos constaram dos seguintes sistemas:

Sistema I: trigo/soja, pastagem de aveia preta/soja e pastagem de aveia preta/soja;

Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho;

Sistema III: trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; e

Sistema IV: trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja.

Não houve diferença para rendimento de grãos de milho (5.960 kg/ha e 6.770 kg/ha) entre os sistemas. Os resultados indicaram que o milho pode mostrar elevada produtividade, mesmo cultivado após pastagem de aveia preta + ervilhaca, na região Sul do Brasil.

No período de 1995 a 2000, em Coxilha, RS, foram estudados sistemas de produção com pastagens anuais de inverno e de verão. Os tratamentos foram constituídos por seis sistemas de produção com integração lavoura + pecuária, envolvendo a cultura de milho (Santos et al., 2006):

Sistema I: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho;

Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho;

Sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milheto;



Sistema IV: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/  
pastagem de milho;

Sistema V: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho; e

Sistema VI: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho.

O rendimento médio de grãos de milho no período de 8 anos, para o sistema I de rotação de culturas, foi de 6.425 kg/ha, e, para o sistema II, de 6.686 kg/ha. A cada ano e na média conjunta dos anos (1995/1996 a 2002/2003), não houve diferença entre as médias para rendimento de grãos de milho.

No período de 2003 a 2008, houve mudanças nos tratamentos dos sistemas de produção com integração lavoura + pecuária, conduzidos em Coxilha, RS, nos quais foram introduzidas culturas de cobertura de solo e de duplo propósito:

Sistema I: trigo/soja e ervilhaca/milho (Santos et al., 2009a);

Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta/milho;

Sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta/soja;

Sistema IV: trigo/soja e ervilha/milho;

Sistema V: trigo/soja, triticale duplo propósito/soja e ervilhaca/soja; e

Sistema VI: trigo/soja, aveia branca de duplo propósito/soja e trigo duplo propósito/soja.

Na análise anual dos dados, observou-se diferença no rendimento de grãos, número de grãos/planta e peso de grãos/planta de milho, na safra 2005/2006 (Tabela 1). O milho cultivado após aveia preta apresentou rendimento de grãos (8.656 kg/a), número de grãos/planta (666) e massa de grãos/planta (221 g) mais elevado do que o milho cultivado após ervi-

lha (6.822 kg/ha, 582 e 168 g, respectivamente). O milho cultivado após a ervilhaca situou-se numa posição intermediária para essas variáveis. Na safra de 2008/2009, o número de espigas/m<sup>2</sup> foi maior no milho cultivado após ervilhaca (5,0) e ervilha (5,0), em comparação ao milho cultivado após aveia preta (4,6). Porém, na safra de 2007/2008, o milho cultivado após aveia preta (360 g) apresentou massa de mil grãos mais elevado, em relação ao milho cultivado após ervilhaca (328 g) e ervilha (322 g).

Na análise conjunta dos anos, houve diferença para o tipo de cultura antecessora para rendimento de grãos, número de espiga/m<sup>2</sup>, número de grãos/planta, massa de grãos/planta e massa de mil grãos de milho. Não houve diferença entre as médias para estatura de plantas e altura de inserção das primeiras espigas (Tabela 1). O milho cultivado após aveia preta mostrou rendimento de grãos (5.972 kg/ha) e massa de mil grãos (341 g) maior do que o milho cultivado após ervilha (5.331 kg/ha e 321 g, respectivamente), enquanto que, o milho cultivado após ervilhaca (5.518 kg/ha e 322 g, respectivamente) ficou numa posição intermediária. O número de espigas/m<sup>2</sup> de milho foi superior no milho cultivado após ervilha (5,5), em comparação aos demais sistemas estudados. Por outro lado, o número de grãos/planta de milho foi mais elevado no milho cultivado após ervilhaca (419) e aveia preta (440), em relação ao milho cultivado após ervilha (382). A maior massa de grãos/planta de milho ocorreu no milho cultivado após aveia preta (152 g), em comparação ao milho cultivado após ervilhaca (137 g) e ervilha (125 g).

O maior rendimento de grãos de milho cultivado após aveia preta pode ser explicado, em parte, pela maior massa de grãos de milho/planta. Nesses anos de estudo tem sido observado que as culturas leguminosas não têm apresentado quantidades elevadas de matéria seca, provavelmente devido ao outono e inverno atípicos, ou seja, relativamente secos durante o crescimento e desenvolvimento dessas espécies. Além disso, deve-se levar em conta que o milho cultivado após leguminosas não recebeu adubação nitrogenada de cobertura, o que provavelmente limitou o rendimento de grãos.

**Tabela 1.** Efeito de culturas de inverno, envolvendo culturas produtoras de grãos com pastagens anuais de inverno, sob plantio direto no rendimento de grãos, espigas/m<sup>2</sup>, número de grãos/planta, peso de grãos/planta, massa de mil grãos, estatura de plantas e altura de inserção da primeira espiga de milho, de 2004/2005 a 2008/2009. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

Sistemas de produção	Ano					Média
	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	
	Rendimento de grãos de milho (kg ha <sup>-1</sup> )					
Milho após ervilhaca – Sistema I	1.717	7.589 ab	5.079	5.842	7.362	5.518 ab
Milho após aveia preta – Sistema II	1.736	8.656 a	6.259	5.943	7.269	5.972 a
Milho após ervilha – Sistema III	1.633	6.822 b	5.699	5.646	6.856	5.331 b
Média	1.695 C	7.689 A	5.679 B	5.810 B	7.162 A	5.607
C.V. (%)	19	13	13	5	13	-
F tratamentos	0,12ns	3,60ns	1,19ns	1,11ns	0,31ns	2,19*
	Número de espigas de milho/m <sup>2</sup>					
Milho após ervilhaca – Sistema I	4,4	5,0	5,1 ab	6,1	5,0 a	5,2 b
Milho após aveia preta – Sistema II	4,2	4,8	4,3 b	6,2	4,6 b	4,8 c
Milho após ervilha – Sistema III	4,7	5,0	5,6 a	5,9	5,0 a	5,5 a
Média	4,8 B	4,9 B	5,1 B	6,1 A	4,9 B	5,2
C.V. (%)	16	6	9	9	4,0	-
F tratamentos	4,61ns	0,90ns	7,01*	0,49ns	9,3*	8,73**
	Número de grãos por planta de milho					
Milho após ervilhaca – Sistema I	272	583 ab	368	409	462	419 a
Milho após aveia preta – Sistema II	308	666 a	363	401	467	440 a

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Sistemas de produção	Ano						Média
	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009	
Milho após ervilhaca – Sistema III	258	538 b	339	365	412	382 b	
Média	279 D	595 A	357 C	392 C	447 B	414	
C.V. (%)	20	8	14	8	8	-	
F tratamentos	0,82ns	7,06*	0,40ns	2,12ns	2,60ns	6,172**	
Peso de grãos por planta de milho (g)							
Milho após ervilhaca – Sistema I	66	192 ab	144	135	148	137 b	
Milho após aveia preta – Sistema II	80	221 a	152	144	161	152 a	
Milho após ervilhaca – Sistema III	63	168 b	130	118	143	125 c	
Média	70 D	194 A	142 BC	132 C	151 B	138	
C.V. (%)	29	10	14	10	6	-	
F tratamentos	0,80ns	7,73*	1,13ns	4,25ns	3,84ns	12**	
Massa de mil grãos de milho (g)							
Milho após ervilhaca – Sistema I	243	328	391	328 b	322	322 ab	
Milho após aveia preta – Sistema II	253	331	419	360 a	346	341 a	
Milho após ervilhaca – Sistema III	241	313	384	322 b	347	321 b	
Média	246 C	324 B	398 A	336 B	339 B	329	
C.V. (%)	10	4	7	4	6	-	
F tratamentos	0,28ns	2,58ns	1,78ns	8,33*	1,95ns	6,9**	
Estatura de plantas de milho (cm)							
Milho após ervilhaca – Sistema I	159	198	224	214	146	186	

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Sistemas de produção	Ano					
	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	Média
Milho após aveia preta – Sistema II	159	208	175	266	142	181
Milho após ervilha – Sistema III	151	200	214	208	141	182
Média	155 B	202 A	204 A	213 A	143 B	183
C.V. (%)	11	7	16	3	7	-
F tratamentos	0,20ns	0,59ns	2,38ns	1,59ns	0,29ns	0,44ns
Altura de inserção da primeira espiga de milho (cm)						
Milho após ervilhaca – Sistema I	76	88	103	100	67	87
Milho após aveia preta – Sistema II	81	89	91	101	62	84
Milho após ervilha – Sistema III	74	89	96	100	64	85
Média	77 C	89 B	97 A	100 A	64 D	85
C.V. (%)	17	7	8	4	12	-
F tratamentos	0,38ns	0,03ns	4,37ns	0,09ns	0,35ns	0,40ns

Sistema I (trigo/soja, e ervilhaca/milho); sistema II (trigo/soja e pastagem de aveia preta/milho); sistema III I (trigo/soja, e ervilha/milho). Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna e maiúscula, na horizontal para cada variável de resposta, não apresentam diferenças significativas, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan. ns: não significativa; \*: nível de significância de 5%, e \*\*: nível de significância de 1%.

O maior número de grãos/planta (595) e peso de grãos/planta (194 g) ocorreram na safra 2005/2006. Isso por sua vez, proporcionou, nessa safra, o rendimento de grãos de milho mais elevado (7.689 kg/ha), em relação aos demais anos estudados, porém sem diferir da safra 2008/2009.

Deve-se considerar que o efeito da rotação/sucessão de culturas, na região Sul do Brasil, tem sido mais pronunciado para o rendimento de grãos e características agronômicas dos cereais de inverno, principalmente trigo e cevada. Na cultura da soja, esse efeito foi detectado na década de 1980, no experimento de sistemas de rotação de culturas para trigo (Santos; Reis, 1991).

No estudo desenvolvido em Passo Fundo, RS, na Embrapa Trigo, no período de 1984/1985 a 1988/1989, com sistemas de rotação de culturas, envolvendo a cultura de soja, esta leguminosa esteve presente em três dos quatro sistemas:

Sistema I: trigo/soja;

Sistema II: trigo/soja, colza/soja, cevada/soja e leguminosa/milho;

Sistema III: trigo/soja, aveia branca/soja e leguminosa/milho e;

Sistema IV: trigo/soja, colza/soja, linho/soja e leguminosa/milho.

Na média conjunta de 1984/1985 a 1988/1989, a soja cultivada após trigo, nos sistemas II (2.522 kg/ha), III (2.604 kg/ha) e IV (2.650 kg/ha); após linho (2.273 kg/ha); após aveia branca rolada (2.315 kg/ha); e após cevada (2.255 kg/ha), apresentou o melhor rendimento de grãos (Tabela 2). Entretanto, os quatro últimos tratamentos (soja após trigo e linho, sistemas IV; após aveia branca rolada, sistema III e após cevada, sistema II) não foram diferentes da soja cultivada após trigo, no sistema I (2.107 kg/ha). A soja cultivada após colza mostrou o menor rendimento de grãos (1.746 kg/ha e 1.802 kg/ha) e a menor estatura de plantas (78 cm e 79 cm). Resulta-

dos semelhantes de estatura de plantas foram obtidos por Vilhordo et al. (1985). Nos anos de 1986/1987 e de 1987/1988, o rendimento de grãos de soja foi prejudicado por estiagens, afetando o rendimento médio de grãos que foi de 1.566 kg/ha e 1.436 kg/ha, respectivamente.

De acordo com Almeida (1988) e com Patrick et al. (1964), o resíduo cultural de colza pode provocar efeito negativo na cultura em sucessão, devido a substâncias tóxicas liberadas durante sua decomposição. Chew (1988) verificou que espécies de colza (*Brassica napus* L.) produzem grandes quantidades de glucosinolatos e de outros produtos derivados do metabolismo secundário, os quais são convertidos em diversos aleloquímicos. Isso ocorre, principalmente, em períodos com distribuição irregular de precipitações pluviais durante o estabelecimento e o desenvolvimento da soja cultivada após colza (Santos; Reis, 1991; Eberlein et al., 1998). O efeito danoso da colza cultivada no inverno ficou evidenciado na soja em semeadura direta, pela redução da estatura de plantas e pela redução do rendimento de grãos desta leguminosa, em anos com ocorrência de estresse hídrico (Santos; Reis, 1991). Esses sintomas não foram observados no solo manejado com preparo convencional, provavelmente devido à diluição das substâncias tóxicas pelo revolvimento do solo (observações em lavouras de soja na região de Ijuí, sob preparo convencional de solo). O efeito da redução na estatura de plantas de soja cultivadas após colza já havia sido observado anteriormente por Santos et al. (1983). No Rio Grande do Sul foi relatado que alguns agricultores deixaram de semear soja sobre os resíduos de colza devido aos efeitos dessa crucífera na redução da estatura de plantas (Almeida, 1988).

**Tabela 2.** Efeitos de culturas de inverno no rendimento de grãos de soja (kg/ha), de 1984/1985 a 1988/1989. Passo Fundo, RS.

Tipos de sucessão	Ano							
	1984/1985	1985/1986	1986/1987	1987/1988	DS	1988/1989	DS	Média
Soja após: trigo <sup>4</sup>	3.682 ns	2.913 a	1.752 ab	1.778 ab	18.11	3.123 a	24.11	2.650 a
trigo <sup>3</sup>	3.609	2.807 ab	1.756 a	1.959 a	18.11	2.887 a	24.11	2.604 a
linho	3.781	2.772 ab	1.551 bc	1.282 c	18.11	1.978 bc	09.12	2.273 ab
trigo <sup>2</sup>	3.725	2.725 ab	1.493 cd	1.770 ab	18.11	2.899 a	24.11	2.522 ab
aveia branca	3.523	2.585 b	1.768 a	1.450 bc	18.11	2.250 b	11.11	2.315 ab
cevada	3.734	2.558 b	1.580 abc	1.374 bc	18.11	2.028 bc	24.11	2.225 ab
trigo <sup>1</sup>	3.550	2.669 ab	1.454 cd	1.196 c	18.11	1.668 d	24.11	2.107 bc
colza <sup>6</sup>	3.415	1.106 c	1.434 cd	1.109 c	02.12	1.944 cd	09.12	1.802 c
colza <sup>5</sup>	3.491	903 c	1.306 d	1.009 c	04.12	2.023 bc	09.12	1.746 c
Média	3.612	2.338	1.566	1.436	-	2.311	-	2.253
CV (%)	6	9	9	23	-	9	-	-

<sup>1</sup>Monocultura de trigo; <sup>2</sup>Trigo após colza, cevada e tremoço ou serradela; <sup>3</sup>Trigo após aveia branca rolada ou ervilhaca; <sup>4</sup>Trigo após colza, linho e tremoço ou serradela; <sup>5</sup>Colza após cevada, tremoço ou serradela e trigo; e <sup>6</sup>Colza após linho, tremoço ou serradela e trigo. DS: data de semeadura. Médias seguidas de mesma letra, na vertical, não apresentam diferenças significativas, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan. ns: não significativo.



O baixo rendimento de grãos de soja, cultivada em monocultura, desde 1984, pode ser devido aos efeitos negativos da própria cultura da soja, uma vez que a ocorrência de doenças não atingiu limiar capaz de explicar os decréscimos de rendimento de grãos de soja, quando comparada com cultivo sob rotação de culturas. A decomposição dos resíduos culturais da soja leva à liberação de alguns compostos, os quais podem se acumular no solo até atingir níveis que se tornem inibidores do crescimento da própria planta (Almeida, 1988). Na Antiguidade, os agricultores mantinham áreas cultivadas em pousio, para que se recuperassem dos efeitos negativos da monocultura, nos quais a alelopatia poderia estar envolvida, semelhante à autoalelopatia que ocorre com alfafa (Oliveira; Oliveira, 1999).

No período de 1985/1986 a 1988/1989, na Embrapa Trigo, em Passo Fundo, RS, foram desenvolvidos estudos em dois tipos de experimentos:

### **1) Soja com aveias para grãos:**

Sistema I: trigo/soja;

Sistema II: trigo/soja e aveia preta/soja;

Sistema III: trigo/soja, aveia preta/soja e aveia preta/soja;

Sistema IV: trigo/soja, aveia preta/soja, aveia preta/soja e aveia preta/soja;

Sistema V: trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja;

Sistema VI: trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja e aveia branca/soja;

Sistema VII: aveia branca/soja; e

sistema VIII: azevém/soja.

### **2) Soja com aveia preta e azevém para pastagem:**

Sistema I: trigo/soja;

Sistema II: trigo/soja, de azevém/soja e azevém/soja;

Sistema III: trigo/soja, aveia preta/soja e aveia preta/soja;

Sistema IV: trigo/soja, aveia preta/soja, aveia preta/soja e aveia preta/soja;  
e

Sistema V: aveia preta/soja).

Nas safras de 1985/1986 a 1988/1989, não houve diferença entre as médias anuais e nem na média conjunta do rendimento de grãos (1.465 kg/ha a 1.789 kg/ha) (Tabela 3), número de legumes por planta (23,2 a 31,3), número de grãos por planta (39,9 a 50,3) e massa de mil grãos da soja (191 g a 200 g), da soja cultivada entre os sistemas de rotação de culturas para trigo e aveias para grãos (Santos, 1991b). Os baixos rendimentos de grãos de soja, registrados na safra de 1987/1988, foram devidos à estiagem, o que ocasionou a necessidade de ressemeiar essa leguminosa na segunda quinzena de dezembro.

A massa de grãos por planta de soja mostrou diferenças entre as médias de dois dos quatro anos estudados. No ano agrícola de 1985/1986, a menor massa de grãos por planta ocorreu na soja cultivada após trigo [sucessões aveia branca e aveia branca (9,0 g/planta); aveia preta, aveia preta e aveia preta (10,9 g/planta); aveia branca, aveia branca e aveia branca (10,9 g/planta)] e monocultura de azevém (11,1 g/planta). Em 1988/1989, as menores massas de grãos por planta se manifestaram na soja após monocultura de aveia branca (5,6 g/planta), aveia preta [sucessão trigo, aveia preta e aveia preta (5,8 g/planta)] e aveia branca [sucessão aveia branca, trigo e aveia branca (6,0 g/planta)].

A altura de plantas e a altura de inserção dos primeiros legumes mostraram efeitos em dois dos quatro anos estudados e na análise conjunta (Santos, 1991b). As menores estaturas de plantas, na média dos anos, manifestaram-se na soja depois de todos os tratamentos que continham aveia branca (78,4 cm a 82,8 cm/planta), em três dos sete anos de aveia preta (81,1 cm a 84,6 cm/planta) e no azevém (82,1 cm/planta). Na altura de inserção do primeiro legume, na média dos anos, isto se repetiu em parte, ou seja, as menores alturas de inserção ocorreram na soja após quatro dos seis

tratamentos com aveia branca (22,0 cm a 24,3 cm/planta), em cinco dos sete com aveia preta (21,7 cm a 24,1 cm/planta), em dois dos seis com trigo (23,2 cm e 23,8 cm/planta) e no azevém (23,3 cm/planta).

**Tabela 3.** Efeitos do cultivo de aveia branca, aveia preta, azevém e trigo no rendimento de grãos (kg/ha) da soja. Passo Fundo, RS.

Sistema de cultivo	1985/1986	1986/1987	1987/1988	1988/1989	Média
Soja após: trigo <sup>1</sup>	1.607 ns	2.108 ns	552 ns	1.784 ns	1.513 ns
aveia preta <sup>7</sup>	1.920	1.665	509	1.764	1.465
aveia preta <sup>8</sup>	2.172	1.884	702	1.712	1.618
trigo <sup>2</sup>	2.102	2.268	558	2.023	1.738
aveia preta <sup>9</sup>	2.037	1.899	730	1.525	1.548
aveia preta <sup>9</sup>	2.349	1.856	688	1.858	1.688
trigo <sup>3</sup>	2.044	2.513	758	1.742	1.764
aveia preta <sup>10</sup>	2.079	1.731	559	1.730	1.525
aveia preta <sup>10</sup>	2.056	1.749	525	1.780	1.620
aveia preta <sup>10</sup>	1.942	2.144	629	1.765	1.620
trigo <sup>4</sup>	2.323	1.613	772	1.988	1.674
aveia branca <sup>11</sup>	1.922	2.087	698	1.579	1.572
aveia branca <sup>11</sup>	1.865	2.061	790	1.894	1.653
trigo <sup>5</sup>	2.200	2.373	632	1.950	1.789
aveia branca <sup>12</sup>	1.827	2.034	888	1.785	1.634
aveia branca <sup>12</sup>	1.678	2.253	719	1.780	1.608
aveia branca <sup>12</sup>	1.932	2.130	973	1.858	1.723
trigo <sup>6</sup>	2.031	2.299	587	2.060	1.744
aveia branca <sup>13</sup>	1.672	2.017	826	1.876	1.598
avevém	2.330	2.189	606	1.860	1.746
Média	2.004	2.044	685	1.816	1.637
CV (%)	18	20	24	12	-

<sup>1</sup>Monocultura de trigo; <sup>2</sup>Trigo após um inverno de aveia preta; <sup>3</sup>Trigo após dois invernos de aveia preta; <sup>4</sup>Trigo após três invernos de aveia preta; <sup>5</sup>Trigo após dois invernos de aveia branca; <sup>6</sup>Trigo após três invernos de aveia branca; <sup>7</sup>Monocultura de aveia preta; <sup>8</sup>Aveia preta do trigo<sup>2</sup>; <sup>9</sup>Aveia preta do trigo<sup>3</sup>; <sup>10</sup>Aveia preta do trigo<sup>4</sup>; <sup>11</sup>Aveia branca do trigo<sup>5</sup>; <sup>12</sup>Aveia branca do trigo<sup>6</sup>; e <sup>13</sup>Monocultura de aveia branca. ns: não significativo.

Observou-se na condução desse experimento que a infestação das aveias (branca e preta) como plantas daninhas na cultura sucessora foi devida à maturação desuniforme das cultivares de aveia, à má regulagem da colhedora, à precipitação de granizo próximo à colheita e à semente dormente que permanece no solo de um ano para outro.

Além disso, as aveias produziram maior quantidade de palha (aveia branca 7 t/ha e aveia preta 11 t/ha) em relação à cultura do trigo (2 t/ha), o que dificultou o estabelecimento da soja em semeadura direta. Como consequência, a semeadora não conseguiu cortar a palhada e nem distribuir a semente de soja na profundidade desejada. Estes problemas foram agravados em períodos de baixa precipitação pluvial, logo após a colheita da aveia, devido a menor taxa de decomposição dos resíduos culturais.

Além disso, nesse período de estudo, verificou-se que a soja, principalmente depois da aveia branca, apresentou, ao longo do ciclo, menor estatura de planta (Santos, 1991b) e folhas com coloração verde menos intensa, em relação aos demais tratamentos, recuperando-se, em parte, no final do ciclo. Isto também foi observado por Santos et al. (1998b), em experimento conduzido no Estado do Paraná. Como se tratava de semeadura direta, pode ter havido excesso de palha de aveia na superfície do solo. De acordo com Almeida e Rodrigues (1985), pode, também, ter ocorrido liberação de algumas substâncias inibidoras durante a decomposição da palhada da aveia, tais como os derivados do ácido cinâmico.

Pelas observações feitas, em outros experimentos, em Passo Fundo, os resíduos de cevada e do trigo possibilitam adequadas coberturas do solo, enquanto que os das aveias para grãos possuíam quantidade excessiva (Santos; Reis, 1990; Santos et al. 1991, 1998b). Com a criação de novas cultivares de aveia branca, com ciclo semelhante ao da cultura do trigo e com menor porte (menos palhada), será possível cultivar esta gramínea em sistemas de rotação, sem restrições de anteceder à cultura de soja.

Além disso, já existe no mercado novas semeadoras para realizar boas semeaduras nessas condições.

Na média conjunta dos anos de 1985/1986 a 1988/1989, não houve diferença no rendimento de grãos de soja cultivada nos diferentes sistemas de rotação de cultura para trigo com aveia preta e azevém para pastagem (Tabela 4) (Santos, 1991a). Porém, no ano agrícola de 1987/1988, houve diferença entre as médias de rendimento de grãos da soja nos diferentes sistemas de cultivo. Os maiores rendimentos de grãos ocorreram onde a soja foi cultivada após aveia preta no primeiro e no segundo cultivos (sucessão - aveia preta, aveia preta e trigo); monocultura de aveia preta; aveia preta no primeiro, no segundo e no terceiro cultivos (sucessão - aveia preta, aveia preta, aveia preta e trigo); monocultura de trigo; e azevém no segundo cultivo (sucessão - azevém, azevém e trigo). Entretanto, estes últimos cinco tratamentos não foram diferentes da soja depois de azevém no primeiro cultivo, na sucessão azevém, azevém e trigo.

No ano agrícola de 1988/1989, o número de legumes por planta e a massa de mil grãos da soja apresentaram diferenças entre as médias. O número mais elevado de legumes por planta manifestou-se na soja após a aveia preta, por três invernos (26,5 a 29,9), aveia preta por dois invernos, azevém no primeiro cultivo (28,0 para os dois sistemas) e monocultura de trigo (25,5). Contudo, estes três últimos tratamentos, e o com primeiro e o segundo cultivos da aveia preta foram iguais à soja depois da monocultura de aveia preta e trigo na sucessão com aveia preta por dois invernos. O valor mais elevado da massa de mil grãos ocorreu na soja cultivada após trigo [sucessão azevém, azevém e trigo (179 g)], aveia preta no terceiro cultivo (179 g), monocultura de trigo (176 g), aveia preta no primeiro cultivo (174 g), trigo na sucessão com aveia preta por dois invernos (171 g) e azevém no primeiro cultivo (169 g) (Santos, 1991a). Todavia, estes quatro últimos tratamentos não foram diferentes à soja depois da aveia preta no primeiro cultivo (sucessão aveia preta, aveia preta e trigo).

**Tabela 4.** Efeitos do cultivo de aveia preta, azevém e trigo no rendimento de grãos (kg/ha) da soja. Passo Fundo, RS.

Sistema de cultivo	1985/1986	1986/1987	1987/1988	1988/1989	Média
Soja após: trigo <sup>1</sup>	2.742 ns	2.071 ns	1.632 abcd	1.952 ns	2.099 ns
aveia preta <sup>5</sup>	2.453	2.110	2.121 a	1.511	2.049
Azevém <sup>6</sup>	2.390	1.973	1.471 bcd	1.783	1.904
Azevém <sup>6</sup>	2.623	2.455	1.605 abcd	1.668	2.088
trigo <sup>2</sup>	2.549	2.087	1.324 d	1.834	1.949
aveia preta <sup>7</sup>	2.442	2.077	2.164 a	1.908	2.148
aveia preta <sup>7</sup>	2.546	2.046	2.086 a	1.652	2.083
trigo <sup>3</sup>	2.826	2.085	1.364 cd	1.737	2.003
aveia preta <sup>8</sup>	2.467	2.265	1.728 abcd	1.709	2.042
aveia preta <sup>8</sup>	2.586	2.168	1.943 abc	1.598	2.074
aveia preta <sup>8</sup>	2.486	2.274	2.000 ab	2.007	2.192
trigo <sup>4</sup>	2.369	2.096	1.390 cd	1.463	1.830
Média	2.540	2.142	1.736	1.735	2.038
CV (%)	13	11	24	14	-

<sup>1</sup>Monocultura de trigo; <sup>2</sup>Trigo após dois invernos de azevém; <sup>3</sup>Trigo após dois invernos de aveia preta; <sup>4</sup>Trigo após três invernos de aveia preta; <sup>5</sup>Monocultura de aveia preta; <sup>6</sup>Azevém do trigo<sup>2</sup>; <sup>7</sup>Aveia preta do trigo<sup>3</sup>; e <sup>8</sup>Aveia preta do trigo<sup>4</sup>. ns: não significativo.

No número de grãos por planta de soja, houve diferença somente na média conjunta dos anos, nos sistemas de cultivos estudados. O valor mais elevado do número de grãos por planta ocorreu na soja após aveia preta no primeiro e no segundo cultivos (sucessão aveia preta, aveia preta e trigo (28,0 e 29,1), aveia preta no primeiro e segundo cultivos (26,5 a 29,9), azevém no primeiro e segundo cultivos (28,7) e monocultura de trigo (25,5). Entretanto, estes seis últimos tratamentos não foram diferentes à soja depois da monocultura de aveia preta e ao trigo em sucessão com aveia preta por três invernos.

A massa de grãos por planta da soja apresentou diferença somente na média conjunta dos anos, nos sistemas de cultivo. A massa de grãos foi mais elevada na soja após aveia preta no primeiro e no segundo cultivos (sucessão aveia preta, aveia preta e trigo, aveia preta (9,58 g/planta e 10,5 g/planta), no primeiro, no segundo e no terceiro cultivos (9,8 g/planta a 10,2 g/planta) e azevém no primeiro e no segundo cultivos (9,8 g/planta e 9,9 g/planta). Contudo, estes seis últimos não foram diferentes da soja depois da monocultura de trigo.

A estatura de plantas mostrou diferenças em todos os anos, exceto em 1987/1988 e na média conjunta dos anos. As menores estaturas de plantas, na média dos anos, manifestaram-se na soja após a aveia preta cultivada por dois ou mais invernos seguidos (89 cm/planta); aveia preta, aveia preta e trigo (89 cm/planta) e após azevém (86 cm/planta), em comparação aos tratamentos com trigo e à monocultura de aveia preta.

A altura de inserção dos primeiros legumes da soja foi afetada em dois dos quatro sistemas estudados (Santos, 1991a). Na média de 1985/1986 a 1988/1989, as menores alturas de inserção dos primeiros legumes ocorreram na soja após as aveias cultivadas por dois ou mais invernos seguidos (26 cm/planta); aveia preta, aveia preta, aveia preta e trigo (24 cm/planta a 28 cm/planta) e após o azevém (26 cm/planta e 27 cm/planta), em relação aos tratamentos com trigo e com monocultura da aveia preta.

De acordo com o propósito do experimento, a soja foi semeada depois de aveia preta e do azevém, em sistema plantio direto, praticamente sem resíduo cultural dos mesmos, ou seja, estas gramíneas foram cortadas três vezes, como se fossem pastejadas. Pelos resultados observados, isto não repercutiu negativamente no rendimento de grãos da soja. Por outro lado, a soja apresentou a melhor emergência, na maioria dos anos, após aveia preta e após azevém.

Os resíduos culturais do trigo possibilitaram boa cobertura do solo, o que confirma as observações já registradas em outros experimentos (Santos et al., 1991, 1998b). O mesmo não aconteceu com a aveia preta e com o azevém, que praticamente não proporcionaram cobertura do solo, pois a palhada foi retirada pelos cortes.

No período de 1987/1988 a 1988/1989, em Passo Fundo, RS, foram desenvolvidos cinco sistemas de rotação de culturas para triticales, envolvendo a cultura de soja:

Sistema I: triticales/soja;

Sistema II: triticales/soja e aveia preta rolada com rolo-facas/soja;

Sistema III: triticales/soja e ervilhaca/milho;

Sistema IV: triticales/soja, aveia preta rolada com rolo-facas/soja e ervilhaca/milho; e

Sistema V: triticales/soja, triticales/soja, aveia preta rolada com rolo-facas/soja e ervilhaca/milho.

O rendimento de grãos da soja, na média dos anos estudados (1987/1988 e 1988/1989), foi influenciado pelo ano (Santos et al., 1990). Não houve diferença entre as médias de rendimento de grãos da soja em sucessão as culturas de aveia preta rolada com rolo-facas (2.124 kg/ha a 2.348 kg/ha) e do triticales (2.210 kg/ha a 2.456 kg/ha) (Tabela 5).



**Tabela 5.** Rendimento de grãos (kg/ha) de soja cultivada após aveia preta rolada com rolo-facas e triticale de 1987/1988 e de 1988/1989. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

	Ano		Média
	1987/1988	1988/1989	
Soja após : triticale <sup>1</sup>	1.522ns	2.954ns	2.238ns
triticale <sup>2</sup>	1.457	2.963	2.210
aveia preta rolada <sup>6</sup>	1.472	2.776	2.124
triticale <sup>3</sup>	1.470	3.190	2.330
triticale <sup>4</sup>	1.419	3.493	2.456
aveia preta rolada <sup>7</sup>	1.473	3.177	2.325
triticale <sup>5</sup>	1.125	3.169	2.147
triticale <sup>5</sup>	1.033	3.101	2.067
aveia preta rolada <sup>8</sup>	1.439	3.256	2.348
Média	1.379	3.120	2.249
CV (%)	22	18	-

<sup>1</sup>Monocultura de triticale; <sup>2</sup>Triticale após aveia preta rolada; <sup>3</sup>Triticale após ervilhaca; <sup>4</sup>triticale após aveia preta rolada e ervilhaca; <sup>5</sup>Triticale após triticale, aveia preta rolada e ervilhaca; <sup>6</sup>Aveia preta rolada após triticale; <sup>7</sup>Aveia preta rolada após triticale; e <sup>8</sup>Aveia preta rolada após triticale. ns: não significativo.

No período de 1987/1988 a 1995/1996, em Passo Fundo, RS, foram desenvolvidos sistemas de rotação de culturas envolvendo a cultura de soja, cujos tratamentos consistiram de seis sistemas de rotação de culturas com trigo:

Sistema I: trigo/soja;

Sistema II: trigo/soja, de 1987 a 1989, e depois trigo/soja e ervilhaca/milho ou sorgo, de 1990 a 1995;

Sistema III: trigo/soja, aveia preta ou aveia branca/soja e ervilhaca/milho ou sorgo;

Sistema IV: trigo/soja, aveia preta ou linho/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho;

Sistema V: trigo/soja, trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho ou sorgo; e

Sistema VI: trigo/soja, trigo/soja, aveia preta ou linho/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho ou sorgo.

Os resultados apresentados englobam os períodos de 1987/1988 a 1995/1996, considerando as modificações no experimento (sistemas III, IV, V e VI) a partir de 1990 (Santos; Lhamby, 2001a). Em 1990/1991, foram adicionadas duas parcelas por repetição, para completar o sistema II e para haver pousio de inverno antecedendo a soja no sistema VII.

Nestes períodos de estudo, não foram detectadas diferenças entre as médias conjuntas dos componentes de rendimento (número de legumes, número de grãos e massa de grãos por planta), na população final de plantas, na massa de mil grãos e na altura de inserção do primeiro legume de soja. Os componentes de rendimento não foram influenciados pela resteva das espécies de inverno avaliadas (Santos et al., 1991) ou quando isso se manifesta, não tem alterado o rendimento de grãos (Santos; Reis, 1990). Parte disso ocorre porque a soja tende a compensar as possíveis falhas de estande, ramificando mais ou aproveitando melhor o florescimento, o qual ocorre em camadas que aproveitam melhor a luz solar.

Na média conjunta dos anos (1987/1988 a 1989/1990), a soja cultivada após trigo, nos sistemas VI (2.843 kg/ha), III (2.817 kg/ha), V (2.653 kg/ha), IV (2.589 kg/ha) e II (2.566 kg/ha), e após aveia preta (2.382 kg/ha), apresentou rendimento de grãos mais elevado (Tabela 6). Contudo, estes quatro últimos sistemas não foram diferentes de soja cultivada após trigo, no sistema I (2.273 kg/ha), e após aveia branca, nos sistemas IV (2.268 kg/ha) e VI (2.279 kg/ha). O menor rendimento de grãos e a menor estatura de plantas de soja ocorre na soja cultivada após linho, nos sistemas IV (1.966 kg/ha e 87 cm) e VI (1.940 kg/ha e 86 cm), devido a pouca cobertura de solo proporcionada por essa espécie.

**Tabela 6.** Efeitos de culturas antecessoras no rendimento de grãos de soja, cultivar BR 4, de 1987/1988 a 1989/90. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

Cultura antecessora e Sistemas de rotação de culturas	Ano			Média
	1987/1988	1988/1989	1989/1990	
	----- kg/ha -----			
Sistema I				
Soja após trigo <sup>1</sup>	1.595 b	3.339 c	1.886ns	2.273 bcd
Sistema II				
Soja após trigo <sup>2</sup>	2.192 a	3.643 bc	1.862	2.566 abc
Sistema III				
Soja após: trigo <sup>3</sup>	1.695 b	3.997 ab	2.760	2.817 a
aveia preta	1.327 b	3.263 c	1.863	2.151 cd
Sistema IV				
Soja após: trigo <sup>4</sup>	1.647 b	3.937 ab	2.183	2.589 abc
aveia branca	1.334 b	3.442 bc	2.029	2.268 bcd
linho	1.420 b	2.570 d	1.908	1.966 d
Sistema V				
Soja após: trigo <sup>5</sup>	1.736 ab	3.986 ab	2.237	2.653 ab
trigo <sup>6</sup>	1.433 b	3.202 c	1.730	2.122 cd
aveia preta	1.614 b	3.443 bc	2.089	2.382 abcd
Sistema VI				
Soja após: trigo <sup>7</sup>	1.757 ab	4.301 a	2.471	2.843 a
trigo <sup>8</sup>	1.722 b	3.108 cd	2.400	2.410 abcd
aveia branca	1.338 b	3.604 bc	1.895	2.279 bcd
linho	1.483 b	2.553 d	1.786	1.940 d
Média	1.592	3.456	2.078	2.375
C.V. (%)	17	10	19	-

<sup>1</sup>Sistema I (soja/trigo); <sup>2</sup>Sistema II (soja/trigo); <sup>3</sup>Sistema III (soja/trigo, soja/aveia preta e milho/ervilhaca); <sup>4</sup>Sistema IV (soja/trigo, soja/aveia branca, soja/linho e milho/ervilhaca); <sup>5</sup>Sistema V (soja/trigo, soja/aveia preta, ervilhaca/milho e soja/trigo); <sup>6</sup>Sistema V (soja/trigo, soja/trigo, soja/aveia preta e ervilhaca/milho); <sup>7</sup>Sistema VI (soja/trigo, soja/aveia branca, soja/linho, milho/ervilhaca e soja/trigo); <sup>8</sup>Sistema VI (soja/trigo, soja/trigo, soja/aveia branca, soja/linho e milho/ervilhaca).

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não apresentam diferenças significativas, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan. ns: não significativo.

Nos casos de soja após linho, os menores valores de rendimento de grãos e de estatura de plantas da leguminosa estão relacionados diretamente às características da linácea. No trabalho conduzido por Roman (1990), o linho (1,2 t/ha de palha), não proporcionou boa cobertura de solo em relação à aveia branca (7,4 t/ha), e à aveia preta (8,2 t/ha) ou ao trigo (3,0 t/ha de palha). Isso também foi observado visualmente no referido ensaio. Observou-se que a soja, na maioria dos anos em que foi antecedida pelo linho, demorou mais tempo para germinar. A quantidade relativamente menor de palha de linho não foi adequada para o estabelecimento de soja (Santos et al., 1997b). Além disso, em 1988/1989, a soja foi semeada tardiamente (9/12/1988) em relação à soja após aveia preta e trigo (10/11/1988) e após aveia branca (16/11/1988). Isso pode ter colaborado para a diminuição da estatura de plantas, conforme verificou Santos et al. (1997b).

Nos anos de 1993/1994 e de 1995/1996, houve diferença no rendimento de grãos de soja, em decorrência do tipo de cultura antecessora (aveia branca, aveia preta e trigo). Entretanto, o mesmo não ocorreu com a média dos anos, devido à variação ocorrida entre os tratamentos de um ano para outro.

Em 1994/1995 a cultura de soja produziu, em média, 4.024 kg/ha, sem apresentar diferença entre os tratamentos. Esse valor foi o mais elevado em todo o período do experimento.

A ocorrência de doenças de soja, como a podridão parda da haste, causada por *Phialophora gregata*, e o cancro da haste, causado por *Diaporthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis* (Costamilan; Lhamby, 1994; Reunião..., 1997), fez com que a cultivar BR-4, usada de 1987/1988 a 1992/1993, suscetível à podridão parda da haste fosse substituída pela BR-16, resistente a estas moléstias. Deve ser considerado que nos sistemas I, III, IV, V e VI havia sequência de dois, três e quatro anos seguidos com soja. Contudo, nesses nove anos, ocorreu incidência relativamente baixa de doenças da parte aérea.

Por outro lado, na média do período de 1987/1988 a 1989/1990, a soja cultivada após milho, nos sistemas III, IV, V e VI, produziu mais do que a soja cultivada após dois, três e quatro verões consecutivos, ou seja, sem rotação. Nos trabalhos desenvolvidos por Edwards et al. (1988) e por Ruedell (1995), a soja em rotação com milho produziu rendimentos de grãos mais elevados do que a monocultura dessa leguminosa.

Os resultados apresentados são relativos aos rendimentos de grãos de soja dentro de cada ano e na média dos anos de 1984/1985 a 1989/1990 e de 1990/1991 a 1993/1994, divididas em dois períodos, pois no decorrer do estudo, os tratamentos com soja, aumentaram em número (Santos et al., 1998a), em Guarapuava, PR. Os tratamentos consistiram em quatro sistemas de rotação de culturas para trigo:

Sistema I: trigo/soja;

Sistema II: trigo/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja;

Sistema III: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja; e

Sistema IV: trigo/soja, ervilhaca/milho, cevada/soja e aveia branca/soja.

No período de 1984/1985 a 1989/1990, houve diferenças entre os anos de 1986/1987 a 1989/1990 e na média conjunta dos anos, quanto ao rendimento de grãos de soja (Tabela 7). Os maiores rendimento de grãos ocorreram com soja cultivada após trigo, nos sistemas I (2.733 kg/ha), II (2.868 kg/ha), III (2.840 kg/ha) e IV (2.831 kg/ha); e após cevada (2.718 kg/ha) ou aveia branca (2.699 kg/ha). Santos e Reis (1991), Santos et al. (1991; 1997b) estudando várias espécies de inverno, obtiveram resultados semelhantes quanto ao rendimento de grãos de soja.

Por sua vez, a soja cultivada após linho, no sistema III, registrou menor estatura de plantas (64 cm) e altura de inserção dos primeiros legumes (21 cm), em relação às demais sucessões. O linho (1,2 t/ha de palha) não tem proporcionado boa cobertura de solo, em comparação ao trigo (3,0

t/ha de palha) ou cevada (2,4 t/ha de palha) (Roman, 1990), o que também foi observado visualmente neste experimento. A quantidade relativamente menor de palha de linho não foi adequada ao estabelecimento de soja (Santos et al., 1997b), o que pode ter concorrido para diminuição da altura de planta e de inserção dos primeiros legumes.

No período de 1990/1991 a 1993/1994, a soja cultivada após aveia branca e após trigo, em todos os sistemas estudados, não diferiu no rendimento de grãos (Santos et al., 1998b). Como tratava de sistema plantio direto, a cobertura vegetal pode proporcionar tanto efeitos positivos, como negativos, sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas. Nesse caso, a resteva mais recente parece ser mais importante.

No mesmo período dos estudos de trigo (1984 a 1993) foram desenvolvidos sistemas de rotação de culturas para cevada, envolvendo a cultura de milho:

Sistema I: cevada/soja;

Sistema II: cevada/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja;

Sistema III: cevada/soja, linho/soja e ervilhaca/milho; e

Sistema IV: linho/soja, linho/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho, com as mesmas modificações nos sistemas de rotação de culturas com trigo (Santos et al., 1997b).

De 1984/1985 a 1989/1990, os melhores rendimentos de grãos manifestaram-se onde a soja foi cultivada após cevada, nos seguintes sistemas: III (2.789 kg/ha), IV (2.766 kg/ha), II (2.760 kg/ha), I (2.652 kg/ha) e após aveia branca (2.639 kg/ha). Todavia, os quatro últimos sistemas foram similares ao de soja após linho (2.575 kg/ha). A soja cultivada após linho apresentou valores menores de estatura de plantas (64 cm e 66 cm), altura de inserção dos primeiros legumes (21 cm e 22 cm) e rendimento de grãos (2.470 kg/ha e 2.575 kg/ha). Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Santos et al. (1998b).

**Tabela 7.** Efeito da sucessão de culturas no rendimento de grãos de soja, em sistema plantio direto, de 1984 a 1989. Guarapuva, PR.

Tipo de sucessão	Ano						Média
	1984/1985	1985/1986	1986/1987	1987/1988	1988/1989	1989/1990	
----- kg/ha -----							
Soja após							
trigo <sup>1</sup>	3.058ns	2.988ns	2.507 b	1.964 cd	2.734 b	3.147 a	2.733 a
trigo <sup>2</sup>	3.129	2.865	2.677 a	2.316 a	3.123 a	3.096 a	2.868 a
linho <sup>5</sup>	3.097	2.558	2.716 a	1.900 d	2.072 c	2.658 b	2.500 b
trigo <sup>3</sup>	3.110	2.914	2.580 ab	2.285 ab	3.133 a	3.018 a	2.840 a
aveia branca <sup>6</sup>	3.023	3.001	2.304 c	1.861 d	2.883 b	3.124 a	2.699 ab
cevada <sup>7</sup>	2.993	2.792	2.455 bc	2.126 bc	2.870 b	3.070 a	2.718 a
trigo <sup>4</sup>	3.079	2.956	2.681 a	2.088 c	3.140 a	3.039 a	2.831 a
Média	3.069	2.868	2.560	2.077	2.851	3.022	2.741
C.V. (%)	4	8	4	6	6	6	-

<sup>1</sup>Sistema I: trigo/soja; <sup>2</sup>Sistema II: trigo/soja e ervilhaca/milho; <sup>3</sup>Sistema III: trigo/soja, linho/soja, aveia/soja e tremoço/milho; <sup>4</sup>Sistema IV: trigo/soja, aveia branca/soja, cevada/soja e tremoço/milho; <sup>5</sup>Sistema V: linho/soja, ervilhaca/milho e trigo/soja; <sup>6</sup>Sistema VI: aveia branca/soja, cevada/soja e tremoço/milho e trigo/soja; <sup>7</sup>Sistema VII: cevada/soja, tremoço/milho, trigo/soja e aveia branca/soja.

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não apresentam diferenças significativas, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan. ns: não significativo.

De 1990/1991 a 1993/1994, os maiores rendimento de grãos ocorreram nos tratamentos em que a soja foi cultivada após cevada, nos seguintes sistemas: III (3.481 kg/ha) após aveia branca, II (3.417 kg/ha), III (3.407 kg/ha) e IV (3.405 kg/ha), e após cevada, nos sistemas II (3.460 kg/ha) e IV (3.357 kg/ha). Entretanto, os últimos cinco sistemas foram semelhantes à soja em monocultura (3.336 kg/ha). O menor rendimento de grãos (3.098 kg/ha), a menor estatura de plantas (67 cm) e a menor altura de inserção dos primeiros legumes (22 cm) foram observados na soja após linho, no sistema IV. Resultados semelhantes foram obtidos por Santos e Reis (1991) e Santos et al. (1998b).

No período de 1990 a 1995, em Passo Fundo, RS, a Embrapa Trigo desenvolveu trabalhos no Cepagro da FAMV/UPF, com sistemas de produção integração lavoura + pecuária com pastagens anuais de inverno, envolvendo a cultura de soja, sob sistema plantio direto (Fontaneli et al., 2000b). Os tratamentos constaram dos seguintes sistemas:

Sistema I: trigo/soja, pastagem de aveia preta/soja e pastagem de aveia preta/soja;

Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho;

Sistema III: trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; e

Sistema IV: (trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja).

Não houve diferença entre os sistemas de produção para rendimento de grãos de soja. Resultados similares foram obtidos por Ruedell (1995), durante dez anos, com a soja sendo antecedida por aveia preta, por aveia preta + ervilhaca e por trigo sob sistema plantio direto.

No período de 1995 a 2000, em Coxilha, RS, foram estudados sistemas de produção com pastagens anuais de inverno e de verão. Os tratamentos foram constituídos por seis sistemas de produção com integração lavoura + pecuária, envolvendo a cultura de soja (Santos et al., 2004b):



Sistema I: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho;

Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho;

Sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho;

Sistema IV: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho;

Sistema V: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho; e

Sistema VI: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de +  
ervilhaca + azevém/pastagem de milho.

A soja cultivada após trigo e rotações com milho, nos sistemas VI (2.763 kg/ha), V (2.757 kg/ha) e IV (2.745 kg/ha), apresentou rendimento de grãos mais elevado que a de soja cultivada após aveia branca (Tabela 8). Entretanto, a soja cultivada nos sistemas I (2.695 kg/ha), III (2.685 kg/ha) e II (2.598 kg/ha) foi estatisticamente semelhante ao rendimento de grãos de soja cultivada após aveia branca, no sistema V (2.513 kg/ha). Por sua vez, a soja cultivada após aveia branca no sistema VI (2.453 kg/ha) não diferiu de soja cultivada após trigo, no sistema II. No conjunto de oito safras do período de estudo, soja cultivada após aveia branca, no sistema VI, mostrou o menor rendimento de grãos. De maneira geral, o rendimento de grãos de soja foi maior após trigo, em relação ao de soja cultivada após aveia branca. Santos e Reis (1991) e Santos et al. (1997b, 1998a) observaram rendimento de grãos de soja superior para soja cultivada após aveia branca, cevada e trigo, em comparação com soja cultivada após colza e após linho e em monocultura. Porém deve ser levado em conta que soja após aveia branca sempre foi cultivada por dois anos consecutivos na mesma área. Fontaneli et al. (2000b) e Ruedell (1995), trabalhando com sistemas de produção mistos, cultivaram soja por dois ou três anos consecutivos na mesma área e não observaram diferença significativa entre o rendimento de grãos dessa leguminosa.

**Tabela 8.** Efeitos de sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão no rendimento de grãos de soja, de 1995/1996 a 2002/2003, Passo Fundo, RS.

Sistema de produção	Ano										Média
	1995/1996	1996/1997	1997/1998	1998/1999	1999/2000	2000/2001	2001/2002	2002/2003			
	kg/ha										
Sistema I: soja após trigo	2.781	2.461 ab	2.631	2.112	2.698	3.025	2.350	3.505	2.695 ab		
Sistema II: soja após trigo	2.410	2.254 b	2.549	2.010	3.017	2.993	2.257	3.291	2.598 abc		
Sistema III: soja após trigo	2.323	2.800 a	2.606	2.009	2.483	3.451	2.149	3.662	2.685 ab		
Sistema IV: Soja após trigo	2.460	2.429 ab	2.641	1.991	3.274	3.300	2.355	3.508	2.745 a		
Sistema V: soja após aveia branca	2.411	1.594 c	2.558	2.024	2.931	3.248	1.810	3.526	2.513 bc		
soja após trigo	2.539	2.575 ab	2.708	2.226	2.870	3.198	2.258	3.681	2.757 a		
Sistema VI: soja após aveia branca	2.571	1.506 c	2.685	1.843	2.997	2.928	1.953	3.241	2.453 c		
soja após trigo	2.335	2.847 a	2.643	2.126	3.127	3.157	2.336	3.529	2.763 a		
Média	2.479	2.308	2.628	2.043	2.912	3.162	2.183	3.493	2.651		
C.V. (%)	14	15	8	16	12	8	17	8	-		
F tratamentos	0,79ns	8,08**	0,27ns	0,50ns	2,00ns	1,79ns	1,24ns	1,33ns	2,27*		

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não apresentam diferenças significativas, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan. ns: não significativo; \*, nível de significância de 5%, e \*\*, nível de significância de 1%.

Na média das oito safras, soja cultivada após trigo, nos sistemas V (86 cm), IV (86 cm), I (85 cm), III (85 cm) e VI (84 cm), apresentou estatura de plantas mais elevada, em relação a de soja cultivada após aveia branca, no sistema VI (80 cm). Contudo, a estatura de soja cultivada nos sistemas I, II, III e VI não diferiu significativamente do de soja cultivada após aveia branca, no sistema V (82 cm). Isso pode explicar, em parte, o maior rendimento de grãos da soja cultivada após trigo. Alguns trabalhos comprovam a associação entre rendimento de grãos e estatura de plantas de soja como sendo uma correlação positiva (Gopani; Kabaria, 1970; Hohewal; Koppa, 1973). Santos e Reis (1991) e Santos et al. (1997b, 1998a), trabalhando com sistemas de rotação de culturas, observaram que a soja cultivada após aveia branca, cevada e trigo, apresentou maior estatura de plantas e rendimento de grãos do que a de soja cultivada após colza e linho.

Na média dos anos de 1995 a 2002, a quantidade de resíduo cultural remanescente de espécies de inverno foi mais elevada na cultura de aveia branca, nos sistemas VI (4,53 t/ha) e V (4,29 t/ha). Entretanto, este último tratamento foi semelhante estatisticamente à quantidade de resíduo cultural remanescente de trigo, nos sistemas II (4,12 t/ha), I (3,94 t/ha), III (3,88 t/ha) e V (3,82 t/ha). Tem sido observado, neste e em outros trabalhos desenvolvidos na Embrapa Trigo, que a quantidade de palhada remanescente de aveia branca destinada à produção de grãos tem sido maior que a de trigo. Em condições de lavouras comerciais, isso pode também estar ocorrendo.

Quando a soja for semeada imediatamente sobre essa palhada, podem ocorrer problemas relativos à alelopatia, o que é difícil de ser verificado em nível de lavoura, pois ocorreria em áreas relativamente grandes e sem possibilidade de comparação com palhadas remanescentes de outras culturas, como a de trigo. Ademais, a palhada remanescente de aveia preta tem sido ainda maior do que a de aveia branca, porém, a primeira palhada é manejada com alguma antecedência, ou seja, com rolo-facas ou com dessecante, antes de completar a floração.

A acumulação de compostos com ação alelopática no solo é uma possibilidade maior no sistema plantio direto, no qual os resíduos culturais são mantidos sobre a superfície do solo (Santos; Roman, 2001). Os resultados apresentados neste trabalho demonstraram que existe possibilidade de interferência da palhada remanescente de aveia branca sobre o desenvolvimento de soja. Todavia, os efeitos dessas substâncias no campo são difíceis de ser isolados, uma vez que vários fatores interagem quando os resíduos são deixados sobre o solo, como, por exemplo, os efeitos de resíduos culturais sobre a temperatura do solo, afetando vários processos biológicos e de plantas.

No período de 2003 a 2009, houve mudanças nos tratamentos dos sistemas de produção com integração lavoura + pecuária, conduzidos em Coxilha, RS, nos quais foram introduzidas culturas de cobertura de solo e de duplo propósito (Santos et al., 2009b):

Sistema I: trigo/soja e ervilhaca/milho;

Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta/milho;

Sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta/soja;

Sistema IV: trigo/soja e ervilha/milho;

Sistema V: trigo/soja, triticale duplo propósito/soja e ervilhaca/soja; e

Sistema VI: trigo/soja, aveia branca de duplo propósito/soja e trigo duplo propósito/soja.

A quantidade requerida de água pela cultura de soja para completar o ciclo fisiológico é de 827 mm (Matzenauer, 1992). Pelo observado nos quatro anos de estudos, em dois deles (2005/2006 e 2008/2009) o índice de precipitação pluvial esteve abaixo da quantidade requerida e também abaixo da normal (833 mm), porém, nos outros dois anos (2006/2007 e 2007/2008) o volume de chuvas foi acima desses valores). No período de 2005/2006, houve predomínio de desvios negativos de precipitação pluvial, em relação

aos valores normais, ou seja, chuva abaixo do normal, nos meses de novembro e de dezembro de 2005 (-2 mm e -80 mm) e nos meses de janeiro (-11 mm), fevereiro (-37 mm), abril (-63 mm) de 2006 (Cunha, 2006).

O impacto sobre a cultura de soja, especialmente das chuvas abaixo do normal em dezembro, não foi tão acentuado devido a adequada disponibilidade de água no solo, decorrente das chuvas de outubro de 2005 (385 mm) e do total de precipitação de novembro ter sido muito próximo do valor normal, além da menor demanda de água pela cultura de soja durante a fase de pró-floração.

No período de 2006/2007, com exceção de dezembro de 2006, constatou-se desvios negativos (-56 mm), e em fevereiro de 2007 (-21 mm). Também houve predomínio de desvios positivos de precipitação pluvial em comparação aos valores normais, ou seja, chuva acima do normal nos meses de novembro (171 mm) e janeiro (118 mm) de 2006 (Cunha, 2007). Como consequência disso, no período de 2005/2006, verificou-se que o rendimento de grãos de soja (2.013 kg/ha) foi relativamente baixo quando comparado ao período de 2006/2007 (2.432 kg/ha). No período de 2007/2008, observou-se que, com exceção do mês de janeiro de 2008 (com desvio negativo -60 mm), houve predomínio de desvios positivos de precipitação pluvial, em relação aos valores normais, ou seja, chuva acima do normal, destacando-se principalmente os meses de outubro de 2007 (127 mm) e abril de 2008 (179 mm), 76% e 152% acima da normal climatológica, respectivamente (Pasinato et al., 2008). Porém, no período de 2007/2008 ocorreu o menor rendimento de grãos de soja (1.686 kg/ha), devido à precipitação de granizo que ocorreu em abril, quando a soja já estava praticamente pronta para colheita. No período de 2008/2009 houve ocorrência de desvios negativos da precipitação pluvial, principalmente nos meses de dezembro de 2008 (-89 mm) e de janeiro de 2009 (-48 mm), durante o desenvolvimento vegetativo da soja, o que pode ter sido prejudicial às plantas de soja pela insuficiente disponibilidade de água no solo (Pasinato et al., 2009). Nos meses de março (-45 mm) e abril de 2009 (-113 mm), os valores de preci-

pitação pluvial foram abaixo da média histórica, o que pode ter contribuído para a antecipação da maturação, acarretando em menor tamanho e menor massa dos grãos de soja.

Na análise conjunta dos resultados de 2005/2006 a 2008/2009, não houve diferença entre as médias de rendimentos de grãos, de massa de mil grãos, de estatura de plantas e de altura de inserção dos primeiros legumes entre os sistemas de produção com integração lavoura + pecuária. Os resíduos remanescentes das culturas antecessoras não afetaram o desempenho da soja em sucessão. Resultados equivalentes de rendimento de grãos de soja foram obtidos por Fontaneli et al. (2000b), Ruedell (1995), Santos (1991a) e Santos et al. (2004a), estudando sistemas de produção com integração lavoura + pecuária, encontraram resultados concordantes nas variáveis massa de mil grãos, estatura de plantas e altura de inserção dos primeiros legumes.

Na análise anual, constatou-se diferença entre o rendimento de grãos de soja, em 50% dos anos estudados. Na safra de 2006/2007, a soja cultivada após ervilhaca mostrou rendimento de grãos (2.935 kg/ha) superior à maior parte dos tratamentos. Rodrigues et al. (1998), estudando o conteúdo de nitrogênio em três cultivares de soja, submetidas a cinco épocas de semeadura, observaram que essa evidenciou um balanço negativo no sistema. Isso significa que durante o ciclo, a soja pode reduzir o conteúdo de nitrogênio no sistema. No ano agrícola de 2007/2008, a soja cultivada após trigo, nos sistemas I (trigo/soja e ervilhaca/milho); e IV (trigo/soja e ervilha/milho), mostrou rendimento de grãos mais elevado, em comparação com grande parte dos sistemas.

Nas variáveis: número de legumes, número de grãos e massa de grãos por planta, houve diferença entre as médias dos sistemas de produção com integração lavoura + pecuária, na safra de 2008/2009 e na média conjunta de 2005/2006 a 2008/2009. Em 2008/2009, a soja cultivada após ervilhaca mostrou maior número de legumes, em relação à soja cultivada após

trigo nos sistemas I e V, após triticales no sistema V e após trigo de duplo propósito no sistema VI. Nesse mesmo ano agrícola, a soja cultivada após ervilhaca e trigo no sistema VI, mostrou maior número de grãos e maior massa de grãos por planta do que parte dos sistemas estudados. Na análise conjunta dos resultados, a soja cultivada após ervilhaca foi superior aos demais sistemas estudados quanto ao número de legume (27,2), número de grãos (75) e massa de grãos por planta (119 g), tendendo ao maior rendimento de grão de soja (2.458 kg/ha).

Assim, ao se escolher a espécie a ser cultivada como cobertura no inverno, com o objetivo de manter o solo coberto até meados do verão e promover adubação verde, é importante também visar o retorno econômico da própria cultura, com produção de grãos ou pastejo, e também obter fornecimento de nitrogênio para a cultura subsequente (Didonet; Santos, 1996).

Entre as variáveis: massa de mil grãos e altura de inserção dos primeiros legumes de soja, houve diferença somente na safra de 2008/2009, enquanto que na estatura de plantas, somente no ano agrícola de 2008/2009. Em 2007/2008, a soja cultivada após aveia preta no sistema III, e após trigo no sistema V, mostrou nos sistemas II, III e VI, massa de mil grãos mais elevada do que soja cultivada após trigo. Em 2008/2009, a soja cultivada após trigo, no sistema VI, destacou-se pela estatura de plantas em relação à soja cultivada nos demais sistemas. Em 2007/2008, a soja cultivada após aveia branca mostrou maior altura de inserção dos primeiros legumes em comparação à soja cultivada após trigo nos sistemas I, II, III e IV, e após triticales no sistema V.

Na maioria dos anos, a soja cultivada após ervilhaca tendeu a mostrar maior estatura de plantas e coloração das folhas com verde mais intenso do que os demais tratamentos.

## Conclusões

### **Rendimento de grãos de milho de 1980/1981 a 1989/1990**

As leguminosas de inverno (ervilhaca, serradela e tremoço), não apresentam efeitos significativos sobre o rendimento de grãos, os componentes do rendimento (número de espigas, número de grãos e massa de grãos por planta), massa de mil grãos e a altura de inserção da primeira espiga de milho, entretanto, essas leguminosas afetam a estatura de plantas na média dos anos de 1986/1987 e 1987/1988.

Agronomicamente, a espécie com maior potencial para uso como cultura alternativa de inverno, em sistemas com trigo e milho, é a ervilhaca, devido ao seu desenvolvimento vegetativo rápido, pois logo após o seu estabelecimento, permite cobertura eficiente do solo e controle de plantas daninhas.

### **Rendimento de grãos de soja de 1984/1985 a 1988/1989**

O efeito do tipo de sucessão sobre as variáveis estudadas depende do ano agrícola. Na maioria dos anos e na média geral, há efeito positivo das culturas de inverno sobre o rendimento de grãos e sobre a estatura de plantas de soja.

Na média dos anos, a soja cultivada após colza e em monocultura com trigo é afetada negativamente quanto ao rendimento de grãos.

### **Rendimento de grãos de soja de 1985/1986 a 1988/1989 após trigo e aveias para grãos**

A soja pode ser cultivada em semeadura direta, sem restrições, após aveia branca, aveia preta, azevém e trigo.



Na média dos anos, a soja cultivada após aveia branca por um ou dois anos consecutivos, nos sistemas após aveia preta por dois anos consecutivos, e azevém em monocultura, mostra menor estatura de plantas.

### **Rendimento de grãos de soja de 1985/1986 a 1988/1989 após trigo e aveias para pastagens**

A soja pode ser cultivada, sem restrições, após aveia preta destinada à pastagem, após azevém para pastejo e após trigo.

A soja apresenta menor estatura de plantas nos sistemas que envolveram a aveia preta por três anos consecutivos e o azevém por um ou dois anos consecutivos, em rotação com trigo.

### **Rendimento de grãos de milho de 1987/1988 a 1988/1989**

Não há diferença no rendimento de grãos para milho cultivado após ervilhaca entre os sistemas de rotação com triticale (triticale/soja e ervilhaca/milho; triticale/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; e triticale/soja, triticale/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho).

### **Rendimento de grãos de soja de 1987/1988 a 1988/1989**

Não há diferença no rendimento de grãos da soja cultivada após aveia preta rolada e triticale entre os sistemas de rotação com triticale (triticale/soja; triticale/soja e aveia preta/soja; triticale/soja e ervilhaca/milho; triticale/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; e triticale/soja, triticale/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho).

### **Rendimento de grãos de milho de 1987/1988 a 1989/1990 e sorgo de 1994/1995 a 1995/1996, em Passo Fundo**

O milho antecedido por ervilhaca (ervilhaca após trigo; ervilhaca após trigo e linho) propicia maior rendimento de grãos do que o milho antecedido por tremoço, trigo, aveia branca e cevada.

A ervilhaca foi a espécie que se destacou como cultura alternativa de inverno, em sistemas de rotação com trigo, devido ao desenvolvimento vegetativo rápido, à cobertura eficiente de solo e ao controle de plantas daninhas.

### **Rendimento de grãos de soja de 1984/1985 a 1989/1990 e de 1990/1991 a 1993/1994, em Guarapuava, PR**

A aveia branca, a cevada e o trigo são culturas alternativas de inverno para anteceder a soja na região Sul do Brasil.

O linho não constitui uma adequada opção para anteceder a soja em sucessão de culturas, sob sistema plantio direto.

### **Rendimento de grãos de milho de 1990 a 1995, em Passo Fundo, RS**

O milho cultivado após aveia preta + ervilhaca pastejada e trigo pode ser incluída, sem prejuízo, nos diferentes sistemas de sucessão de culturas indicados para a região Sul do Brasil.

### **Rendimento de grãos de soja de 1990 a 1995, em Passo Fundo, RS**

A soja cultivada após aveia branca, aveia preta pastejada, aveia preta + ervilhaca pastejada e trigo pode ser incluída, sem prejuízo, nos diferentes sistemas de sucessão de culturas indicados para a região Sul do Brasil.

### **Rendimento de grãos de milho de 1995 a 2000, em Coxilha, RS**

O milho cultivado após aveia preta + ervilhaca pastejada e trigo ou aveia preta + ervilhaca + azevém pastejado e trigo pode ser incluída, sem prejuízo, nos diferentes sistemas de sucessão de culturas indicados para a região Sul do Brasil.

### **Rendimento de grãos de soja de 1995 a 2000, em Coxilha, RS**

A soja cultivada após trigo, nos sistemas IV (trigo/soja e ervilha/milho) e V (trigo/soja, triticales de duplo propósito/soja e ervilhaca/soja) apresenta maior rendimento de grãos e estatura de plantas do que a soja cultivada após aveia branca de duplo propósito.

A quantidade de resíduo remanescente de aveia branca é mais elevada, em comparação com o trigo, nos sistemas V (trigo/soja, triticales duplo propósito/soja e ervilhaca/soja) e VI (trigo/soja, aveia branca de duplo propósito/soja e trigo duplo propósito/soja).

### **Rendimento de grãos de milho de 2004 a 2008, em Coxilha, RS**

Não há diferença entre o rendimento de grãos, número de grãos/planta e massa de mil grãos de milho quando é cultivado após aveia preta ou ervilhaca.

### **Rendimento de grãos de soja de 2005 a 2008, em Coxilha, RS**

Não há diferenças no rendimento de grão, na massa de mil grãos, na estatura de plantas e na altura de inserção dos primeiros legumes de soja entre os sistemas de produção com integração lavoura + pecuária.

A soja cultivada após ervilhaca contém maior número de legumes, número de grãos e massa de grãos por planta do que a cultivada nos demais sistemas de produção com integração lavoura + pecuária.

A soja cultivada após a ervilhaca tende a produzir mais grãos.

## Tecnologias desenvolvidas

Redução de aplicação de herbicida dessecante e de N no cultivo de milho pela utilização de leguminosas de cobertura de solo (ervilhaca e serradela) e de adubação verde.

Sistemas de rotação de culturas envolvendo as culturas de trigo e de cevada, sob sistema plantio direto para a região de Guarapuava, PR. Esse trabalho, juntamente com outros que foram desenvolvidos pela Embrapa Trigo, permitiu indicar a necessidade de um inverno sem trigo ou cevada (trigo/soja e ervilhaca/milho), em sistema plantio direto.

A soja cultivada após ervilhaca contém maior número de legumes, número de grãos e massa de grãos por planta do que a cultivada nos demais sistemas de produção com integração lavoura + pecuária.

## Referências

ABRÃO, J. J. R.; CANAL, I. N. Adubação e calagem na cultura do linho (*Linum usitatissimum* L.). In: CONTRIBUIÇÃO do Centro de Experimentação e Pesquisa a I Reunião Estadual de Pesquisa e Assistência Técnica do Linho. Cruz Alta: FECOTRIGO, 1982. p. 19-44.

ALMEIDA, F. A. **A alelopatia e as plantas**. Londrina: IAPAR, 1988. 60 p. (IAPAR. Circular, 53).

ALMEIDA, F. S.; RODRIGUES, B. N. **Guia de herbicidas, contribuição para o uso adequado em plantio direto e convencional**. Londrina: IAPAR, 1985. 482 p.

AMBROSI, I.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; ZOLDAN, S. M. Lucratividade e risco de sistemas de produção de grãos combinados com pastagens de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 10, p. 1213-1219, 2001.

ASSIS, F. N.; VERONA, L. A. F. Consumo de água e coeficiente de cultura do sorgo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 5, p. 665-670, maio 1991.

BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas (1961-1990)**. Brasília, 1992. 84 p.

CHEW, F. S. Biological effects of glucosinolates. In: CUTLER, H. G. (Ed.). **Biologically active natural products: potential use in agriculture**. Washington: American Chemical Society, 1988. p. 155-181.

COSTAMILAN, L. M.; LHAMBY, J. C. B. Incidência de podridão parda da haste de soja em diferentes sistemas de rotação de culturas. In: REUNIÃO CENTRO-SUL DE ADUBAÇÃO VERDE E ROTAÇÃO DE CULTURAS, 4., 1993, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1994. p. 111-112. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 14).

CUNHA, G. R. da. Análise agrometeorológica da safra de soja 2005/2006, em Passo Fundo, RS. **Soja: resultados de pesquisa 2005-2006**. Passo Fundo, 2006. p. 21-35. (Embrapa Trigo. Documentos, 68).

CUNHA, G. R. da. Análise agrometeorológica da safra de soja 2006/2007, em Passo Fundo, RS. **Soja: resultados de pesquisa 2006-2007**. Passo Fundo, 2007. p. 11-22. (Embrapa Trigo. Documentos, 78).

DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno**. Londrina: IAPAR, 1992. 80 p. (IAPAR. Circular, 73).

DICK, W. A.; VAN DOREN JR., D. M. Continuous tillage and rotation combination effects on corn, soybean, and oat yields. **Agronomy Journal**, v. 77, n. 3, p. 459-465, 1985.

DIDONET, A. D.; SANTOS, H. P. dos. Sustentabilidade: manejo de nitrogênio no sistema de produção. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 41.; REUNIÃO TÉCNICA DO SORGO, 24., 1996, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1996. p. 236-240.

EBERLEIN, C. V.; MORRA, M. J.; GUTTIERI, M. J.; BROWN, P. D.; BROWN, J. Glucosinolate production by five field-grown Brassica napus cultivars used as green manures. **Weed Technology**, v. 12, n. 4, p. 712-718, 1998.

EDWARDS, J. H.; THURLOW, D. L.; EASON, J. T. Influence of tillage and crop rotation on yields of corn, soybean, and wheat. **Agronomy Journal**, v. 80, n. 1, p. 76-80, 1988.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; IGNACZAK, J. C.; DENARDIN, J. E.; REIS, E. M.; VOSS, M. **Sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, sob plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000a. 84 p. (Embrapa Trigo. Circular técnica, 6).

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; VOSS, M. Rendimento e nodulação de soja em diferentes rotações de espécies anuais de inverno, sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 2, p. 349-355, fev. 2000b.

GOPANI, D. D.; KABARIA, M. M. Correlation of yield with agronomic characters and their heritability in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). **The Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 40, n. 10, p. 847-853, 1970.

HOHEWAL, S. S.; KOPPAR, M. N. Association analysis in soybean. **Indian Journal of Genetics & Plant Breeding**, v. 33, n. 1, p. 96-100, 1973.

LANGDALE, G. W.; WILSON JR., R. L.; BRUCE, R. R. Cropping frequencies to sustain long-term conservation tillage systems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 54, n. 1, p. 193-198, 1990.

MATZENAUER, R. Evapotranspiração de plantas cultivadas e coeficientes de cultura. In: BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; MATZENAUER, R.; FONTANA, D. C.; CUNHA, G. R. da; SANTOS, M. L. V. dos; FARIAS, J. R. B.; BARNI, N. A. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: UFRGS, 1992. Cap. 3, p. 33-47.

MUZILLI, O. Manejo da fertilidade do solo. In: MANUAL agropecuário para o Paraná. Londrina: IAPAR, 1978. v. 2, p. 45-61.

OLIVEIRA, P. P. A.; OLIVEIRA, W. S. de. Estabelecimento da cultura. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 1999, Piracicaba. **Alfafa**: anais. Piracicaba: FEALQ, 1999. p. 67-93.

PASINATO, A.; DALMAGO, G. A.; SANTI, A.; CUNHA, G. R. da. Análise agrometeorológica da safra de soja 2007/2008, em Passo Fundo, RS. In: SOJA: resultados de pesquisa 2007-2008. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. p. 11-23. (Embrapa Trigo. Documentos, 83).

PASINATO, A.; DALMAGO, G. A.; SANTI, A.; CUNHA, G. R. da. Análise agrometeorológica da safra de soja 2008/2009, em Passo Fundo, RS. In: SOJA: resultados de pesquisa 2008-2009. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. p.11-23. (Embrapa Trigo. Documentos, 93).

PATRICK, Z. A.; TOUSSOUN, T. A.; KOCH, L. W. Effect of crop-residue decomposition products on plant roots. **Annual Review of Phytopathology**, v. 2, p. 267-292, 1964.

RECOMENDAÇÕES técnicas para a cultura da soja no Paraná 1988/89. Cascavel: OCEPAR; Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1988. 94 p. (OCEPAR. Boletim técnico, 23: EMBRAPA-CNPSo. Documentos, 34).

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 25., 1997, Passo Fundo. **Recomendações técnicas para a cultura de soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 1997/98**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1997. 130 p.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; THAINES, E. Balanço de nitrogênio na cultura de soja. In: SOJA: resultados de pesquisa do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, 1997/98. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1998. p. 129-139. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 51).

ROMAN, E. S. Effect of cover crops on the development on weeds. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS, 1990, Passo Fundo. **Conservation tillage for subtropical areas**. Passo Fundo: CIDA/EMBRAPA-CNPT, 1990. p. 258-262.

RUEDELL, J. **Plantio direto na região de Cruz Alta**. Cruz Alta: FUNDACEP FECOTRIGO, 1995. 134 p.

SANTOS, H. P. dos. Efeito do cultivo da aveia preta e do azevém, para pastagem, e do trigo sobre o rendimento de grãos e sobre outras características da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 6, p. 875-884, jun. 1991a.

SANTOS, H. P. dos. Soja em sucessão a aveia branca, aveia preta, azevém e trigo: características agrônômicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 9, p. 1563-1576, set. 1991b.



SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; LHAMBY, J. C. B.; PRESTES, A. M.; IGNACZAK, J. C. **Sistemas de rotação de culturas**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001a. 40 p. (Embrapa Trigo. Circular técnica, 10).

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; AMBROSI, I. Análise econômica de culturas de inverno e de verão em sistemas mistos, sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 9, n. 1/2, p. 121-128, 2003.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, Ren. S.; FONTANELI, Rob. S.; ACOSTA, A.; MALDANER, G. L. Efeito de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP), no rendimento de grãos e algumas características agrônômica de milho, sob plantio direto. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 54.; REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO SORGO, 37., 2009, Veranópolis. **Atas e resumos...** Veranópolis: FEPAGRO, 2009a. 1 CD-ROM.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; PIRES, J. L. F. Rendimento de grãos de milho em sistemas de produção sob plantio direto. In: SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T. (Org.). **Sistemas de produção para milho sob plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007. Cap. 3, p. 57- 88.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T. Rendimento de grãos de soja em sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e perenes, sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 10, n. 1/2, p. 35-45, 2004a.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; MALDANER, G. L. Rendimento de grãos e algumas características agrônômicas de soja, em sistemas de produção integração Lavoura-pecuária (ILP), sob plantio direto. In: SOJA: resultados de pesquisa 2008-2009. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009b. p. 120-136. (Embrapa Trigo. Documentos, 93).

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; TOMM, G. O.; AMBROSI, I. **Sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão, sob plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 128 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 69).

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeito de sistemas de produção de grãos e de pastagens sob plantio direto sobre o nível de fertilidade do solo após cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, p. 645-653, 2001b.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Rendimento da soja em sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão, sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 10, n. 1/2, p. 47-57, 2004b.

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B. Efeito de culturas de inverno sobre o rendimento de grãos de soja cultivada em sistemas de rotação de culturas. **Ciência Rural**, v. 31, n. 1, p. 1-6, 2001a.

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B. Rendimento de grãos de milho e de sorgo em sistemas de rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 7, n. 1, p. 49-58, 2001b.

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B.; AMBROSI, I.; IGNACZAK, J. C. **Sistemas de rotação de culturas para a região Sul do Brasil**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1997a. 8 p. (Embrapa-CNPT. Comunicado técnico, 4).

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B.; SANDINI, I. Efeitos de culturas de inverno e de sistema de rotação de culturas sobre algumas características da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 11, p. 1141-1146, nov. 1997b.

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B.; WOBETO, C. Efeito de culturas de inverno em plantio direto sobre a soja cultivada em rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 3, p. 289-295, mar. 1998a.

SANTOS, H. P. dos; PEREIRA, L. R. Rotação de culturas. VII. Efeito de culturas de inverno sobre o rendimento de grãos e algumas características agronômicas das plantas de soja, no período de 1979 a 1985. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 22, n. 1, p. 63-70, jan.1987.

SANTOS, H. P. dos; PEREIRA, L. R. Rotação de culturas em Guarapuava, XIV. Efeitos de sistemas de sucessão de culturas de inverno sobre algumas características agronômicas de milho, em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 11, p. 1691-1699, nov. 1994.

SANTOS, H. P. dos; PÖTTKER, D. Rotação de culturas. XX. Efeito de leguminosas de inverno sobre o rendimento de grãos e sobre algumas características agronômicas do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, n. 11, p. 1647-1654, nov. 1990.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. Efeitos de culturas de inverno sobre o rendimento de grãos e sobre a estatura de plantas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 5, p. 729-735, maio 1991.

SANTOS, H. P. dos.; REIS, E. M. **Rotação de culturas em plantio direto**. 2. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003. 212 p.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. Rotação de culturas. XIX. Efeitos de culturas de inverno sobre o rendimento de grãos e sobre algumas características agronômicas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, n. 11, p. 1637-1645, nov. 1990.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M.; AMBROSI, I.; LHAMBY, J. C. B.; FERRETO, M. F. Efeito da cultura da colza no desenvolvimento da soja em sua sucessão. In: COLZA: resultados de pesquisa 1982. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1983. p. 46-51. Trabalho apresentado na III Reunião Anual de Programação de Pesquisa e Assistência Técnica da Cultura da Colza, Passo Fundo, 1983.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M.; BAIER, A. C. Sistemas de cultivo para triticale. I. Efeitos no rendimento de grãos e nas doenças do sistema radicular do triticale, e outras culturas de verão, em plantio direto, 1987 e 1988. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE TRITICALE, 3., 1989, Cascavel. **Anais...** Cascavel: OCEPAR, 1990. p. 235-244.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M.; DERPSCH, R. Rotação de culturas. In: PLANTIO direto no Brasil. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1993. p. 85-103. Editado por: EMBRAPA-CNPT, FUNDACEP-FECOTRIGO, Fundação ABC.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M.; VIEIRA, S. A.; PEREIRA, L. R. **Rotação de culturas e produtividade do trigo no RS.** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1987. 32 p. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 8).

SANTOS, H. P. dos; ROMAN, E. S. Efeitos de culturas de inverno e de rotação de culturas sobre a soja cultivada em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 7, n. 1, p. 49-58, 2001.

SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O.; AMBROSI, I.; IGNACZAK, J. C. SANDINI, I.; ALMEIDA, J. L. de. **Sistemas de rotação de culturas para cevada, sob plantio direto, durante dez anos, em Guarapuava, PR.** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1997c. 60 p. (EMBRAPA-CNPT. Circular técnica, 9).

SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O.; AMBROSI, I.; IGNACZAK, J. C.; WOBETO, C.; SATTTLER, R. **Sistemas de rotação de culturas para trigo, sob plantio direto, durante dez anos, em Guarapuava, PR.** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1998b. 80 p. (EMBRAPA-CNPT. Circular técnica, 11).

SANTOS, H. P. dos; VIEIRA, S. A.; PEREIRA, L. R.; ROMAN, E. S. Rotação de culturas. XVI. Efeitos de sistemas de cultivo no rendimento de grãos e outras características agrônômicas das plantas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 9, p. 1539-1549, set. 1991.

VARVEL, G. E. Monoculture and rotation system effects on precipitation use efficiency of corn. **Agronomy Journal**, v. 86, n. 1, p. 204-208, 1994.

VILHORDO, B. W.; BURIN, M. E.; GANDOLFI, V. H.; BARNI, N. A.; GOMES, J. E. da S.; GONÇALVES, J. C. Efeito alelopático da colza (*Brassica napus* L. var. Oleifera Metzg.) na rotação e sucessão trigo e soja. **Agronomia Sulriograndense**, v. 21, n. 1, p. 55-64, 1985.

Capítulo

5

## **Avaliação de Sistemas de Rotação de Culturas na Fertilidade e na Matéria Orgânica do Solo, nas Décadas de 1980 a 2010**

Henrique Pereira dos Santos, Silvio Tulio Spera,  
Renato Serena Fontaneli, Anderson Santi

### **Introdução**

As indicações de adubação e calagem, na década de 1980, baseavam-se em estudos onde as culturas eram implantadas com preparo convencional de solo. Nesse método, o revolvimento do solo buscava homogeneizar a distribuição dos nutrientes, enquanto no sistema com plantio direto (SPD), onde o solo é revolvido, apenas na linha de semeadura, os fertilizantes são depositados na linha. Atualmente, os fertilizantes e corretivos são aplicados na superfície, ocorrendo acúmulo, na camada superficial. Além disso, há acúmulo de nutrientes provenientes da decomposição dos resíduos vegetais mantidos sobre o solo (Santos et al., 2001). Entretanto, segundo Denardin et al. (2005), as perdas de solo e de nutrientes tendem a ser menores com sistema plantio direto.

Os resíduos culturais acumulados na superfície e o não revolvimento do solo no sistema plantio direto provocam alterações no solo, resultando em melhorias físicas, químicas e biológicas do solo, que refletem no estado da fertilidade e na eficiência do uso de nutrientes pelas culturas (Santos; Reis, 2003). Essas alterações modificam o movimento e a redistribuição de

compostos mais solúveis, entre os quais se destaca o nitrogênio (N), que além de fósforo (P) e potássio (K) tendem a acumular na camada superficial (Sisti et al., 2004).

Na década de 1960, nos EUA, Blevins et al. (1977, 1978), Shear e Moschler (1969) e Triplett Jr. e Van Doren Jr. (1969) observaram que em relação ao preparo convencional de solo, após seis anos com SPD, havia acúmulo de resíduos vegetais e elevação dos teores de matéria orgânica do solo (MOS), P, Ca, Mg e K na camada de 0-5 cm. Blevins et al. (1977) e Moschler et al. (1973), também verificaram que SPD houve redução do pH na camada de 0-5 cm do solo, requerendo a reaplicação de calcário. Esses mesmos autores observaram redução menos acentuada de pH no preparo convencional de solo. Contudo, não verificaram diferenças de pH entre a aplicação de calcário na superfície ou incorporado, nas camadas de solo de 0-5 cm ou de 0-10 cm.

Na década de 1970, Muzilli (1983), no Estado do Paraná, após três anos com plantio direto, constatou acúmulo de Ca, Mg, P e K nas camadas superficiais, em comparação com o preparo convencional de solo. No entanto, entre os dois sistemas de manejo de solo, não se observaram diferenças nos teores de MOS e na reacidificação do solo. Sidiras e Pavan (1985) verificaram a manutenção ou aumento do pH e dos teores de P, Ca + Mg e K, na camada de solo de 0-10 cm, após quatro anos com plantio direto ou com pastagem permanente, em comparação com os valores do preparo convencional de solo.

Porém, a pesquisa agropecuária tem desenvolvido métodos de manejo de solo que, mediante diminuição do revolvimento do solo, permitem a exploração agrícola com a manutenção da qualidade e da capacidade produtiva dos cereais de inverno (Santos et al., 2005). Sistemas integrados de produção eficientes envolvem a redução do preparo do solo, práticas de rotação de culturas, manejo de resíduos vegetais, manutenção ou melhoria da fertilidade do solo e aspectos fitossanitários das culturas exploradas (Santos; Fontaneli, 2007).

O sistema plantio direto, em relação à ciclagem biológica, tende a propiciar máxima conservação de nutrientes em um agroecossistema (Wisniewski; Holtz, 1997). O não revolvimento do solo e a palhada abundante, reduzem as perdas de nutrientes. A taxa de decomposição da palhada é fundamental no conhecimento da dinâmica da ciclagem de nutrientes. Dependendo do sistema agrícola usado, mantém-se a disponibilidade dos teores de nutrientes e de matéria orgânica. Um dos modos de avaliar a fertilidade do solo e o rendimento de grãos de cereais de inverno é conduzir experimentos com sistemas de produção (Silveira; Stone, 2001; Santos et al., 2003; Spera et al., 2004).

Naquela época, no Sul do Brasil, não havia informações para a cultura de cevada sobre avaliação da fertilidade do solo em sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas com cereais de inverno. Da mesma forma, eram escassos os trabalhos sobre a aplicação de calcário na superfície sob sistema plantio direto.

Assim, os objetivos deste capítulo são: 1) avaliar sistemas de rotação de culturas ou de produção de grãos com integração lavoura + pecuária para trigo e cevada na fertilidade e matéria orgânica do solo; 2) avaliar o efeito de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas para cevada na fertilidade e matéria orgânica do solo; e 3) Verificar o efeito da aplicação de calcário na superfície, em sistema plantio direto, em relação ao calcário incorporado sob preparo convencional de solo.

### **Avaliação da fertilidade e matéria orgânica do solo, no período de 1980 a 1986, em Passo Fundo**

Nos trabalhos desenvolvidos na Embrapa Trigo, no período de 1980 a 1986, foram avaliadas a fertilidade e matéria orgânica do solo, nos seguintes sistemas de rotação de culturas para trigo:



Sistema I: trigo/soja;

Sistema II: trigo/soja, colza/soja, cevada/soja e leguminosa/milho;

Sistema III: trigo/soja, aveia branca/soja e leguminosa/milho e;

Sistema IV: trigo/soja, colza/soja, linho/soja e leguminosa/milho.

Os valores de pH do solo em água, verificados após cada cultivo nas diversas sequências de culturas estudadas oscilaram, na camada de 0-20 cm, entre 4,7 e 5,6 no período de 1980 a 1986 (Santos; Roman, 1989). Pode-se constatar que os cultivos de inverno provocaram mudanças significativas no pH do solo, em três dos sete anos estudados (1982, 1984 e 1985), e que, em geral, observaram-se os valores mais elevados após as sequências soja-tremoço, soja-colza e trevo-ervilhaca e, mais baixos, após as gramíneas de inverno.

Quanto aos valores de Al, observaram-se diferenças devido aos tratamentos somente após os cultivos de inverno de 1985, mas a amplitude de variação dos valores médios, após os referidos cultivos (0,3 a 0,6 mmol/dm<sup>3</sup>) não permite separar efeitos nítidos, em função das várias sequências de culturas.

Os teores de Ca + Mg do solo, nos diferentes tratamentos, em todo o período de estudo, variaram em torno de 50 a 90 mmol/dm<sup>3</sup>. Somente nas amostragens realizadas no verão de 1983 encontraram-se diferenças entre os efeitos dos tratamentos sobre os teores de Ca + Mg trocáveis, cujo valor mais elevado ocorreu após uma sequência de três cultivos de trevo e um de milho. Em geral, os valores mais elevados de Ca + Mg trocáveis foram observados após as sucessões com leguminosas.

Nesse período de estudo, os teores de matéria orgânica oscilaram entre 32 g/kg e 39 g/kg. Após as culturas de verão, verificaram-se diferenças entre os tratamentos no ano de 1981. Com respeito às culturas de inverno, em geral, ocorreram maiores teores de matéria orgânica no solo após

cultivos de leguminosas, porém não houve repercussão sobre a matéria orgânica à longo prazo (cinco a seis anos). O oposto foi observado, em geral, após duas gramíneas em sequência. Isso, pode ser devido que as leguminosas incorporam mais N ao sistema do que as gramíneas (Rodrigues et al., 1998).

Os teores de P mostraram diferenças depois dos cultivos de inverno de 1980, 1981 e 1985 e de verão de 1982 e 1983. Nestas ocasiões, os teores de P do solo mais elevado foram verificados no sistema de cultivo envolvendo a sucessão trevo-trevo, trigo-soja, tremoço-milho e milho-trigo. Considerando os dados médios, observa-se que os teores de P situaram-se entre 10,9 mg/kg e 23,8 mg/kg, permanecendo, em média, acima dos valores críticos considerados para esse tipo de solo, ou seja, 9,0 mg/kg (Siqueira et al., 1987). As quantidades de P aplicados via fertilizantes foram, portanto, suficientes para manter seus teores no solo em nível adequado.

Nos valores de K, constataram-se diferenças no período de estudo, em 12 das 14 avaliações, predominando depois dos cultivos de inverno, em relação ao verão. Na maioria dos casos, os teores mais baixos de K no solo foram encontrados após cultivo de colza. Considerando-se os dados médios, os teores oscilaram entre 88 mg/kg e 161 mg/kg, mantendo-se em média, acima dos valores críticos para este tipo de solo (Latossolo Vermelho distrófico típico) (80 mg/kg), conforme Siqueira et al. (1987). Os níveis de adubação aplicada foram suficientes para manter os teores de potássio no solo em níveis adequados.

### **Avaliação da fertilidade e matéria orgânica do solo, no período de 1990 a 1991, em Passo Fundo**

No trabalho desenvolvido, no período de 1990 a 1991, em Passo Fundo, RS, com a cultura de cevada, os resultados dos diferentes tipos de manejo

de solo: 1) sistema plantio direto e 2) preparo convencional de solo com arado de discos; e de três sequências de cultura: 1) cevada/soja, 2) ervilhaca/milho e 3) aveia branca/soja sobre a fertilidade e matéria orgânica do solo, serão tratados a seguir. Em todas as camadas avaliadas não se observaram diferenças consistentes (Santos et al., 1995) de pH, Al, Ca + Mg e K, após três anos de cultivo, em sistema plantio direto, com calcário aplicado na superfície, e em preparo convencional de solo, com calcário incorporado. Para pH, Al e Ca + Mg isto poderia ser atribuído à quantidade de calcário aplicado (2,0 t/ha, PRNT 100%), em maio de 1989. Seriam necessários 5,8 t/ha de calcário (PRNT 100%) para elevar o pH a 6,0 na camada de 0-20 cm (Recomendações..., 1989). As diferenças no teor de Al (sequência 2: ervilhaca/milho) e no teor de MOS (sequência 3: aveia branca/soja), verificadas antes do início do experimento (1986), na camada de 0-20 cm, entre as parcelas que receberam os diferentes manejos de solo, influíram, provavelmente, nas diferenças observadas na camada de 0-5 cm em 1992.

A ausência de diferenças no pH em água, nas camadas de 0-5 cm ou de 0-10 cm, entre o sistema plantio direto e o preparo convencional de solo também foi verificada nos EUA, por Moschler et al. (1973) e Blevins et al. (1978), cinco anos após a aplicação de 1,0 t/ha (anual) e de 3,4 t/ha (uma só vez) de calcário, respectivamente, na superfície ou incorporado ao solo. Resultados similares foram observados no Brasil (Muzilli, 1983), quatro anos após a aplicação de 2,0 t/ha de calcário na superfície (sistema plantio direto) ou incorporado ao solo (preparo convencional). Entretanto, Blevins et al. (1978) verificaram redução no pH de 5,7 para 5,5, tanto no sistema plantio direto como no preparo convencional de solo.

Os teores de Al do solo, igualmente, foram similares àqueles observados no sexto ano por Moschler et al. (1973), na camada de 0-10 cm, onde a aplicação anual de calcário (1,0 t/ha) não determinou diferença do sistema plantio direto, em relação ao preparo convencional de solo, com uma aplicação de calcário na mesma dosagem. Os mesmos autores não encontra-

ram diferenças entre os dois tipos manejo de solo para os teores de Ca. Blevins et al. (1978) observaram que a aplicação de 3,4 t/ha de calcário na superfície, ou incorporado ao solo, aumentou o Ca na camada de 0-5 cm tanto no sistema plantio direto (de 95 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> para 130 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>), como no preparo convencional (de 95 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> para 105 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>).

Nesta pesquisa, a aplicação de calcário na área com sistema plantio direto foi suficiente para a manutenção do pH, evitando a reacidificação superficial do solo, principalmente em função do uso de fertilizantes nitrogenados. Além disso, não foram observados efeitos negativos da aplicação de calcário na superfície, indicando que a recomendação de aplicar na superfície até duas toneladas de calcário por hectare em sistema plantio direto não resulta em prejuízos às culturas estudadas.

O teor de Al na camada de 0-5 cm foi menor sob sistema plantio direto, em relação ao preparo convencional de solo. Por outro lado, o acúmulo de MOS sob sistema plantio direto, em uma camada de solo aumenta a força iônica da solução do solo (Sisti et al., 2004; Spera, 2009). Esse processo explica, em parte, a menor toxicidade de Al, na camada superficial, em razão da menor atividade iônica do Al. Além disso, esse resultado indica o benefício do sistema plantio direto, pelo acúmulo da matéria orgânica e, provavelmente, pela capacidade de suprimento do N do solo, nutriente mais limitante ao rendimento de grãos da maioria das culturas. Tendência oposta, porém, foi observada na matéria orgânica do solo, nas camadas de 10-15 cm e 15-20 cm, na sequência 3 (aveia branca/soja), onde os teores de MOS foram mais elevados no preparo convencional de solo do que no plantio direto. Isto pode ser devido à incorporação dos resíduos culturais no interior destas camadas. No Brasil, também foram observados teores maiores de MOS na camada de 0-5 cm do que na de 15-20 cm em sistemas de rotação sob sistema plantio direto (Sá, 1993; Santos; Lhamby, 1992; Santos; Siqueira, 1992). Similarmente, Belvins et al. (1977), nos EUA, verificaram teores de MOS mais elevado no sistema plantio direto do que no preparo convencional de solo, na camada de 0-5 cm; entretanto

não encontraram diferenças nos teores de MOS nas camadas de 5-15 cm e 15-30 cm.

Os teores de P, das três sequências estudadas: 1) cevada/soja, 2) ervilhaca/milho e 3) aveia branca/soja, na camada de 0-5 cm, com sistema plantio direto foram maiores do que os do preparo convencional de solo (37,30 mg/kg versus 16,87 mg/kg; 38,60 mg/kg versus 17,67 mg/kg; 26,47 mg/kg versus 16,50 mg/kg, respectivamente). Esse acúmulo, no tratamento em sistema plantio direto, provavelmente decorre do não revolvimento do solo, dos nutrientes e da baixa mobilidade deste nutriente. Tal resultado sugere a necessidade de estudos com menores aplicações de P em solos com sistema plantio direto, para se verificar a possibilidade de reduzir as doses indicadas para cultivo com sistema plantio direto, principalmente após vários anos da implementação desse sistema de manejo. Nos EUA, Shear e Moschler (1969) e Triplett Jr. e Van Doren Jr. (1969) também observaram teores maiores de P na camada 0-5 cm, em sistema plantio direto do que em preparo convencional, seis anos após a aplicação de calcário.

Os resultados de K também foram similares aos obtidos em outros trabalhos. O calcário deixado na superfície, ou incorporado ao solo, não determinou diferenças nos níveis de K, após seis anos na camada de 0-5 cm, no sistema plantio direto e no preparo convencional de solo (Shear; Moschler, 1969) ou na camada de 0-10 cm também no sistema plantio direto e no preparo convencional de solo (Moschler et al., 1973).

O calcário aplicado na superfície ou incorporado ao solo não promoveu diferenças nos teores de K, após três anos. Por outro lado, houve acúmulo de K em sistemas de rotação de culturas com plantio direto.

Os teores de P e de K encontrados nas diferentes camadas, sequências e tipo manejo de solo, foram acima dos valores considerados críticos para o crescimento e desenvolvimento das culturas (Recomendações..., 1989). Os teores de P, na camada de 0-5 cm e nas três sequências de culturas em sistema plantio direto, foram mais elevados do que observado antes do início do experimento, na camada de 0-20 cm.

## **Fertilidade e matéria orgânica do solo nos sistemas de rotação de culturas com triticale, sob sistema plantio direto**

Em 1992, foi avaliada a fertilidade e matéria orgânica do solo, após cinco anos de cultivo, sob sistema plantio direto, em Passo Fundo, RS, nos seguintes sistemas de rotação de culturas para triticale:

Sistema I: triticale/soja;

Sistema II: triticale/soja e aveia preta rolada com rolo-facas/soja;

Sistema III: triticale/soja e ervilhaca/milho;

Sistema IV: triticale/soja, aveia preta rolada com rolo-facas/soja e ervilhaca/milho; e

Sistema V: triticale/soja, triticale/soja, aveia preta rolada com rolo-facas/soja e ervilhaca/milho.

Os valores de pH do solo não diferiram entre os sistemas com triticale (Santos; Tomm, 1996b). Resultados similares foram encontrados por Santos e Roman (1989), trabalhando com sistemas de rotação de culturas para trigo. Entretanto, observaram-se diferenças de pH do solo entre algumas camadas amostradas, exceto no sistema III (triticale/soja e ervilhaca/milho). Os valores de pH do solo, nos sistemas II (triticale/soja e aveia preta rolada com rolo-facas/soja), III (triticale/soja, e ervilhaca/milho) e V (triticale/soja, triticale/soja, aveia preta rolada com rolo-facas/soja e ervilhaca/milho) foram mais elevados na camada de 0-5 cm do que na camada de 15-20 cm.

O valor médio do pH do solo na camada de 0-5 cm foi praticamente igual ao verificado na época de instalação do experimento, na camada de 0-20 cm (5,5). A aplicação de calcário, em maio de 1989 (2,0 t/ha na superfície), contribuiu para a manutenção de pH mais elevado na superfície, a exemplo do observado por Blevins et al. (1978) e por Sá (1993).

Não houve diferença entre as médias dos distintos sistemas para triticale (Santos; Tomm, 1996b), nos teores de Al. Santos e Roman (1989) não observaram diferenças nos valores de Al, em função dos diversos sistemas de rotação de culturas para trigo. Todavia, registraram-se diferenças de teor de Al, entre algumas camadas amostradas, em todos os sistemas com triticale.

Os menores valores de Al ocorreram na camada de 0-5 cm ( $0,8 \text{ mmol/dm}^3$ ) e os mais elevados, na camada de 15-20 cm ( $5,4 \text{ mmol/dm}^3$ ). Em nenhum dos sistemas com triticale houve diferenças de teor de Al entre as camadas de 0-5 cm e 10-15 cm.

Os valores de Ca + Mg não diferiram entre os sistemas para triticale (Santos; Tomm, 1996b). Resultados semelhantes foram relatados por Santos e Roman (1989) em sistemas de rotação de culturas para trigo. Contudo, foram verificadas diferenças nos teores de Ca + Mg, entre determinadas camadas amostradas, em alguns sistemas para triticale. Os sistemas I, II, IV e V apresentaram maiores valores de Ca + Mg na camada de 0-5 cm do que na camada de 5-10 cm.

Os teores médios de Ca + Mg, a exemplo do pH, reduziram com o aprofundamento da camada do solo. Os valores de Ca + Mg foram mais elevados, na camada de 0-5 cm do que nas inferiores, provavelmente devido ao calcário ter sido aplicado na superfície e não incorporado. Similarmente, Blewins et al. (1978) observaram que os valores de Ca diminuíram da camada de 0-5 cm ( $60 \text{ mmol/dm}^3$ ) para a camada de 15-20 cm ( $40 \text{ mmol/dm}^3$ ), com aplicação de calcário na superfície do solo.

Os valores de Ca + Mg nas camadas de solo estudadas foram considerados elevados (Recomendações..., 1989). Além disso, os valores da camada de 0-5 cm ( $83 \text{ mmol/dm}^3$  a  $93 \text{ mmol/dm}^3$ ) foram superiores aos teores encontrados no início do experimento ( $70 \text{ mmol/dm}^3$ ).

A monocultura de triticale apresentou, na camada de 10-15 cm, teores de matéria orgânica ( $23 \text{ g/kg}$ ) menores do que todos os demais sistemas com

triticale (24 g/kg) (Santos; Tomm, 1996b). Na camada de 5-10 cm, do sistema V (26 g/kg), constatou-se teor de matéria orgânica mais elevada do que no sistema I (triticale/soja - 24 g/kg). A substituição de aveia preta, em 1990, por aveia branca para produção de grãos, no sistema II (triticale/soja e aveia preta rolada com rolo-facas/soja), foi suficiente para determinar acréscimo significativo no teor de matéria orgânica na camada de 10-15 cm. Segundo Roman (1990), a cultura de aveia branca produz mais do que o dobro de biomassa que o triticale (7,4 t/ha e 3,0 t/ha de biomassa na parte aérea da planta, respectivamente). A diferença cumulativa no aporte de biomassa de aveia branca provavelmente tenha contribuído para o acréscimo no teor de matéria orgânica, determinando a diferença nas amostras coletadas de 10-15 cm. Os teores de matéria orgânica na camada superficial (0-5 cm) foram semelhantes nos diferentes sistemas com triticale.

Observou-se maior acréscimo nos teores de matéria orgânica, na camada de 0-5 cm, e diminuição gradual na proporção de matéria orgânica, com o aumento da camada profundidade, independente do sistema para triticale. Resultados semelhantes nas variações entre o teor de matéria orgânica da camada de 0-5 cm e o da camada de 15-20 cm foram verificadas por Santos e Lhamby (1992) em sistemas de rotação de culturas para cevada.

Os valores de P não apresentaram diferenças entre os sistemas para triticale (Santos; Tomm, 1996b). Santos e Roman (1989) encontraram resultados semelhantes em sistemas de rotação de culturas para trigo. Todavia, foram verificadas diferenças de P, entre a maioria das camadas amostradas, nos sistemas para triticale. Os sistemas I, II, III, IV e V foram superiores para os valores de P, na camada de 0-5 cm, em relação às camadas de 5-10 cm e 15-20 cm.

Observaram-se teores de P, na camada de 0-5 cm, três a quatro vezes maiores do que os registrados na camada de 15-20 cm (8,0 mg/kg). Resultados similares foram verificados por Santos e Lhamby (1992) (de 13,6 mg/kg para 5,8 mg/kg), em sistemas de rotação de culturas sob sistema plantio direto.



Os teores de P nas três primeiras camadas (0-5 cm, 5-10 cm e 10-15 cm) estiveram acima do valor considerado crítico, nesse tipo de solo (Latosolo Vermelho distrófico típico) (9 mg/kg), para o crescimento e desenvolvimento das culturas (Recomendações..., 1989). Os teores de P na camada de 0-5 cm (27,4 mg/kg a 36,2 mg/kg) e na de 5-10 cm (16,6 mg/kg a 22,7 mg/kg) foram mais elevados do que o medido sob preparo convencional de solo, antes do início do experimento (13,3 mg/kg).

Quanto aos teores de K, foram observadas diferenças entre alguns sistemas com triticales (Santos; Tomm, 1996b), cujos valores foram mais elevados no sistema I (triticales/soja; 71 mg/kg), na camada amostrada de 15-20 cm, em relação aos dos sistemas II (triticales/soja e aveia preta rolada/soja; 54 mg/kg), IV (triticales/soja, aveia preta rolada com rolo-facas/soja e ervilhaca/milho; 53 mg/kg) e V (triticales/soja, triticales/soja, aveia preta rolada com rolo-facas/soja e ervilhaca/milho; 48 mg/kg). Isso pode ser devido à maior quantidade de K aplicada na adubação de manutenção.

Os teores de K decresceram com o aprofundamento da camada amostrada: os da camada de 0-5 cm (200 mg/kg) foram 1,9 a 4,0 vezes maiores que os da camada de 15-20 cm. Acúmulos similares de K, na camada de 0-5 cm, em relação à camada de 15-20 cm, em sistemas de rotação de culturas, sob sistema plantio direto, foram observados por Santos e Lhamby (1992) (de 167 mg/kg para 55 mg/kg).

Os teores de K verificados nas camadas de 0-5 cm e de 5-10 cm foram superiores ao valor considerado crítico (80 mg/kg) para o crescimento e desenvolvimento das culturas (Recomendações..., 1989). Os teores de K das camadas de 0-5 cm (200 mg/kg a 189 mg/kg), de 5-10 cm (127 mg/kg a 102 mg/kg) e de 10-15 cm (89 mg/kg a 61 mg/kg) mantiveram-se iguais ou superiores ao teor observado antes do início do experimento (61 mg/kg), quando o solo era preparado com arado e grade.

## **Fertilidade e matéria orgânica do solo em sistemas de rotação de culturas para trigo e cevada sob sistema plantio direto**

Nos anos de 1988 e 1994, em Guarapuava, PR, a fertilidade e a matéria orgânica do solo foram avaliadas nos seguintes sistemas de rotação de culturas para trigo:

Sistema I: trigo/soja;

Sistema II: trigo/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja;

Sistema III: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja; e

Sistema IV: trigo/soja, ervilhaca/milho, cevada/soja e aveia branca/soja.

Não foram observadas diferenças entre os valores de pH do solo, na avaliação de 1988, nos quatro sistemas de rotação de culturas avaliados (Santos; Tomm, 1999). Resultados similares foram observados por Santos e Tomm (1996b), trabalhando em sistemas de rotação de culturas para triticales, durante seis anos, sob sistema plantio direto.

Na avaliação de 1994, os maiores valores de pH observados após dez anos de cultivo foram relacionados com a aplicação de 11,7 t/ha de calcário (PRNT 75 %), realizada em abril de 1989, após passados 4,5 anos da primeira aplicação de calcário (Santos; Tomm, 1996a). Por essa razão, esses resultados foram diferentes daqueles verificados por Shear e Moschler (1969), nos EUA, onde o valor de pH na camada 0-5 cm (5,4) foi menor, em comparação ao valor de pH na camada 0-20 cm, antes do estabelecimento do experimento. No trabalho conduzido nos EUA, foi aplicado 1,1 t/ha de calcário, três anos antes da primeira avaliação. Sidiras e Pavan (1985), no Estado do Paraná, após quatro anos sob sistema plantio direto, também observaram valores menores de pH, na camada 0-10 cm (5,4) do que aqueles registrados antes da instalação do experimento (5,6).

Observou-se, de modo geral, em 1994, uma diminuição gradativa do pH do solo com aprofundamento da camada de solo, na camada de 0-5 cm (de 5,86 a 5,94) para a camada de 15-20 cm (5,50-5,64). No mesmo experimento, em novembro de 1988, Santos e Tomm (1996a), observaram ocorrer o inverso com pH da camada de 0-5 cm (4,80-4,90) para a camada de 15-20 cm (5,10-5,20), o que poderia ter sido efeito residual, em profundidade da calagem de abril de 1984.

A redução dos teores de Al deve-se ao calcário aplicado em abril de 1989. Com exceção da camada de 5 cm a 10 cm, nas demais não foram observadas diferenças nos teores de Al entre os sistemas de rotação. Na camada de 5 cm a 10 cm, o sistema I ( $0,5 \text{ mmol}/\text{dm}^3$ ) mostrou valor de Al do solo maior do que o dos sistemas II ( $0,0 \text{ mmol}/\text{dm}^3$ ), III ( $0,1 \text{ mmol}/\text{dm}^3$ ) e IV ( $0,1 \text{ mmol}/\text{dm}^3$ ). Contudo, estes valores são baixos e não apresentam risco às plantas. Dados semelhantes foram encontrados por Santos e Tomm (1996b), trabalhando com cinco sistemas de rotação de culturas para triticle, após seis anos de cultivo, sob sistema plantio direto.

Comparando-se os teores de Al entre as camadas de um mesmo sistema de rotação, foram registradas diferenças em todos os sistemas. Os valores de Al do solo foram maiores na camada 0 cm a 5 cm em relação à camada de 15 cm a 20 cm (de  $0,0$ - $0,1 \text{ mmol}/\text{dm}^3$  a  $1,6$ - $3,5 \text{ mmol}/\text{dm}^3$ ), em todos os sistemas estudados. Valores contrários (de  $9,3 \text{ mmol}/\text{dm}^3$  para  $5,7 \text{ mmol}/\text{dm}^3$ ), na mesma localidade, foram observados por Santos e Siqueira (1992), avaliando sistemas de rotação de culturas para cevada, sob sistema plantio direto. Na avaliação de fertilidade nesse experimento, em novembro de 1988 (Santos; Tomm, 1996a), os valores de Al do solo foram maiores na camada de 0 cm a 5 cm ( $10,7$ - $8,7 \text{ mmol}/\text{dm}^3$ ) em comparação à camada de 15 cm a 20 cm ( $4,9$ - $6,7 \text{ mmol}/\text{dm}^3$ ).

Na avaliação realizada 4,5 anos após a implantação do sistema plantio direto (novembro de 1988), ficou caracterizada a redução de pH e incremento de Al na camada de 0 cm a 5 cm, o que suporta a hipótese da formação de uma “frente de acidificação” nos primeiros centímetros do solo, devido

às aplicações de fertilizantes nitrogenados e à mineralização dos resíduos culturais na superfície (Paiva et al., 1996).

O valor médio de Ca + Mg do solo ( $87 \text{ mmol/dm}^3$  a  $146 \text{ mmol/dm}^3$ ), em todas as camadas, é considerado acima do crítico para o crescimento e desenvolvimento das culturas da região. Isso foi decorrente da aplicação de  $3,7 \text{ t/ha}$  de calcário (PRNT 75%) em abril de 1984 (correção da área no início do experimento) e de  $11,7 \text{ t/ha}$  de calcário (PRNT 75%), após cinco anos de condução do experimento. A aplicação de calcário do tipo dolomítico contribuiu para que os teores de Ca e Mg ficassem acima dos níveis críticos para as espécies que compuseram os sistemas de rotação (Recomendações..., 1995).

Os sistemas de rotação não diferiram entre si quanto aos teores de Ca + Mg, dentro da mesma camada amostrada, com exceção do sistema II, o qual mostrou teor de Ca + Mg ( $124 \text{ mmol/dm}^3$ ) menor do que os sistemas III ( $137 \text{ mmol/dm}^3$ ) e IV ( $141 \text{ mmol/dm}^3$ ), na camada de 5 cm a 10 cm. Não houve diferenças entre os sistemas de rotação, na avaliação realizada 4,5 anos após a implementação do sistema plantio direto.

Em todos os sistemas de rotação, os teores de Ca + Mg foram maiores na camada de 0 cm a 5 cm ( $136\text{-}146 \text{ mmol/dm}^3$ ) em relação à camada de 15 cm a 20 cm ( $87\text{-}101 \text{ mmol/dm}^3$ ). Dados semelhantes foram obtidos por Sidiras e Pavan (1985), trabalhando com tipos de manejo de solo e com sistemas de rotação de culturas para trigo ( $74 \text{ mmol/dm}^3$  para  $62 \text{ mmol/dm}^3$ ), e por Santos e Tomm (1996b), com sistemas de rotação de culturas para triticale. Por ocasião da avaliação, em novembro de 1988, Santos e Tomm (1996a) verificaram tendência oposta, ou seja, maiores valores de Ca + Mg trocáveis na camada 15 cm a 20 cm ( $84,8\text{-}90,6 \text{ mmol/dm}^3$ ) em comparação à camada de 0 cm a 5 cm ( $66,9\text{-}75,8 \text{ mmol/dm}^3$ ), provavelmente, em função da falta de aplicação de calcário.

Na avaliação de novembro de 1988, os teores de matéria orgânica, em todas as camadas ( $69,0\text{-}71,7 \text{ g/kg}$  a  $72,3\text{-}74,0 \text{ g/kg}$ ), foram maiores do que

na avaliação de maio de 1994 (51-52 g/kg a 57-58 g/kg). Em maio de 1994, não houve diferenças entre os valores dos diferentes sistemas de rotação quanto aos teores de matéria orgânica, na mesma camada amostrada.

Foram verificadas diferenças nos teores de matéria orgânica entre camadas amostradas, em todos os sistemas de rotação. Os valores de matéria orgânica do solo decresceram progressivamente da camada 0 cm a 5 cm (57 g/kg a 58 g/kg) até a camada 15 cm a 20 cm (51 g/kg a 52 g/kg). Tendência semelhante nas variações entre o teor de matéria orgânica na camada de 0-5 cm e na camada de 15-20 cm foi verificada por Santos e Siqueira (1992), por Sá (1993) e por Santos e Tomm (1996b).

Os teores de P do solo (2,6 g/kg a 7,1 mg/kg), observados após dez anos sob sistema plantio direto em todas as camadas nos sistemas II (6,4 mg/kg a 2,6 mg/kg), III (7,0 mg/kg a 3,4 mg/kg) e IV (7,1 mg/kg a 3,4 mg/kg), foram inferiores ao valor considerado crítico (9,0 mg/kg) para o crescimento e desenvolvimento das culturas. Na camada de 0 cm a 5 cm da monocultura de trigo/soja o valor situou-se acima deste teor crítico (12,0 mg/kg).

Todos os sistemas avaliados diferiram quanto aos valores de P, entre determinadas camadas amostradas. Na maioria dos sistemas, os valores de P na camada de 0 cm a 5 cm (6,4-12,0 mg/kg) foram superiores ao dobro dos valores verificados na camada de 15 cm a 20 cm (2,6-3,4 mg/kg). Dados semelhantes foram observados em outros estudos sob sistema plantio direto por Shear e Moschler (1969), por Triplett Jr. e Van Doren Jr. (1969), por Santos; Siqueira (1992) e por Sá (1993).

Após dez anos de SPD, o teor de K, nas camadas até 15 cm, foram superiores ao valor considerado crítico para o crescimento e desenvolvimento das culturas (80 mg/kg). Os valores de K do solo não diferiram entre os sistemas estudados. Porém, entre as camadas, os sistemas I e II mostraram teor de K mais elevado na camada de 0 cm a 5 cm, em relação à camada de 15 cm a 20 cm. Nesse período de estudo, houve acúmulo de K na camada superficial do solo.

Em algumas camadas amostradas de solo, nos sistemas de rotação avaliados, foram verificadas diferenças de K. Nessas observações, os sistemas I e II apresentaram teores de K na camada de 0 cm a 5 cm (de 183 mg/kg a 195 mg/kg) e foram em valores, 2,2 a 2,7 vezes maiores que a concentração observada na camada de 15 cm a 20 cm (de 70 mg/kg a 87 mg/kg). Acúmulos similares de K, na camada 0-5 cm, em relação à camada 15-20 cm, foram relatados por Shear e Moschler (1969), por Triplett Jr. e Van Doren Jr. (1969), por Santos e Siqueira (1992) e por Santos e Tomm (1996b).

Nos anos de 1988 e 1994, em Guarapuava, PR, nos seguintes sistemas de rotação de culturas para cevada, foram avaliadas a fertilidade e a matéria orgânica do solo:

Sistema I: cevada/soja;

Sistema II: cevada/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja;

Sistema III: cevada/soja, linho/soja e ervilhaca/milho; e

Sistema IV: cevada/soja, linho/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho.

Na camada de 0-5 cm não houve diferença para o valor de pH entre os sistemas estudados (Santos; Tomm, 1998). Porém, na camada de 5-10 cm, os sistemas II (5,8) e III (5,86) mostraram valor de pH do solo menor, em comparação ao sistema IV (6,00). Todavia, essas diferenças não são agronomicamente relevantes.

Em 1994, nas camadas de 0-5 cm a 15-20 cm, foram verificadas diferenças de pH, nos sistemas I, II e IV. O pH do solo diminuiu gradativamente com o aumento na camada de amostragem de solo (de 5,8 a 5,9, na camada de 0-5 cm para 5,5-5,6, na camada de 15-20 cm). Na primeira avaliação do mesmo experimento, realizada por Santos e Siqueira (1996), em novembro de 1988, o pH do solo elevou-se gradativamente com o aumento da profundidade de amostragem do solo (4,8 para 5,1). Dados semelhantes foram observados por Santos e Lhamby (1992) (5,2 para 4,9), em 1988, após cinco anos. A adição de fertilizantes nitrogenados, aliada à manutenção

dos resíduos vegetais na superfície, pode gerar acidez, principalmente na primeira camada (0-5 cm).

Não houve diferença entre os valores médios de Al nos diferentes sistemas de rotação (Santos; Tomm, 1998). Isso está relacionado com os dados obtidos para os valores de pH do solo. Na primeira avaliação, em novembro de 1988 (Santos e Siqueira, 1996), o valor de Al do solo ( $9,3 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$ ) na camada de 0-5 cm foi mais elevada, em relação ao valor obtido por ocasião da segunda leitura, em maio de 1994.

Ao compararem-se os teores de Al entre as camadas de um mesmo sistema de rotação, foram verificadas diferenças. Os valores de Al do solo aumentaram da camada 0-5 cm para a camada de 15-20 cm (de  $0,0-0,1 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$  para  $0,8-1,3 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$ ). Na primeira avaliação da fertilidade nesse experimento (Santos e Siqueira, 1996), em novembro de 1988, os valores de Al do solo diminuíram da camada 0-5 cm ( $9,3 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$ ) para a camada de 15-20 cm ( $5,7 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$ ). Resultado semelhante (de  $9,5 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$  para  $6,0 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$ ), na mesma localidade, foi observada por Santos e Lhamby (1992), no Estado do Paraná, avaliando sistemas de rotação de culturas para trigo, sob sistema plantio direto. O aumento no teor de Al com o aumento da profundidade está relacionado com a redução no efeito residual da calagem na superfície, ou indica que, eventualmente, na incorporação do calcário, uma maior proporção do corretivo aplicado ficou retida nas camadas próximas à superfície.

O sistema IV apresentou teor de Ca + Mg ( $131 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$ ) mais elevado do que o sistema II ( $116 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$ ), na camada 5-10 cm. Para os demais sistemas, não houve diferenças nessa camada de solo. Isso foi igualmente verdadeiro para as demais camadas amostradas, nos diferentes sistemas de rotação, em ambos os períodos estudados. A diferença do teor de Ca + Mg entre os sistemas, pode estar relacionado com as culturas que compõem o sistema IV, dentre as quais o linho que, nesse sistema é a espécie que menos exporta Ca para produzir 1 t/ha de grãos.

Nas comparações dentro de um mesmo sistema de rotação, foram observadas diferenças de Ca + Mg do solo, entre determinadas camadas amostradas, em alguns sistemas de rotação. O teor de Ca + Mg diminuiu da camada 0-5 cm (126-130 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>) para a camada 15-20 cm (95-98 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>). Isso pode ter sido reflexo da distribuição do calcário na camada 0-20 cm. Dados semelhantes foram obtidos por Sidiras e Pavan (1985), trabalhando com tipos de manejo de solo e com sistemas de rotação de culturas para trigo (74 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> para 62 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>), e por Santos e Tomm (1996b), com sistemas de rotação de culturas para triticales. Nesse experimento, por ocasião da primeira avaliação, em novembro de 1988 Santos e Siqueira (1996) verificaram tendência oposta, ou seja, houve aumento nos valores de Ca + Mg da camada 0-5 cm (64 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>) para a camada 15-20 cm (de 71 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>). Resultados similares foram obtidos por Santos e Lhamby (1992).

Na avaliação de novembro de 1988, o teor de matéria orgânica do solo na camada de 0-5 cm dos sistemas de rotação de culturas II, III e IV foram superiores aos encontrados por ocasião da segunda leitura (49 g/kg a 57 g/kg) em maio de 1994, onde o sistema I, como uma exceção, apresentou teores ligeiramente inferiores (64 g/kg a 66 g/kg) nas diferentes camadas amostradas.

Na avaliação de maio de 1994, não houve diferenças entre as médias dos diferentes sistemas de rotação para os valores de matéria orgânica. Santos e Tomm (1996b), trabalhando com sistemas de rotação de culturas para triticales, durante seis anos, sob sistema plantio direto, observaram teor de matéria orgânica do solo menor na monocultura desse cereal do que em todos os demais sistemas de rotação de culturas de inverno, na camada de 10-15 cm.

Foram observadas diferenças nos teores de matéria orgânica entre determinadas camadas amostradas do solo, em três sistemas de rotação. Os teores de matéria orgânica do solo decresceram progressivamente da



camada de 0-5 cm (55 g/kg a 57 g/kg) para a camada de 15-20 cm (49 g/kg a 50 g/kg). Resultados semelhantes nas variações entre teor de matéria orgânica foram verificados por Sá (1993), por Santos e Lhamby (1992) e por Santos e Tomm (1996b), em sistemas de rotação de culturas para trigo e triticale, sob sistema plantio direto.

Os teores de P do solo (2,6 mg/kg a 7,1 mg/kg), em todas as camadas, foram inferiores ao valor considerado crítico, nesse tipo (Latosolo Bruno álico) de solo (9,0 mg/kg), para o crescimento e desenvolvimento das culturas (Reunião..., 1995). Os valores de P do solo, não apresentaram diferenças entre os diferentes sistemas de rotação. Isto tem sido observado nesse tipo de trabalho. Resultados semelhantes foram obtidos por Santos e Tomm (1996b).

Em todos os sistemas avaliados foram verificadas diferenças nos valores de P entre determinadas camadas amostradas. Em todos os sistemas, os teores de P na camada de 0-5 cm (6,1-7,1 mg/kg) foram superiores em dobro aos teores observados na camada de 15-20 cm (2,6-2,9 mg/kg). Dados semelhantes foram verificados por Sá (1993) e por Santos e Lhamby (1992) sob sistema plantio direto.

Os teores de K do solo, nas camadas de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-15 cm, foram inferiores ao valor considerado crítico (80 mg/kg) para o crescimento e desenvolvimento das culturas (Reunião..., 1995).

Em 1994, os teores de K do solo na camada 0-5 cm foi maior no sistema II (187 mg/kg) do que no sistema III (151 mg/kg). Santos e Tomm (1996b) verificaram que os valores de K na camada de 15-20 cm foram maiores no sistema I (71 mg/kg), em comparação aos sistemas II (54 mg/kg), IV (53 mg/kg) e V (48 mg/kg).

Entre a maioria das camadas amostradas, nos sistemas de rotação avaliados, foram observadas diferenças entre os valores de K. Nessas verificações, os sistemas apresentaram teores de K mais elevados na camada

0-5 cm, em relação à camada de 15-20 cm. Os teores de K na camada 0-5 cm (de 166 mg/kg a 187 mg/kg) foram 2,2 a 2,4 vezes maiores que a concentração observada na camada de 15-20 cm. Acúmulos similares de K, na camada 0-5 cm, em comparação à camada 15-20 cm, foram relatados por Santos e Lhamby (1992) e por Santos e Tomm (1996b).

### **Fertilidade e matéria orgânica do solo em sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária sob sistema plantio direto, em Passo Fundo, RS**

No período de 1990 a 1995, em Passo Fundo, RS, a Embrapa Trigo desenvolveu trabalho, no Cepagro, da FAMV/UPF, com sistemas de produção integração lavoura + pecuária com pastagens anuais de inverno, sob sistema plantio direto (Santos et al., 2006b). Os tratamentos constaram dos seguintes sistemas:

Sistema I: trigo/soja, pastagem de aveia preta/soja e pastagem de aveia preta/soja;

Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho;

Sistema III: trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; e

Sistema IV: trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja.

Considerando-se que inicialmente o pH do solo havia sido corrigido para 5,5 em 1990, ocorreu, após seis anos, em maio de 1996, reacidificação do solo, possivelmente devido à mineralização de matéria orgânica e da adubação de culturas com fertilizantes amoniacais e da acidificação provocada pela precipitação. Isso pode ser atribuído à aplicação de fertilizantes amoniacais, duas vezes por ano e à mineralização de resíduos culturais na superfície do solo (Spera, 2009). Nas culturas de inverno e nas pastagens

foi aplicado nitrogênio na adubação de manutenção e de cobertura ou após primeiro pastejo, bem como na cultura de milho, no verão. Embora os sistemas de produção estudados não tenham induzido diferenças significativas nos valores de pH do solo, a possível reacidificação sugere necessidade de reaplicação de calcário, conforme preconizado por Recomendações... (1995). Pelo rendimento médio de grãos de soja (3.240 kg/ha), obtidos em 1995, apesar do pH relativamente baixo, essa leguminosa ainda produziu acima da média da região (1.762 kg/ha) (Reunião..., 1999b). Segundo Edmeades et al. (1981), parte da resposta positiva das culturas à calagem pode ocorrer pelo aumento de absorção de N pelas plantas. Nesse período, isso não foi observado entre os sistemas estudados. A reacidificação do solo tende a alterar a atividade microbiana, a liberação e a absorção de N, que, por sua vez, limita o crescimento de plantas.

Nos sistemas I e III foram observadas diferenças do valor de pH do solo entre camada 0-5 cm (5,0) e 10-20 cm (4,9). O pH do solo, nesses sistemas, apresentou valores mais baixos na profundidade 0-5 cm do que na camada 5-10 cm. A partir da camada de 5-10 cm, os valores de pH diminuíram gradativamente com o aumento da profundidade do solo (10-20 cm). A alteração do pH nesses sistemas pode ser explicada, em parte, pelo retorno dos resíduos vegetais depositados na superfície do solo. Como trata-se de trabalhos conduzidos sob sistema plantio direto, em ambos os casos houve menor mineralização dos resíduos vegetais.

A exemplo do ocorrido para pH do solo, os sistemas de produção estudados não induziram diferenças nos valores de Al trocável do solo. O comportamento do Al está em consonância com os resultados obtidos para pH do solo e associado ao processo de acidificação do solo. O período de seis anos e o estabelecimento das espécies sob sistema plantio direto não foram suficientes para promover mudanças químicas significativas no solo, entre os sistemas estudados. Resultados similares foram observados por Santos e Tomm (1996a), trabalhando com sistemas de rotação de culturas para trigo, após cinco anos de cultivo sob sistema plantio direto, em La-

tossolo Bruno álico, no Paraná. Em todos os sistemas de produção foram verificadas diferenças no nível de Al trocável entre as profundidades de amostragem do solo. O Al trocável aumentou gradativamente da camada 5-10 cm ( $6,6 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$  e  $8,8 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$ ) para a camada 20-30 cm ( $22,6 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$  e  $24,3 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$ ). Dados similares foram observados por Santos e Tomm (1999) e por Sidiras e Pavan (1985), também trabalhando com sistemas de rotação de culturas para trigo, sob sistema plantio direto, no Paraná.

Os valores de Ca + Mg trocáveis do solo são considerados elevados para desenvolvimento das culturas tradicionais no solo em estudo (Recomendações..., 1995). A aplicação de calcário dolomítico, antes da instalação do experimento, forneceu Ca e Mg em quantidades adequadas, que ultrapassaram o nível crítico exigido pelas espécies vegetais dos sistemas estudados, que são, respectivamente  $40 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$  e  $10 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$  (Recomendações..., 1995). Em conformidade com o ocorrido com os atributos pH e Al trocável do solo, os sistemas de produção estudados não promoveram efeito significativo nos valores de Ca + Mg trocáveis do solo. Em seis anos não foi verificada mudanças químicas significativas no solo, entre os sistemas estudados. Os menores valores para Ca + Mg trocáveis na camada 20-30 cm, em comparação às camadas superiores, é devido a concentração destes nutrientes nas camadas superficiais. Porém, em alguns trabalhos sob plantio direto têm ocorrido essas mudanças (Sá, 1993; Santos; Tomm, 1996a; Franchini et al., 2000). Santos e Tomm (1996a) obtiveram resultados similares. Sidiras e Pavan (1985) observaram maiores valores de Ca + Mg trocáveis na camada superficial (0-10 cm), em relação à camada mais profunda (10-20 cm).

Nas diferentes camadas de amostragem houve diferenças entre os sistemas quanto aos valores entre os níveis médios de matéria orgânica do solo. O sistema III (trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho -  $36 \text{ g/ha}$ ) apresentou nível de matéria orgânica mais elevada do que o sistema II (trigo/soja e pastagem de aveia

preta + ervilhaca/milho - 32 g/ha), na camada 0-5 cm. Como consequência, o sistema III produziu 3,2 t a 3,3 t mais fitomassa por hectare, em relação à maioria dos sistemas estudados (2,7 t a 2,9 t). Isso pode explicar, em parte, o nível maior de matéria orgânica desse sistema, em relação aos demais. Além disso, o rendimento médio de grãos de trigo do sistema III (2.180 kg/ha) foi mais elevado do que o do sistema II (1.990 kg/ha). Por sua vez, o nível de matéria orgânica do sistema I (trigo/soja, pastagem de aveia preta/soja e pastagem de aveia preta/soja - 29 g/ha) foi superior ao sistema II (26 g/ha), na camada 5-10 cm. O sistema IV (trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja – somente produção de grãos - 27 g/ha) mostrou valor de matéria orgânica maior, em comparação aos sistemas I (25 g/ha) e II (25 g/ha), na camada 10-20 cm. Uma explicação aceitável para essa diferença seria atribuída ao maior volume de raízes de aveia preta remanescente (Calegari et al., 1992). Foram verificadas diferenças no valor de matéria orgânica do solo entre determinadas profundidades de sua amostragem, na maioria dos sistemas de produção. Em todos os sistemas houve redução progressiva da matéria orgânica do solo da camada superficial para as camadas mais abaixo. Resultados semelhantes nas variações entre nível de matéria orgânica da camada de 0-5 cm para a camada 15-20 cm foram verificadas por Sá (1993) e por Santos e Tomm (1996a), em sistemas de rotação de culturas envolvendo trigo. A manutenção do nível de matéria orgânica em valores mais elevados apenas na camada superficial do solo decorre do acúmulo de resíduos vegetais sobre a superfície do solo sob plantio direto, resultante da ausência de incorporação física destes em função do revolvimento, a qual diminui a taxa de mineralização. Conclusões semelhantes foram registradas por Muzilli (1983). No sistema plantio direto, o acúmulo de matéria orgânica do solo e bases trocáveis nas camadas superficiais favorece a complexação do Al (Spera, 2009), o que permite a redução da frequência e da dose de calcário a ser aplicada.

O teor de P extraível do solo mostrou-se superior ao valor considerado crítico (9,0 mg/kg) para crescimento e desenvolvimento de culturas anuais

nesse tipo de solo (Latosolo Vermelho distrófico típico) (Reunião..., 1999a). Portanto, nesse caso, para adubação de manutenção, só deve ser feita a reposição da quantidade desse elemento que for retirada pelas espécies cultivadas, conforme sugerem as indicações técnicas (Reunião..., 1999a, 1999b).

Apenas na camada 0-5 cm foram observadas diferenças entre os sistemas de produção de culturas para o teor de P extraível, sendo maior no sistema IV (28,6 mg/kg) do que nos sistemas II (18,9 mg/kg) e III (20,5 mg/kg). Esse efeito pode ser reflexo do consórcio aveia preta + ervilhaca, que foi pastejado por duas e/ou três vezes por ano, durante o período de estudo nos sistemas II (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) e III (trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho). Consequentemente houve maior remoção desse elemento do que no sistema IV (trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja), destinados somente para produção de grãos, considerando-se que a dose de fósforo aplicada foi a mesma em todos os tratamentos.

Todos os sistemas avaliados diferiram quanto ao teor de P extraível em todas as camadas de amostragem, exceto no contraste entre as camadas 10-20 cm e 20-30 cm. Em todos os sistemas o teor de P extraível na profundidade 0-5 cm foi de 4,2 a 4,6 vezes maiores do que o teor registrado na profundidade 20-30 cm. Resultados semelhantes foram obtidos em outros estudos em sistema plantio direto (Shear; Moschler, 1969; Triplett Jr.; Van Doren Jr., 1969; Sá, 1993; Santos; Tomm, 1999; Santos et al., 2001).

Apenas no sistema IV o teor de K trocável do solo manteve-se acima do valor considerado crítico (80 mg/kg) para crescimento e desenvolvimento de culturas anuais nesse tipo de solo (Latosolo Vermelho distrófico típico) (Reunião..., 1999a). O valor de K trocável do solo diferiu, significativamente, entre todos os sistemas de produção estudados. O teor de K trocável, nas camadas 0-5 cm a 20-30 cm, foi mais elevado no sistema IV (trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja - 193 mg/kg e 43 mg/kg) do que nos sistemas I (trigo/soja, pastagem de aveia preta/soja e pastagem de aveia

preta/soja - 129 mg/kg e 24 mg/kg), II (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho - 144 mg/kg e 28 mg/kg) e III (trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho - 142 mg/kg e 26 mg/kg), respectivamente. Isso pode ser devido do pastejo de aveia preta e do consórcio aveia preta + ervilhaca, que ocorreu por duas ou por três vezes por ano, durante esse período de estudo, nos sistemas II e III, que teve como consequência maior remoção desse elemento do que para as culturas do sistema IV, usadas exclusivamente para produção de grãos. Santos e Tomm (1996a), estudando sistemas de rotação de culturas para trigo, não observaram diferenças entre os sistemas avaliados para esse elemento.

Foram verificadas diferenças significativas de K trocável entre todas as camadas de amostragem de solo de todos os sistemas de produção avaliados, exceto no contraste entre 10-20 cm e 20-30 cm. O teor de K trocável na camada 0-5 cm foi de 2,6 a 3,3 vezes maiores que a concentração verificada na camada 10-20 cm. Acúmulos semelhantes de K trocável, na camada 0-5 cm, em relação à camada 15-20 cm, em sistemas de rotação de culturas, sob sistema plantio direto, foram observados por Shear e Moschler (1969), Triplett Jr. e Van Doren Jr. (1969), Santos e Tomm (1999) e Santos et al. (2001).

### **Fertilidade e matéria orgânica do solo em sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, sob sistema plantio direto, em Coxilha, RS**

No período de 1995 a 2000, em Coxilha, RS, foram estudados sistemas de produção com pastagens anuais de inverno e de verão. Os tratamentos foram constituídos por seis sistemas de produção com integração lavoura + pecuária (Santos et al., 2006a):

Sistema I: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho;

Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho;

Sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho;

Sistema IV: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho;

Sistema V: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho; e

Sistema VI: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho.

O pH do solo, nas três primeiras camadas estudadas e nos sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, decresceu após sete anos de cultivo, em comparação ao observado antes da instalação do experimento, cujos valores foram 0-5 cm: 5,58; 5-10 cm: 5,65; e 10-15 cm: 5,51. Como o calcário foi aplicado cinco anos antes da instalação do experimento, baseado no método SMP (pH 6,0), isso indica que houve acidificação, principalmente na camada superficial do solo. Em todos os sistemas de produção houve perda gradual do efeito residual da calagem efetuada, em relação ao início do estabelecimento desse experimento. Em todos os sistemas de produção houve acidificação da camada 0-5 cm, necessitando reaplicação de calcário após onze anos, para possibilitar o cultivo eficiente de leguminosas (Manual..., 2004). A acidificação da camada superficial do solo não afetou o rendimento médio de grãos das espécies em cultivo, de 1995 a 2000. Por exemplo, a cultura de soja rendeu 3.162 kg/ha, em 2000, acima da média da região (2.300 kg/ha). Entre sistemas de produção, houve diferença para valor de pH do solo somente na camada 5-10 cm, na qual o Sistema II apresentou pH maior que o verificado no sistema III. Por sua vez, todos os sistemas de produção, em todas as camadas, apresentaram



diferença para valor de pH, em relação à floresta subtropical, que apresenta a condição original de fertilidade do solo. Na camada 0-5 cm, o valor de pH da floresta subtropical foi superior ao dos sistemas de produção, enquanto, nas camadas 10-15 cm e 15-20 cm, foram inferiores. Era de se esperar que a floresta subtropical apresentasse pH menor que os obtidos nos sistemas de produção, pois estes receberam calagem e adubação. Em todos os sistemas de produção e na floresta subtropical foram verificadas diferenças no valor de pH de solo entre as camadas amostradas. O valor de pH dos sistemas de produção aumentou da camada 0-5 cm (de 4,86 a 4,93) para a camada 10-15 cm (de 5,18 a 5,43), enquanto para floresta subtropical ocorreu o inverso (5,45 para 5,03, respectivamente). Além disso, a floresta subtropical continuou apresentando redução no valor de pH até a camada 15-20 cm. Provavelmente, deve estar ocorrendo acúmulo de bases (cálcio + magnésio e potássio) que estão sendo carregadas pelas enxurradas da área do próprio experimento e de lavouras das redondezas, em razão de a floresta subtropical estar localizada paralelamente e no terço inferior da área experimental. Isso pode explicar o maior valor de pH da floresta subtropical. Entre as camadas 10-15 cm e 15-20 cm não houve diferença do valor de pH para sistemas de produção e a floresta subtropical.

O valor de Al trocável de solo, nas duas primeiras camadas e em todos os sistemas de produção, foi mais elevado que o verificado sete anos após a instalação do experimento, cujos valores foram 0-5 cm: 1,00 e 5-10 cm: 1,13 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>. O aumento no teor de Al é consequência da acidificação. Houve diferença no Al trocável entre as camadas amostradas, para alguns sistemas de produção. Nas camadas de 5-10 cm (4,23 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>) e 10-15 cm (4,53 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>), o sistema I (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) apresentou maior valor de Al trocável de solo que o sistema II trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho (2,28 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> e 0,44 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, respectivamente). Por sua vez, a floresta subtropical apresentou menor valor de Al trocável em comparação ao sistema I, na camada 0-5 cm, enquanto, na camada 10-15 cm esse valor foi

maior para a floresta subtropical, em relação aos sistemas II, III, IV, V e VI. Além disso, a floresta subtropical foi superior ao sistema II para o valor de Al trocável, na camada 15-20 cm. Esses valores de Al estão relacionados diretamente aos valores de pH. Na maioria dos sistemas de produção foi verificada diferença no nível de Al trocável do solo entre as camadas amostradas de solo. Todavia, o sistema III não diferiu entre as camadas amostradas. No sistema I e na floresta subtropical, o teor de Al trocável aumentou da camada 0-5 cm para a camada 15-20 cm. Nos sistemas IV (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho) e VI (trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho) isso não ficou bem definido, pois o valor de Al trocável, da camada 0-5 cm para as camadas de 5-10 cm e 10-15 cm, primeiro diminuiu e depois aumentou, até a camada 15-20 cm. Como o calcário foi aplicado cinco anos, antes da instalação do experimento, isso indica que houve acidificação, principalmente da camada superficial do solo.

Os teores de Ca + Mg trocáveis de solo, em todas as camadas e em todos os sistemas de produção, estão acima do considerado necessário para o crescimento e desenvolvimento das culturas tradicionais da região (Manual..., 2004). Isso pode ser confirmado pelo desempenho das espécies cultivadas tanto no inverno como no verão, de 1995 a 2000. Entretanto, esses valores, nas duas primeiras camadas, foram menores que os observados sete anos após a instalação do experimento, cujos valores foram 0-5 cm: 93 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> e 5-10 cm: 94 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>. A acidez do solo da área experimental havia sido corrigida com calcário dolomítico antes do início do referido experimento. A aplicação de calcário dolomítico forneceu Ca e Mg em quantidades adequadas para que ultrapassassem o nível crítico exigido pelas espécies vegetais dos sistemas de produção, que são 40 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> e 10 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> (Manual..., 2004). Entre os sistemas de produção não houve diferença quanto aos teores de Ca + Mg trocáveis do solo, em todas as camadas amostradas. Porém a floresta subtropical apresentou valores de Ca + Mg trocáveis maiores que os dos sistemas de produção, para a

camada 0-5 cm, enquanto, para as camadas 10-15 cm e 15-20 cm, ocorreu o contrário. Era de se esperar que, na primeira camada, a floresta subtropical ( $123 \text{ mmol}/\text{dm}^3$ ) mostrasse valores de Ca + Mg trocáveis menores que os dos sistemas de produção ( $69 \text{ mmol}/\text{dm}^3$  a  $72 \text{ mmol}/\text{dm}^3$ ). Para os sistemas de produção, houve diferença entre todas as camadas amostradas quanto aos teores de Ca + Mg trocáveis de solo. Os teores de Ca + Mg trocáveis aumentaram, da camada 0-5 cm para a camada 10-15 cm, no sistema II, enquanto para a floresta subtropical ocorreu o inverso. Nos sistemas IV e VI, depois de aumentarem, da camada 0-5 cm para camada 10-15 cm, os teores de Ca + Mg trocáveis voltaram a diminuir, na camada 15-20 cm, em relação à primeira camada estudada. Os valores maiores de Ca + Mg trocáveis, na primeira camada da floresta subtropical, podem estar relacionados ao acúmulo de bases (cálcio + magnésio e potássio), decorrente do carreamento desses elementos químicos por enxurradas, da área do próprio experimento e de lavouras das redondezas, em virtude de a floresta subtropical estar localizada ao lado e no terço inferior da área experimental. Para o sistema III não foi encontrada diferença entre camadas amostradas e teores de Ca + Mg trocáveis. Os valores de Ca + Mg trocáveis do Sistema II foi semelhante ao obtido para pH.

O nível de matéria orgânica do solo, em todas as camadas e em todos os sistemas de produção, foi igual ou superior ao registrado sete anos antes da instalação do experimento, cujos valores foram 0-5 cm: 41 g/kg; 5-10 cm: 36 g/kg; 10-15 cm: 33 g/kg; e 15-20 cm: 32 g/kg. Nos sistemas de produção, em todas as camadas amostradas, não houve diferença entre o nível médio de matéria orgânica. Porém o nível de matéria orgânica da floresta subtropical, na camada 5-10 cm (44 g/kg), foi superior ao dos sistemas IV (37 g/kg), V (36 g/kg) e VI (37 g/kg). Por sua vez, na camada 15-20 cm, em todos os sistemas de produção, ocorreu maior nível de matéria orgânica que na floresta subtropical. Houve, em todos os sistemas de produção, acúmulo de matéria orgânica nas camadas próximas à superfície do solo, indicando que esse modo de manejo de solo pode contribuir para o

aumento do nível de matéria orgânica de solo e conseqüentemente, da fertilidade química do solo. Foram observadas diferenças no nível de matéria orgânica em todas as camadas amostradas de solo, em todos os sistemas de produção e na floresta subtropical. O nível de matéria orgânica diminuiu da camada superficial para as camadas mais profundas entre todos os sistemas de produção e a floresta subtropical. Em todos os sistemas de produção, o valor de matéria orgânica, na camada 0-5 cm, foi 1,5 a 2,2 vezes maior que o nível registrado na camada 15-20 cm. A manutenção do nível de matéria orgânica de solo em valores mais elevados apenas na camada superficial do solo decorre da permanência de resíduos vegetais sobre a superfície do solo sob sistema plantio direto, resultante da ausência de incorporação física destes através do revolvimento, que é praticado no preparo convencional de solo, a qual diminui a taxa de mineralização (Santos et al., 2003). Deve ser considerado que, nas espécies destinadas à produção de grãos e nas forrageiras, foi aplicada a dose indicada de nitrogênio como adubação de manutenção e de cobertura, exceto para soja que foi inoculada com rizóbio específico. Isso, por sua vez, repercutiu no nível de matéria orgânica, na camada 0-20 cm, em todos os sistemas estudados.

O teor de P extraível de solo, nas camadas 0-5 cm (22,1 mg/kg a 28,7 mg/kg) e 5-10 cm (12,9 mg/kg a 20,5 mg/kg), em todos os sistemas de produção, foi superior ao valor considerado crítico (9,0 mg/kg) nessa classe de textura (Latossolo Vermelho distrófico típico), para o crescimento e desenvolvimento de culturas tradicionais (Manual..., 2004). Isso pode ser confirmado pelo rendimento das espécies cultivadas, de 1995 a 2000. O teor de P extraível, observado em 2001, em três das quatro camadas estudadas e em todos os sistemas de produção, foi mais elevado que o teor avaliado sete anos antes da instalação do experimento, cujos valores foram 0-5 cm: 13,7 mg/kg; 5-10 cm: 10,5 mg/kg; e 15-20 cm: 3,8 mg/kg. O sistema plantio direto provoca alterações nas propriedades químicas de solo, as quais, por sua vez, refletem-se na fertilidade e na eficiência de uso de nutrientes pelas espécies. A rotação de culturas tem importante papel na ciclagem de

nutrientes, uma vez que as espécies vegetais diferem entre si no que se refere à quantidade e à qualidade de resíduos fornecidos, à eficiência de absorção de íons e à exploração de diferentes profundidades de solo pelo sistema radicular. Pode ser que a quantidade de adubo fosfatado aplicado na adubação de manutenção, de 1995 a 2000, tenha sido maior que a necessidade de cada cultura. Em algumas camadas amostradas, houve diferenças entre os sistemas de produção para o valor de P extraível do solo. O sistema III foi superior aos sistemas II, V e VI para teor de P extraível, na camada 5-10 cm. Além disso, o sistema III mostrou maior teor de P extraível que o sistema V, na camada 10-15 cm. Ademais, na maioria das camadas estudadas, os sistemas de produção apresentaram maior valor de P extraível, em relação à floresta subtropical. Os sistemas de produção e a floresta subtropical diferiram quanto ao teor de P extraível, em todas as camadas amostradas. Provavelmente, a concentração mais elevada do P nos sistemas de produção, em comparação com a floresta subtropical, esteja relacionada ao P no sedimento do que em solução refletindo sua forte adsorção específica e sua baixa solubilidade (Hernani et al., 1999). O valor de P extraível, em todos os sistemas de produção, na camada 0-5 cm foi, 4,2 e 6,8 vezes maior que o teor verificado na camada 15-20 cm.

O teor de K trocável de solo nas camadas 0-5 cm e 5-10 cm, em todos os sistemas de produção e na floresta subtropical, foi superior ao valor considerado crítico (80 mg/kg) para o crescimento e desenvolvimento das culturas tradicionais (Manual..., 2004). Além disso, o teor de K em 2001, em todas as camadas de solo e em todos os sistemas de produção, manteve-se acima do teor encontrado sete anos após a instalação do experimento, cujos valores foram 0-5 cm: 158 mg/kg; 5-10 cm: 77 mg/kg; 10-15 cm: 51 mg/kg; e 15-20 cm: 36 mg/kg. Para os sistemas de produção e para a floresta subtropical, não houve diferenças entre o teor de K trocável. Além disso, a floresta subtropical tendeu a apresentar teor de K trocável relativamente elevado, principalmente nas duas primeiras camadas. Houve diferenças

em teor de K trocável entre todas as camadas amostradas de solo de todos os sistemas de produção e a floresta subtropical. A exemplo do verificado com P extraível, também houve acúmulo de K trocável na camada próxima à superfície nos sistemas de produção. O teor de K trocável, na camada 0-5 cm, foi 3,2 a 5,9 vezes maior que a concentração observada na camada 15-20 cm. Acúmulo semelhante de K trocável, na camada 0-5 cm, em relação à camada 15-20 cm, foi como o verificado para Ca + Mg trocáveis, ou seja, o valor maior de K trocável, nas duas primeiras camadas da floresta subtropical, pode estar relacionado ao acúmulo de bases (Ca + Mg e K), decorrente do carreamento desses elementos químicos, por enxurradas, da área do próprio experimento e de lavouras das redondezas, em razão de a floresta subtropical estar localizada ao lado e no terço inferior da área experimental. Nos sistemas conservacionistas, os fertilizantes à base de K são depositados na superfície ou na linha de semeadura e, além disso, os resíduos vegetais são deixados na superfície, o que faz com que esse elemento se acumule nas camadas mais superficiais do solo. Os resultados observados indicam que poderá haver redução na quantidade de fertilizantes à base de P e de K aplicado no sistema plantio direto.

### **Fertilidade e matéria orgânica do solo em sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, com culturas de cobertura do solo e de duplo propósito, sob sistema plantio direto, em Coxilha, RS**

No período de 2003 a 2009, houve mudanças nos tratamentos dos sistemas de produção com integração lavoura + pecuária, conduzidos em Coxilha, RS, nos quais foram introduzidas culturas de cobertura de solo e de duplo propósito (Santos et al., 2009):

Sistema I: trigo/soja e ervilhaca/milho;

Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta/milho;

Sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta/soja;

Sistema IV: trigo/soja e ervilha/milho;

Sistema V: trigo/soja, triticale duplo propósito/soja e ervilhaca/soja; e

Sistema VI: trigo/soja, aveia branca de duplo propósito/soja e trigo duplo propósito/soja.

Na avaliação de 2008, o pH do solo, em todas as camadas e sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, apresentou valores menores do que os observados nas camadas estudadas em 2005, exceto no sistema V. Como o calcário foi aplicado cinco anos antes da instalação do experimento, isso indica que houve acidificação, principalmente na camada superficial do solo. Em todos os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária houve perda gradual do efeito residual da calagem efetuada. Em todos os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, houve acidificação da camada de 0 cm a 5 cm (pH: 4,87 a 5,05), demandando de reaplicação de calcário, após quinze anos da última calagem, visando inclusive viabilizar o cultivo eficiente de espécies leguminosas incluídas nos sistemas de produção (Manual..., 2004). Resultados comparáveis de pH do solo foram encontrados por De Maria et al. (1999) e Franchini et al. (2000).

Mesmo havendo acidificação da camada superficial do solo, a soja produziu 2.432 kg/ha em 2006, ou seja, acima da média da região (2.300 kg/ha) (Reunião..., 2006). Paiva et al. (1996), Santos e Tomm (1996a), Ciotta et al. (2002) e Santos et al. (2006b, 2007) também observaram baixo valor de pH e acidificação, em solo manejado com sistema plantio direto.

A dissolução dos fertilizantes fosfatados e a nitrificação dos nitrogenados amoniacais ou amídicos podem ter contribuído para acidificação da camada superficial de solo, principalmente quando se considerar que houve lon-

go período de cultivo sem aplicação de calcário ou quando alta quantidade de fertilizante foi aplicada, conforme já havia relatado Ernani et al. (2001).

Em 2008, não foram constatadas diferenças de pH entre os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, nas camadas de 0 cm a 5 cm (4,87 a 5,05) e de 15 cm a 20 cm (3,37 a 5,55). Mas, na floresta subtropical observou-se maior pH do que os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, nas camadas de 0 cm a 5 cm e de 5 cm a 10 cm, exceto no sistema I, na camada de 5 cm a 10 cm. Os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária manifestaram maior pH, em comparação à floresta subtropical, na camada de 15 cm a 20 cm. Os valores de pH dos sistemas de produção com integração lavoura-pecuária foram maiores na camada de 15 cm a 20 cm. E no sistema plantio direto, de 2005 a 2008, ocorreu acidificação da camada superficial. Resultados equivalentes de pH foram encontrados por Santos et al. (2007) que estudaram outros sistemas de produção com integração lavoura-pecuária no mesmo tipo de solo (Latossolo Vermelho distrófico típico) e município do experimento em estudo, ambos sob plantio direto. Os autores observam que pH foi maior na camada de 10 cm a 15 cm. A floresta subtropical mostrou menor valor de pH com aumento da profundidade, ao contrário dos sistemas de produção com integração lavoura-pecuária.

O valor de Al do solo, em 2008, nas camadas de 5 cm a 10 cm, 10 cm a 15 cm e 15 cm a 20 cm, em todos sistemas de produção com integração lavoura-pecuária foi mais elevado que o verificado em 2005, enquanto que, na camada de 0-5 cm, ocorreu o inverso. O aumento no teor de Al foi, portanto, consequência da acidificação.

Em, 2008, os sistemas II (13,75 mmol/dm<sup>3</sup>) e III (13,34 mmol/dm<sup>3</sup>) apresentaram maior valor de Al do que os sistemas I (8,26 mmol/dm<sup>3</sup>), IV (10,10 mmol/dm<sup>3</sup>), V (8,79 mmol/dm<sup>3</sup>), VI (9,91 mmol/dm<sup>3</sup>) e floresta subtropical (10,28 mmol/dm<sup>3</sup>), na camada de 0 cm a 5 cm. Nas demais camadas estudadas, não houve diferença entre os sistemas de produção com integração



lavoura-pecuária e, nem destes e a floresta subtropical. Esses valores de Al, em grande parte, estão relacionados diretamente aos valores de pH. Em alguns sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, o teor de Al foi maior na camada de 5 cm a 10 cm e reduzindo a partir desta com a profundidade. Resultados similares para o teor de Al foram encontrados por Santos et al. (2006b), estudando sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, em um Latossolo Vermelho distrófico típico.

Os teores de Ca e de Mg de solo, de 2008, na camada superficial e em alguns sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, são maiores ou próximos dos teores críticos ao crescimento e desenvolvimento das culturas tradicionais da região (Manual..., 2004), que não afetaram desfavoravelmente o rendimento de grãos das espécies cultivadas no inverno e no verão de 2005 a 2008. Na avaliação de 2008, os valores de Ca e Mg nas camadas estudadas foram menores que o observado em 2005, ainda que a acidez do solo da área experimental tenha sido corrigida com calcário dolomítico quinze anos antes do início do referido experimento.

Em 2008, o sistema I ( $41 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$ ) mostrou, na camada de 0 cm a 5 cm, maior teor de Ca do que os sistemas II ( $32 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$ ) e III ( $32 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$ ). Nas demais camadas estudadas, não houve diferença entre os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária quanto aos teores de Ca e Mg. Resultados semelhantes de Ca e Mg foram obtidos por Santos et al. (2006b). A floresta subtropical mostrou valor de Ca mais elevado em relação aos sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, nas camadas de 0 cm a 5 cm ( $99 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$ ) e de 5 cm a 10 cm ( $50 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$ ), enquanto que, o sistema I ( $20 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$ ) manifestou, na camada de 0 cm a 5 cm, maior valor de Mg que o sistema II ( $15 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$ ). O solo da floresta subtropical, entretanto, mostrou, nas camadas de 0 cm a 5 cm ( $41 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$ ) e de 10-15 cm ( $25 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$ ), maior valor de Mg do que os dos sistemas de produção com integração lavoura-pecuária. Era esperado que a floresta subtropical mostrasse, na camada superficial, valores de Ca e Mg menores que os sistemas de produção com integração lavoura-

-pecuária, em razão de não ter recebido correção de solo. Os maiores valores de Ca e Mg, nestas camadas da floresta subtropical, podem estar relacionados ao acúmulo de bases, decorrente de erosão do solo agrícola, cujos sedimentos foram carreados por enxurrada até a floresta subtropical.

Em 2008, no sistema II, aumentou o teor de Ca da camada de 0 cm a 5 cm ( $32 \text{ mmol/dm}^3$ ) para a camada de 15 cm a 20 cm ( $37 \text{ mmol/dm}^3$ ). Resultados semelhantes para Ca trocável foram encontrados por Santos et al. (2007), com sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, para as mesmas camadas estudadas e tipo de solo (Latossolo Vermelho distrófico típico). Nesse estudo, pode ter havido maior extração destes nutrientes nas camadas superficiais, conforme sugeriram De Maria et al. (1999) ou percolação dos referidos elementos químicos, para as camadas subseqüentes. Nos demais sistemas de produção com integração lavoura-pecuária não houve diferença do Ca entre as camadas estudadas. O mesmo foi constatado com os valores de Mg.

O teor de matéria orgânica de solo (MOS), de 2008, em todos os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, nas camadas de 0 cm a 5 cm, 5 cm a 10 cm, e 10 cm a 15 cm, foram superiores aos encontrados em 2005. Isso pode ser devido às adequadas quantidades de biomassa produzidas desde aquele ano em todos os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, mesmo naquelas parcelas que haviam sido pastejadas. As quantidades de biomassa produzida foram suficientes para manter estáveis os teores de MO no solo.

Em 2008, o sistema VI (53 g/kg) mostrou teor de MOS maior do que o sistema III (47 g/kg), na camada de 0 cm a 5 cm. Nas camadas de 5 cm a 10 cm e 10 cm a 15 cm, não houve diferenças entre os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária e a floresta subtropical, confirmando a eficiência dos referidos sistemas de produção em acumular carbono em níveis próximos dos solos na condição original (Bayer et al., 2000; Ciotta et al., 2002; Sisti et al., 2004). De acordo com Spera (2009), o acúmulo de maté-

ria orgânica do solo sob sistema plantio direto aumenta o teor de carbono orgânico dissolvido na solução de solo da camada superficial, complexando mais Al tóxico. Isso explica, em parte, a não ocorrência de toxicidade de Al, em razão da menor atividade iônica do Al. Porém, na camada de 0 cm a 5 cm, a floresta subtropical mostrou valor mais elevado de MOS, em relação a todos os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária.

O teor de MOS, também foi maior na camada superficial (47 g/kg a 53 g/kg) de todos os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, em relação às camadas 5-10 cm (37 g/kg a 41 g/kg), 10-15 cm (32 g/kg a 34 g/kg) e 15-20 cm (29 g/kg a 31 g/kg). A manutenção do teor de MOS ou valores mais elevados na camada superficial do solo, decorre da permanência de resíduos vegetais sobre a superfície do solo. A ausência de incorporação física destes resíduos, mediante o revolvimento, diminui a taxa de mineralização (Santos et al., 2003). Deve ser considerado que, nas espécies destinadas à produção de grãos e nas forrageiras, foram aplicadas as doses indicadas de nitrogênio, como adubação de manutenção e de cobertura, com exceção da soja que foi inoculada com rizóbio específico, o que repercutiu no teor de MOS, na camada de 0 cm a 20 cm, em todos os sistemas estudados.

O teor de P encontrado em 2008, nas camadas de 0 cm a 5 cm (38,3 mg/kg a 48,5 mg/kg), 5 cm a 10 cm (30,0 mg/kg a 36,2 mg/kg) e 10 cm a 15 cm (11,5 mg/kg a 29,1 mg/kg), em todos os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, foi superior ao valor considerado crítico (9,0 mg/kg) conforme a classe de textura do solo estudado (Latosolo Vermelho distrófico típico), ao crescimento e desenvolvimento de culturas tradicionais (Manual..., 2004). Em 2008, teor de P, em três das quatro camadas (0 cm a 5 cm, 5 cm a 10 cm e 10 cm a 15 cm) e em todos os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, foi mais elevado que o avaliado em 2005, permitindo inferir que os sistemas de integração lavoura e pecuária também favorecem a acúmulo de P na camada superficial do solo,

em razão da adição deste nutriente pela adubação na qual se usam doses superiores à quantidade exportada pelas culturas.

Em 2008, nas camadas de 0 cm a 5 cm e de 5 cm a 10 cm, não foram observadas diferenças no teor de P entre os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária. Entretanto, o sistema II mostrou, nas camadas de 10 cm a 15 cm (29,1 mg/kg) e de 15 cm a 20 cm (9,7 mg/kg), maior teor de P do que os sistemas IV (11,5 mg/kg e 6,2 mg/kg, respectivamente) e V (16,4 mg/kg e 6,2 mg/kg, respectivamente). Os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária mostraram teor de P mais elevado, em comparação à floresta subtropical, nas camadas de 0 cm a 5 cm e de 5 cm a 10 cm. A concentração elevada do P nos sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, em comparação com a floresta subtropical, está relacionada a pouca disponibilidade natural desse nutriente nos solos não cultivados (Hernani et al., 1999). O teor de P em todos os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, na camada de 0-5 cm foi 4,3 e 6,6 vezes maior que o teor verificado na camada de 15-20 cm. Matowo et al. (1999) e Santos et al. (2001, 2003, 2006b) encontraram resultados semelhantes. O acúmulo de P na superfície do solo é decorrente das aplicações anuais de fertilizantes fosfatados, da liberação de P durante a decomposição de resíduos vegetais, sendo que a não incorporação destes favorece menor contato com os colóides do solo, evitando desta maneira menor fixação deste elemento no solo (Wisniewski; Holtz, 1997).

Os teores de K de solo, em 2008, observados em todas as camadas e sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, encontravam-se na faixa alto a muito alto, condição que permite adequada biodisponibilidade deste nutriente para o crescimento e desenvolvimento das culturas (Manual..., 2004). Os teores de K, nas camadas de 5 cm a 10 cm, 10cm a 15 cm e 15cm a 20 cm e, na maioria dos sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, permaneceram acima dos valores encontrados em 2005.

Em 2008, entre os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, nas camadas de 0 cm a 5 cm (211 mg/kg a 262 mg/kg), 10 cm a 15 cm (101 mg/kg a 147 mg/kg) e 15 cm a 20 cm (81 mg/kg a 116 mg/kg), não houve diferenças no teor de K. Santos e Tomm (1996a; 1999), estudando rotação de culturas com trigo, também observaram o mesmo. Porém, os sistemas I (181 mg/kg) e II (169 mg/kg) mostraram, na camada de 5 cm a 10 cm, maior teor de K do que o sistema IV (129 mg/kg). Todos os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária mostraram, nas camadas de 0 cm a 5 cm, 5 cm a 10 cm e 10 cm a 15 cm, teores de K mais elevados em relação à floresta subtropical.

Houve diferenças de teores de K entre as camadas de todos os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária. Tal como o verificado com o P, ocorreu acúmulo de K na camada superficial. Estes teores foram de 2,1 a 2,3 vezes maiores que o observado na camada de 15 cm a 20 cm. Acúmulos semelhantes de K, nesta camada, foram encontrados por De Maria et al. (1999), Santos e Tomm (1999) e Santos et al. (2001, 2003, 2006b). Nos sistemas de produção integração lavoura e pecuária, os fertilizantes à base de K são depositados na linha de semeadura e, além disso, os resíduos vegetais são mantidos na superfície, o que fez com que esse elemento acumule na camada superficial do solo.

Os valores do C acumulados (104 g/kg a 115 g/kg) observados em 2008 foram mais elevados do que em 2005 (97 g/kg a 106 g/kg). Em 2008, o sistema VI (115 g/kg) mostrou, na camada de 0 cm a 20 cm, maior teor de C acumulado em comparação ao sistema III (104 g/kg). Os demais sistemas de produção com integração lavoura-pecuária não diferiram entre si e nem da floresta subtropical, quanto este teor, nesta mesma camada. Segundo Lal et al. (1995) e Marcolan e Anghinoni (2006), o uso do solo com atividades cuja intensidade de preparo é reduzida, ou mesmo não há preparo, favorece a recuperação e o acúmulo de C em valores superiores até aos observados em solo de vegetação nativa. Segundo Corazza et al.

(1999), existe a possibilidade de sistemas com pastagens e lavouras, sob sistema plantio direto, manterem o nível de C, contribuindo assim para o sequestro do C atmosférico, ao contrário do que ocorre com manejos mediante preparo convencional, que devido revolvimento frequente do solo, tendem a atuar em sentido oposto, promovendo maior decomposição da matéria orgânica, e em consequência evolução mais intensa de CO<sup>2</sup> (Lal et al., 1995). D'Andréia et al. (2004) demonstraram que sistemas de produção com integração lavoura-pecuária sem revolvimento do solo favorecem o aumento dos estoques de C, em comparação ao cerrado nativo e à lavoura sob preparo convencional de solo.

O balanço positivo da MOS da floresta subtropical pode ser explicado pelo fato da serrapilheira remanescente permanecer, à superfície do solo. O acúmulo de C desta foi de 7,74 Mg/ha, valor considerado suficiente para permitir o incremento da MOS, pois os teores de MOS da floresta subtropical são estáveis (Jantalia et al., 2006).

## Conclusões

### Fertilidade e matéria orgânica do solo de 1980 a 1986

Após sete anos de cultivo, não se observam diferenças no pH, nos teores de Al trocável, Ca + Mg trocáveis e matéria orgânica do solo em função das diversas rotações/sucessões de culturas estudadas.

Os teores de Ca + Mg trocáveis, K trocável e matéria orgânica do solo se mantém sempre acima dos teores iniciais, após as culturas de inverno e de verão.

## **Sistemas de manejo de solo na fertilidade e matéria orgânica do solo da cevada**

O sistema plantio direto mantém os teores de MOS, na camada de 0 cm a 5 cm.

Após sete anos de cultivos, seguindo as indicações de adubação existente, verifica-se elevação pronunciada dos teores de P na camada de 0 cm a 5 cm do solo com sistema plantio direto, em relação ao com preparo convencional de solo.

A não incorporação de calcário no sistema plantio direto não afeta o rendimento de grãos de cevada e de soja.

## **Fertilidade e matéria orgânica do solo nos sistemas de rotação de culturas com triticales sob sistema plantio direto**

Os valores de pH, Al, Ca + Mg e P do solo não diferem entre os sistemas de rotação com triticales. Na camada de 0 cm a 5 cm, os teores de matéria orgânica são mais elevados nos sistemas de rotação de culturas do que na monocultura de triticales. Por outro lado, os teores de matéria orgânica são menores sob a monocultura de triticales do que nas rotações de culturas de inverno, na camada de 10 cm a 15 cm.

Os teores de K são mais elevados na monocultura de triticales, em relação aos sistemas: triticales/soja e aveia preta rolada com rolo facas/soja; triticales/soja, aveia preta rolada com rolo facas/soja e ervilhaca/milho; e triticales/soja, triticales/soja, aveia preta rolada com rolo facas/soja e ervilhaca/milho, na camada de 15 cm a 20 cm.

### **Fertilidade e matéria orgânica do solo em sistemas de rotação de culturas com trigo e cevada, sob sistema plantio direto, em Guarapuava, PR**

Em todos os sistemas de rotação com trigo, na camada de 0 cm a 5 cm, são verificados valores maiores de pH e de Ca + Mg, em relação às camadas mais profundas, e, conseqüentemente, os teores de Al são menores na camada de 0 c a 5 cm do que nas demais.

Os teores de matéria orgânica, de P e de K na maioria dos sistemas estudados, declinaram gradativamente com o incremento da profundidade das camadas.

### **Fertilidade e matéria orgânica do solo em sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária sob sistema plantio direto em Passo Fundo, RS**

Os sistemas de produção estudados promoveram aumentos nos níveis de matéria orgânica e nos teores de P e K, principalmente na camada de solo de 0 cm a 5 cm.

Em geral, os sistemas de produção componentes da integração lavoura-pecuária não interferem nos atributos químicos e físicos do solo.

### **Fertilidade e matéria orgânica do solo em sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária sob sistema plantio direto, em Coxilha, RS**

Os níveis de P extraível e de K trocável, principalmente nas primeiras camadas, 0 cm a 5 cm e 5 cm a 10 cm, aumentaram, em comparação aos valores verificados em sete anos, de 1995 a 2001, em todos os sistemas estudados, enquanto para os valores de pH e de Al trocável ocorreu o in-



verso.

O nível de matéria orgânica e os teores de P e de K disponíveis diminuem progressivamente da camada 0 cm a 5 cm para a camada 15 cm a 20 cm, em todos os sistemas de produção, enquanto para os valores de pH e Al trocável ocorre o contrário.

Há acidificação da camada 0 cm a 5 cm, necessitando aplicação de calcário após onze anos.

### **Fertilidade e matéria orgânica do solo em sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, com culturas de cobertura e de duplo propósito, sob sistema plantio direto, em Coxilha, RS**

Após treze anos, em todos os sistemas de produção integração lavoura-pecuária ocorre acidificação na camada superficial do solo, evidenciada pelo menor valor de pH e maior valor de Al.

Na avaliação de 2008, houve aumento nos teores de matéria orgânica, P e K, enquanto os valores de pH diminuem quando comparados com os valores observados em 2005.

Verificou-se redução nos teores da matéria orgânica P e K com o aprofundamento da camada do solo. Porém, os valores de pH aumentaram com a profundidade.

## **Tecnologias desenvolvidas**

Naquela época, o estudo trouxe subsídios para a indicação de não incorporação de calcário no sistema plantio direto.

Subsidiou a programação de ensaios futuros, conjugando sistemas de manejo de solo e rotação de culturas.

Os resultados de fertilidade do solo, influíram na possibilidade de redução na adubação fosfatada e potássica nas lavouras sob sistema plantio direto.

Os sistemas de produção componentes da integração lavoura-pecuária não interferem nos atributos químicos e físicos do solo.

## Referências

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

BLEVINS, R. L.; MURDOCK, L. W.; THOMAS, G. W. Effect of lime application on no-tillage and conventionally tilled corn. **Agronomy Journal**, v. 70, n. 2, p. 322-326, 1978.

BLEVINS, R. L.; THOMAS, G. W.; CORNELIUS, P. L. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years of continuous corn. **Agronomy Journal**, v. 69, n. 3, p. 383-386, 1977.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; WILDER, L. P.; COSTA, M. B. B.; ALCÂNTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. 346 p.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; WOBETO, C. Acidificação de Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 1055-1064, 2002.

- CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 425-432, 1999.
- D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 2, p. 179-186, fev. 2004.
- DE MARIA, I. C.; NNABUDE, P. C.; CASTRO, O. M. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 51, n. 1, p. 71-79, 1999.
- DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FLORES, C. A.; FERREIRA, T. N.; CASSOL, E. A.; MONDARDO, A.; SCHWARZ, R. A. **Manejo de enxurrada em sistema plantio direto**. Porto Alegre: Forum Estadual de Solo e Água, 2005. 88 p.
- EDMEADES, D. C.; JUDO, M.; SARATHCHANDRA, S. U. The effect of lime on nitrogen mineralization as measured by grass growth. **Plant and Soil**, v. 60, n. 2, p. 177-186, 1981.
- ERNANI, P. R.; STECKLING, C.; BAYER, C. Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 939-946, 2001.
- FRANCHINI, J. C.; BORKERT, C. M.; FERREIRA, M. M.; GAUDÊNCIO, C. A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 2, p. 459-467, 2000.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 1, p. 145-154, 1999.

JANTALIA, C. P.; OLIVEIRA, O. C.; LENGROBER, J. A.; URQUIAGA, S.; BODDEEY, R. M.; ALVES, B. J. R. O nitrogênio como elemento chave para evitar a degradação das pastagens e suas implicações na produção da gases de efeito estufa. In: ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Manejo de sistemas agrícolas: impacto no seqüestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre: Genesis, 2006. p. 201-215.

LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; WHITMAN, N. World soils and greenhouse effect: an overview. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; STEWART, B. A. (Ed.). **Soils and global change**. Boca Raton: CRC Lewis Publishers, 1995. Cap. 1, p. 1-7.

MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um Argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 163-170, 2006.

MANUAL de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul - Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 394 p.

MATOWO, P.R.; PIERZYNSKI, G.M.; WHITNEY, D.; LAMOND, R.E. Soil chemical properties as influenced by tillage and nitrogen source, placement, and rates after 10 years of continuous sorghum. **Soil & Tillage Research**, v. 50, n. 1, p. 11-19, 1999.

MOSCHLER, W. W.; MARTENS, D. C.; RICH, C. I.; SHEAR, G. M. Comparative lime effects on continuous no-tillage and conventionatly tilled corn. **Agronomy Journal**, v. 65, n. 5, p. 781-783, 1973.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 7, n. 1, p. 95-102, 1983.

PAIVA, P. J. R.; VALE, F. R.; FURTINI NETO, A. E.; FAQUIN, V. Acidificação de um latossolo roxo do estado do Paraná sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n. 1, p. 71-75, 1996.

RECOMENDAÇÕES de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 2. ed. Passo Fundo: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, Comissão de Fertilidade do Solo: EMBRAPA-CNPT, 1989. 128 p.

RECOMENDAÇÕES de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3. ed. Passo Fundo: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, Comissão de Fertilidade do Solo: EMBRAPA-CNPT, 1995. 223 p.

REUNIÃO ANUAL DE PESQUISA DE CEVADA, 15., 1995, Jaguariúna. **Recomendações da Comissão de Pesquisa de Cevada para o cultivo de cevada cervejeira em 1995 e 1996**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1995. 57 p. (Embrapa-CNPT. Documentos, 21).

REUNIÃO DA COMISSÃO SUL-BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 31., 1999, Passo Fundo. **Recomendações...** Passo Fundo: Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo, 1999a. 86 p.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 17., 1999, Chapecó. **Recomendações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 1999/2000**. Chapecó: EPAGRI/ CPPP, 1999b. 167 p.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 34, 2006, Pelotas. **Indicação técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em**

**Santa Catarina 2006/2007.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 240 p.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; THAINES, E. Balanço de nitrogênio na cultura de soja. In: SOJA: resultados de pesquisa do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, 1997/98. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1998. p. 129-139. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 51).

ROMAN, E. S. Effect of cover crops on the development on weeds. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS, 1990, Passo Fundo. **Conservation tillage for subtropical areas.** Passo Fundo: CIDA/EMBRAPA-CNPT, 1990. p. 258-262.

SÁ, J. C. de M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: PLANTIO direto no Brasil. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1993. p. 37-60. Editado por: EMBRAPA-CNPT, FUNDACEP-FECOTRIGO, Fundação ABC.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S. Análise econômica e de risco de sistemas de produção de grãos de milho, sob plantio direto. In: SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T. (Org.). **Sistemas de produção para milho sob plantio direto.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007. Cap. 12, p. 313-340.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; MALDANER, G. L. Rendimento de grãos e algumas características agrônômicas de soja, em sistemas de produção integração Lavoura-pecuária (ILP), sob plantio direto. In: SOJA: resultados de pesquisa 2008-2009. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. p. 120-136. (Embrapa Trigo. Documentos, 93).

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; PIRES, J. L.; TOMM, G. O. (Org.). **Eficiência de soja cultivada em modelos de produção sob sistema plantio direto.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2005. 248 p.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; TOMM, G. O. Efeito de pastagens sobre o nível de fertilidade do solo em sistemas de produção de grãos sob plantio direto após dez anos. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 13, n. n. 1/2, p. 69-78, 2007.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; TOMM, G. O.; AMBROSI, I. **Sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão, sob plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006a. 128 p. (Embrapa Trigo. Documento, 69).

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeito de sistemas de produção de grãos e de pastagens sob plantio direto sobre o nível de fertilidade do solo após cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 25, n. 3, p. 645-653, 2001.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O.; DENARDIN, J. E. Atributos físicos e químicos de solo em sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens anuais sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 12, n. 1/2, p. 73-81, 2006b.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O.; SPERA, S. T. Efeito de sistemas mistos sob plantio direto sobre fertilidade do solo após oito anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 545-552, 2003.

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B. Rotação de culturas em Guarapuava. XII. Efeitos de algumas culturas de inverno e de verão na evolução dos níveis de nutrientes e de matéria orgânica do solo, em plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBCS, 1992. p. 114-115.

SANTOS, H. P. dos.; REIS, E. M. **Rotação de culturas em plantio direto**. 2. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003. 212 p.

SANTOS, H. P. dos; ROMAN, E. S. Rotação de culturas. XIV. Efeito de culturas de inverno e de verão na disponibilidade de nutrientes e matéria orgânica do solo, no período agrícola de 1980 a 1986. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, n. 3, p. 303-310, 1989.

SANTOS, H. P. dos; SIQUEIRA, O. J. W. de. Plantio direto e rotação de culturas para cevada: efeitos sobre a fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n. 1, p. 163-169, 1996.

SANTOS, H. P. dos; SIQUEIRA, O. J. W. de. Rotação de culturas em Guarapuava. XI. Efeitos de algumas culturas de inverno e de verão em algumas propriedades químicas do solo, num período de cinco anos, em plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBCS, 1992. p. 112-113.

SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O. Estudo da fertilidade do solo sob quatro sistemas de rotação de culturas envolvendo trigo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n. 3, p. 407-414, 1996a.

SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O. Fertilidade do solo em rotação de culturas com triticales. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n. 3, p. 415-421, 1996b.

SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O. Rotação de culturas para cevada, após dez anos: efeitos na fertilidade do solo. **Ciência Rural**, v. 28, n. 4, p. 573-580, 1998.

SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O. Rotação de culturas para trigo, após quatro anos: efeitos na fertilidade do solo em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 29, n. 2, p. 259-265, 1999.

SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O.; LHAMBY, J. C. B. Plantio direto versus convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de



culturas em rotação com cevada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, n. 3, p. 449-454, 1995.

SHEAR, G. M.; MOSCHLER, W. W. Continuous corn by the no-tillage and continuous tillage methods: a six-year comparison. **Agronomy Journal**, v. 61, n. 4, p. 524-526, 1969.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 9, n. 3, p. 249-254, 1985.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Teores de nutrientes e de matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 387-394, 2001.

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

SIQUEIRA, O. J. F. de; SCHERER, E. E.; TASSINARI, G.; ANGHINONI I.; PATELLA, J. F.; TEDESCO, M. J.; MILAN, P. A.; ERNANI, P. R. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1987. 100 p.

SPERA, S. T. **Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho e produtividade de culturas, em função de manejo de solo e de rotação de culturas**. 2009. 228 p. Tese (Doutorado) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O.; FONTANELI, R. S. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 533-542, 2004.

TRIPLETT JR., G. B.; VAN DOREN, JR., D. M. Nitrogen, phosphorus and potassium fertilization of non-tilled maize. **Agronomy Journal**, v. 61, n. 4, p. 637-639, 1969.

WISNIEWSKI, C.; HOLTZ, G. P. Decomposição da palhada com liberação de nitrogênio e fósforo numa rotação aveia-soja sob plantio direto.

**Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 11, p. 1191-1197, 1997.

Capítulo

6

## **Avaliação de Rotação de Culturas na Física do Solo, nas Décadas de 1990 a 2010**

Silvio Tullio Spera, Henrique Pereira dos Santos, Renato Serena Fontaneli, Anderson Santi, Genei Antonio Dalmago

### **Introdução**

Uma alternativa muito eficiente, porém, mais complexa, de manter a produtividade, e indiretamente promover a recuperação/renovação de pastagem, é a integração lavoura e pecuária, na qual a introdução da lavoura não é eventual, mas parte constante de um sistema de produção de grãos e de produção animal que interage e se completa biológica e economicamente (Macedo, 2001). Esse sistema permite uso racional de insumos, de máquinas e de mão de obra na propriedade agrícola, ao mesmo tempo em que diversifica a produção e o fluxo de caixa dos produtores.

Com a adoção do sistema plantio direto para produção anual de grãos, principalmente em solos de textura argilosa, tem despertado atenção a aparente degradação estrutural de solo, de acordo com dados de pesquisa que demonstram elevação da densidade de solo e aumento de resistência à penetração (Torres; Saraiva, 1999). Atualmente, muitos produtores usuários de plantio direto tornaram a lavar o solo sob alegação de que a compactação de solo tem sido a principal causa de redução de rendimento de grãos. Sá (2000) destaca que compactação inibe o desenvolvimento de

raízes, o que causa menor desenvolvimento de plantas. Porém Kochhann et al. (1999) sustentam que a suposição de que a continuidade do sistema plantio direto por vários anos implicaria problemas de degradação estrutural na camada superficial nem sempre é comprovada.

Tem sido observado efeito de cobertura vegetal sobre as propriedades físicas do solo (Anjos et al., 1994; Albuquerque et al., 1995; Andreola et al., 2000). Os trabalhos desenvolvidos por Da Ros et al. (1997), por Albuquerque et al. (2001) e por Silveira e Stone (2001), em sistemas de rotação de culturas sob plantio direto incluindo espécies com sistema radicular agressivo e com diferentes quantidades de fitomassa, sugerem que as propriedades físicas e químicas de solo podem ser alteradas. Entretanto, sob plantio direto, o solo apresenta, frequentemente, na camada superficial, após algum tempo, maior valor para densidade de solo e para microporosidade e menor valor para macroporosidade (Albuquerque et al., 2001; Silveira; Stone, 2001). De acordo com Reeves (1995), com o passar dos anos, nas camadas inferiores a densidade de solo sob cultivo pode diminuir, em razão do aumento do nível de matéria orgânica na camada superficial.

Este capítulo tem por objetivo avaliar o efeito de sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária na física do solo.

### **Física do solo em sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, sob sistema plantio direta, em Passo Fundo, RS**

No período de 1990 a 1995, em Passo Fundo, RS, a Embrapa Trigo desenvolveu trabalho, no Cepagro, da FAMV/UPF, com sistemas de produção integração lavoura + pecuária com pastagens anuais de inverno, sob sistema plantio direto (Santos et al., 2006b). Os tratamentos constaram dos seguintes sistemas:

Sistema I: trigo/soja, pastagem de aveia preta/soja e pastagem de aveia preta/soja;

Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho;

Sistema III: trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; e

Sistema IV: trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja.

Os atributos físicos do solo (densidade do solo, agregados estáveis em água com diâmetro superior a 4,76 mm, e diâmetro médio geométrico de agregados estáveis em água) não foram influenciados pelos sistemas de produção, exceto para comparação entre as densidades do solo nos sistemas III e IV, na profundidade 20-30 cm. Essa diferença pode ser considerada sem relevância, pois não há evidências de como os sistemas de produção III e IV poderiam influenciar esse atributo apenas nessa profundidade de solo. A inexistência de efeitos dos sistemas de produção sobre esses atributos físicos do solo pode, em parte, ser creditada à semelhança do conjunto de espécies vegetais que compuseram os sistemas de produção. Embora os sistemas II (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) e III (trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) tenham envolvido a cultura de milho, que é uma espécie de elevado potencial de produção de fitomassa, também envolveram a cultura de ervilhaca, que é reconhecida, pela baixa relação C/N, como aceleradora da taxa de mineralização de matéria orgânica. Ao longo dos anos e na média conjunta dos anos (1990/1991 a 1995/1996), não houve diferenças entre as médias para rendimento de grãos de milho. O rendimento médio de grãos de milho foi de 6.370 kg/ha.

## **Física do solo em sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, sob sistema plantio direto, em Coxilha, RS**

No período de 1995 a 2000, em Coxilha, RS, foram estudados sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão. Os tratamentos foram constituídos por seis sistemas de produção com integração lavoura + pecuária (Santos et al., 2006a):

Sistema I: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho;

Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho;

Sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milheto;

Sistema IV: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milheto;

Sistema V: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milheto; e

Sistema VI: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milheto.

Na avaliação entre os sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão, houve diferença para o valor de densidade de solo somente entre os sistemas II e V, na camada superficial (Spera et al. 2006). O sistema V ( $1,30 \text{ Mg/m}^3$ ) apresentou densidade de solo maior que a do sistema II ( $1,23 \text{ Mg/m}^3$ ), na camada 0-5 cm. O Latossolo Vermelho sob floresta subtropical apresentou densidade de  $0,91 \text{ Mg/m}^3$  e  $1,07 \text{ Mg/m}^3$ , respectivamente, nas camadas 0-5 cm e 10-15 cm. Essas densidades são menores que as dos demais sistemas de produção estudados, pois os sistemas de produção foram conduzidos sob sistema plantio direto,

determinando aumento da densidade do solo, em relação à floresta subtropical. Spera et al. (2004), estudando sistemas mistos no mesmo tipo de solo do presente trabalho, verificaram que a densidade de solo sob trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja, nas camadas 0-5 cm e 10-15 cm, sob trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho e aveia branca/soja, sob pastagem perene de inverno e sob pastagem perene de verão, foi maior do que na floresta subtropical. Da Ros et al. (1997), em Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, verificaram que a menor densidade de solo ocorreu em tratamentos submetidos a preparo convencional com aração e gradagem, em relação ao sistema plantio direto, em todas as camadas estudadas (0-7 cm, 7-14 cm e 14-21 cm). Stone e Silveira (2001), em Latossolo Vermelho distrófico perférico, observaram que plantio direto apresentou maior densidade de solo do que preparo convencional de solo com arado de discos e gradagem, no preparo somente com arado de discos e no preparo somente com grade e com sistemas de rotação de culturas. Esses mesmos autores verificaram que soja/trigo, soja/trigo/soja/feijão/arroz/feijão e arroz/feijão apresentaram densidade de solo mais elevada, na camada 0-10 cm. Contudo, estes dois últimos tratamentos foram semelhantes aos sistemas de sucessão milho/feijão e arroz consorciado com calopogônio/feijão.

Houve diferença na densidade de solo entre as camadas amostradas nos dois primeiros sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão e na floresta subtropical. A densidade do solo nos sistemas I (1,27 Mg/m<sup>3</sup> para 1,34 Mg/m<sup>3</sup>) e II (1,23 Mg/m<sup>3</sup> para 1,31 Mg/m<sup>3</sup>) e na floresta subtropical (0,91 Mg/m<sup>3</sup> para 1,07 Mg/m<sup>3</sup>) aumentou da camada 0-5 cm para a camada 10-15 cm. Resultados similares foram observados por Trein et al. (1991), por Torres e Saraiva (1999), por Albuquerque et al. (2001) e por Spera et al. (2004). A densidade do solo foi menor na camada 0-5 cm, em relação à camada 10-15 cm, indicando possível compactação de solo nessa profundidade. Esse processo tem sido atribuído ao tráfego de máquinas (Anjos et al., 1994) e ao pisoteio por animais (Trein et al. 1991).

Neste estudo, a maior densidade de solo verificada na camada 10-15 cm pode ser atribuída à presença residual de camada compactada resultante de operações anteriores de preparo de solo com aração e gradagem.

Não houve diferença quanto à porosidade total entre os sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão. A floresta subtropical mostrou maior porosidade total ( $0,663 \text{ m}^3/\text{m}^3$  e  $0,613 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ), em relação a todos os sistemas de produção estudados, nas camadas 0-5 cm e 10-15 cm. Anjos et al. (1994), comparando diferentes sistemas de manejo de solo e floresta, não verificaram diferenças entre os tratamentos para porosidade total, na camada 0-20 cm. Nesse caso, em relação à floresta subtropical houve redução na macroporosidade de todos os sistemas de produção estudados, com consequências significativas na porosidade total. Spera et al. (2004) observaram que trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja, trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho e aveia branca/soja, pastagem perene de inverno e pastagem perene de verão apresentaram menor porosidade total do que a floresta subtropical, nas camadas 0-5 cm e 10-15 cm. Albuquerque et al. (2001) observaram também maior porosidade total na floresta, em relação à área sob sistema plantio direto e à sob preparo convencional de solo com arado e grade. Albuquerque et al. (1995) verificaram que monocultura trigo/soja apresentou menor valor de porosidade total na camada 1,0-8,6 cm que as rotações: trigo/soja, aveia preta/soja e aveia preta + ervilhaca/milho e aveia preta/soja, aveia preta/soja e trigo/soja. Stone e Silveira (2001) observaram que as rotações milho/feijão/milho/feijão/arroz/feijão, milho/feijão, arroz consorciado com calopogônio/feijão, arroz/feijão e soja/trigo/soja/feijão/arroz/feijão apresentaram porosidade total mais elevada na camada 0-10 cm. Entretanto, estes últimos quatro tratamentos foram semelhantes à sucessão soja/trigo quanto à porosidade total de solo.

Houve diferença na porosidade total entre as profundidades de apenas um sistema de produção com pastagens anuais de inverno e de verão e na floresta subtropical. No sistema II (de  $0,535 \text{ m}^3/\text{m}^3$  para  $0,504 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ) e na



floresta subtropical (de  $0,663 \text{ m}^3/\text{m}^3$  para  $0,613 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ), a porosidade total diminuiu da camada 0-5 cm para a camada 10-15 cm. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Spera et al. (2004) em sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, pastagens perenes de inverno e pastagens perenes de verão, em que esses autores observaram que a porosidade total diminuiu da camada 0-5 cm para a camada 10-15 cm. Porém, para o caso do sistema II, verifica-se que pode ter ocorrido acúmulo de resíduos culturais ou ação de sistema radicular de culturas na reestruturação da porosidade, na camada 0-5 cm, em relação aos demais tratamentos, e para o caso da floresta subtropical, o acúmulo de serrapilheira na camada 0-5 cm promoveu, além da redução da densidade do solo, aumento de porosidade total, em comparação à camada 10-15 cm, na qual houve este acúmulo. Resultados semelhantes também foram obtidos por Albuquerque et al. (1995), com sistemas de manejo de solo que incluíam rotação de culturas, em mesmo tipo de solo, nos quais a porosidade total diminuiu da camada 1,0-8,6 cm para a camada 8,6-16,2 cm.

Entre os sistemas de produção com pastagens anuais de inverno e de verão, houve diferenças entre as médias para microporosidade. O sistema IV ( $0,410 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ) apresentou maior valor para microporosidade do que o sistema I ( $0,389 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ), na camada 0-5 cm. Por sua vez, o sistema VI ( $0,408 \text{ m}^3/\text{m}^3$  e  $0,417 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ) apresentou microporosidade maior que a do sistema I ( $0,389 \text{ m}^3/\text{m}^3$  e  $0,390 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ), nas camadas 0-5 cm e 10-15 cm, respectivamente. Além disso, o sistema V ( $0,411 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ) também mostrou valor maior de microporosidade, em relação ao sistema I, na camada 10-15 cm. A floresta subtropical mostrou valor de microporosidade maior do que os de todos os sistemas de produção estudados, na camada 0-5 cm. A floresta subtropical possui maior volume de microporos do que os sistemas de produção estudados por não sofrer as perturbações inerentes às atividades agrícolas. Resultados semelhantes foram obtidos por Spera et al. (2004), trabalhando com diferentes sistemas de produção com integração lavoura + pecuária. Ademais, o sistema II apresentou menor valor de mi-

croporosidade, em comparação com os sistemas III, IV, V e VI, na camada 0-5 cm. Stone e Silveira (2001) observaram que soja/trigo, soja/trigo/soja/feijão/arroz/feijão, milho/feijão e arroz/feijão mostraram microporosidade mais elevada na camada 0-10 cm. Todavia, a microporosidade destes dois últimos tratamentos foi semelhante à da rotação milho/feijão/milho/feijão/arroz/feijão.

Não houve diferença de microporosidade entre as profundidades de solo dos sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão. Resultados similares foram encontrados por Albuquerque et al. (1995) e por Andreola et al. (2000), estudando manejos de solo e de rotação de culturas. Por sua vez, o valor de microporosidade da floresta subtropical diminuiu da camada 0-5 cm ( $0,441 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ) para a camada 10-15 cm ( $0,394 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ). Dados concordantes foram obtidos por Albuquerque et al. (2001), da camada 0-5 cm para a camada 10-15 cm.

Houve diferenças entre as médias dos sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão para macroporosidade. O sistema II ( $0,157 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ) apresentou maior macroporosidade do que os sistemas III ( $0,116 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ), IV ( $0,110 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ), V ( $0,102 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ) e VI ( $0,105 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ), na camada 0-5 cm. Por sua vez, floresta subtropical ( $0,222 \text{ m}^3/\text{m}^3$  e  $0,220 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ) apresentou macroporosidade superior a de todos os sistemas de produção estudados, nas camadas 0-5 cm e 10-15 cm. Tanto a microporosidade como a macroporosidade foram afetadas pelos sistemas de produção estudados. Segundo Bouma (1991), os macroporos estão relacionados com processos vitais para as plantas, devendo o ambiente pedológico ser preservado. A redução da macroporosidade tende a se refletir, significativamente ou não, na porosidade total e no aumento de densidade de solo. Albuquerque et al. (1995), Andreola et al. (2000) e Silveira e Stone (2001), estudando modelos de rotação de culturas, não encontraram diferenças nos valores de macroporosidade entre os sistemas de produção estudados. Silveira e Stone (2001) observaram que os sistemas de rotação com arroz consorciado com calopogônio/feijão e milho/feijão/milho/feijão/arroz/

feijão apresentaram valor mais elevado para macroporosidade, na camada 0-10 cm. Todavia, este último não diferiu dos sistemas arroz/feijão e milho/feijão.

Foi verificada diferença de macroporosidade entre profundidades de amostragem de solo em somente um sistema de produção com pastagens anuais de inverno e de verão. O valor de macroporosidade do sistema II diminuiu da camada 0-5 cm ( $0,157 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ) para a camada 10-15 cm ( $0,104 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ). Essa diferença é consequência da alteração da porosidade total. Spera et al. (2004) obtiveram resultados semelhantes no valor de macroporosidade somente para alguns sistemas de produção estudados, ou seja, houve diminuição dos valores nos sistemas trigo/soja, trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja, trigo/soja, aveia preta + ervilhaca/milho e aveia branca/soja e alfafa para feno.

Houve diferença entre as médias de resistência à penetração de solo em somente um sistema de produção com pastagens anuais de inverno e de verão. O sistema III ( $1,95 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ ) mostrou maior resistência à penetração do que o sistema II ( $1,34 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ ), na camada 0-5 cm. O sistema II pode ter diluído o efeito do pisoteio de bovinos, na camada 0-5 cm, em relação aos demais tratamentos, pela presença de resíduos culturais de milho. Dentre as culturas, os resíduos de milho oferecem mais proteção mecânica ao solo (Derpsch et al., 1991). Porém, na floresta subtropical apresentou menor resistência à penetração de solo, em relação a maioria dos sistemas de produção estudados, nas camadas 0-5 cm e 10-15 cm. Albuquerque et al. (2001) verificaram que plantio direto manifestou maior valor para resistência à penetração de solo do que preparo convencional de solo e floresta.

Na maioria dos sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão e na floresta subtropical, houve diferenças entre as profundidades de solo para resistência à penetração. Nos sistemas I (de  $1,65 \text{ kgf}/\text{cm}^2$  para  $2,72 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ ), II (de  $1,34 \text{ kgf}/\text{cm}^2$  para  $2,78 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ ), IV (de  $1,76 \text{ kgf}/\text{cm}^2$  para  $2,87 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ ), V (de  $1,46 \text{ kgf}/\text{cm}^2$  para  $2,69 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ ) e VI

(de 1,60 kgf/cm<sup>2</sup> para 2,85 kgf/cm<sup>2</sup>), e na floresta subtropical (de 0,83 kgf/cm<sup>2</sup> para 1,97 kgf/cm<sup>2</sup>), a resistência à penetração aumentou da camada 0-5 cm para a camada 10-15 cm. Resultados similares para floresta foram obtidos por Albuquerque et al. (2001), nos quais a resistência à penetração aumentou da camada 0-5 cm para a camada 10-15 cm.

Observando os valores de macroporosidade, porosidade total, densidade e resistência de solo à penetração, constata-se que a estrutura de solo, em virtude de atividade agropecuária, sofreu degradação em todos os sistemas de produção estudados, em relação à floresta subtropical. Resultados equivalentes foram obtidos por Argenton (2000). Deve-se levar em consideração que os animais foram introduzidos para pastear apenas quando o solo encontrava-se relativamente seco. Trein et al. (1991) observaram em ensaio, que a resistência à penetração e após o pastejo por período de 40 horas, e com a lotação de 200 cabeças por hectare, aumentou, na camada 0-7,5 cm. No presente estudo, esse pastejo foi efetuado apenas duas ou três vezes, no inverno, e três a quatro vezes, no verão, com duração de no máximo dois dias em cada pastejo com carga de dez a quinze animais. Além disso, após a retirada dos animais da área, manteve-se intervalo de 40-60 dias, de modo a permitir rebrotes das forrageiras de inverno antes do estabelecimento das culturas de verão.

### **Física do solo em sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, com culturas de cobertura de solo e duplo propósito, sob sistema plantio direto, em Coxilha, RS**

No período de 2003 a 2009, houve mudanças nos tratamentos dos sistemas de produção com integração lavoura + pecuária, conduzidos em Coxilha, RS, nos quais foram introduzidas culturas de cobertura de solo e de duplo propósito (Santos et al., 2009b):

Sistema I: trigo/soja e ervilhaca/milho;

Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta/milho;

Sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta/soja;

Sistema IV: trigo/soja e ervilha/milho;

Sistema V: trigo/soja, triticale duplo propósito/soja e ervilhaca/soja; e

Sistema VI: trigo/soja, aveia branca de duplo propósito/soja e trigo duplo propósito/soja.

Os resultados deste estudo foram discutidos a partir da avaliação de 2008. A maioria dos sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, em 2008, na camada de 0 cm a 2 cm, mostrou maior valor de densidade do solo, em relação a 2005, após quatro anos de cultivo, enquanto que na camada de 10 cm a 15 cm ocorreu o inverso. Segundo Costa et al. (2003), com o passar dos anos, a densidade do solo com sistema plantio direto pode diminuir parcialmente, em consequência do aumento do teor de matéria orgânica na camada superficial, melhorando a estrutura do solo. Isso pode variar com o tipo e a profundidade do solo, e também com o sistema de rotação de culturas utilizado.

No estudo, em 2008, os teores de matéria orgânica de solo, em todas as camadas e sistemas de produção com integração lavoura-pecuária foram iguais ou superiores aos teores registrados em 2005. De acordo com Marcolan e Anghinoni (2006), o uso do solo com sistema plantio direto por período de quatro anos, após o revolvimento foi suficiente para o retorno dos atributos físicos do solo à condição próxima à original, uma vez que os mesmos não se diferenciaram dos sistemas de produção de oito e 12 anos de cultivo.

Em 2008, na camada de 0 cm a 2 cm, não houve diferença entre os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária (1,07 Mg/ha a 1,13 Mg/

ha) e nem destes e a floresta subtropical (0,92 Mg/ha), nos valores de densidade do solo. E, na camada de 10 cm a 15 cm, não houve diferença entre os valores de densidade do solo dos sistemas de produção com integração lavoura-pecuária (1,32 Mg/ha a 1,34 Mg/ha). Porém, nesta mesma camada, o solo da floresta subtropical (1,14 Mg/ha) mostrou valor menor de densidade, em relação aos sistemas de produção com integração lavoura-pecuária. Os maiores valores de densidade dos sistemas de produção com integração lavoura-pecuária são explicados pelo efeito das atividades agropecuárias intensas, por muitos anos, que promove, entre outros efeitos negativos, o aumento da densidade. Spera et al. (2004), estudando sistemas de produção com integração lavoura-pecuária no mesmo tipo de solo, observou que a densidade nas camadas de 0 cm a 5 cm e de 10 cm a 15 cm, de solos manejados com as rotações trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja, sob pastagem perene de inverno e sob pastagem perene de verão, aumentou consideravelmente, em relação ao status original. Silva et al. (2000), em trabalho desenvolvido somente com pastagens anuais de inverno e cultura de milho no verão, ambas estabelecidas sob sistema plantio direto, não observaram diferenças na densidade de solo entre as áreas pastejadas e das não pastejadas. De acordo com os mesmos autores, o pisoteio animal não teve efeito sobre a densidade do solo, possivelmente pelo fato de o resíduo da pastagem permanecer próximo a 1,0 Mg/ha de matéria seca.

A densidade do solo foi maior na camada de 10 cm a 15 cm, em relação à camada de 0 cm a 2 cm, em todos os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária. Isso indica a existência de camada compactada situada a partir dos 10 cm de profundidade em todos os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, o processo de degradação tem sido atribuído ao tráfego de máquinas (Cunha et al., 2009) e ou ao pisoteio por animais (Albuquerque et al., 2001; Drewry et al., 2008). Neste estudo, maiores valores de densidade, na camada de 10 cm a 15 cm, podem ser

atribuídos à formação de uma camada adensada, residual, resultante de operações anteriores de preparo de solo com arados e grades, podendo, nas parcelas sob cultivo de forrageiras, estar pouco associadas ao pisoteio promovido pelos bovinos.

Densidade de solo ainda tem sido um atributo físico usado na avaliação do estado estrutural do solo e os valores encontrados permitem concluir que existe compactação de solo nos sistemas de manejo estudados. Os valores, nas camadas, mantiveram-se abaixo do valor considerado limitante para os latossolos argilosos de Passo Fundo, que, de acordo com Klein e Câmara (2007), situaram-se ao redor de  $1,40 \text{ Mg/m}^3$ . Valores comparáveis de densidade do solo foram constatados por Santos et al. (2006b) com sistemas de produção integração lavoura-pecuária, no mesmo tipo de solo. Neste estudo, assim como no de Santos et al. (2009a), 10 a 15 bovinos foram mantidos pastando durante o dia e em solo relativamente seco, consumindo toda a forragem ofertada em um ou dois dias. Entretanto, foi verificado aumento do valor da densidade do solo, após pastejo, em experimento conduzido por Trein et al. (1991), em Argissolo Vermelho típico, com lotação elevada de animais (200 UA) e por 40 horas. Como os animais pastaram em solo argiloso úmido, houve intensa compactação da área. Nos ensaios de Albuquerque et al. (1995), em Latossolo Vermelho distrófico, a sequência trigo/soja manifestou, na camada 1,0 cm a 8,6 cm, maior densidade do solo do que os sistemas de rotação trigo e soja e aveia preta consorciada com ervilhaca e; trigo e soja, aveia preta e soja seguida novamente de aveia preta e soja.

Em 2008, todos os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, em ambas as camadas amostradas, mostraram valores de porosidade total menor do que na avaliação feita em 2005. Por outro lado, não houve diferença na porosidade total entre os sistemas de produção integração lavoura-pecuária, em ambas as camadas estudadas (0-2 cm:  $0,528 \text{ m}^3/\text{m}^3$  a  $0,541 \text{ m}^3/\text{m}^3$  e 10-15 cm:  $0,446 \text{ m}^3/\text{m}^3$  a  $0,455 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ) e nem des-

ses, em relação à floresta subtropical (0-2 cm: 0,588 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> e 10-15 cm: 0,500 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>), na camada superficial. Porém, o solo da floresta subtropical, na camada de 10 cm a 15 cm, mostrou valores maiores de porosidade total, em relação aos sistemas de produção com integração lavoura-pecuária. Comparando-se com os valores de porosidade total na condição original, encontrados na floresta subtropical, constata-se que, após várias décadas de ações antrópicas, houve redução na macroporosidade dos solos cultivados, independentemente do tipo de sistemas de produção com integração lavoura-pecuária. As diferenças na porosidade total podem ser atribuídas ao efeito da presença, de diferentes tipos de sistemas radiculares, extenso ou não das espécies forrageiras. A intensidade variável do trânsito de máquinas, conforme o tipo de sistema de produção, também pode ter afetado a porosidade total. Spera et al. (2004), estudando as propriedades físicas de solos com sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, verificaram que as rotações trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja e; trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho e aveia branca/soja, pastagem perene de inverno e pastagem perene de verão mostraram porosidade total inferior àquelas presentes na floresta subtropical. Diferentes tipos de rotação de culturas também afetam, de modo distinto, os valores de porosidade total. Albuquerque et al. (1995) verificaram que a sequência trigo e soja manifestou menor valor de porosidade total que as rotações: trigo e soja, aveia preta e soja e aveia preta + ervilhaca e milho e; aveia preta e soja, aveia preta e soja e trigo e soja, enquanto Stone e Silveira (2001) observaram, em solos sob rotação milho e feijão, milho e feijão, e arroz e feijão, maior porosidade total do que na sucessão soja e trigo.

A porosidade total foi maior na camada de 0 cm a 2 cm do que na camada de 10 cm a 15 cm, exceto na floresta subtropical. Nos sistemas de produção com integração lavoura-pecuária do presente estudo, supõe-se que tenha havido combinação do efeito do acúmulo de resíduos culturais e da ação agregante do sistema radicular de culturas na reestruturação do



solo, recompondo a porosidade do solo. No caso da floresta subtropical, o acúmulo constante de serrapilheira na camada superficial determina, além da menor densidade do solo, maior porosidade total, em comparação à camada de 10 cm a 15 cm. Nos sistemas agrícolas, a maior porosidade total da camada superficial, em relação à camada mais profunda, indica, nesta última camada, processo de degradação da estrutura do solo, caracterizado como “pé-de-arado” (ou “pé-de-grade”). Resultados equivalentes também foram reportados por Albuquerque et al. (1995) e Spera et al. (2004). Além disso, no presente estudo, na camada de 10 cm a 15 cm, houve menor volume de macroporos, com conseqüente maior volume de microporos, em todos os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, podendo resultar, nestes sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, em redução da infiltração de água no solo. Isto está de acordo com o observado em alguns trabalhos, fato observado, porém, na camada superficial (Marcolan; Anghinoni, 2006; Lanzasova et al., 2007).

Em 2008, os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, mostraram menores valores de microporosidade, em ambas as camadas estudadas, em relação ao observado em 2005. Não houve diferença entre as médias dos valores de microporosidade dos sistemas de produção com integração lavoura-pecuária (0-2 cm: 0,374 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> a 0,380 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> e 10-15 cm: 0,376 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> a 0,387 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) e nem o da floresta subtropical (0-2 cm: 0,423 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> e 10-15 cm: 0,400 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>). Spera et al. (2004), não observaram diferenças de microporosidade, em ambas as camadas estudadas, entre sistemas de produção com integração lavoura-pecuária envolvendo somente produção de grãos e sistemas de produção com integração lavoura-pecuária. Entretanto, Stone e Silveira (2001) observaram que as rotações soja/trigo e soja/trigo/soja/feijão/arroz/feijão manifestaram, na camada de 0-10 cm, microporosidade mais elevada do que as rotações milho e feijão, milho e feijão, arroz e feijão e; arroz consorciado com calopogônio e feijão.

Não foram constatadas, no presente estudo, diferenças na microporosidade das diferentes camadas de solo em sistemas de produção com integração lavoura-pecuária e floresta subtropical, embora isto possa não ser atribuído a um mesmo processo. Costa et al. (2003) e Spera et al. (2004), avaliando sistemas de manejo de solo que incluíam rotação de culturas e sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, não encontraram diferenças dos valores de microporosidade, entre os tratamentos, em camadas comparáveis entre si quanto à profundidade, embora as camadas tenham sido submetidas a diferentes efeitos mecânicos. Provavelmente, há uma condição limite na formação de microporos detectáveis.

Neste estudo e bem como no de Spera et al. (2004), também, com sistemas de produção com culturas anuais e com pastagens perenes, não houve diferença entre os valores de microporosidade, evidenciando que, em sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, o pisoteio animal, em lotação adequada, não promove alterações adicionais ao atributo microporosidade do solo, além daquelas advindas ao trânsito de máquinas.

Na camada superficial, os valores de macroporosidade, em 2008, na maioria dos sistemas, foram maiores do que o observado em 2005, enquanto que, na camada mais profunda constatou-se o inverso. O aumento dos macroporos torna os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária mais importantes do ponto de vista de manejo conservacionista do solo. De acordo com Andreola et al. (2000), o aumento dos volumes de macroporos melhora a aeração e a infiltração de água no solo. Por outro lado, entretanto, não houve diferença na macroporosidade total entre os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, em ambas as camadas estudadas (0-2 cm: 0,150 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> a 0,159 mm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> e 10-15 cm: 0,066 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> a 0,074 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>). Porém, o solo da floresta subtropical, na camada de 10 cm a 15 cm (0,100 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) mostrou maiores valores de macroporosidade, em relação aos sistemas de produção com integração lavoura-pecuária. Segundo Passioura (2002), os macroporos estão relacionados com pro-

cessos vitais para as plantas, devendo o ambiente edáfico ser preservado ou recuperado. Albuquerque et al. (1995) e Andreola et al. (2000) estudando atributos físicos do solo de rotações de culturas, não encontraram diferenças nos valores de macroporosidade entre os sistemas de produção estudados. Stone e Silveira (2001), observaram que os sistemas arroz consorciado com calopogônio e milho e feijão, arroz e feijão mostraram maior macroporosidade, na camada de 0 cm a 10 cm, do que os sistemas que incluíram soja e trigo.

A macroporosidade, na camada superficial, foi maior na maioria dos sistemas de produção integração lavoura-pecuária, em comparação à camada de 10 cm a 15 cm. Os resultados da macroporosidade foram similares ao da porosidade total. Assim, na maioria dos sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, os maiores volumes de macroporos nas camadas superficiais, refletem a influência da matéria orgânica na estruturação de solos (Bronick; Lal, 2005). A densidade do solo foi sempre menor na camada superficial e, em consequência, a porosidade total e a macroporosidade foram maiores, já que esses atributos são inversamente proporcionais e dependentes entre si.

No presente estudo, o pastejo foi efetuado apenas uma ou duas vezes, no inverno, com duração de no máximo dois dias em cada pastejo com carga de dez a quinze animais. Além disso, após a retirada dos animais da área, manteve-se um intervalo de 40 a 60 dias, de modo a permitir rebrotas das forrageiras de inverno antes do estabelecimento das culturas de verão. A integração entre lavouras e pecuária, se inadequadamente manejada, pode favorecer intensificação do processo de degradação física do solo, comumente observada em sistema plantio direto, e principalmente, compactação do solo.

## Conclusões

### **Física do solo em sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, sob sistema plantio direto, em Passo Fundo, RS**

Em geral, os sistemas de produção componentes da integração lavoura-pecuária não interferem nos atributos químicos e físicos do solo.

Não há indícios que o pisoteio animal pelos bovinos tenha agravado a compactação do solo. As pastagens anuais de inverno não favorecem a redução da compactação.

### **Física do solo em sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, sob sistema plantio direto, em Coxilha, RS**

A densidade de solo e a resistência à penetração é maior na camada 10-15 cm do que na camada 0-5 cm, nos sistemas I (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) e II (trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho e aveia branca/soja) e na floresta subtropical.

A floresta subtropical apresenta densidade de solo e resistência à penetração menor do que a maioria dos sistemas de produção estudados, nas camadas 0-5 cm e 10-15 cm, em consequência para porosidade total e macroporosidade, ocorreu o inverso.

A porosidade total e a microporosidade diminuem da camada superficial para à camada mais profunda na floresta subtropical, enquanto que, para o sistema II, isso é observado para porosidade total e para macroporosidade.

No sistema II, há redução dos macroporos e aumento da densidade e da resistência à penetração de solo, da camada 0-5 cm para a camada de 10-15 cm, devido maior intensidade das atividades agrícolas.

## **Física do solo em sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, com culturas de cobertura do solo e de duplo propósito, sob sistema plantio direto, em Coxilha, RS**

A densidade de solo, em todos os sistemas de produção integração lavoura-pecuária, é maior na camada de 10 cm a 15 cm do que na camada superficial, indicando que o pisoteio animal não intensifica a compactação da camada superficial.

Na maioria dos sistemas de produção integração lavoura-pecuária avaliados, há redução dos macroporos e aumento da densidade, na camada de 10 cm a 15 cm, em relação à camada de 0 cm a 2 cm, não podendo, portanto, associar a compactação do solo somente ao pisoteio dos animais, mas o efeito residual das operações anteriores de aração e gradagem do solo.

Na camada superficial, não há diferença nos atributos físicos do solo entre os sistemas de produção integração lavoura-pecuária e nem destes para a floresta subtropical.

## **Tecnologias desenvolvidas**

A integração lavoura-pecuária permitiu a intensificação e aumento da eficiência do uso da terra, proporcionando maiores rendimentos de grãos, em menos tempo e em menor área, facilitando a transição de pastagem nativa pastejada para sistemas de produção com integração da lavoura com a pecuária, sob sistema plantio direto, preservando melhor a qualidade física do solo.

## Referências

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, n. 1, p. 115-119, 1995.

ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, p. 717-723, 2001.

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

ANJOS, J. T.; UBERTI, A. A. A.; VIZZOTTO, V. J.; LEITE, G. B.; KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, n. 1, p. 139-145, 1994.

ARGENTON, J. **Propriedades físicas do solo em dois sistemas de cultivo com plantas de cobertura de verão intercalares à cultura do milho**. 2000. 97 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

BOUMA, J. Influence of soil macroporosity on environmental quality. **Advances in Agronomy**, v. 46, p. 1-37, 1991.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, n. 1, p. 3-22, 2005.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FOUTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.

CUNHA, J. P. A. R.; CASCÃO, V. N.; REIS, E. F. Compactação causada pelo tráfego de trator em diferentes manejos de solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 3, p. 371-376, 2009.

DA ROS, C. O.; SECCO, D.; FIORIN, J. E.; PETRERE, C.; CADORE, M. A.; PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 2, p. 241-247, 1997.

DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KOPRE, U. Importância da rotação de culturas. In: DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KOPRE, U. **Controle da erosão no Paraná**, BRASIL: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: GTZ; IAPAR, 1991. p. 147-164.

DREWRY, J. J.; CAMERON, K. C.; BUCHAN, G. D. Pasture yield and soil physical property responses to soil compaction from treading and grazing – a review. **Australian Journal of Soil Research**, v. 46, n. 3, p. 237-256, 2008.

KLEIN, V. A.; CÂMARA, R. K. Rendimento de soja e intervalo hídrico ótimo em latossolo vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 2, p. 221-227, 2007.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A. **É necessária a descontinuidade do sistema plantio direto após dez anos de adoção?** Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1999. 10 p. htm. (Embrapa-CNPT. Comunicado técnico online, 43.). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p\\_co43.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_co43.htm)>. Acesso em: 5 jun. 2018.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 1131-1140, 2007.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: alternativa para sustentabilidade da produção animal. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 18., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 257-283.

MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um argissolo e rendimento de culturas de acordo com o desenvolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 163-170, 2006.

PASSIOURA, J. B. Soil conditions and plant growth. **Plant Cell & Environment**, v. 25, n. 2, p. 311-318, 2002.

REEVES, D. W. Soil management under no-tillage: soil physical aspects. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., 1995, Passo Fundo. **Resumos...** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1995. p. 127-130.

SÁ, J. C. de M. A intimidade do processo. Por que não lavrar nem gradear o solo? **Revista Plantio Direto**, n. 60, p. 20-21, 2000.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, Ren. S.; SPERA, S. T.; FONTANELI, Rob. S.; TOMM, G. O. Atributos químicos e físicos de solo sob pastagens perenes de verão, **Bragantia**, v. 68, n. 4, p. 1037-1046, 2009a.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; MALDANER, G. L. Rendimento de grãos e algumas características agrônômicas de soja, em sistemas de produção integração Lavoura-pecuária (ILP), sob plantio direto. In: SOJA: resultados de pesquisa 2008-2009. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009b. p. 120-136. (Embrapa Trigo. Documentos, 93).



- SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; TOMM, G. O. AMBROSI, I. **Sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão, sob plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006a. 128 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 69).
- SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O.; DENARDIN, J. E. Atributos físicos e químicos de solo em sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens anuais sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 12, n. 1/2, p. 73-81, 2006b.
- SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetado pelo pastejo e manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 24, n. 1, p. 191-199, 2000.
- SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Teores de nutrientes e de matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 387-394, 2001.
- SPERA, S. T.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeito de pastagens de inverno e de verão em características físicas do solo, sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 36, n. 4, p. 1193-1200, 2006.
- SPERA, S. T.; SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O.; FONTANELI, R. S. Avaliação de alguns atributos físicos de solo em sistemas de produção de grãos, envolvendo pastagens sob plantio direto. **Revista Científica Rural**, v. 9, n. 1, p. 23-31, 2004.
- STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 25, n. 2, p. 395-401, 2001.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camada de impedimento do solo em sistemas agrícolas com soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 23).

TREIN, C. R.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo, na rotação aveia + trevo/milho, após pastejo intensivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, n. 1, p. 105-111, 1991.

Capítulo

7

## **Avaliação de Sistemas de Rotação de Culturas na Conversão e no Balanço Energético, nas Décadas de 1980 a 2010**

Henrique Pereira dos Santos, Renato Serena Fontaneli, Genei Antonio Dalmago, Anderson Santi

### **Introdução**

A rotação de culturas, fundamentada na diversificação de espécies, tanto de inverno como de verão, tem contribuído para aumentar a estabilidade da produção e o rendimento das culturas (Santos; Reis, 2003; Santos et al., 2005b; Santos; Fontaneli, 2007). A rotação de culturas é um dos requisitos para viabilizar o sistema plantio direto, que é considerado um dos sistemas mais eficientes de conservação de solo.

Adicionalmente, o conhecimento do desempenho de programas de rotação de culturas assume importância crescente sob o ponto de vista energético, econômico e de risco. Assim, tem sido observado que, toda vez que se acrescentam novos fatores para modernizar a agricultura, tais como, por exemplo, maior quantidade de fertilizantes e demais insumos, por hectare, pode-se intensificar o uso de energia. Contudo, estes fatores implicam em maior gasto de energia, que por sua vez, influi nos fluxos e nas taxas de retorno do capital investido. Desta forma, objetiva-se o desenvolvimento de sistemas de rotação ou de produção de grãos, que apresentem baixo consumo de energia, elevado retorno econômico e baixo risco.

Por outro lado, buscam-se, nas regiões Sul e Sudeste do País, sistemas de produção de grãos ou sistemas de produção com integração lavoura + pecuária mais eficientes energeticamente. A energia produzida tem de ser maior do que a energia consumida (Quesada; Costa Beber, 1990).

O uso da tecnologia disponível indicada para os agricultores, para as várias espécies em cultivo, pode torná-las mais eficientes energeticamente, como é o caso dos sistemas de produção de grãos com cereais de inverno (Igue, 1980). Com relação a essas afirmações, trabalhos têm sido desenvolvidos em vários países para avaliar a eficiência da conversão energética, principalmente entre as espécies produtoras de grãos e a pecuária leiteira e de corte (Berardi, 1978; Pimentel, 1980; Wilson; Brigstocke, 1980; Quesada et al., 1987; Bohra et al., 1990).

O trabalho realizado em uma propriedade agrícola demanda energia do estabelecimento à colheita das culturas em exploração. O consumo de energia varia em função do nível de adoção de cada tecnologia usada. O balanço final de energia pode ser negativo ou positivo (Santos et al., 2005c). Se a energia produzida for menor do que a energia consumida, o balanço energético será negativo, como observaram Quesada et al. (1987), na cultura de fumo. Ainda, há poucos estudos relacionados com conversão e balanço energético em sistemas de produção com rotação de culturas envolvendo cereais de inverno (Santos; Reis, 1995; Santos et al., 2005a, 2007).

Por outro lado, a produção altamente tecnificada de cereais e de oleaginosas, para consumo humano, principalmente nas regiões temperadas, dos EUA, Canadá, Alemanha, França, Inglaterra e Brasil, exige um elevado consumo de energia não renovável (White, 1975). Na região tropical, a obtenção desses mesmos produtos (cereais e oleaginosas) ocorre com menores dispêndios de energia, devido a condições de alta luminosidade e de baixo uso de insumos, o que os torna energeticamente mais favoráveis (Wilson; Brigstocke, 1980). Um sistema tecnologicamente adequado, que

busca maior eficiência na utilização da energia não renovável e no lucro, somente poderá ser estabelecido mediante uma racionalização das atividades executadas nas propriedades (Santos et al., 2000a).

Nesse capítulo serão avaliados, a produtividade cultural em sistemas de rotação de culturas para trigo, a conversão e o balanço energético dos sistemas de rotação de culturas para trigo, cevada e triticale, sob sistema plantio direto, e ainda sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, também, envolvendo a cultura de trigo.

## **Produtividade cultural**

A produtividade cultural resulta da divisão do rendimento de grãos (kg/ha) de cada espécie pela energia consumida (Mello, 1986). A energia consumida é a energia gasta na obtenção de um bem ou serviço. Exemplo: a energia gasta para se obter um quilograma de calcário é 400,00 Mcal, ou a energia gasta para arar o solo é de 5,19 Mcal por hora.

### **Sistemas de rotação de culturas para trigo, de 1980 a 1989**

No trabalho desenvolvido na Embrapa Trigo, no período de 1980 a 1989, foi avaliada a produtividade cultural, nos seguintes sistemas de rotação de culturas para trigo:

Sistema I: trigo/soja;

Sistema II: trigo/soja, colza/soja, cevada/soja e leguminosa/milho;

Sistema III: trigo/soja, aveia branca/soja e leguminosa/milho e;

Sistema IV: trigo/soja, colza/soja, linho/soja e leguminosa/milho.

Na média conjunta dos anos, quanto à produtividade cultural, a monocultura trigo/soja (1,20 Mcal/ha) não diferiu dos sistemas II (1,42 Mcal/ha), III (1,45 Mcal/ha) e IV 1,40 Mcal/ha) (Santos et al., 1995). Porém, em relação à produtividade cultural anual, houve diferenças entre todos os anos estudados.

Santos e Reis (1994), estudando sistemas de rotação de culturas para cevada, verificaram menores índices de produtividade cultural (cevada/soja: 1,28 Mcal/ha), em comparação à cevada em rotação com um (cevada/soja e ervilhaca/milho: 1,44 Mcal/ha) e com três invernos sem cevada (cevada/soja, aveia branca/soja, linho/soja e ervilhaca/milho: 1,43 Mcal/ha). A cevada em rotação com dois invernos sem cevada (cevada/soja, linho/soja e ervilhaca/milho: 1,36 Mcal/ha), situou-se numa posição intermediária para os índices de produtividade cultural.

O sistema I (trigo/soja) mostrou índice de produtividade cultural maior do que o sistema II (trigo/soja, colza/soja, cevada/soja e leguminosa/milho), em dois dos dez anos estudados (1980 e 1985), e inferior, em cinco anos (1983, 1986, 1987, 1988 e 1989). Comparado com o sistema III (trigo/soja, aveia branca/soja e leguminosa/milho), o sistema I não diferiu em dois anos (1982 e 1984), e nos demais anos, foi superior em dois anos (1981 e 1985) e inferior em seis anos (1980, 1983, 1986, 1987, 1988 e 1989).

Comparado ao sistema IV (trigo/soja, colza/soja, linho/soja e leguminosa/milho), o sistema I não diferiu em 1982 e em 1984 quanto à produtividade cultural, e nos demais anos, foi superior em 1981 e 1985 e inferior em 1980, 1983, 1986, 1987, 1988 e 1989. De 1986 em diante, os sistemas II, III e IV foram superiores ao sistema I em todos os anos. Isso indica que, do ponto de vista do índice analisado, somente a partir do sétimo ano os sistemas de rotação alternativos à monocultura mostraram vantagens, ou seja, produtividade cultural maior e mais estável.

Na média anual, os sistemas II, III e IV foram superiores, em cinco ou mais

vezes, no aproveitamento de energia, em comparação ao sistema I, portanto, constitui uma boa alternativa para substituir o sistema I (monocultura trigo/soja).

Os baixos desempenhos energéticos das culturas de cobertura de solo (ervilhaca, serradela e tremoço), no inverno, foram em parte compensados pelo melhor desempenho do milho, no verão. Neste caso, o milho viabilizou a cultura de cobertura do solo, no inverno, pelo aumento da produtividade e pela redução dos custos de produção, devido à não utilização de adubação nitrogenada de cobertura.

A utilização de sistemas de rotação de culturas pode requerer o emprego de novas tecnologias, tais como semeadoras mais versáteis (para sementes pequenas e grandes), fertilizantes e defensivos mais específicos, o que pode aumentar os custos e reduzir a geração de renda. Em geral, a tecnologia introduzida nos sistemas produtivos pode intensificar a utilização de energia. Por outro lado, o próprio uso da rotação de culturas pode contornar o possível aumento na demanda de energia, por reduzir a quantidade de fertilizantes de cobertura ou de herbicidas no controle de plantas daninhas, por exemplo.

O sistema II (trigo/soja, colza/soja, cevada/soja e leguminosa/milho), energeticamente, foi o mais equilibrado de todos, pois seus índices de produtividade cultural anual foram sempre superiores à unidade (1,0), variando de 1,09 Mcal a 1,68 Mcal, o que significa que a energia produzida (rendimento de grãos em kg/ha) foi superior à energia consumida.

### **Sistemas de rotação de culturas para trigo e cevada, em Guarapuava, PR**

No período de 1984 a 1993, em Guarapuava, PR, a produtividade cultural foi avaliada nos seguintes sistemas de rotação de culturas para trigo:

Sistema I: trigo/soja;

Sistema II: trigo/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja;

Sistema III: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja; e

Sistema IV: trigo/soja, ervilhaca/milho, cevada/soja e aveia branca/soja.

Foi avaliada a produtividade cultural dentro de cada ano (culturas de inverno e verão), na média dos anos e em dois períodos, 1984 a 1989 e 1990 a 1993 (Santos et al., 1996b).

Considerando-se a produtividade cultural anual, verifica-se que houve diferenças entre os sistemas em todos os anos. O sistema II mostrou maior índice de produtividade cultural do que o sistema I, em sete dos dez anos estudados (1984 a 1989 e 1993), e não diferiu em três (1990 a 1992). Comparado ao sistema III, o sistema I não diferiu em 1992; foi superior em 1990 e inferior no restante dos anos. Comparando ao sistema IV, o sistema I não diferiu em 1985, 1986 e 1992, foi superior em 1990 e, seis vezes inferior, nos anos de 1984, 1987, 1988, 1989, 1991 e 1993. Isso indica que os sistemas de rotação alternativos (II, III e IV) mostraram anualmente, maior conversão de energia que o sistema I (monocultura trigo/soja). O baixo desempenho energético das culturas de cobertura de solo (ervilhaca: 0,12 Mcal/ha, serradela: 0,12 Mcal/ha e tremoço: 0,15 Mcal/ha), no inverno, foram compensados, em parte, pelo maior desempenho do milho. Resultados semelhantes foram encontrados por Santos e Reis (1994) quanto à ervilhaca (0,15 Mcal/ha) e ao milho (3,70 Mcal/ha). Nesse caso, o milho viabilizou a cultura de cobertura de solo, no inverno, pelo aumento no rendimento de grãos, o que repercutiu diretamente nos índices de produtividade cultural.

O sistema II (trigo/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja) foi superior ao sistema III em seis dos anos (1984, 1985, 1986, 1987, 1988 e 1990), inferior em dois (1991 e 1993) e não diferiu em dois (1989 e 1992). Em relação ao sistema IV, o sistema II mostrou-se superior em seis anos (1984, 1985, 1986, 1988, 1990 e 1991) e não diferiu em quatro (1987, 1989, 1992 e 1993).



Na análise conjunta dos resultados (1984 a 1989 e 1990 a 1993), houve significância somente no primeiro período. Nesse caso, os sistemas II (2,20 Mcal/ha), III (1,91 Mcal/ha) e IV (1,83 Mcal/ha) foram superiores ao sistema I (1,52 Mcal/ha), o que mostra que os sistemas alternativos II, III e IV foram mais eficientes na conversão de energia do que o sistema I (monocultura trigo/soja). Além disso, o sistema II foi superior aos sistemas III e IV, mostrando ser a melhor das alternativas estudadas.

Deve-se considerar que, embora não tenha ocorrido no período 1990 a 1993, diferença entre os índices médios de produtividade cultural avaliados, o sistema II (trigo/soja e aveia branca/soja), anualmente, não diferiu ou foi superior ao sistema I, podendo, constituir adequada alternativa para substituí-lo.

No trabalho desenvolvido por Zentner et al. (1984), no Canadá, verificaram-se diferenças entre as médias para eficiência energética de um (0,93 Mcal/ha) e dois invernos sem trigo (0,97 Mcal/ha), em relação à monocultura desse cereal (0,68 Mcal/ha), sem semeadura de cultura de verão.

Nesse estudo, o intervalo de um ano (sistema II) foi suficiente para se obter a melhor eficiência energética, em relação aos demais sistemas estudados.

Para a cultura da cevada, em Guarapuava, PR, também, os sistemas de rotação de culturas foram analisados em dois períodos (de 1984 a 1989 e de 1990 a 1993), quanto aos índices de produtividade cultural. Nos seguintes sistemas de rotação de culturas para cevada, foi avaliada a produtividade cultural:

Sistema I: cevada/soja;

Sistema II: cevada/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja;

Sistema III: cevada/soja, linho/soja e ervilhaca/milho; e

Sistema IV: cevada/soja, linho/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho.

Considerando a produtividade cultural anual, houve diferença em todos os anos (Santos et al., 1996a).

O sistema II mostrou índices de produtividade cultural mais elevados do que o sistema I na maioria dos anos estudados (8 em 10) e não diferiu em dois anos (1991 e 1992).

Os sistemas com rotação alternativa (sistemas II, III e IV) mostraram, na maioria dos anos, índices de conversão de energia maiores do que a monocultura de cevada (sistema I). Além disso, o baixo desempenho energético da cultura de cobertura do solo, ervilhaca, no inverno, foi compensado, em parte, pelo maior desempenho do milho, no verão. Resultados similares foram encontrados por Santos e Reis (1994) em relação à ervilhaca (0,15 Mcal/ha) e tremoço (0,07 Mcal/ha), no inverno, e para milho (3,68 Mcal/ha) no verão. Assim, o milho viabilizou as culturas de cobertura de solo pelo aumento de rendimento de grãos, o que repercutiu diretamente nos índices de produtividade cultural.

Na análise conjunta de 1984 e 1989, os sistemas II (2,19 Mcal/ha) e o sistema III (1,89 Mcal/ha) diferiram do sistema I (1,54 Mcal/ha), o que mostra que os sistemas alternativos II e III mostraram melhor conversão de energia, em termos de índice de produtividade cultural do que a monocultura cevada/soja (sistema I). O sistema alternativo IV apresentou desempenho médio (1,81 Mcal/ha), no período, equivalente ao sistema I. O sistema II (cevada/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja) mostrou superioridade aos sistemas III e IV, no período de 1984 a 1989. Por sua vez, os sistemas III e IV, não diferiram quanto à produtividade cultural.

Santos e Reis (1994), no sul do Brasil, estudando quatro sistemas de rotação de culturas para trigo, de 1984 a 1988, verificaram que os sistemas alternativos com um (1,73 Mcal/ha), dois e com três invernos sem trigo, evidenciaram melhor desempenho no aproveitamento da energia investida, em comparação com a monocultura (1,49 Mcal/ha), sendo o sistema de rotação de culturas com um inverno sem trigo o de melhor desempenho energético.

De 1990 a 1993, os quatro sistemas estudados (I, II, III e IV), com índices de produtividade cultural médios de 1,68 Mcal/ha, 1,89 Mcal/ha, 2,02 Mcal/

ha e 1,88 Mcal/ha, respectivamente, não diferiram, embora os valores nos sistemas II, III e IV tenham sido maiores, em valores absolutos, do que o do sistema I.

## **Conversão e balanço energético**

A conversão energética resulta da divisão da energia produzida pela energia consumida em cada sistema, enquanto que o balanço energético dos sistemas resulta na diferença entre a energia produzida e a consumida, em cada sistema. Como energia produzida, considera-se a transformação do rendimento de grãos em energia. Como energia consumida, considera-se a soma dos coeficientes energéticos equivalentes aos corretivos, aos fertilizantes, às sementes, aos fungicidas, aos herbicidas e aos inseticidas, utilizados em cada sistema, bem como a energia consumida pelas operações de semeadura, de adubação de base e cobertura, de aplicação de produtos e de colheita.

### **Sistemas de rotação de culturas com triticale, de 1987 a 1991, em Passo Fundo, RS**

No período de 1987 a 1991, em Passo Fundo, RS, sob sistema plantio direto, foram avaliadas a conversão e o balanço energético nos seguintes sistemas de rotação de culturas para triticale:

Sistema I: triticale/soja;

Sistema II: triticale/soja e aveia preta rolada com rolo-facas/soja;

Sistema III: triticale/soja e ervilhaca/milho;

Sistema IV: triticale/soja, aveia preta rolada com rolo facas/soja e ervilhaca/milho; e

Sistema V: triticale/soja, triticale/soja, aveia preta rolada com rolo facas/soja e ervilhaca/milho.

As análises de variância conjunta para conversão energética e para balanço energético, nos dois períodos (1987 a 1989 e 1990 a 1991), apresentaram diferenças entre os efeitos anos e a interação anos x tratamentos (Santos et al., 2000b). Ocorreram diferenças somente entre as médias dos sistemas na conversão energética e no balanço energético no primeiro período.

Considerando-se a comparação da conversão energética anual (inverno + verão) do primeiro período (1987 a 1989), ocorreram diferenças nos três anos estudados. Nesse período, os sistemas de rotações de culturas (III: triticale/soja e ervilhaca/milho, IV: triticale/soja, aveia preta rolada com rolo-facas/soja e ervilhaca/milho e V: triticale/soja, triticale/soja, aveia preta rolada com rolo facas/soja e ervilhaca/milho) que continham o milho como uma das culturas componentes, foram mais eficientes na conversão de energia do que a monocultura triticale/soja. O baixo desempenho energético da ervilhaca, no inverno, foi compensado, em parte, pelo melhor desempenho do milho no verão.

Em função do observado acima, as médias comparadas duas a duas, de 1987 a 1989, mostraram que os sistemas III (9,30 Mcal/ha), IV (8,12 Mcal/ha) e V (7,37 Mcal/ha) foram superiores ao sistema I (5,38 Mcal/ha) e II (5,02 Mcal/ha), na conversão energética. Os índices da conversão energética do sistema I não diferiu do sistema II (triticale/soja e aveia preta rolada com rolo-facas/soja). O sistema III foi superior ao dos sistemas IV e V, e a conversão do sistema IV foi superior a do sistema V. Nesse período, o sistema III (triticale/soja e ervilhaca/milho) foi o que apresentou maior

conversão energética dentre os sistemas estudados. Santos et al. (1996a; 1996b), estimando índices de produtividade cultural para sistemas de rotação de culturas para cevada e trigo, durante dez anos, sob sistema plantio direto, no Estado do Paraná, obtiveram diferenças entre as médias. Os sistemas de rotação de culturas para cevada e para trigo foram mais eficientes energeticamente do que a monocultura cevada/soja ou trigo/soja.

Quando as culturas produzem relativamente bem, grãos ou matéria seca, o efeito da rotação de culturas sobre a monocultura torna-se mais evidente. Isto foi constatado no primeiro período deste trabalho (de 1987 a 1989). Quanto mais elevado é o rendimento de grãos, maior será a conversão energética das espécies.

Porém, na análise da conversão energética (inverno + verão) do segundo período (1990 a 1991), observam-se diferenças somente entre as médias anuais.

Na média conjunta da conversão energética, do segundo período, a conversão do sistema I (5,58 Mcal/ha) não diferiu da dos sistemas II (6,22 Mcal/ha), III (4,83 Mcal/ha), IV (5,75 Mcal/ha) e V (5,67 Mcal/ha) (Santos et al., 2000b). Deve ser considerado que os sistemas III, IV e V tinham a cultura de milho como um de seus componentes e esta gramínea não produziu em 1990 devido à forte estiagem ocorrida. Isto causou um acentuado decréscimo nos valores de conversão energética destes sistemas e indicou a importância e o potencial da cultura de milho como convertora de energia. No ano de 1991, os sistemas IV e V foram superiores aos dos sistemas I e III. Santos et al. (1995), trabalhando com índices de eficiência energética também não encontraram diferenças entre os sistemas de rotação de culturas para trigo, num período de dez anos, sob sistema de preparo convencional de solo, no inverno, e sob semeadura direta, no verão, em área relativamente próxima desse experimento.

No trabalho desenvolvido por Zentner et al. (1989) com sistemas de rotação após 18 anos de cultivos, não apresentou diferença entre as médias

para os índices de conversão energética. Nesse caso, a cultura de verão não foi semeada. Na primeira fase desse estudo, evidenciou-se o efeito da rotação de culturas sobre a monocultura quanto aos índices de conversão energética.

É importante salientar que, no presente estudo, a conversão anual de energia de todos os sistemas avaliados foi superior à unidade, variando de 2,59 Mcal/ha a 9,91 Mcal/ha, indicando que todos eles são conversores positivos de energia, ou seja, produziram 2,59 a 9,91 vezes mais energia do que a consumida (energia não renovável). Isto caracteriza que houve balanço energético positivo entre os sistemas estudados (Quesada; Costa Beber, 1990). Nesse caso, os sistemas estudados tornaram a agricultura mais eficiente em termos de custo-benefício na produção de alimentos.

Nas médias do período de 1987 a 1989, em termos de balanço energético (Santos et al., 2000b), o sistema I (18.067 Mcal/ha) superou o sistema II (13.790 Mcal/ha), mas, foi inferior ao sistema III (23.860 Mcal/ha) e não diferiu dos sistemas IV (19.875 Mcal/ha) e V (19.264 Mcal/ha). O sistema II foi menor entre os demais sistemas, enquanto o sistema III, na média geral do período, foi superior a todos os demais. Estes resultados repetiram-se, de maneira geral, dentro de cada ano. Nesse período de estudo, o sistema III (triticale/soja e ervilhaca/milho) foi a melhor opção, ou seja, foi uma alternativa com resultado, em termos de energia, superior ao sistema tradicional de monocultura triticale/soja (sistema I) e aos demais sistemas alternativos, enquanto que os sistemas IV e V poderiam ser indicados como alternativas ao sistema I, porém, com a expectativa de se obter apenas resultados semelhantes ao sistema I.

Neste período de estudo (1987 a 1989), quando as culturas produziram bem, o aproveitamento energético das espécies foi maior. A monocultura mostrou aproveitamento energético menor que os sistemas com rotação de culturas.

A comparação dos balanços energéticos, no período de 1990 a 1991, dentro de cada ano, mostrou diferenças entre os sistemas estudados, em 1990, e poucas em 1991. Em 1990, o sistema I não diferiu do sistema II e foi superior aos sistemas III, IV e V. No entanto, no ano seguinte, o sistema I não diferiu dos demais sistemas.

A comparação das médias dos sistemas, no período de 1990 a 1991, não mostrou nenhum contraste significativo, indicando que os valores de energia líquida dos sistemas estudados não diferiram entre si. É importante salientar que, no presente estudo, nos dois períodos, todos os sistemas avaliados apresentaram balanço energético positivo, ou seja, todos produziram mais energia do que consumiram.

Em estudos conduzidos no Canadá, com 12 sistemas de rotação de culturas para trigo, durante 12 anos, Zentner et al. (1984) não observaram diferenças para o balanço energético entre um (10.868 Mcal/ha) ou dois invernos sem trigo (10.590 Mcal/ha) e a monocultura dessa gramínea (11.896 Mcal/ha). Da mesma forma, os mesmos sistemas avaliados após 18 anos, não apresentaram diferenças nas médias do balanço energético entre a monocultura desse cereal e os sistemas de rotação de culturas para trigo (Zentner et al., 1989). Deve-se ser levado em consideração que, em ambos os casos, não foi semeada a cultura de verão.

A tecnologia agrícola utilizada nos sistemas estudados foi mais eficiente em termos de conversão energética e de balanço energético. Além disso, no primeiro período de estudo, o sistema III (triticale/soja e ervilhaca/milho) foi o mais eficiente dentre os sistemas avaliados. Nesse caso, somente a diversificação de espécies tornou este sistema mais eficiente, sem aumentar o consumo de energia não renovável, na forma de combustíveis, fertilizantes, fungicidas, herbicidas e inseticidas.

## Sistemas de rotação de culturas para trigo, em Passo Fundo, RS

Nos períodos de 1987 a 1989 e de 1990 a 1995, em Passo Fundo, RS, a conversão e o balanço energético foram avaliados nos seguintes sistemas de rotação de culturas com trigo (Santos et al., 2001):

Sistema I: trigo/soja;

Sistema II: trigo/soja e ervilhaca/milho ou sorgo;

Sistema III: trigo/soja, aveia preta ou branca/soja e ervilhaca/milho ou sorgo;

Sistema IV: trigo/soja, aveia/branca, linho e ervilhaca/milho ou sorgo;

Sistema V: trigo/soja, trigo/soja, aveia preta ou branca/soja e ervilhaca/milho ou sorgo;

Sistema VI: trigo/soja, trigo/soja, aveia/branca, linho e ervilhaca/milho ou sorgo; e

Sistema VII: pousio/soja.

Considerando-se a conversão energética anual, observa-se que só não houve diferenças entre os sistemas em 1987. No período de 1987 a 1989, a conversão energética do sistema I (4,99 Mcal/ha) não diferiu do sistema II (5,38 Mcal/ha). O sistema III (7,46 Mcal/ha) apresentou maior índice de conversão energética que os sistemas I, II e V (6,77 Mcal/ha), em dois dos três anos estudados (1988 e 1989). O sistema III foi também superior ao sistema VI no ano de 1989, não diferindo dos demais anos. Comparados aos sistemas I e II, os sistemas IV, V e VI não diferiram em 1987 e foram inferiores em 1988 e 1989. Nesse período, não houve diferenças entre os sistemas III e IV, entre IV e VI, e entre V e VI. Isso pode ser devido à cultura de milho que, nesse período, apresentou maiores índices de conversão energética (nos sistemas III, IV e VI). Esses resultados assemelham-se com os dados relatados por Santos e Reis (1995).



No período de 1990 a 1995, o índice de conversão energética dos sistemas II, III, IV, V, VI e VII foram superiores, na maioria dos anos, aos do sistema I. Isso pode ser devido ao fato de que, ao longo desses anos, a sucessão trigo/soja (sistema I) resultou em menores índices de conversão energética do que os demais sistemas em rotação de culturas (sistemas II, III, IV, V e VI). Esses resultados são similares aos obtidos por Santos e Reis (1994).

Nas avaliações anuais dos dois períodos de estudo (de 1987 a 1989 e de 1990 a 1995), os sistemas com rotação de culturas foram mais eficientes que a monocultura na conversão de energia, na maioria dos anos. Pelos resultados, supõe-se que, o baixo desempenho energético das culturas de cobertura de solo, no inverno, foi compensado, em parte, pelo maior desempenho da cultura de milho, no verão. Resultados semelhantes foram obtidos por Santos et al. (1996b), para sistemas de rotação de culturas para trigo, durante dez anos, sob sistema plantio direto.

As análises de variância conjunta dos dados para conversão energética, nos dois períodos (1987 a 1989 e 1990 a 1995), apresentaram significância quanto ao efeito dos anos e interação ano x tratamentos (sistemas de rotação), indicando que essas variáveis foram afetadas pelas variações meteorológicas ocorridas entre os anos. Houve, ainda, significância para o efeito tratamentos somente no segundo período.

De 1987 a 1989, não houve diferença na conversão energética média dos sistemas I (4,99 Mcal/ha), II (5,38 Mcal/ha), III (7,46 Mcal/ha), IV (7,45 Mcal/ha), V (6,77 Mcal/ha) e VI (7,12 Mcal/ha). Deve ser considerado que, embora não tenham ocorrido diferenças entre os índices médios de conversão energética avaliados, os sistemas III, IV, V e VI, por incorporarem a prática de rotação de culturas, devem ser preferidos em substituição aos sistemas I e II (monocultura trigo/soja). À medida que as doenças de trigo se agravaram no sistema II, a partir de 1990, este foi substituído pela rotação trigo/soja e ervilhaca/milho ou sorgo.

As médias comparadas duas a duas, de 1990 a 1995, mostram que somente o sistema II (8,58 Mcal/ha) foi superior ao sistema I (5,61 Mcal/ha)

para o índice de conversão energética. Nas demais comparações entre sistemas, não houve diferença em relação à conversão energética. Neste período, o sistema II era formado por trigo/soja e ervilhaca/milho. O sistema VII foi estabelecido, em 1990, como pousio de inverno e soja, no verão. O sistema II, com um inverno de rotação, constitui-se em alternativa para substituir o sistema I (monocultura trigo/soja).

Pelo observado nos dois períodos, todos os sistemas estudados foram positivos, por apresentarem índices de conversão energética superiores à unidade, podem ser considerados sustentáveis (Quesada; Costa Beber, 1990).

Considerando o balanço energético anual, verifica-se que houve diferenças entre os sistemas estudados em todos os anos. De 1987 a 1989, o balanço energético do sistema I (16.044 Mcal/ha) não diferiu dos demais sistemas. Conforme os resultados anuais, os sistemas com rotação de culturas apresentaram-se como alternativa para substituir a monocultura trigo/soja, pois, no segundo e terceiro anos, estes superaram a monocultura. Os demais sistemas apresentaram índices de balanço energético semelhante (sistema III: 17.786 Mcal/ha, sistema IV: 19.372 Mcal/ha, sistema V: 16.993 Mcal/ha e sistema VI: 19.250 Mcal/ha).

O balanço energético anual, na maioria dos anos, repetiu o desempenho da conversão energética dos sistemas com rotação de culturas, em relação à monocultura.

Na análise conjunta do balanço energético, nos dois períodos, de 1987 a 1989 e 1990 a 1995, constata-se resultados semelhantes aos da conversão energética. Houve significância somente no efeito tratamento, no segundo período.

De 1990 a 1995, o balanço energético dos sistemas II (20.938 Mcal/ha), III (19.239 Mcal/ha), IV (18.618 Mcal/ha), V (19.646 Mcal/ha) e VI (18.702 Mcal/ha) foram superiores ao do sistema VII (10.279 Mcal/ha). Por outro lado, o balanço do sistema I (15.998 Mcal/ha) não diferiu dos sistemas II,

III, IV, V, VI e VII. O sistema VII, adicionado em 1990, com pousio de inverno e soja no verão, foi menos eficiente energeticamente do que os demais sistemas estudados. Isso poderia ser esperado devido ao tratamento possuir somente uma cultura no verão.

Deve ser considerado que a tecnologia agrícola usada nos sistemas estudados foi eficiente em termos de conversão e de balanço energéticos. Dessa forma, a rotação de culturas foi mais eficiente, sem aumentar o consumo de energia não renovável (na forma de combustíveis, fertilizantes, fungicidas, herbicidas e inseticidas).

### **Conversão e balanço energético em sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, sob sistema plantio direto, em Passo Fundo, RS**

No período de 1990 a 1995, em Passo Fundo, RS, a Embrapa Trigo desenvolveu trabalho, no Cepagro, da FAMV/UPF, com sistemas de produção integração lavoura + pecuária com pastagens anuais de inverno, sob sistema plantio direto (Santos et al., 2000a). Os tratamentos constaram dos seguintes sistemas:

Sistema I: trigo/soja, pastagem de aveia preta/soja e pastagem de aveia preta/soja;

Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho;

Sistema III: trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; e

Sistema IV: trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja.

Para a conversão energética anual (inverno + verão), houve diferenças entre as médias dos sistemas em todos os anos estudados. Observou-se

que o sistema I foi inferior aos sistemas II e III em todos os anos (1990 a 1995). O sistema I, em relação ao IV foi inferior em três anos (1990, 1991 e 1995), superior em um ano (1994) e não diferiu nos demais anos (1992 e 1993). Comparando-se com o sistema II, o sistema III foi inferior em um ano (1991) e não diferiu nos demais anos (1990, 1992 a 1995). Os sistemas II e III não diferiram do sistema IV em dois anos (1990 e 1995), mas foram superiores ao mesmo em quatro anos (1991 a 1994).

Na média dos anos, os sistemas II (5,78) e III (5,44) foram superiores aos sistemas I (3,79) e IV (4,33), para conversão energética. Por sua vez, o sistema I não diferiu do sistema IV, assim como o sistema II não diferiu do sistema III.

Os sistemas denominados mistos (lavoura + pecuária: II e III) apresentaram melhor desempenho energético do que o sistema I, também misto, e sistema IV (produção de grãos). É provável que as diferenças entre os sistemas I e IV e dos sistemas II e III seja devido à cultura de milho como um de seus componentes, o que indicaria a importância e o potencial que ela tem como conversora de energia.

Deve ser levado em consideração que a cultura de milho produziu rendimento de grãos relativamente elevado de 1991 a 1995, variando de 5.102 kg/ha a 9.683 kg/ha (Fontaneli et al., 2000). Por outro lado, a cultura de soja produziu reduzido rendimento de grãos em 1990 (de 800 kg/ha a 1.733 kg/ha), rendimento médio em 1992 e 1993 (de 1.845 kg/ha a 3.022 kg/ha) e rendimento elevado de 1993 a 1995 (de 2.542 kg/ha a 3.426 kg/ha). Isso, por si só, explica o baixo desempenho energético dos sistemas I e IV. A cultura de trigo, que fez parte de todos os sistemas, igualmente produziu relativamente bem, na maioria dos anos estudados (1991, 1992, 1994 e 1995).

Resultados semelhantes foram obtidos por Santos et al. (1996a, 1996b), comparando índices de produtividade cultural para sistemas de rotação de culturas para cevada e para trigo, durante dez anos, sob sistema plantio direto, no Estado do Paraná. Os melhores sistemas de rotação de culturas para essas gramíneas foram aqueles com dois e três invernos de rotação,

em relação às monoculturas cevada/soja ou trigo/soja. Nesses trabalhos não havia espécies em pastejo.

Neste estudo, todos os sistemas considerados foram superiores à unidade (1,0), significando que todos eles são conversores positivos de energia, produzindo 2,02 a 7,04 vezes mais energia do que a consumida (energia não renovável).

Em todos os anos estudados, o balanço energético anual (inverno + verão) dos sistemas diferiram entre si. Os sistemas II e III foram superiores ao sistema I em todos os anos (1990 a 1995). O sistema I foi inferior ao sistema IV em dois anos (1990 e 1995), superior em um ano (1994) e não diferiu em três anos (1991 a 1993). Comparando-se o sistema II com o sistema III, nota-se que o II foi superior ao III nos anos de 1991, 1993 e 1994 e não diferiu nos anos de 1990, 1992 e 1995. Por sua vez, os sistemas II e III não diferiram no ano de 1990 e, foram superiores nos cinco anos (1991 a 1995), em relação ao sistema IV.

Na média dos anos, os sistemas II (23.728 kg/Mcal) e III (21.741 kg/Mcal) foram superiores para o balanço energético, em comparação aos sistemas I (11.553 kg/Mcal) e IV (12.879 kg/Mcal). Por sua vez, o sistema I não diferiu do sistema IV, assim como o sistema II não diferiu do sistema III. Os maiores índices de balanço energético dos sistemas II e III foram reflexo da cultura de milho, que aproveitou melhor a energia disponível, proporcionando aos sistemas, maiores rendimentos de grãos.

Para balanço energético ou energia líquida, repetiu-se o desempenho da conversão energética dos sistemas mistos (II e III). É importante salientar que, neste trabalho, os sistemas avaliados mostraram balanço energético positivo, significando que todos eles produziram mais energia do que consumiram. Nesse caso, os sistemas estudados podem ser considerados como sustentáveis do ponto de vista energético.

Deve ser levado em consideração que as tecnologias agrícolas utilizadas nos sistemas estudados no presente trabalho foram eficientes em termos

de conversão e de balanço energético. Em ambos os casos, destacaram-se os sistemas II (trigo/soja e aveia preta + ervilhaca pastejada/milho) e III (trigo/soja, aveia preta + ervilhaca pastejada/soja e aveia preta + ervilhaca pastejada/milho). Assim, a integração lavoura + pecuária tornou esses sistemas mais eficientes, sem aumentar o consumo de energia não renovável (exemplos: combustíveis, fertilizantes, fungicidas, herbicidas, inseticidas, vacina e sal para animais).

Muitas vezes, a pecuária é vista como uma atividade que dificulta a agricultura, principalmente quando se trata de sistema plantio direto. Pelo verificado neste trabalho, a engorda de animais durante o período de inverno foi uma alternativa positiva para rotacionar com a lavoura (trigo). Nesse caso, as atividades da propriedade se completaram sem competir entre si. Felizmente, já há no Estado do Rio Grande do Sul e na região do Planalto Médio, bons exemplos de propriedades que conjugam a lavoura anual com a pecuária de corte e de leite com sucesso.

Dessa forma, está sendo praticada uma agricultura mais estável, equilibrada em seus componentes e que possibilita um maior período de utilização do solo com culturas anuais (Medeiros, 1984). Isso significa utilizar o solo de forma eficiente, permitindo produção de mais alimentos e com menor custo e, ao mesmo tempo, mantendo ou aumentando o nível de produtividade da terra.

### **Conversão e balanço energético em sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, sob sistema plantio direto, em Coxilha, RS**

No período de 1995 a 2000, em Coxilha, RS, foram estudados sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão. Os tratamentos foram constituídos por seis sistemas de produção com integração lavoura + pecuária (Santos et al. 2005c):

Sistema I: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho;

Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho;

Sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milheto;

Sistema IV: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milheto;

Sistema V: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milheto; e

Sistema VI: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milheto.

Quanto à conversão energética isolada do ganho de peso animal, das culturas de inverno e de verão, dos seis sistemas de produção estudados, houve diferenças entre as médias de cada ano e nas médias dos anos. Na média dos anos, das culturas de inverno, a aveia branca (4,07) foi a mais eficiente na conversão de energia. Por sua vez, a cultura de trigo (3,48) situou-se logo abaixo da aveia branca e foi superior às demais espécies de inverno. Considerando-se tanto as culturas de inverno como as de verão, o milho (8,22) foi superior a todas as espécies estudadas, para conversão energética por hectare. A cultura de soja (5,45), por sua vez, apresentou valores para conversão logo abaixo do de milho e mais elevado do que os das culturas de inverno. As pastagens de aveia preta + ervilhaca (0,77) e aveia preta + ervilhaca + azevém (0,65) não diferiram entre si para conversão energética. A pastagem de milheto (0,90) foi superior à de aveia preta + ervilhaca + azevém. Nesse período de estudo, e na maioria dos anos, os índices das pastagens de inverno e de verão foram inferiores à unidade (1,0), significando que, nesses casos, eles foram conversores negativos de energia. De modo geral, os índices positivos de conversão de energia estão

diretamente relacionados à produção de grãos, como foi o caso de aveia branca, de milho, de soja e de trigo. A agregação da energia relacionada à venda da carne, depois do abate dos animais, aos índices energéticos das pastagens, eventualmente, poderia alterar algum desses resultados.

Porém, é preferível a análise dos sistemas de produção em vez de analisar as culturas isoladamente. Em todos os anos estudados, os sistemas diferiram significativamente entre si quanto à conversão anual (inverno + verão) e à média dos anos. Na média dos anos, os sistemas I (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho: 4,93) e II (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho: 4,74) foram os mais eficientes energeticamente. A razão dessa diferença a favor desses sistemas, em relação aos demais sistemas estudados (III, IV, V e VI), é que esses sistemas envolviam a cultura de milho, que foi a espécie mais eficiente energeticamente, isso, por sua vez, repercutiu diretamente na conversão energética dos sistemas. Resultados semelhantes foram obtidos por Santos et al. (2000a) com sistemas de produção com pastagens anuais de inverno sob plantio direto.

Todos os sistemas estudados foram superiores à unidade (1,0), significando que todos eles são conversores positivos de energia, produzindo 2,27 a 5,25 vezes mais energia do que a consumida (energia não renovável).

Santos et al. (2001), comparando índices de conversão energética para sistemas de rotação de culturas para trigo, durante nove anos, sob preparo convencional de solo, no inverno, e sob semeadura direta, no verão, não encontraram diferenças entre os sistemas estudados. Nesse último trabalho também não havia espécies em pastejo.

Para balanço energético, isolado do ganho de peso animal, das culturas de inverno e de verão, dos seis sistemas de produção estudados, houve diferenças significativas entre médias e nas médias dos anos. Na média dos anos, das culturas de inverno, a aveia branca (6.451 Mcal/ha) foi a



cultura mais eficiente na conversão de energia (Tabela 1). A cultura de trigo (5.501 Mcal/ha) ocupou posição intermediária entre aveia branca e demais espécies de inverno. Por sua vez, milho (21.108 Mcal/ha) apresentou balanço energético superior a todas espécies estudadas. A cultura de soja (8.435 Mcal/ha) apresentou valores superiores para conversão, em relação à aveia branca e ao trigo. O milho foi a espécie que mais converteu a energia ofertada, enquanto que, para as pastagens de inverno foi a aveia branca. Desta maneira, a aveia branca, o milho, a soja e o trigo consumiram menor energia do que retiraram do sistema. Por outro lado, as pastagens, tanto de inverno como de verão, apresentaram coeficientes negativos para balanço energético: aveia preta + ervilhaca (-392 Mcal/ha), aveia preta + ervilhaca + azevém (-722 Mcal/ha) e milheto (-181 Mcal/ha). As pastagens tanto de inverno como de verão não conseguiram repor a energia ofertada. Não houve diferença significativa entre as pastagens para balanço energético. As pastagens, isoladamente, mais consumiram energia do que a aportaram ao sistema.

De modo similar à conversão energética, é preferível analisar o balanço energético na forma de sistemas de produção, em vez de analisar as culturas isoladamente. Em todos os anos estudados, o balanço energético anual (inverno + verão) da maioria dos sistemas diferiu significativamente entre si. Os sistemas I (17.279 Mcal/ha) e II (17.318 Mcal/ha) foram energeticamente mais eficientes. A maior diferença do balanço energético desses sistemas, em relação aos demais, deve-se à cultura de milho que foi a espécie de mais elevado retorno energético. Santos et al. (2000a), estudando sistemas de produção com pastagens anuais de inverno sob plantio direto obtiveram balanço energético semelhante para sistemas envolvendo a cultura de milho. Os sistemas V (9.357 Mcal/ha) e VI (9.050 Mcal/ha) foram superiores aos sistemas III (6.875 Mcal/ha) e IV (6.689 Mcal/ha) para balanço energético, provavelmente em função da cultura de aveia branca que apresentou bom desempenho energético.

**Tabela 1.** Balanço energético do ganho de peso animal e das culturas de inverno e de verão, na média de cada ano, de seis sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, comparados pelo teste F, empregando-se o método de contrastes, de 1995 a 2000. Passo Fundo, RS.

Cultura	Ano						Média
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	
	----- Balanço energético (Mcal/ha) -----						
Ab (grãos)	+3.024	+9.954	+5.435	+5.612	+4.603	+10.077	+6.451
Ap+E (pastagem)	-176	-218	-547	-602	-723	-87	-392
Ap+E+Az (pastagem)	-837	-484	-939	-607	-895	-567	-722
Mi (pastagem)	-34	+231	+362	-217	-1.212	-213	-181
M (grãos)	+20.145	+20.032	+26.270	+21.650	+14.630	+23.932	+21.108
S (soja)	+7.849	+7.195	+8.478	+6.549	+9.573	+10.967	+8.435
T (grãos)	+4.999	+5.955	+3.598	+5.002	+10.562	+2.893	+5.501
	----- Contrastes entre tratamentos (P>F) -----						
Ab x Ap+E	**	**	**	**	**	**	**
Ab x Ap+E+Az	**	**	**	**	**	**	**
Ab x Mi	**	**	**	**	**	**	**
Ab x M	**	**	**	**	**	**	**
Ab x S	**	**	**	ns	**	ns	**
Ab x T	**	**	**	ns	**	**	**
Ap+E x Ap+E+Az	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ap+E x Mi	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ap+E x M	**	**	**	**	**	**	**
Ap+E x S	**	**	**	**	**	**	**

Continua...

Tabela 1. Continuação

Cultura	Ano						Média
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	
	----- Contrastes entre tratamentos (P>F) -----						
Ap+E x T	**	**	**	**	**	**	**
Ap+E+Az x Mi	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns
Ap+E+Az x M	**	**	**	**	**	**	**
Ap+E+Az x S	**	**	**	**	**	**	**
Ap+E+Az x T	**	**	**	**	**	**	**
Mi x M	**	**	**	**	**	**	**
Mi x S	**	**	**	**	**	**	**
Mi x T	**	**	**	**	**	**	**
S x T	**	*	**	**	ns	**	**

Ab: aveia branca; Ap: aveia preta; Az: avevém; E: ervilhaca; Mi: milheto; M: milho; S: soja; e T: trigo. ns: não significativo; \*: diferença significativa a 5%; e \*\*: diferença significativa a 1%.

O resultado obtido para balanço energético se repetiu para o desempenho da conversão energética dos sistemas I e II. Pelo observado neste trabalho, os sistemas estudados apresentaram balanço energético positivo, o que significa que todos os sistemas de produção superaram o consumo de energia. Nesse caso, os sistemas avaliados podem ser considerados como sustentáveis do ponto de vista energético.

Santos et al. (2001), estudando sistemas de rotação de culturas para trigo, durante nove anos, sob preparo convencional de solo, no inverno, e sob semeadura direta, no verão, verificaram que os sistemas de rotação com um, dois e três invernos sem trigo foram superiores ao pousio de inverno, para índice de balanço energético. Por outro lado, esses mesmos autores não observaram diferenças para os índices de balanço energético entre os sistemas com rotação de culturas e a monocultura desse cereal.

Considerando o sistema de produção, e não as culturas isoladamente, pode-se afirmar que as tecnologias agrícolas aplicadas aos sistemas avaliados no presente estudo foram eficientes em termos de conversão e de balanço energético. Em ambos os casos, destacaram-se os sistemas I (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) e II (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho). Pelo observado, a integração lavoura + pecuária, com culturas anuais de verão, tornou esses sistemas mais eficientes, sem aumentar o consumo de energia não renovável (exemplos: combustíveis, fertilizantes, fungicidas, herbicidas, inseticidas, vacina e sal mineral). Além disso, nesse caso, pode-se afirmar que, no tocante ao manejo e à execução deste trabalho, em escala experimental, não ocorreu nenhuma dificuldade.

Pelos resultados, os sistemas de produção com integração lavoura + pecuária envolvendo a cultura de milho foram os mais eficientes energeticamente. A importância deste trabalho esteve em estudar sistemas de produção de grãos com alternativas tanto para espécies de inverno (aveia branca, aveia preta + ervilhaca, aveia preta + ervilhaca + azevém e trigo) como de verão (milho, milho e soja), integrando lavoura com pecuária, sob siste-

ma plantio direto. Nesse caso, mais uma vez, a rotação de culturas viabilizou o sistema plantio direto.

### **Conversão e baçanço energético em sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, com culturas de cobertura de solo e de duplo propósito, sob sistema plantio direto, em Coxilha, RS**

No período de 2003 a 2009, houve mudanças nos tratamentos dos sistemas de produção com integração lavoura + pecuária, conduzidos em Coxilha, RS, nos quais foram introduzidas culturas de cobertura de solo e de duplo propósito (Santos et al., 2010):

Sistema I: trigo/soja e ervilhaca/milho;

Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta/milho;

Sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta/soja;

Sistema IV: trigo/soja e ervilha/milho;

Sistema V: trigo/soja, triticales duplo propósito/soja e ervilhaca/soja; e

Sistema VI: trigo/soja, aveia branca de duplo propósito/soja e trigo duplo propósito/soja.

No período de 2003 a 2008, das culturas de inverno, a ervilha (19,14) foi mais eficiente na conversão de energia do que a ervilhaca e todas as demais espécies estudadas. Deve-se levar em consideração que a ervilha foi semeada sem adubação de manutenção e, praticamente não teve nenhum ataque de doença ou praga, nesse período de estudo. Nesse caso, bem como com a ervilhaca (11,01), essas espécies foram semeadas em cobertura com finalidade de produzir palha ao solo e adubação verde, antecedendo a cultura de milho. Notou-se assim, que a ervilhaca não produziu ao longo dos anos tanta biomassa quanto a ervilha, consequentemente,

produziu menor percentual de nitrogênio, em relação a esta. No caso das leguminosas de cobertura de solo e de adubação verde, reduziu-se a entrada de energia fóssil, especialmente aquela relacionada à aplicação de fertilizantes. A aveia preta, que semeada solteira para pastejo, foi a espécie de menor retorno energético (6,87). Das espécies produtoras de grãos de inverno e de verão, o milho (13,62), o trigo (11,48), a soja (9,90), a aveia branca de duplo propósito (8,36) e o trigo de duplo propósito (11,48), situaram os valores de conversão energética numa posição intermediária. O triticale cultivado com duplo propósito (7,85) não diferiu das demais espécies que foram pastejadas com dupla finalidade. Deve-se levar em conta que, de 2003 a 2008, algumas espécies foram semeadas com dupla finalidade, ou seja, ofertar biomassa aos animais e ainda produzir grãos, como foi o caso da aveia branca, de uma cultivar de trigo e o triticale.

Nesse período de estudo, os índices foram superiores à unidade (1,0), significando que eles foram conversores positivos de energia. Porém, no período de 1995 a 2000, no trabalho realizado anteriormente por Santos et al., (2005c), a pastagem de aveia preta + ervilhaca (0,77), pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém (0,65) e pastagem de milheto (0,90) apresentaram índice de conversão energética negativos. A diferença entre os índices do segundo para o primeiro período pode estar relacionada que, no segundo período foi considerada a palha do resíduo remanescente como energia disponível. Hetz e Melo (1997) relatam que o acréscimo no rendimento de grãos das culturas (milho e trigo) e, conseqüentemente da eficiência energética do sistema plantio direto aumentaram com o passar do tempo. Esses autores levaram em conta a palha remanescente das espécies estudadas. Valores crescentes para balanço indicam aumento de rendimento de Mcal por Mcal investida, principalmente em função dos aumentos de rendimento de grãos, de matéria seca, ou ainda, de acréscimos de nitrogênio ao sistema.

O rendimento energético é dependente, igualmente, do nível tecnológico empregado. Carmo et al. (1988), avaliando o cultivo de produtos diferencia-

dos, encontraram balanços muito diferentes entre as propriedades, sendo os grãos o produto de maior retorno por unidade calórica investida, e as hortaliças e produtos animais, exceto o mel, os menores.

Porém, é preferível a análise dos sistemas de produção com integração lavoura + pecuária em vez de analisar as culturas isoladamente. No período de 2003 a 2008, em três dos seis anos estudados, na conversão anual (inverno + verão) e na média dos anos, houve diferença entre os sistemas de produção com integração lavoura + pecuária. Na média dos anos, os sistemas I (trigo/soja e ervilhaca/milho – 11,83) e IV (trigo/soja e ervilha/milho – 12,45) foram os mais eficientes energeticamente. Por sua vez, o sistema II (trigo/soja e pastagem de aveia preta/milho – 10,64) situou-se numa posição intermediária para os índices de conversão energética. Os sistemas III (trigo/soja e pastagem de aveia preta/soja – 9,47), V (trigo/soja, triticale duplo propósito/soja e ervilhaca/soja – 10,23) e VI (trigo/soja, aveia branca de duplo propósito/soja e trigo duplo propósito/soja – 9,74), não diferiram entre si quanto à conversão energética. A razão dessa diferença a favor dos sistemas I e IV, em relação aos demais sistemas estudados (II, III, V e VI), pode estar relacionada à presença da cultura de milho, que por sua vez, foi antecedida por ervilha e ervilhaca. Como as culturas de adubação de inverno foram semeadas sem adubação de manutenção, isso demandou menos energia consumida e ao mesmo tempo, mais energia disponível aos referidos sistemas, e ao milho que foi cultivado sem adubação de cobertura nitrogenada. Isso por si só tornou os sistemas I e IV mais eficientes energeticamente, repercutindo diretamente na conversão energética dos sistemas. Resultados semelhantes foram obtidos por Santos et al. (2000a) com sistemas de produção com integração lavoura + pecuária, sob sistema plantio direto.

Todavia, todos os sistemas de produção com integração lavoura + pecuária foram superiores à unidade (1,0), significando que todos eles são conversores positivos de energia, produzindo 10,55 a 12,73 vezes mais energia do que a consumida (energia não renovável).

No período de 2003 a 2008, não houve diferença nos índices de balanço energéticos das espécies estudadas. Porém, o destaque em valores absolutos foi a cultura de milho (31.054 Mcal/ha), sendo a espécie de maior conversão de energia. O trigo (20.620 Mcal/ha), a soja (13.678 Mcal/ha) e as culturas de duplo propósito: aveia branca (16.055 Mcal/ha), trigo (18.863 Mcal/ha) e triticale (15.292 Mcal/ha) mostraram valores inferiores dos índices de retorno energéticos. As culturas de cobertura do solo, ervilha (11.348 Mcal/ha) e ervilhaca (6.314 Mcal/ha) e pastagem de aveia preta (6.698 Mcal/ha) foram as espécies de menor retorno energético. Porém, todas as espécies estudadas, tanto no inverno como no verão, consumiram menor energia do que retiraram do sistema.

De modo similar à conversão energética, é preferível analisar o balanço energético na forma de sistemas de produção com integração lavoura + pecuária, em vez de analisar as culturas isoladamente. Em três dos oito anos estudados, na conversão anual (inverno + verão) e na média dos anos, houve diferença entre os sistemas de produção com integração lavoura + pecuária. Na média dos anos, os sistemas I (35.560 Mcal/ha), II (37.158 Mcal/ha) e IV (38.100 Mcal/ha) foram os mais eficientes energeticamente, em relação aos sistemas III (29.320 Mcal/ha), V (28.860 Mcal/ha) e VI (31.056 Mcal/ha). Pode-se dizer, em parte, que a maior diferença do balanço energético, em relação aos demais, deve-se à cultura de milho que foi a espécie de mais elevado retorno energético. Santos et al. (2000a), estudando sistemas de produção com integração lavoura + pecuária sob sistema plantio direto, obtiveram resultados de balanço energético semelhantes aos dos sistemas envolvendo a cultura de milho.

Praticamente, o resultado obtido para balanço energético se repetiu na avaliação do desempenho da conversão energética dos sistemas I e II. Pelo verificado neste trabalho, todos os sistemas estudados apresentaram balanço energético positivo, o que significa que todos os sistemas de produção com integração lavoura + pecuária superaram o consumo de energia. Nesse caso, os sistemas avaliados podem ser considerados como sustentáveis do ponto de vista energético.



No trabalho de Santos et al. (2001) com sistemas de rotação de culturas incluindo trigo, durante nove anos, sob preparo convencional de solo no inverno, e sob semeadura direta no verão, foi concluído que nos sistemas de rotação com um, dois e três invernos sem trigo os índices de balanço energético foram maiores que no pousio de inverno. Por outro lado, os mesmos autores não verificaram diferenças entre os sistemas com rotação de culturas e a monocultura nos valores do balanço energético.

Considerando tanto as culturas de inverno como as de verão, bem como os sistemas de produção com integração lavoura + pecuária, pode-se afirmar que a tecnologia agrícola aplicada aos sistemas avaliados no presente estudo foi eficiente em termos de conversão e de balanço energético. No caso dos sistemas de produção, destacaram-se os sistemas I (trigo/soja e ervilhaca/milho), II (trigo/soja e pastagem de aveia preta/milho) e IV (trigo/soja e ervilha/milho). De acordo com Mello (1986), toda vez que se introduzir nova tecnologia em uma propriedade agrícola, pode-se aumentar o consumo de energia. Se esse consumo de energia for eficientemente aproveitado em sistemas de produção com integração lavoura + pecuária, como foi o caso das leguminosas de cobertura de solo antecedendo o milho, pode-se, a médio e longo prazos, garantir a estabilidade e a elevação do rendimento de grãos das espécies, e conseqüentemente, no retorno energético. Assim, a importância da análise do balanço energético é fornecer parâmetros necessários para mensurar, interpretar e subsidiar a tomada de decisões de qual sistema de produção com integração lavoura + pecuária deveria ser utilizado na propriedade rural com mais eficiência energética.

Pelos resultados, os sistemas de produção com integração lavoura + pecuária foram os mais eficientes energeticamente. A importância deste trabalho consiste em estudar sistemas de produção com integração lavoura + pecuária que incluíssem alternativas de espécies tanto para inverno (aveia branca de duplo propósito, aveia preta, aveia preta + ervilhaca, aveia preta + ervilhaca + azevém, ervilha, ervilhaca, trigo, trigo de duplo propósito e tritcale de duplo propósito) como de verão (milho, milheto e soja), inte-

grando lavoura com pecuária, manejados com plantio direto. Nesse caso, mais uma vez, a rotação de culturas viabilizou o sistema plantio direto. Por esta razão, o sistema plantio direto continua sendo usado por um número cada vez maior de agricultores, como prática de manejo, para melhorar a qualidade do solo, da água e do meio ambiente, juntamente com a rotação de culturas.

## **Conclusões**

### **Sistema de rotação de culturas para trigo, de 1980 a 1989**

Na média conjunta dos anos, os sistemas estudados para trigo não diferem quanto aos índices de produtividade cultural.

Com base no desempenho anual dos índices de produtividade cultural, os sistemas III (trigo/soja, aveia branca/soja e leguminosa/milho) e IV (trigo/soja, colza/soja, linho/soja e leguminosa/milho) são os mais eficientes energeticamente.

Os sistemas alternativos II, (trigo/soja, colza/soja, cevada/soja e leguminosa/milho) III (trigo/soja, aveia branca/soja e leguminosa/milho) e IV (trigo/soja, colza/soja, linho/soja e leguminosa/milho), a partir de 1986 apresentam melhor desempenho energético do que o sistema I (monocultura trigo/soja).

### **Sistemas de rotação de culturas para trigo, em Guarapuava, PR**

O sistema de culturas II, que consiste na rotação de trigo/soja e ervilhaca/milho de 1984 a 1989 e de trigo/soja e aveia branca/soja de 1990 a 1993, apresenta o melhor índice de produtividade cultural.

### **Sistemas de rotação de culturas para cevada, em Guarapuava, PR**

O sistema II (trigo/soja e ervilhaca/milho) é o que apresenta os maiores índices de produtividade cultural.

### **Sistemas de rotação de culturas com triticale, de 1987 a 1991**

No período de 1987 a 1989, destaca-se para conversão energética e o balanço energético o sistema III (triticale/soja e ervilhaca/milho), em relação aos demais sistemas estudados.

A conversão e o balanço energético são mais eficientes com a presença da cultura de milho.

### **Sistemas de rotação de culturas para trigo, em Passo Fundo, RS**

Todos os sistemas estudados são viáveis em termos de eficiência energética, pois apresentam balanço positivo.

Os sistemas com rotação de culturas são energeticamente mais eficientes do que a monocultura trigo/soja ou pousio/soja.

### **Sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, sob sistema plantio direto, em Passo Fundo, RS**

Os sistemas II (trigo/soja e aveia preta + ervilhaca/milho) e III (trigo/soja, aveia preta + ervilhaca/soja e aveia preta + ervilhaca/milho) são os mais eficientes energeticamente.

A integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto é viável, pois tanto a conversão como o balanço energético são positivos.

### **Sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, sob sistema plantio direto, em Coxilha, RS**

A cultura de milho apresentou balanço energético mais favorável do que a soja, aveia branca, trigo e as pastagens de inverno e de verão.

Das culturas de inverno, a aveia branca foi a mais eficiente na conversão de energia.

Os sistemas I (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) e II (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho) foram os mais eficientes na conversão e no balanço de energia.

Todos sistemas de produção estudados apresentaram balanço energético positivo.

A integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto foi viável, pois apresentou conversão e balanço energético positivos.

### **Sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, com culturas de cobertura de solo e de duplo propósito, sob sistema plantio direto, em Coxilha, RS**

A cultura de milho destaca-se, nesses períodos de estudo, como a de maior retorno energético, em relação às demais culturas produtoras de grãos e às pastagens de inverno e de verão.

Entre as culturas de cobertura de solo e de adubação verde de inverno, a ervilha é a mais eficiente na conversão de energia.

Os sistemas I (trigo/soja e ervilhaca/milho), II (trigo/soja e pastagem de aveia preta/milho) e IV (trigo/soja e ervilha/milho) são os mais eficientes nos índices de balanço energético.

## Tecnologias desenvolvidas

A rotação de culturas foi a forma mais eficiente para melhorar a conversão e balanço energético dos sistemas de produção para trigo, cevada e triticale.

Os sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária foram mais eficientes para melhorar a conversão e balanço energético dos sistemas de produção para trigo.

A importância deste trabalho esteve em estudar sistemas de produção de grãos com alternativas tanto para espécies de inverno (aveia branca, aveia preta + ervilhaca, aveia preta + ervilhaca + azevém e trigo) como de verão (milho, milho e soja), integrando lavoura com pecuária, sob sistema plantio direto. Nesse caso, mais uma vez, a rotação de culturas viabilizou o sistema plantio direto.

## Referências

BERARDI, G. M. Organic and conventional wheat production: examination of energy and economics. **Agro-Ecosystems**, v. 4, n. 3, p. 367-376, 1978.

BOHRA, C. P.; VARSHNEY, A. C.; NARANG, S. Energy and cost audit of bullock and power tiller farming system in soybean and wheat crop production. **Journal of Scientific & Industrial Research**, v. 49, n. 12, p. 583-588, 1990.

CARMO, M. S.; COMITRE, V.; DULLEY, R. D. Balanço energético de sistemas de produção na agricultura alternativa. **Agricultura em São Paulo**, v. 35, n. 1, p. 87-97, 1988.

- FONTANELI, R. S.; AMBROSI, I.; SANTOS, H. P. dos; IGNACZAK, J. C.; ZOLDAN, S. M. Análise econômica de sistemas de produção de grãos com pastagens de inverno, em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 11, p. 2129-2137, nov. 2000.
- HETZ, E. J.; MELO, L. A. Evaluación energética de un sistema de producción de maíz y trigo com cero labranza: el caso de Chequén, Concepción, Chile. **Agro-Ciencia**, v. 13, n. 2, p. 181-187, 1997.
- IGUE, K. Energia e agricultura. In: MANUAL agropecuário para o Paraná. Londrina: IAPAR, 1980. v. 3, cap. 9, p. 217-228.
- MEDEIROS, R. B. de. Efeito das pastagens nas rotações agrícolas. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL, 1.; SIMPÓSIO DE CONSERVAÇÃO DE SOLO DO PLANALTO, 3., 1983, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: UPF/PIUCS, 1984. p. 183-217.
- MELLO, R. de. **Análise energética de agroecossistemas**: o caso de Santa Catarina. 1986. 139 p. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- PIMENTEL, D. (Ed.). **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 1980. 475 p.
- QUESADA, G. M.; COSTA BEBER, J. A. C. Energia e mão-de-obra. **Ciência Hoje**, v. 11, n. 62, p. 21-26, 1990.
- QUESADA, G. M.; COSTA BEBER, J. A. C.; SOUZA, S. P. de. Balanços energéticos agropecuários. Uma proposta metodológica para o Rio Grande do Sul. **Ciência e Cultura**, v. 39, n. 1, p. 20-28, 1987.
- SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; FONTANELI, R. S. Análise econômica e de risco de modelos de produção, sob plantio direto. In: SANTOS, H. P.

dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; PIRES, J. L.; TOMM, G. O. (Org.). **Eficiência de soja cultivada em modelos de produção sob sistema plantio direto.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2005a. p. 221-248.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S. Conversão e balanço energético de sistemas de produção de grãos de milho sob plantio direto. In: SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T. (Org.). **Sistemas de produção para milho, sob plantio direto.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007. Cap. 11, p. 297-312.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; IGNACZAK, J. C.; ZOLDAN, S. M. Conversão e balanço energético de sistemas de produção de grãos com pastagens sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 4 p. 743-752, abr. 2000a.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T. (Org.). **Sistemas de produção para milho sob plantio direto.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007. 344 p.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; MALDANER, G. L. Conversão e balanço energético de sistemas de produção com integração lavoura-pecuária (SPILP), sob plantio direto. In: TRIGO: resultados de pesquisa – safra 2009. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2010. p. 71-87. (Embrapa Trigo. Documentos, 96).

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; PIRES, J. L.; TOMM, G. O. (Org.). **Eficiência de soja cultivada em modelos de produção sob sistema plantio direto.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2005b. 248 p.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O.; MANTO, L. Conversão e balanço energético de culturas de inverno e de verão em sistemas de produção mistos sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 11, n. 1/2, p. 39-46, 2005c.

SANTOS, H. P. dos; IGNACZAK, J. C.; LHAMBY, J. C. B. Produtividade cultural de sistemas de rotação de culturas para trigo, num período de dez anos, em Passo Fundo, RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 12, p. 1397-1402, dez. 1995.

SANTOS, H. P. dos; IGNACZAK, J. C.; LHAMBY, J. C. B.; BAIER, A. C. Conversão energética de sistemas de rotação de culturas para triticale, sob sistema plantio direto, em Passo Fundo, RS. **Ciência Rural**, v. 30, n. 1, p. 43-48, 2000b.

SANTOS, H. P. dos; IGNACZAK, J. C.; SANDINI, I. Produtividade cultural de sistemas de rotação de culturas para cevada, sob plantio direto, em Guarapuava, PR. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n. 10, p. 721-727, out. 1996a.

SANTOS, H. P. dos; IGNACZAK, J. C.; WOBETO, C. Produtividade cultural de sistemas de rotação de culturas com o trigo, sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n. 4, p. 277-282, abr. 1996b.

SANTOS, H. P. dos; LHAMBY, J. C. B.; IGNACZAK, J. C.; SCHNEIDER, G. A. Conversão energética e balanço energético de sistemas de sucessão e de rotação de culturas. **Ciência Rural**, v. 1, n. 2, p. 191-198, 2001.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. Rotação de culturas em Guarapuava. XVI. Eficiência energética dos sistemas de rotação de culturas para trigo, em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 2, p. 215-222, fev. 1995.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. Rotação de culturas em Guarapuava. XVII. Eficiência energética dos sistemas de rotação de culturas para cevada, em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 7, p. 1075-1081, jul. 1994.



SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M. **Rotação de culturas em plantio direto**. 2. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003. 212 p.

WHITE, D. J. Energy in agriculture systems. **The Agricultural Engineer**, v. 30, n. 3, p. 52-58, 1975.

WILSON, P. N.; BRIGSTOCKE, T. D. A. Energy usage in British agriculture – a review of future prospects. **Agricultural Systems**, v. 5, n. 1, p. 51-70, 1980.

ZENTNER, R. P.; CAMPBELL, D. W.; CAMPBELL, C. A.; REID, D. W. Energy consideration of crop rotation in southwestern Saskatchewan. **Canadian Agricultural Engineering**, v. 26, n. 1, p. 25-29, 1984.

ZENTNER, R. P.; STUMBORG, M. A.; CAMPBELL, C. A. Effect of crop rotation and fertilization on energy balance in typical production systems on the Canadian prairies. **Agriculture, Ecosystems, and Environment**, v. 25, n. 2/3, p. 217-232, 1989.

Capítulo

8

## **Avaliação de Sistemas de Rotação de Culturas na Análise Econômica e de Risco, nas Décadas de 1980 a 2010**

Henrique Pereira dos Santos, Renato Serena Fontaneli, Alfredo do Nascimento Junior, Anderson Santi, Genei Antonio Dalmago

### **Introdução**

A diversificação de culturas de inverno e de verão não se resume apenas em necessidade agrônômica, mas sobretudo, em necessidade social, econômica e ambiental, que é imprescindível para o desenvolvimento dos pequenos e médios agricultores (Santos; Reis, 2003; Santos et al., 2005; Santos; Fontaneli, 2007). Por outro lado, a monocultura de inverno ou de verão, pode implicar em elevado risco para a produção e renda da propriedade.

As vantagens advindas da utilização de diferentes culturas de inverno ou de verão ao longo do tempo, em uma mesma área, devem ser informadas aos agricultores. Como o risco está presente em quase todas as atividades agrícolas, o agricultor, de forma intuitiva considera-o em sua tomada de decisão (Moutinho et al., 1978). Desta maneira, torna-se necessária a incorporação da análise de risco à avaliação econômica nos estudos sobre sistemas de produção envolvendo culturas de inverno e de verão. Assim, além das informações sobre a rentabilidade de determinada tecnologia, o

agricultor deve analisar o risco inerente de cada decisão e adoção de cada tecnologia (Ambrosi et al., 2001).

Com base nos fundamentos do sistema plantio direto, que inclui rotação de culturas, imensas áreas do Sul do Brasil foram protegidas contra a erosão. Dessa maneira, a rotação de culturas de inverno e de verão ajuda a viabilizar o sistema plantio direto ao reduzir o número de operações agrícolas na lavoura e elevar a receita líquida em relação ao manejo com preparo convencional de solo (aração e gradagem).

A combinação e a sucessão de culturas em um sistema de produção de grãos afeta a lucratividade. Algumas culturas apresentam rendimentos de grãos elevados; enquanto que outras, com rendimentos menores, podem receber preços melhores. Nesse contexto, as culturas de cobertura de solo contribuem para reduzir o uso de insumos e/ou melhorar a produtividade dos sistemas em que estão inseridas, sendo necessárias para complementar adequadamente os sistemas.

Por outro lado, a semeadura de gramíneas e leguminosas anuais de inverno, isoladamente ou em misturas, como, por exemplo, as aveias, o centeio, o azevém, a ervilhaca e os trevos para cobertura de solo e para pastoreio, é uma alternativa econômica que vem aumentando o interesse de empresários agrícolas de regiões produtoras de grãos tradicionais como a de Passo Fundo, RS. Essa alternativa é de fundamental importância pelo fato de fornecer uma oportunidade de produzir alimento para o gado bovino numa época de escassez de forragem (Floss, 1989; Fontaneli; Freire Junior, 1991; Fontaneli, 1993). Além disso, os cereais podem ser manejados com duplo propósito, ou seja, fornecer forragem para pastejo precoce e ainda permitir a colheita de grãos.

Como os resultados de pesquisa são usualmente gerados a partir de experimentos que combinam vários níveis de um ou mais fatores, têm-se, muitas vezes, dezenas de combinações de tratamentos (Porto et al., 1982).

Esse caráter geral pode gerar um leque de indicações muito amplo para que possa ser de utilidade aos agricultores.

Por meio da análise de risco, pode-se aumentar o poder de discriminação entre as alternativas tecnológicas a serem oferecidas aos agricultores (Ambrosi; Fontaneli, 1994). Por outro lado, o risco tende a atuar como impedimento, por parte dos agricultores, à adoção de melhores práticas para o cultivo de espécies de inverno e de verão, produtoras de grãos ou de matéria seca, tais como rotação de culturas e sistema plantio direto (Moutinho et al., 1978).

Nesse capítulo, são apresentados a análise econômica e a avaliação dos riscos inerentes aos diferentes sistemas de rotação de culturas para trigo, cevada e triticale, sob preparo convencional de solo e sistema plantio direto, ou ainda sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, também, envolvendo a cultura de trigo.

## **Análise econômica**

Entende-se por receita líquida a diferença entre a receita bruta (rendimento de grãos) e os custos totais [custos variáveis (custos de insumos + custos de operações de campo) e custos fixos (depreciação de máquinas e equipamentos e juros sobre o capital)] (Zentner et al., 1990). Os custos com insumos e operações de campo foram levantados em anos próximos da avaliação da receita líquida, conforme cada experimento, e também, os valores de venda dos produtos representam os preços médios de mercado na mesma época.

## Sistemas de rotação de culturas para trigo, de 1980 a 1989

No trabalho desenvolvido na Embrapa Trigo, no período de 1980 a 1989, foi avaliada a análise econômica e de risco, nos seguintes sistemas de rotação de culturas para trigo (Santos et al., 1995):

Sistema I: trigo/soja;

Sistema II: trigo/soja, colza/soja, cevada/soja e leguminosa/milho;

Sistema III: trigo/soja, trevo vesiculoso/trevo vesiculoso e trevo vesiculoso/milho, de 1980 a 1983; e trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho, de 1984 a 1989 e;

Sistema IV: trigo/soja, colza/soja, linho/soja e leguminosa/milho.

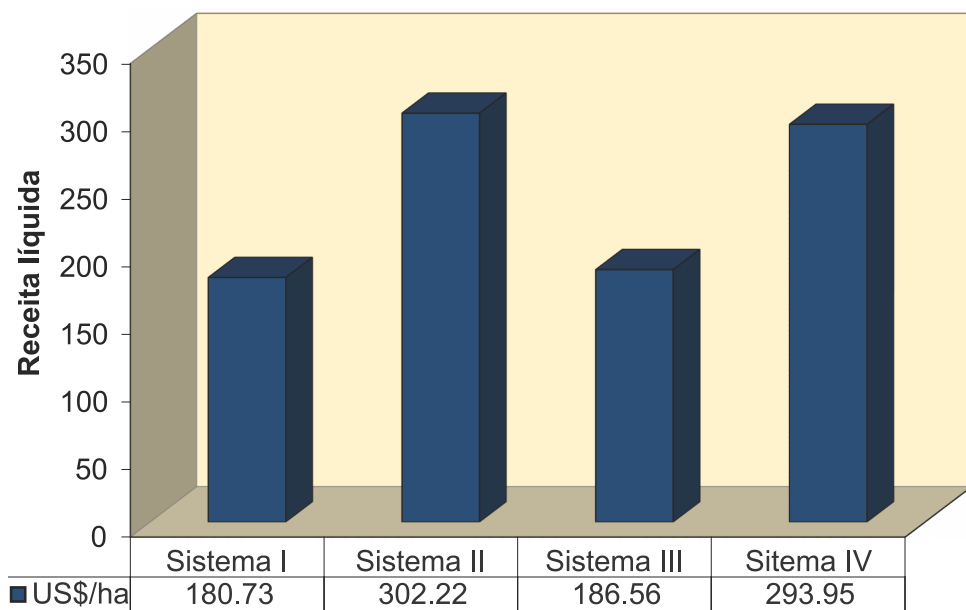
Na avaliação da receita líquida anual de sistemas de rotação de culturas para trigo de 1980 a 1989, observa-se que ocorreram diferenças em todos os anos. O sistema I mostrou menor lucro do que o sistema II, em seis dos dez anos estudados (1983, 1984, 1986, 1987, 1988 e 1989), sendo maior em um ano (1985). Comparando-se com o sistema III, o sistema I não diferiu para receita líquida em dois anos (1983 e 1984), foi superior em quatro anos (1980, 1981, 1982 e 1985) e inferior em quatro anos (1986, 1987, 1988 e 1989).

Em relação ao sistema IV, o sistema I não diferiu em 1981, em 1982 e em 1984), para receita líquida; nos demais anos, foi uma vez superior (1985) e seis vezes inferior (1980, 1983, 1986, 1987, 1988 e 1989). O sistema II diferiu do sistema III, em oito dos dez anos em estudo, e do sistema IV, em três anos.

Considerando as médias das receitas líquidas dos sistemas no conjunto dos anos (1980 a 1989), o sistema II foi superior (US\$ 302.22/ha) aos sistemas I (US\$ 180.73/ha) e sistema III (US\$ 186.56/ha) e não diferiu do sis-

tema IV (US\$ 293.95/ha). Por sua vez, o sistema IV foi superior ao sistema III e não diferiu do sistema I (Figura 1).

Nos anos em que o sistema III contemplou trevo vesiculoso (*Trifolium vesiculosum* Savi) para pastagem e corte (1980 a 1983), a receita líquida foi inferior até mesmo ao sistema I. Isso se deve ao fato de que essa cultura, no sistema III, foi usada apenas como cobertura de solo. Em função disso, em três anos o referido sistema apresentou receita líquida negativa.



**Figura 1.** Receita Líquida (US\$/ha) de sistemas de rotação/sucessão de culturas para trigo, de 1980 a 1989 (Sistema I: trigo/soja; Sistema II: trigo/soja, colza/soja, cevada/soja e leguminosa/milho; Sistema III: trigo/soja, e trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho e; Sistema IV: trigo/soja, colza/soja, linho/soja e leguminosa/milho).

Fonte: Santos et al. (1995).

Zentner et al. (1990), avaliando os aspectos econômicos de sistemas de rotação relativos a cevada e trigo, no sul do Brasil, no período de 1984 a 1989, revelaram que a maior receita líquida foi obtida com apenas um ano de rotação de inverno para ambas as espécies, respectivamente US\$ 397.00 e US\$ 427.00. O desempenho econômico de dois (cevada: US\$ 303.00 e trigo: 328.00) e de três anos de rotação de inverno (cevada: US\$ 252.00 e trigo: US\$ 279.00) foi intermediário, enquanto sob monocultura a receita líquida foi menor (cevada: US\$146.00 e trigo: US\$ 158.00).

No estudo de alternativas econômicas de utilização de solos com sistemas de produção com integração lavoura + pecuária, na região de Passo Fundo, durante três anos (1990 a 1992) Fontaneli et al. (1994) destacaram os sistemas III (trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho - US\$ 206.00) ou II (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho - US\$ 221.00), como as mais versáteis; enquanto o sistema I (trigo/soja, pastagem de aveia preta/soja e pastagem de aveia preta/soja), ficou em posição intermediária (US\$ 154.00). O sistema IV, somente lavoura (trigo/soja aveia branca/soja e aveia branca/soja), apresentou a menor renda (US\$ 128.00). Desta forma, espera-se que o uso de sistemas de rotação, tanto para lavouras anuais como para lavoura e pecuária, possa diminuir os riscos econômicos, pela diversificação da renda.

### **Sistemas de rotação de culturas para triticale**

No estudo da análise econômica dos sistemas de rotação de culturas para triticale, nos períodos de 1987 a 1989 e de 1990 a 1991, em Passo Fundo, RS, os tratamentos foram constituídos por cinco sistemas de rotação de culturas:

Sistema I: triticale/soja;

Sistema II: triticale/soja e aveia preta rolada com rolo-facas/soja;

Sistema III: triticale/soja e ervilhaca/milho;

Sistema IV: triticale/soja, aveia preta rolada com rolo-facas/soja e ervilhaca/milho; e

Sistema V: triticale/soja, triticale/soja, aveia preta rolada com rolo-facas/soja e ervilhaca/milho.

A partir de 1990, a aveia preta foi substituída por aveia branca destinada à produção de grãos. As culturas foram estabelecidas em sistema plantio direto (Santos et al., 1999c). A análise de variância dos experimentos referentes à receita líquida, nos dois períodos (1987 a 1988, e 1990 e 1991), apresentaram alta significância nos efeitos de anos, sistemas, e interação anos x sistemas.

Considerando-se a receita líquida anual (inverno + verão) do período 1987 a 1989, houve diferença em todos os anos. Os sistemas I (triticale/soja) e III (triticale/soja e ervilhaca/milho) mostraram maior retorno econômico em 1989 do que o sistema II (triticale/soja e aveia preta rolada com rolo-facas/soja), e não diferiram deste nos anos de 1987 e 1988. Nesse período de estudo, o sistema I não diferiu dos sistemas IV (triticale/soja, aveia preta rolada com rolo-facas/soja e ervilhaca/milho) e V (triticale/soja, triticale/soja, aveia preta rolada com rolo-facas/soja e ervilhaca/milho). A receita líquida dos sistemas III, IV e V foram superiores a do sistema II, nos três anos estudados.

Na média conjunta de 1987 a 1989, somente o sistema III (R\$ 307,50) foi superior ao sistema II (R\$ 84,77) quanto à receita líquida. Por outro lado, o sistema III não diferiu dos sistemas I (R\$ 172,05), IV (R\$ 227,91 e V (R\$ 199,96).

Nesse período de estudo, o triticale apresentou uma produção relativamente boa de grãos. Porém, a cultura de milho se destacou por apresentar



maior rendimento de grãos. Isto repercutiu na receita bruta, e, consequentemente, na receita líquida dos sistemas III, IV e V. Salienta-se que nos sistemas IV e V havia duas culturas de cobertura de solo (aveia preta e ervilhaca). Isto favoreceu o sistema III, que continha somente ervilhaca.

Outro fato que influenciou neste aspecto foi o baixo rendimento de grãos de soja em 1987 e em 1989. Deve ser considerado que o sistema III continha apenas uma safra de soja em seus tratamentos, enquanto os sistemas IV e V, duas. Isto afetou a receita líquida destes sistemas.

Nesse período de estudo, as condições meteorológicas foram relativamente normais para as culturas de inverno, mas somente para parte das de verão (milho e soja).

Pelas médias anuais, neste período (1987 a 1989), o sistema III não diferiu em dois anos e quando diferiu, foi superior aos sistemas I, II, IV e V. Portanto, nesse primeiro período, o sistema III (triticale/soja e ervilhaca/milho) foi a melhor alternativa para adoção pelos agricultores, considerando a rentabilidade, pois não houve seca no verão.

No Brasil, não há trabalhos de longa duração sobre sistemas de produção de grãos envolvendo triticale, sob sistema plantio direto e com análise econômica. Contudo, as pesquisas realizadas por Zentner et al. (1990), de 1984 a 1989, com sistemas de rotação de culturas para cevada e trigo, sob sistema plantio direto, mostraram resultados semelhantes aos dados obtidos nesse trabalho, ou seja, os sistemas de rotação de culturas com um inverno de intervalo para estas espécies (cevada/soja e ervilhaca/milho ou trigo/soja e ervilhaca/milho) foram os melhores, do ponto de vista de retorno econômico do que os demais sistemas estudados.

Na média conjunta de 1990 e 1991, o sistema I (R\$ 150,12) não diferiu dos sistemas II (R\$ 236,94), III (R\$ 15,02), IV (R\$ 144,58) e V (R\$ 141,47) (Santos et al., 1999c). Deve ser considerado que os sistemas III, IV e V possuíam a cultura de milho como um de seus componentes e esta foi pre-

judicada em 1990 em razão da estiagem, causando acentuado decréscimo na receita bruta destes sistemas. Parte da diferença, em 1990, pode estar relacionada à substituição da aveia preta pela aveia branca nos sistemas II, IV e V, ou seja, substituição de uma cultura de cobertura de solo por uma destinada à produção de grãos, o que aumentou a receita, principalmente do sistema II.

### **Sistemas de rotação de culturas para trigo, em Passo Fundo, RS**

A análise econômica foi avaliada nos seguintes sistemas de rotação de culturas com trigo (Santos et al., 2001):

Sistema I: trigo/soja;

Sistema II: trigo/soja e ervilhaca/milho ou sorgo;

Sistema III: trigo/soja, aveia preta ou branca/soja e ervilhaca/milho ou sorgo;

Sistema IV: trigo/soja, aveia/branca, linho e ervilhaca/milho ou sorgo;

Sistema V: trigo/soja, trigo/soja, aveia preta ou branca/soja e ervilhaca/milho ou sorgo; e

Sistema VI: trigo/soja, trigo/soja, aveia/branca, linho e ervilhaca/milho ou sorgo.

Sistema VII: pousio/soja.

As análises de variância conjunta dos dados para receita líquida, nos dois períodos (1987 a 1989 e 1990 a 1995), apresentaram significância nos efeitos anos e na interação anos x sistemas de rotação de culturas. Na média, houve significância entre os sistemas de rotação de culturas somente no primeiro período.

As médias da receita líquida dos sistemas por hectare, comparadas duas a duas, relativas ao período de 1987 a 1989, mostraram que os sistemas

IV (R\$ 491, 51) e VI (R\$ 480,71) não diferiram entre si e foram superiores aos sistemas III (R\$ 318,05) e V (R\$ 299,00). Nas demais comparações, as diferenças entre as receitas líquidas não foram significativas.

Os resultados podem ser explicados pelas diferenças entre os sistemas, quanto ao rendimento de grãos de milho, que, nos sistemas III e V foi menor do que nos sistemas IV e VI. Isso repercutiu na receita bruta e, conseqüentemente, na receita líquida dos sistemas.

A razão do milho ter produzido menos nos sistemas III e V pode estar relacionado à segunda espécie de inverno que antecedeu essa gramínea, a aveia preta. Nesse período foram usadas, na sequência, duas culturas de cobertura de solo no inverno (aveia preta e ervilhaca). Deve ser considerado que, nestes quatro sistemas, as culturas de soja e de ervilhaca precederam a de milho.

No caso de milho após ervilhaca, não foi feita adubação de cobertura. Isso contribuiu para reduzir os custos dos sistemas nos quais foi empregada a ervilhaca, como adubação verde. No caso dos sistemas que continham a aveia preta, esta pode ter imobilizado o nitrogênio disponível no sistema, acarretando com isso, diferenças entre os rendimentos de grãos de milho.

As diferenças entre as receitas líquidas médias por hectare, de 1990 a 1995, não foram significativas entre os sistemas I (R\$ 307,73), II (R\$ 388,79), III (R\$ 433,87), IV (R\$ 466,85), V (R\$ 459,00), VI (R\$ 461,97) e VII (R\$ 323,00). Esses dados diferem de outros relatados por Zentner et al. (1990) e por Fontaneli et al. (1997), com sistemas de rotação de cultura para trigo ou sistemas de produção com integração lavoura + pecuária. O que colaborou para não haver efeito significativo entre os tratamentos foi o fato de, em dois anos, o milho não ter produzido, devido à forte estiagem, em 1990, e à retirada de todas as espigas no estádio de grãos em massa, como milho verde pela população próxima da área, em 1993. Além disso, a aveia branca não produziu, devido a danos por granizo, em 1991. Em 1992, quando a soja e o milho mostraram os maiores rendimentos de grãos, ficou evidente

a maior rentabilidade dos sistemas de rotação de culturas (II, III, IV, V e VI) em comparação à monocultura trigo/soja (sistema I) e ao pousio de inverno (sistema VII). Também em 1994, quando a soja e o sorgo apresentaram rendimentos de grãos relativamente elevados, os sistemas de rotação de culturas foram superiores à monocultura trigo/soja e ao pousio de inverno. Observou-se uma tendência de a monocultura trigo/soja gerar menor receita líquida do que os demais sistemas.

De 1993 a 1995, os sistemas de rotação IV e VI também continham a aveia preta como cultura de cobertura de solo. Mas, nestes casos, a aveia preta foi a terceira espécie que antecedeu o sorgo. Pelo observado, isso não foi tão importante como no primeiro período de estudo.

Nos dois períodos estudados, as variações anuais de rendimentos de grãos ocorridas nas culturas e, conseqüentemente nos sistemas, contribuíram para elevar o valor da soma de quadrados da interação anos x tratamentos, efeito usado como erro (na análise conjunta) para a comparação dos sistemas através do teste F. Provavelmente, isto foi devido à dificuldade de se captar diferenças entre as médias gerais dos sistemas nos dois períodos e, a partir daí, a necessidade de avaliar as análises das receitas líquidas anuais.

Na avaliação anual da receita líquida, verificou-se que houve diferenças entre os sistemas de rotação de culturas, quando comparadas duas a duas. No período de 1987 a 1989, o sistema I não diferiu do sistema II, nos três anos de estudos para receita líquida.

Nesse período de estudo, os sistemas IV e VI foram superiores aos demais sistemas em dois anos (1988 e 1989) e inferiores somente ao II, em 1987. Em relação ao sistema I (monocultura trigo/soja), os sistemas IV e VI foram superiores em dois anos (1988 e 1989) e iguais em um ano (1987), sendo, portanto, alternativas para serem recomendadas.

Em três anos de estudo, os sistemas com rotação de culturas III, IV, V e VI

proporcionaram receitas líquidas superiores à da monocultura trigo/soja (I), e nos outros três anos não diferiram. Além disso, os sistemas III, IV, V e VI foram superiores ao sistema VII na maioria dos anos. Em virtude disso, os sistemas com rotação de culturas III, IV, V e VI devem ser vistos como alternativas aos sistemas I (monocultura trigo/soja) e VII (pousio de inverno).

### **Sistemas de rotação de culturas para trigo, em Guarapuava, PR**

A receita líquida foi avaliada nos seguintes sistemas de rotação de culturas para trigo:

Sistema I: trigo/soja;

Sistema II: trigo/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja;

Sistema III: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja; e

Sistema IV: trigo/soja, ervilhaca/milho, cevada/soja e aveia branca/soja.

Foi avaliada a análise da receita líquida dentro de cada ano (culturas de inverno e verão), na média dos anos e em dois períodos, 1984 a 1989 e 1990 a 1993 (Santos et al., 1999a).

Considerando-se a receita líquida anual (inverno + verão) do primeiro período (1984 a 1989), houve diferenças na maioria dos anos, exceto em 1985. O sistema II mostrou maior retorno econômico do que o sistema I em cinco dos seis anos (1984, 1986, 1987, 1988 e 1989) e não diferiu em um ano (1985). O sistema I não diferiu do sistema III em quatro anos (1984, 1985, 1987 e 1988) e foi inferior em dois anos (1986 e 1989). Comparando-se com o sistema IV, o sistema I não diferiu em quatro anos (1984, 1985, 1986 e 1988) e foi inferior em dois anos (1987 e 1989). O sistema II diferiu do sistema III, em dois dos seis anos de estudo, e do sistema IV, em três anos. Por sua vez, o sistema III, comparado ao sistema IV, foi superior em

somente dois anos (1984 e 1986), inferior em um ano (1987) e não diferiu em três anos (1985, 1988 e 1989).

Na média conjunta do primeiro período (1984 a 1989), os sistemas I (R\$ 219,88/ha), II (R\$ 315,97/ha), III (R\$ 268,77/ha) e IV (R\$ 269,22/ha) não mostraram diferenças entre as médias de receita líquida. Zentner et al. (1990), analisando os resultados deste experimento no primeiro período de condução do presente estudo, utilizando para cálculo da receita líquida os preços de maio de 1989, onde 1 US\$ equivalia a 55 NCz\$, observaram maior receita do sistema II, em comparação aos sistemas I, III e IV. Santos et al. (1996), trabalhando com quatro sistemas de rotação de culturas para cevada, nesse mesmo período, em área próxima, não verificaram diferenças entre as médias estudadas.

Na análise da receita líquida anual (inverno + verão) do segundo período (1990 a 1993), foram observadas diferenças entre as médias dos sistemas nos anos de 1990 e 1993. O sistema I, quando comparado com o sistema II, foi inferior em um ano (1993) e não diferiu em três anos (1990, 1991 e 1992). O sistema I, em relação aos sistemas III e IV, não diferiu em dois anos (1991 e 1992), foi superior em 1990 e inferior em 1993. O sistema II, quando relacionado ao sistema III, não diferiu em três anos (1991, 1992 e 1993) e foi superior em um ano (1990). O sistema II, em relação ao sistema IV, foi superior em dois anos (1990 e 1993) e não diferiu em dois outros anos (1991 e 1992). O sistema III, em comparação ao sistema IV, foi superior em um ano (1993) e não diferiu em três anos (1990, 1991 e 1992).

Na média conjunta do segundo período, os sistemas I (R\$ 397,63/ha), II (R\$ 452,05/ha), III (R\$ 376,25/ha) e IV (R\$ 385,15/ha) não diferiram entre si quanto à receita líquida. Deve ser considerado que não houve diferenças em todas as comparações dos sistemas para receita líquida, nos anos de 1991 e de 1992. Isso, por sua vez, deve ter influenciado a média conjunta dos dois períodos. Fontaneli et al. (1994), trabalhando com sistemas de produção com integração lavoura + pecuária, sob sistema plantio direto, no

período de três anos, verificaram que os sistemas II (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) e III (trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) apresentaram maior lucratividade do que os sistemas I (trigo/soja, pastagem de aveia preta/soja e pastagem de aveia preta/soja) e IV (trigo/soja aveia branca/soja e aveia branca/soja). Ambrosi e Fontaneli (1994) mostraram que o sistema III foi o melhor sistema alternativo de produção, dos pontos de vista de rentabilidade e de risco.

Como a análise conjunta da receita líquida nos dois períodos não mostrou diferenças entre as médias para os sistemas estudados, pode-se afirmar, pela análise anual desses períodos, que o sistema II foi a melhor alternativa, em relação ao sistema I, visto ter sido superior em pelo menos seis dos dez anos, e não ter diferido nos demais. Salienta-se que, no período de 1984 a 1989, o sistema II superou o sistema I em cinco dos seis anos estudados.

O milho foi a espécie que mostrou maior rendimento de grãos neste período de estudo, em consequência, o maior retorno econômico. Como as leguminosas de inverno (ervilhaca e tremoço) tiveram o menor desempenho econômico, na sequência, houve compensação pela cultura de milho, no verão.

Neste período, ficaram demonstrados os efeitos positivos da rotação de culturas com a utilização de leguminosas como cobertura de solo e como adubação verde, em comparação à monocultura de trigo. Além disso, não foi utilizada adubação nitrogenada de cobertura em milho. O alto rendimento do milho em rotação sem o adubo nitrogenado sugere que a fixação biológica de nitrogênio pela soja, e especialmente pelo tremoço, forneceu o N necessário para produção de milho sem necessidade de adubação de cobertura.

## **Sistemas de rotação de culturas para cevada, em Guarapuava, PR**

Nos seguintes sistemas de rotação de culturas para cevada, foi avaliada a análise da receita líquida:

Sistema I: cevada/soja;

Sistema II: cevada/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja;

Sistema III: cevada/soja, linho/soja e ervilhaca/milho; e

Sistema IV: cevada/soja, linho/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho.

Considerando a receita líquida anual, houve diferença em todos os anos (Santos et al., 1996). Os sistemas de rotação de culturas foram analisados em dois períodos (de 1984 a 1989 e de 1990 a 1993), quanto à receita líquida.

Comparando as receitas líquidas anuais (inverno + verão) do primeiro período (1984 a 1989), verifica-se que houve diferenças entre os sistemas, na maioria dos anos, exceto em 1984. O sistema II destacou-se em relação ao retorno econômico na maioria das comparações, em relação aos demais sistemas estudados.

Na média conjunta de 1984 a 1989, os sistemas I (R\$ 196,76), II (R\$ 293,26), III (R\$ 242,69) e IV (R\$ 239,53) não diferiram entre as médias em relação à receita líquida. Santos et al. (1999a), trabalhando com sistemas de rotação de culturas para trigo, nesse mesmo período, em área próxima deste experimento, também não observaram diferenças entre as médias dos sistemas estudados.

Na análise da receita líquida anual do segundo período (1990 a 1993), verificaram-se diferenças entre as médias dos sistemas também na maioria dos anos, exceto em 1991. Novamente, o sistema II salientou-se, em relação aos demais sistemas.



Na média conjunta do segundo período, os sistemas I (R\$ 370,04), II (R\$ 447,62), III (R\$ 400,46) e IV (R\$ 349,43) não mostraram diferenças entre as médias quanto à receita líquida. Da mesma forma, Santos et al. (1996), pesquisando quatro sistemas de rotação de culturas para trigo, sob sistema plantio direto, não observaram diferenças entre as médias dos sistemas estudados.

Observa-se que naquela época não existia trabalhos completos de longa duração sobre sistemas envolvendo cevada, quanto à análise econômica, a não ser os resultados relatados por Zentner et al. (1990). Como a análise conjunta da receita líquida, nos dois períodos, não mostrou diferenças entre as médias para os sistemas estudados, pode-se afirmar, pela análise anual desses períodos, que o sistema II (cevada/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja) foi a melhor alternativa, visto suas rendas líquidas terem sido sempre estatisticamente superiores às dos demais sistemas, ou delas não terem diferido.

### **Sistemas de produção com integração lavoura + pecuária, sob sistema plantio direto, em Passo Fundo, RS**

No período de 1990 a 1995, em Passo Fundo, RS, a Embrapa Trigo desenvolveu trabalho, no Centro de Extensão e Pesquisa Agronômica-Cepagro, da FAMV/UPF, com sistemas de produção com integração lavoura + pecuária com pastagens anuais de inverno, sob sistema plantio direto (Fontaneli et al., 2000). Os tratamentos constaram dos seguintes sistemas:

Sistema I: trigo/soja, pastagem de aveia preta/soja e pastagem de aveia preta/soja;

Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho;

Sistema III: trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; e

Sistema IV: trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja.

Levando-se em conta a receita anual (inverno + verão), ocorreram diferenças entre os sistemas na maioria dos anos, exceto em 1993. Os sistemas II e III apresentaram maior receita líquida do que o sistema I em dois anos (1991 e 1992), não diferiram significativamente em três anos (1990, 1993 e 1994) e foram inferiores em um ano (1995). O sistema I não diferiu significativamente do sistema IV em três anos (1990, 1991 e 1993), foi superior em dois anos (1992 e 1994) e inferior em um ano (1995). Comparando-se com o sistema III, o sistema II não diferiu significativamente em cinco anos (1990, 1992, 1993, 1994 e 1995) e foi superior em um ano (1991). O sistema IV, comparado aos sistemas II e III, foi superior em dois anos (1990 e 1995), inferior em três anos (1991, 1992 e 1994) e não diferiu significativamente em um ano (1993).

No verão de 1990, ocorreu acentuado déficit de precipitação pluvial, o que levou a uma frustração generalizada na média dos sistemas (inverno + verão) e, conseqüentemente, nas respectivas receitas líquidas. Porém, a partir de 1991, houve uma recuperação de todos os sistemas.

Nas médias anuais, os sistemas denominados mistos (lavoura + pecuária: II e III) mostraram em três anos maior lucratividade do que o sistema IV (produção de grãos). Essa diferença entre os sistemas foi em função de os sistemas II e III terem a cultura de milho como um dos seus componentes. Isso indica a importância e o potencial que tem a cultura de milho como fonte de renda.

Na média conjunta dos anos, o sistema II (R\$ 432,71) foi superior ao sistema IV (R\$ 322,93) para receita líquida (Tabela 1). Por sua vez, o sistema II não diferiu significativamente dos sistemas I (R\$ 377,93) e III (R\$ 400,27). Fontaneli et al. (1994), analisando os resultados deste experimento por safra, nos três primeiros anos de condução do presente estudo, verificaram maior receita líquida dos sistemas II (US\$ 206.00) e III (US\$ 221.00), em relação aos sistemas I (US\$ 154.00) e IV (US\$ 128.00).

**Tabela 1.** Análise da receita líquida média de quatro sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, no ano (inverno + verão) e na média dos anos, pelo teste F, usando-se o método de contrastes.

Ano	Sistema de produção										Contrastes entre sistemas (P>F)
	I	II	III	IV	I x II	I x III	I x IV	II x III	II x IV	III x IV	
	R\$/ha										
1990	-69,98	-141,34	-115,71	-22,38	ns	ns	ns	ns	**	**	**
1991	397,14	592,77	488,74	322,04	**	*	ns	*	**	**	**
1992	499,93	748,05	691,95	382,40	**	**	*	ns	**	**	**
1993	393,17	401,09	361,09	337,18	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
1994	537,34	586,95	546,16	339,09	ns	ns	**	ns	**	**	**
1995	509,98	408,73	429,37	579,24	**	*	*	ns	**	**	**
Média	377,93	432,71	400,27	322,93	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns

Sistema I: trigo/soja, aveia preta pastejada/soja e aveia preta pastejada/soja;

Sistema II: trigo/soja e aveia preta + ervilhaca pastejada/milho.

Sistema III: trigo/soja, aveia preta + ervilhaca pastejada/soja e aveia preta + ervilhaca pastejada/milho; e Sistema IV: trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja. ns: não significativo. \*: nível de significância de 5 %.

\*\* : nível de significância de 1 %.

Dentre os sistemas mistos, o sistema II (1/2 da área com trigo/1/2 da área com soja e 1/2 da área com aveia preta + ervilhaca pastejada/1/2 da área com milho) pode ser considerado uma boa alternativa para rotacionar com o sistema de grãos (IV). Além disso, pela análise da dominância estocástica, o sistema II foi o mais lucrativo e seguro, do ponto de vista de risco (Ambrosi et al., 1994).

Considerando-se que as receitas líquidas dos sistemas com integração lavoura + pecuária não diferiram nem foram superiores às do sistema de produção de grãos, e que do ponto de vista de manejo e execução não ocorreu nenhuma dificuldade, pode-se inferir que a engorda de animais durante o período de inverno é uma alternativa estratégica que complementa as atividades de produção de grãos, ao invés de com elas competir.

### **Sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, sob sistema plantio direto, em Coxilha, RS**

No período de 1995 a 2000, em Coxilha, RS, foram estudados sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão. Os tratamentos foram constituídos por seis sistemas de produção com integração lavoura + pecuária (Santos et al., 2003):

Sistema I: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho;

Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho;

Sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milheto;

Sistema IV: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milheto;

Sistema V: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho; e

Sistema VI: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho.

Na análise anual da receita líquida, observou-se que houve diferenças para as culturas estudadas. Nas safras agrícolas de 1995 e de 1997, o milho apresentou maior receita líquida por hectare do que as demais culturas estudadas. Ainda no primeiro ano de estudo, a pastagem de aveia preta + ervilhaca, a pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém, a pastagem de milho e a cultura de soja situaram-se em posição intermediária, enquanto aveia branca e trigo mostraram a menor receita líquida. Em 1996, a receita líquida de milho, de milho (pastagem) e de aveia preta + ervilhaca (pastagem) foi a mais elevada por hectare. Entretanto, as duas últimas culturas (pastagens) foram semelhantes estatisticamente à receita líquida de aveia preta + ervilhaca + azevém (pastagem). Na safra agrícola de 1998, a cultura de milho e a pastagem aveia preta + ervilhaca + azevém foram superiores para receita líquida, em comparação com as demais espécies estudadas. No ano de 1999, a soja foi a cultura que apresentou maior receita líquida. Na maioria dos anos, aveia branca e trigo apresentaram menor receita líquida.

Na média conjunta, de 1995 a 1999, verificou-se que houve diferenças em receita líquida associadas às culturas estudadas. A cultura de milho apresentou valor mais elevado para receita líquida por hectare. Soja, aveia preta + ervilhaca + azevém, aveia preta + ervilhaca e milho situaram-se em posição intermediária, enquanto trigo e aveia branca tiveram a menor receita líquida. Porém, as espécies não devem ser analisadas isoladamente, mas na forma de sistemas.

Pela análise da receita líquida dos sistemas de produção com integração lavoura + pecuária, comparados dois a dois, houve diferenças na maioria

dos anos e na média conjunta dos anos (1995 a 1999). No ano de 1995, o sistema I mostrou maior retorno econômico (R\$ 413,00) do que os sistemas V (R\$ 241,00) e VI (204,00). Nessa mesma safra, a receita líquida para o sistema II (R\$ 378,00) foi superior a do sistema VI. No ano de 1998, o sistema II (R\$ 356,00) apresentou maior rentabilidade, em comparação com os sistemas III (R\$ 179,00), V (R\$ 181,00) e VI (R\$ 181,00). No ano de 1999, o sistema II mostrou maior receita líquida (R\$ 403,00), em relação ao sistema III (R\$ 196,00). Essa diferença a favor dos sistemas I (trigo/soja e pastagem de aveia + ervilhaca/milho) e II (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho), nos anos de 1995 e 1998, está relacionada com a cultura de milho, que apresentou maior receita líquida, nesses anos, e conseqüentemente maior receita líquida nos sistemas. Porém, isso não foi verdadeiro nos anos de 1996 e 1997, porque não diferiram para receita líquida.

Na média conjunta dos anos, comparados dois a dois, o sistema I (R\$ 335,00) foi superior aos sistemas V (R\$ 237,00) e VI (R\$ 233,00) para receita líquida, enquanto o sistema II (R\$ 351,00) foi superior aos sistemas III (R\$ 257,00), IV (R\$ 267,00), V e VI. Zentner et al. (1990) e Fontaneli et al. (2000), estudando sistemas de produção envolvendo a cultura de trigo, durante cinco e seis anos, respectivamente, observaram que o sistema trigo/soja e ervilhaca/milho foi mais rentável, com intervalo de um inverno sem trigo, em relação ao sistema trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja, com intervalo de dois anos sem trigo e tão somente para produção de grãos. Como milho foi a cultura que teve melhor receita líquida individual entre as espécies estudadas, isso se refletiu no desempenho dos sistemas I e II. Além disso, para forragear animais durante o inverno e o verão, pode-se ainda sugerir o sistema IV (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milheto).

Nos trabalhos conduzidos por Santos et al. (1999a), em Guarapuava, PR, e por Ruedell (1995), em Cruz Alta, RS, com sistemas de produção envol-

vendo a cultura de trigo, não foram observadas diferenças entre médias para receita líquida. Santos et al. (2002a), estudando com sistemas de manejo de solo e de produção envolvendo a cultura de trigo em Passo Fundo, RS, também não encontraram diferenças significativas entre médias para receita líquida.

Pelo observado no presente trabalho e no de Fontaneli et al. (2000), a pecuária (pastagens consorciadas, para engorda de animais) elevou a rentabilidade da lavoura (produção de grãos).

Neste trabalho, visou-se desenvolver sistemas mistos para produzir pastagens tanto de inverno como de verão, para engorda de animais ou produção de leite. No sistema I, buscou-se oferecer dois pastejos no inverno e semear milho na melhor época. No sistema II, foram oferecidos três pastejos no inverno e o milho, semeado após época preferencial. Os sistemas III e IV foram semelhantes aos sistemas I e II, trocando-se o milho por milho. Por sua vez, os sistemas V e VI foram similares aos sistemas III e IV, incluindo-se aveia branca e soja, para produção de grãos. Pelos dados, os sistemas com um ano de rotação de culturas (sistemas I e II) foram mais lucrativos do que com dois anos de intervalo entre cultivos de trigo (sistemas V e VI). Neste trabalho não havia sistema em monocultura. Pelos trabalhos desenvolvidos na forma de sistemas com cereais de inverno, a rotação de culturas sempre foi mais lucrativa do que a monocultura de espécies (Zentner et al., 1990; Santos et al., 1995, 1999a, 1999c). A importância deste trabalho esteve em estudar sistemas de rotação de culturas, tanto para espécies de inverno (aveia branca, aveia preta + ervilhaca, aveia preta + ervilhaca + azevém e trigo) como de verão (milho, milho e soja), integrando lavoura com pecuária, sob sistema plantio direto. Nesse caso, mais uma vez, a rotação de culturas viabilizou o sistema plantio direto.

## Análise de risco

A análise de risco pode ser decomposta em análise da receita líquida média, da distribuição de probabilidade acumulada e dominância estocástica. A análise da receita líquida da média presume que o tomador de decisão escolha a alternativa que mostre menor variância para uma mesma média ou a alternativa que mostre maior média para um nível igual de variância (Porto et al., 1982).

O estudo da receita líquida por meio da média variância, por vezes, não permite a melhor tomada de decisão, servindo apenas para quantificar a rentabilidade de cada modelo. Para auxiliar na tomada de decisão, pode ser empregado o critério de segurança em primeiro lugar (análise da distribuição de probabilidade acumulada da receita líquida). Esse tipo de análise possibilita a escolha da melhor alternativa com base em determinada probabilidade de garantir renda em dado nível de escolha do tomador de decisão. Em princípio, baseia-se no critério de um dos modelos apresentar determinada renda líquida. O valor seria escolhido pelo tomador de decisão.

A análise da distribuição de probabilidade acumulada da receita líquida é obtida a partir dos dados de entrada de preços, de rendimento de grãos ou de matéria seca e custos de cada alternativa. Portanto, foram geradas distribuições de probabilidade cumulativa dessas variáveis, mediante o processo Monte Carlo, bem como a distribuição da receita líquida correspondente a cada alternativa (Ambrosi; Fontaneli, 1994; Santos, 2000). Com base nessas distribuições cumulativas, foram definidos os intervalos de preço, de rendimento de grãos ou de matéria seca e receita líquida, com 5% de probabilidade de cada intervalo (“twentiles”). A receita líquida das alternativas sob comparação foi analisada duas a duas (“pairwise”), e a dominância em condições de risco (análise da dominância estocástica) foi analisada pelo método descrito por Cruz (1980).



Nesse caso, a receita líquida foi analisada aplicando-se o programa para computador “Biorisco” ou “Pacta”, que é baseado no critério de simetria de Hanoch e Levy (1970) e Ambrosi e Fontaneli (1994). Esse programa compara as alternativas, duas a duas, do ponto de vista de rentabilidade e de risco (distribuição de probabilidade acumulada, “twentiles”, e da dominância estocástica, “pairwise”), conforme descrito por Cruz (1980).

### **Sistemas de rotação de culturas para trigo, de 1980 a 1989**

Por meio da média variância da receita líquida dos dez anos, os sistemas II (US\$ 302.22/ha) e IV (US\$ 293.95/ha) foram superiores aos sistemas I (US\$ 180.73/ha) e III (US\$ 186.56/ha) (Santos et al., 1999b). Nesse caso, essa análise permitiu separar os sistemas II e IV como as melhores alternativas a serem oferecidas aos agricultores, apresentando maior lucratividade. Resultados semelhantes foram obtidos por Santos et al. (2000), ao pesquisar sistemas de rotação de culturas para trigo, sob sistema plantio direto, na região de Guarapuava, PR, durante dez anos.

Na análise da distribuição de probabilidade acumulada da receita líquida, o sistema I apresentou, na baixa probabilidade de risco (5%), maior renda líquida por hectare (US\$ 2.33) do que os sistemas II (US\$ 0.32), III e IV (US\$ -2,00). Na alta probabilidade de risco (100%), o sistema III obteve a maior renda líquida por hectare (US\$ 897.18), em relação aos sistemas I (US\$ 499.18), II (US\$ 847.00) e IV (US\$ 861.01) (Santos et al., 1999b). Nesse caso, não foi possível separar o mesmo sistema nos dois níveis de probabilidade de risco. Por esse método, a escolha da alternativa depende, única e exclusivamente do nível de risco escolhido pelo tomador de decisão. Santos et al. (1998b), trabalhando com sistemas de rotação de culturas para cevada, sob sistema plantio direto, na região de Guarapuava, PR, obtiveram dados similares para a distribuição de probabilidade da receita líquida.

Exemplificando, um agricultor “A”, que não queira correr risco superior a 5% de ter receita líquida negativa, jamais deverá escolher os sistemas III e IV. Por sua vez, um agricultor “B”, que pretenda obter a maior renda possível, sem se importar com o risco, deverá optar pelo Sistema III. Um agricultor “C”, que pretenda arriscar mais que 50% de suas probabilidades de atingir a máxima receita líquida, escolherá o sistema II, para obter uma receita líquida superior a US\$ 293.91 por hectare. Por esse método, a escolha da alternativa depende única e exclusivamente do nível de risco escolhido pelo tomador de decisão.

Por outro lado, na análise da dominância estocástica da receita líquida, o sistema II dominou os demais sistemas estudados (Santos et al., 1999b). Verificou-se que o sistema II mostrou-se, em nível de experimento, como a alternativa de menor risco, caso adotado pelos agricultores. Por sua vez, o sistema III dominou o sistema I, e o sistema IV dominou os sistemas I e III. Dados semelhantes foram obtidos por Santos et al. (2000), avaliando sistemas de rotação de culturas para trigo, sob sistema plantio direto. Trabalhando com sistemas de produção integração lavoura + pecuária, sob sistema plantio direto, na região de Passo Fundo, RS, no período de três anos Ambrosi e Fontaneli (1994) separaram o sistema III (trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) como o mais rentável e de menor risco, em relação aos demais sistemas estudados.

Deve ser considerado que o risco tende a atuar como fator de impedimento à adoção de novas práticas agrícolas (Moutinho et al., 1978). Nesse caso, os sistemas alternativos (II e IV) foram os escolhidos como os de menor risco, em comparação ao sistema I (monocultura trigo/soja), para a região de Passo Fundo.

Como o risco tende a atuar como impedimento à adoção de práticas melhoradoras na agricultura, por exemplo, por parte do produtor, este trabalho permite que seja escolhida a rotação de culturas como prática economicamente viável, em relação à monocultura.

## Sistemas de rotação de culturas para triticale

Em dois períodos, de 1987 a 1989 e de 1990 a 1991, em Passo Fundo, RS, foi avaliada a análise de risco de sistemas de rotação de culturas para triticale. Na análise da receita líquida média do período de 1987 a 1989, os sistemas III (R\$ 307,50), IV (R\$ 227,91) e V (R\$ 199,96) apresentaram valores mais elevados de receita líquida do que os sistemas I (R\$ 172,05) e II (R\$ 84,77) (Santos et al., 1998a). Por outro lado, o sistema III se destacou ao apresentar maior receita líquida e a menor variância (R\$ 162,62), em relação aos sistemas IV (R\$ 218,59) e V (R\$ 197,89). Além disso, os sistemas IV e V foram semelhantes ao sistema I. O melhor desempenho dos sistemas III, IV e V, pode ser atribuído à cultura de milho, que, nesses anos, apresentou rendimento de grãos relativamente elevado, o que repercutiu diretamente nas suas receitas líquidas.

No período de 1990 a 1991, o sistema I (R\$ 150,12) não diferiu quanto à análise receita líquida média dos sistemas II (R\$ 236,94), III (R\$ 15,02), IV (R\$ 144,58) e V (R\$ 141,47). Assim, a simples análise da receita líquida mediante análise da média variância, neste caso, não permitiu separar, entre os sistemas estudados, a melhor alternativa a ser oferecida aos agricultores.

Essa técnica não possibilita, às vezes, tomada da melhor decisão. Para superar tal dificuldade da análise da receita líquida média, pode ser usada a análise da distribuição de probabilidade acumulada da receita líquida, no menor ou maior risco.

Na análise da distribuição de probabilidade acumulada da receita líquida, do período de 1987 a 1989, o sistema III mostrou, na baixa probabilidade de risco (5%), maior renda líquida/ha (R\$ 127,01), em comparação aos sistemas I (R\$ 65,92), II (R\$ -230,09), IV (R\$ -98,28) e V (R\$ -96,05). Na alta probabilidade de risco (100%), o sistema IV obteve a maior renda líquida/ha (R\$ 928,79), em relação aos sistemas I (R\$ 377,94), II (R\$ 757,72), III (R\$ 686,14) e V (R\$ 833,92).

Supondo-se que um agricultor “A” não queira correr risco superior a 5% de ter receita líquida negativa, esse agricultor não deve escolher os sistemas II, IV e V. Por outro lado, um agricultor “B”, que pretenda obter a maior renda líquida possível, escolheria o sistema IV. Um agricultor “C” que ariscasse 50% de suas possibilidades de atingir a máxima receita líquida escolheria o sistema III para tentar obter uma receita líquida menor ou igual a R\$ 318,31 por hectare e continuaria como melhor opção até 75% de risco.

Na análise da distribuição de probabilidade acumulada da receita líquida, do período de 1990 a 1991, o sistema II apresentou, na probabilidade de risco de 20%, maior renda líquida/ha (R\$ 53,69) do que os sistemas I (R\$ 0,00), III (R\$ 0,00), IV (R\$ 0,00) e V (R\$ 0,00). Na probabilidade de risco de 5% a 15%, todos os valores da receita líquida foram negativos. Na alta probabilidade de risco (100%), o sistema V obteve a maior renda líquida/ha (R\$ 917,00), em comparação aos sistemas I (R\$ 729,21), II (R\$ 872,60), III (R\$ 663,32) e IV (R\$ 882,65).

Para esse método, a escolha da alternativa depende única e exclusivamente do nível de risco escolhido pelo tomador de decisão. Nos estudos de Ambrosi e Fontaneli (1994), com sistemas de produção com integração lavoura + pecuária, e nos de Santos et al. (1998b), com sistemas de rotação de culturas para cevada, igualmente foi impossível separar o mesmo sistema no baixo ou no alto nível de probabilidade risco.

Pela análise da dominância estocástica, no período de 1987 a 1989, o sistema III dominou os demais sistemas estudados. Pelo método da dominância estocástica, o sistema III manteve-se como a melhor opção. Por sua vez, o sistema IV dominou os sistemas I, II e V; o sistema V dominou os sistemas I e II; e o sistema I dominou o sistema II.

No resultado da análise mediante dominância estocástica, do período de 1990 a 1991, o sistema II dominou os demais sistemas avaliados. Por outro lado, o sistema I dominou os sistemas III, IV e V; o sistema IV dominou os

sistemas III e V; e o sistema V dominou o sistema III.

O método de análise da dominância estocástica mostrou, em ambos os períodos, maior poder de discriminação do que o método da média variância e deve ser utilizado, sempre que possível, para testar as novas indicações aos agricultores. Verifica-se que o sistema III, no primeiro período, e o sistema II, no segundo período, apresentaram-se em nível de experimento, como as opções de menor risco, caso adotados pelos agricultores. Deve ser considerado que o risco tende a atuar como impedimento, por parte dos agricultores, à adoção de novas práticas agrícolas. Nesses períodos, pode-se observar que o sistema III (50% de triticales/50% de soja e 50% de ervilhaca/50% de milho) e o sistema II (50% de triticales/50% de soja e 50% de aveia branca/50% de soja) foram os mais lucrativos e seguros, do ponto de vista de risco.

As diferenças obtidas entre o primeiro (1987 a 1989) e o segundo período (1990 a 1991) podem estar relacionadas com a troca (em 1990) da aveia preta pela aveia branca, nos sistemas II, IV e V, ou seja, troca de uma cultura de cobertura de solo por uma produtora de grãos, o que aumentou a receita líquida, principalmente do sistema II, e a frustração da produção do milho, em 1990, nos sistemas III, IV e V, que diminuiu a receita líquida dos referidos sistemas.

No trabalho desenvolvido por Ambrosi e Fontaneli (1994) com sistemas de produção com integração lavoura + pecuária, destacaram como de menor risco o sistema envolvendo trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho. Tanto nesta pesquisa como a de triticales, realizada por Santos et al. (1998b, 2000), os melhores sistemas incluem a supressão da semeadura da cevada ou de trigo ou de triticales, em um inverno.

## Sistemas de rotação de culturas para trigo, em Passo Fundo, RS

Em Passo Fundo, RS, nos períodos de 1987 a 1989 e de 1990 a 1995 foi avaliada a receita líquida em sistemas de rotação de culturas para trigo. Na análise da receita líquida média do período de 1987 a 1989, os sistemas IV (R\$ 491,51) e VI (R\$ 480,71) apresentaram valores, por hectare, superiores aos dos sistemas I (R\$ 308,87), II (R\$ 383,06), III (R\$ 318,05) e V (R\$ 299,00). As diferenças entre os sistemas estudados podem ser atribuídas ao fato de que, nos sistemas I e II, havia monocultura trigo/soja, enquanto que nos sistemas III e V, havia duas culturas de cobertura de solo (aveia preta e ervilhaca), o que reduziu a receita líquida dos sistemas I, II, III e V, em relação aos sistemas IV e VI (Santos et al., 2002b). Santos et al. (2002b), trabalhando com sistemas de rotação de culturas para trigo, em solo com preparo convencional no inverno e semeadura direta no verão, para a região de Passo Fundo, obtiveram resultados similares.

No período de 1990 a 1995 não houve diferença entre as análises da receita líquida média por hectare dos sistemas I (R\$ 307,75), II (R\$ 388,79), III (R\$ 433,87), IV (R\$ 466,85), V (R\$ 459,00), VI (R\$ 461,97) e VII (R\$ 323,00). Nesse segundo período, não foi possível definir por meio da análise da receita líquida média dos sistemas estudados, a melhor alternativa a ser oferecida aos agricultores. Resultados semelhantes foram obtidos por Santos et al. (1998a), com sistemas de rotação de culturas para triticale.

Na análise da distribuição de probabilidade acumulada da receita do período 1987 a 1989, o sistema II mostrou, na baixa probabilidade de risco (5%), maior renda líquida por hectare (R\$ 235,30) do que os sistemas I (R\$ 161,78), III (R\$ 88,35), IV (R\$ 200,89), V (R\$ 118,81) e VI (R\$ 216,48). Não há uma razão plausível que explique a superioridade do sistema II sobre os demais, a não ser um pico de preço de algumas das culturas componentes. Na alta probabilidade de risco (100%), o sistema IV obteve a maior renda líquida por hectare (R\$ 1.020,62), em relação aos sistemas I

(R\$ 576,66), II (R\$ 652,08), III (R\$ 736,24), V (R\$ 627,06) e VI (R\$ 961,78). Esse resultado foi semelhante ao obtido na análise da receita líquida média, em relação ao sistema IV. Na análise da probabilidade acumulada da receita líquida do período 1990 a 1995, o sistema IV apresentou, na baixa probabilidade (5%), maior renda líquida/ha (R\$ 83,53), em comparação aos sistemas I (R\$ 0,00), II (R\$ 0,00), III (R\$ 6,36), V (R\$ 2,94), VI (R\$ 51,82) e VII (R\$ 23,52). Na alta probabilidade de risco (100%), o sistema V obteve maior renda líquida/ha (R\$ 1.296,43) do que os sistemas I (R\$ 1.037,84), II (R\$ 1.292,65), III (R\$ 1.215,56), IV (R\$ 1.164,74), VI (R\$ 1.208,70) e VII (R\$ 868,24). Nesse caso e nos dois períodos, não foi possível separar o mesmo sistema nos dois níveis de probabilidade de risco. Por esse método, a escolha da alternativa depende única e exclusivamente do nível de risco escolhido pelo tomador de decisão. Ambrosi et al. (2001) e Santos et al. (2004), trabalhando com sistemas de produção com integração lavoura + pecuária e rotação de culturas, respectivamente, envolvendo a cultura de trigo, para a região de Passo Fundo, obtiveram dados similares para a distribuição de probabilidade acumulada da receita líquida.

De acordo com os resultados da análise da dominância estocástica do período 1987 a 1989, o sistema IV dominou os demais sistemas estudados. Por sua vez, o sistema VI dominou os sistemas I, II, III e V; o sistema II dominou os sistemas I, III e V; o sistema III dominou os sistemas I e V; e o sistema I dominou o sistema V. Pelo resultado da análise da dominância estocástica do período 1990 a 1995, o sistema IV dominou, também, os demais sistemas. Por outro lado, o sistema VI dominou os sistemas I, II, III, V e VII; o sistema V dominou os sistemas I, II, III e VII; o sistema III dominou os sistemas I, II e VII; o sistema II dominou os sistemas I e VII; e o sistema VII dominou o sistema I.

Observa-se que o método da dominância estocástica mostrou maior nível de discriminação do que os métodos aplicados anteriormente e deve ser empregado, sempre que possível, para testar as novas indicações aos agricultores, porque esse método oferece opções dentro de uma abran-

gência limitada. Neste estudo, de todos os sistemas avaliados, somente o sistema IV (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milheto), foi a melhor indicação aos produtores.

Como o risco tende a atuar como impedimento, por parte dos agricultores, à adoção de práticas melhoradoras, este trabalho permite que sejam indicados os sistemas de rotação de culturas como prática economicamente viável, em relação à monocultura trigo/soja e ao pousio de inverno.

Nos demais sistemas de rotação de culturas estudados, apesar de diversificados, ocorreram vários aspectos que afetaram a receita líquida. No período de 1987 a 1989, os sistemas de rotação III e V, por conterem duas culturas de cobertura de solo (aveia preta e ervilhaca), apresentaram receita líquida menor do que a dos sistemas IV e VI, que tinham somente uma cultura de cobertura (ervilhaca). No caso da ervilhaca, que antecedeu a cultura de milho, não foi usada adubação nitrogenada de cobertura na referida gramínea. Isto contribuiu para baratear os custos dos sistemas que usaram essa leguminosa como adubação verde.

No período de 1993 a 1995, os sistemas de rotação IV e VI também continham duas culturas de cobertura de solo. Entretanto, em 1993, a ervilhaca, e em 1994 e 1995, a aveia preta e a ervilhaca foram avaliadas em função da contribuição aos sistemas, isto é, o rendimento da matéria seca e a quantidade de nitrogênio aportada. Isto melhorou o desempenho de ambas as espécies, na receita bruta, e conseqüentemente aumentou a receita líquida. A aveia preta poderia ser avaliada, ainda, por sua contribuição na engorda de animais, no período de inverno, se pastejada.

### **Sistemas de rotação de culturas para trigo, em Guarapuava, PR**

Pela análise da média variância da receita líquida dos dez anos, o sistema II (R\$ 370,40/ha) diferiu dos sistemas I (R\$ 290,98/ha), III (R\$ 311,76/ha)



e IV (R\$ 315,59/ha) (Santos et al., 2000). O sistema II foi o que mostrou maior lucratividade. A análise da média variância da receita líquida permitiu separar o sistema II como a melhor alternativa a ser oferecida aos agricultores. No trabalho desenvolvido por Ambrosi e Fontaneli (1994), com sistemas de produção com integração lavoura + pecuária, no período de três anos, não foi possível separar as alternativas estudadas pela análise da média da receita líquida.

A distribuição de probabilidades acumulada da receita líquida possibilitou, também, escolher o sistema II (trigo/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja), em relação aos demais sistemas estudados, como o que mostrou maior lucratividade com o mesmo risco. Isto confere ao tomador de decisão a segurança de que o sistema II vai garantir maior rentabilidade do que os demais sistemas, em qualquer situação de risco.

Pela análise da probabilidade acumulada da receita líquida, o sistema II permite, mesmo com baixa probabilidade de risco (5%), obter maior renda líquida (R\$ 207,00/ha), comparado aos sistemas I (R\$ 90,83/ha), III (R\$ 158,03/ha) e IV (R\$ 157,08/ha). Isso também foi constatado nos níveis maiores de probabilidade acumulada (100%). O sistema II (R\$ 648,94/ha) pode ser escolhido, em relação aos sistemas I (R\$ 632,18/ha), III (R\$ 573,83/ha) e IV (R\$ 585,80/ha), confirmando o que foi obtido com a análise da média variância da receita líquida.

Supondo-se que um agricultor “A” não queira correr risco superior a 5% de ter receita líquida baixa, esse agricultor jamais deveria escolher o sistema I. Por outro lado, um agricultor “B”, que pretenda obter a maior renda líquida possível, escolheria o sistema II (R\$ 648,94). Um agricultor “C” que apostasse 50% de suas possibilidades em atingir a máxima receita líquida escolheria o sistema II para obter uma receita líquida menor ou igual a R\$ 385,57 por hectare. Por esse método, a escolha da alternativa depende única e exclusivamente do nível de risco escolhido pelo tomador de decisão.

Pela análise da dominância estocástica, o sistema II domina os demais sistemas estudados. O sistema II constituiu-se, em nível experimental, no sistema de menor risco que o agricultor estaria correndo em sua adoção. Como o risco tende a atuar como impedimento por parte dos agricultores à adoção de práticas melhoradoras, este permite que seja escolhida a rotação de culturas como prática economicamente viável, em relação à monocultura trigo/soja, para a região de Guarapuava, PR.

O uso da dominância estocástica constitui ferramenta matemática para escolha de um sistema de produção. Neste estudo ficou evidente que o sistema II (50% de trigo/50% de soja e 50% de ervilhaca/50% de milho, de 1984 a 1989, ou 50% de trigo/50% de soja e 50% de aveia branca/50% de soja, de 1990 a 1993) foi o mais lucrativo e seguro, do ponto de vista de risco. Pelo observado, apesar de serem cultivados aveia branca e soja nos últimos quatro anos de condução desses experimentos, a soja, neste período, produziu satisfatoriamente em todos os tratamentos.

Observa-se que o método de análise da dominância estocástica mostrou maior nível de discriminação do que os métodos aplicados anteriormente, e deve ser empregado, sempre que possível, para testar as novas recomendações a serem indicadas aos agricultores, porque esse método oferece opções dentro de uma abrangência limitada (Porto et al., 1982). Neste estudo, de quatro sistemas foi separado somente um (sistema II).

A rotação de culturas, além de ter reduzido os custos de produção das lavouras, pelo aumento do rendimento de grãos, promoveu a diversificação de culturas e, como consequência, diminuiu o risco de insucesso do agricultor.

Por outro lado, a monocultura trigo/soja, que consumiu menos tempo na regulagem de máquinas, produziu, na maioria dos anos, abaixo dos sistemas de rotação com essas espécies. Isso, por sua vez, foi suficiente para tornar esse sistema menos eficiente economicamente, além dos problemas de risco, de se cultivar somente uma espécie no inverno e outra no verão.

## Sistemas de rotação de culturas para cevada, em Guarapuava, PR

Na média conjunta da receita líquida média dos dez anos, os sistemas II (R\$ 355,00) e III (R\$ 305,50) mostraram valores mais elevados em relação à receita líquida, sendo este último similar aos sistemas I (R\$ 266,07) e IV (R\$ 283,50) (Santos et al., 1998b). Por outro lado, o sistema II apresentou menor variância (R\$ 111,61) que o sistema III (R\$ 116,72).

A análise da distribuição de probabilidade acumulada da receita líquida possibilitou ao sistema II, em baixa probabilidade de risco (5%), obter maior renda (R\$ 181,00) do que os sistemas I (R\$ 0,00), III (R\$ 124,00) e IV (R\$ 131,00). Em alta probabilidade de risco (100%), o sistema I permitiu obter a maior renda líquida (R\$ 723,00), em comparação aos sistemas II (R\$ 652,00), III (R\$ 616,00) e IV (R\$ 544,00). No estudo de Ambrosi e Fontaneli (1994) com sistemas de produção com integração lavoura + pecuária também foi impossível separar o mesmo sistema no baixo ou no alto nível de probabilidade de risco.

Supondo-se que um agricultor “A” não queira correr risco superior a 5% de ter receita líquida negativa, esse agricultor não deveria escolher o sistema I. Por outro lado, um agricultor “B” que pretenda obter a maior renda líquida possível escolheria o sistema I. Um agricultor “C” que jogasse 50% de suas possibilidades de atingir a máxima receita líquida escolheria o sistema II para obter uma receita líquida menor ou igual a R\$ 371,00 por hectare.

No resultado da análise através da dominância estocástica, o sistema II domina os demais sistemas estudados. Esse método separou o sistema II como a melhor alternativa. Por sua vez, o sistema III domina os sistemas I e IV; e o sistema IV domina o sistema I. Ambrosi e Fontaneli (1994), trabalhando com sistemas de produção com integração lavoura + pecuária sob sistema plantio direto, conseguiram separar o sistema III (trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) como o mais rentável e de menor risco.

## **Sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, sob sistema plantio direto, em Passo Fundo, RS**

No período de 1990 a 1995, em Passo Fundo, RS, a Embrapa Trigo desenvolveu trabalho, no Cepagro, da FAMV/UPF, com sistemas de produção integração lavoura + pecuária com pastagens anuais de inverno, sob sistema plantio direto (Ambrosi et al., 2001). Os tratamentos constaram dos seguintes sistemas:

Sistema I: trigo/soja, pastagem de aveia preta/soja e pastagem de aveia preta/soja;

Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho;

Sistema III: trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; e

Sistema IV: trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja.

A receita líquida do sistema I (R\$ 377,93) não diferiu, pela análise da média variância, dos sistemas II (R\$ 432,71), III (R\$ 400,27) e IV (R\$ 322,93). Assim, a simples análise da receita líquida através da média variância não permitiu separar, entre os sistemas estudados, a melhor alternativa a ser oferecida aos agricultores. Na primeira avaliação deste experimento (1990 a 1992), Ambrosi e Fontaneli (1994) e Santos et al. (1999c), trabalhando com sistemas de rotação de culturas com triticale, obtiveram resultados similares.

Pela análise da distribuição de probabilidade acumulada da receita líquida, o sistema I apresentou, na baixa probabilidade de risco (5%), maior renda líquida/ha (R\$ 19,29), em comparação aos sistemas II (R\$ 0,00), III (R\$ 0,00) e IV (R\$ 0,00). Na alta probabilidade de risco (100%), o sistema II obteve a maior renda líquida/ha (R\$ 1.380,56), em relação aos sistemas

I (R\$ 1.030,89), III (R\$ 1.229,61) e IV (R\$ 923,10). Na primeira avaliação deste experimento (1990 a 1992), realizada por Ambrosi e Fontaneli (1994), e no trabalho desenvolvido por Santos et al. (1998b) com sistemas de rotação de culturas com cevada, ambos os autores, igualmente, não conseguiram separar o mesmo sistema no baixo ou no alto nível de probabilidade de risco.

Supondo-se que um agricultor “A” não queira correr risco superior a 5% de ter receita líquida negativa, esse agricultor jamais deverá escolher os sistemas II, III ou IV. Por outro lado, um agricultor “B”, que pretenda obter a maior renda líquida possível, escolheria o sistema II. Um agricultor “C”, que jogasse 50% de suas possibilidades de atingir a máxima receita líquida também escolheria o sistema II para obter uma receita líquida menor ou igual a R\$ 423,96 por hectare. Para esse método, a escolha da alternativa depende, única e exclusivamente, do nível de risco escolhido pelo tomador de decisão.

Pela dominância estocástica, o sistema II dominou os demais sistemas estudados. Por sua vez, o sistema III dominou os sistemas I e IV, e o sistema I dominou o sistema IV. Os sistemas podem ser classificados na seguinte ordem decrescente: sistema II, sistema III e sistema I, sendo o sistema IV o pior em termos de rentabilidade e de risco.

Observa-se que o sistema II mostrou-se, ao nível do experimento, uma alternativa de menor risco, caso adotado pelos agricultores. De acordo com Moutinho et al. (1978), deve ser levado em conta que o risco tende a atuar como impedimento por parte dos agricultores à adoção de novas práticas agrícolas. O sistema II (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca pastejadas/milho) foi o mais lucrativo e seguro, do ponto de vista de risco. Além disso, pela análise econômica, dentre os sistemas mistos, o sistema II pode ser considerado uma alternativa confiável para rotacionar com o sistema de grãos (IV) (Fontaneli et al., 2000).

Na avaliação do primeiro ciclo de rotação de culturas realizada, neste experimento, por Ambrosi e Fontaneli (1994), o sistema separado pelo método da dominância estocástica foi o III. Nesta avaliação e nas dos trabalhos realizados por Santos et al. (1998a, 2000), em sistemas de rotação de culturas com cevada e com trigo, os melhores sistemas foram aqueles com apenas um inverno ou verão de rotação. Deve ser levado em conta que, nos últimos dois sistemas, estudaram-se somente rendimentos de lavoura, enquanto no referido trabalho constam rendimentos de lavoura + pecuária.

Neste período de estudo, o sistema misto (lavoura + pecuária) com um inverno de pastagem e com um de lavoura (sistema II) foi superior aos demais sistemas mistos (sistemas I e III), com dois invernos de pastagens e com um de lavoura, e ao sistema com somente lavoura por três invernos (sistema IV). No verão, em todos os sistemas semeou-se milho ou soja. Dessa forma, ficou claro que a lavoura (sistema de produção) pode ser explorada juntamente com a pecuária (pastagens consorciadas, no inverno, para engorda de animais) para aumentar a rentabilidade da propriedade agrícola como um todo.

De acordo com Dijkstra (1993), a pecuária muitas vezes é vista como fator complicador na agricultura, principalmente quando se trata de sistema plantio direto. Pelo observado neste trabalho, a engorda de animais durante o período de inverno foi uma alternativa positiva para rotacionar com a lavoura de trigo. Nesse caso, as atividades da propriedade completaram-se sem competir entre si. Segundo Mello (1996), isso já está ocorrendo no Planalto Médio e nas Missões do Estado do Rio Grande do Sul, desde a década de 1970, com a introdução de novas espécies forrageiras, tanto para a terminação de bovinos de corte como para a alimentação de bovinos leiteiros. Nesse período, ocorreu a criação de novas bacias leiteiras na região e a reestruturação das existentes, fazendo com que a produção de grãos e a produção animal dividissem espaços na propriedade.

## **Sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, sob sistema plantio direto, em Coxilha, RS**

No período de 1995 a 2000, em Coxilha, RS, foram estudados sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão. Os tratamentos foram constituídos por seis sistemas de produção com integração lavoura + pecuária (Santos et al. 2004):

Sistema I: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho;

Sistema II: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho;

Sistema III: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho;

Sistema IV: trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho;

Sistema V: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho; e

Sistema VI: trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho.

Através da análise da média variância, os sistemas II (R\$ 351,00) e I (R\$ 335,00) apresentaram receita líquida, por hectare, mais elevada. Contudo, o último sistema foi semelhante aos sistemas III (R\$ 257,00) e IV (R\$ 267,00), enquanto os sistemas V (R\$ 237,00) e VI (233,00) apresentaram a menor receita líquida e, contudo, não se diferenciaram dos sistemas III e IV. A análise da receita líquida através da média variância permitiu separar os sistemas I e II como as melhores alternativas a serem oferecidas ao agricultor, com somente um ano de rotação de culturas, para todas as espécies em estudo. Em estudo realizado por Ambrosi et al. (2001), com

quatro sistemas de produção, durante seis anos, sob sistema plantio direto, para Passo Fundo, RS, e região, não foi possível discriminar nenhum sistema por esse método de análise. Nesse estudo havia pastagens anuais somente no inverno. Contudo, no estudo conduzido por Santos et al. (2000) com quatro sistemas de rotação de culturas para trigo (produção de grãos e cobertura de solo no inverno), durante dez anos, sob sistema plantio direto, para Guarapuava, PR, e região, o sistema II (trigo/soja e ervilhaca/milho, de 1984 a 1989, e trigo/soja e aveia branca/soja, de 1990 a 1993) foi indicado como mais lucrativo e de menor risco.

Na análise da distribuição de probabilidade acumulada da receita líquida, o sistema I apresentou, na baixa probabilidade de risco (15%), maior renda líquida por hectare (R\$ 10,00), em comparação aos sistemas II (R\$ 1,00), III (R\$ 0,00), IV (R\$ 0,00), V (R\$ 0,00) e VI (R\$ 0,00). Na probabilidade de risco de 5% a 10%, todos os valores da receita líquida foram negativos. Na alta probabilidade de risco (100%), o sistema II obteve a maior renda líquida por hectare (R\$ 1.177,00), em relação aos sistemas I (R\$ 1.095,00), III (R\$ 916,00), IV (R\$ 1.011,00), V (R\$ 978,00) e VI (R\$ 983,00). Ambrosi et al. (2001), estudando sistemas de produção com pastagens anuais de inverno, durante seis anos, sob plantio direto, e Santos et al. (1999b), estudando sistemas de rotação de culturas, ambos envolvendo a cultura de trigo em Passo Fundo, RS, durante dez anos, com preparo convencional de solo no inverno, e semeadura direta no verão, obtiveram resultados similares. Nesse caso, não foi possível separar o mesmo sistema nos dois níveis de probabilidade de risco. No trabalho conduzido por Santos et al. (2000), com sistemas de rotação de culturas para trigo, durante dez anos, para Guarapuava, PR, e região, sob sistema plantio direto, foi possível, através da análise da distribuição de probabilidade acumulada da receita líquida, separar o mesmo sistema nos níveis de 5% e 100% de probabilidade de risco. Por esse método, a escolha da alternativa depende, única e exclusivamente, do nível de risco escolhido pelo tomador de decisão.

Exemplificando, um agricultor “A” que queira correr risco maior que 10% e ter receita líquida negativa, jamais deverá escolher os sistemas estudados.



Por sua vez, um agricultor “B” que pretenda obter a maior renda possível, sem se importar com o risco, escolheria o sistema II. Um agricultor “C” que pretendesse jogar mais que 25% de suas probabilidades de atingir a máxima receita líquida escolheria, também, o sistema II para obter uma receita líquida superior a R\$ 160,00 por hectare, seguido proximamente pelo sistema I.

Pela dominância estocástica, o sistema II dominou os demais sistemas estudados. Os sistemas podem ser classificados na seguinte ordem decrescente: sistema II, sistema I, sistema IV, sistema III e sistema V, sendo o sistema VI o pior em termos de rentabilidade e de risco. Observa-se que o sistema II (trigo/soja e aveia preta + ervilhaca + azevém/milho) foi a alternativa de menor risco. Resultados semelhantes foram obtidos por Ambrosi et al. (2001), estudando sistemas de produção de grãos envolvendo trigo e pastagens anuais de inverno, durante seis anos, sob sistema plantio direto, para Passo Fundo, RS, e região, e por Santos et al. (2000), estudando sistemas de produção de grãos envolvendo a cultura de trigo, durante dez anos, sob sistema plantio direto, para Guarapuava, PR, e região, em que trigo/soja e aveia preta + ervilhaca/milho, e trigo/soja e ervilhaca/milho, de 1984 a 1989, ou trigo/soja e aveia branca/soja, de 1990 a 1993, respectivamente, com intervalo de um inverno, proporcionaram maior lucratividade e menor risco, relativamente aos demais sistemas estudados.

Com base nos fundamentos da rotação de culturas e do sistema plantio direto, áreas imensas do Sul do Brasil foram protegidas e, conseqüentemente, tornaram-se sustentáveis pelo uso dessas práticas agrícolas (Santos et al., 1998a). Dessa maneira, a rotação de culturas viabiliza o sistema plantio direto. Isso tudo torna-se viável porque o sistema plantio direto, ao reduzir o número de operações agrícolas na lavoura, eleva conseqüentemente a receita líquida em relação ao preparo convencional de solo (Zentner et al., 1991; Burt et al., 1994; Hernánz et al., 1995; Borin et al., 1997; Gray et al., 1997; Légère et al., 1997; Sijtsma et al., 1998).

## Conclusões

### Sistemas de rotação de culturas para trigo, de 1980 a 1989

#### Análise econômica

O sistema II (trigo/soja, colza/soja, cevada/soja e leguminosa/milho) apresenta maior lucratividade que o sistema I (monocultura trigo/soja).

O sistema II (trigo/soja, colza/soja, cevada/soja e leguminosa/milho) e o sistema IV (trigo/soja, colza/soja, linho/soja e leguminosa/milho) mostraram-se como as melhores alternativas de rotação/sucessão para substituir o binômio trigo/soja.

#### Análise de risco

Em termos de rentabilidade e risco, os sistemas podem ser classificados na seguinte ordem decrescente: sistema II (trigo/soja, colza/soja, cevada/soja e leguminosa/milho), sistema IV (trigo/soja, colza/soja, linho/soja e leguminosa/milho), sistema III (trigo/soja, aveia branca/soja e leguminosa/milho) e sistema I (monocultura trigo/soja).

### Sistemas de rotação de culturas para triticale

#### Análise econômica

Quando as condições meteorológicas transcorrem normalmente, o sistema III (triticale/soja e ervilhaca/milho) é mais eficiente economicamente do que os demais sistemas estudados.

Quando ocorre condições meteorológicas adversas, o sistema II (triticale/soja e aveia branca/soja) é a melhor opção a ser ofertada aos agricultores, do ponto de vista de retorno econômico.

### **Análise de risco**

Pela análise da média variância da receita líquida, é possível separar o sistema III (triticale/soja e ervilhaca/milho) como a melhor opção a ser oferecida aos agricultores.

De acordo com a análise da dominância estocástica, o sistema III (triticale/soja e ervilhaca/milho), no período de 1987 a 1989, e o sistema II (triticale/soja e aveia branca/soja), no período de 1990 a 1991, mostram-se como as melhores alternativas de produção a serem oferecidas aos agricultores, dos pontos de vista de rentabilidade e de menor risco.

### **Sistemas de rotação de culturas para trigo, em Passo Fundo**

#### **Análise econômica**

Os sistemas IV (trigo/soja, aveia/branca/soja, linho/soja e ervilhaca/milho) e VI (trigo/soja, trigo/soja, aveia branca/soja, linho/soja e ervilhaca/milho) apresentam maior retorno econômico do que os sistemas III (trigo/soja, aveia preta/soja e ervilhaca/milho) e V (trigo/soja, trigo/soja, aveia preta/soja e ervilhaca/milho).

#### **Análise de risco**

Pelo método de dominância estocástica, o sistema IV (trigo/soja, aveia/branca/soja, linho/soja e ervilhaca/milho) mostra-se como a melhor alternativa de produção, do ponto de vista de rentabilidade e de menor risco.

### **Sistemas de rotação de culturas para trigo, em Guarapuava, PR**

#### **Análise econômica**

Nos períodos estudados, não há diferenças entre as médias dos sistemas quanto à receita líquida.

Considerando-se as comparações anuais, o sistema II (trigo/soja e ervilhaca/milho, de 1984 a 1989, e trigo/soja, e aveia branca/soja, de 1990 a 1993) mostra-se com maior lucratividade do que o sistema I (trigo/soja) e pode ser indicado aos agricultores

### **Análise de risco**

Pela análise da média variância da receita líquida, é possível separar o sistema II (trigo/soja e ervilhaca/milho, de 1984 a 1989, ou trigo/soja e aveia branca/soja, de 1990 a 1993) como a melhor alternativa a ser oferecida ao tomador de decisão.

Pela análise da distribuição de probabilidade normal da receita líquida, o sistema II é o sistema que permite obter maior renda líquida com baixa ou alta probabilidade de risco.

Pelo método da dominância estocástica, o sistema II é a melhor alternativa de sistema a ser oferecido aos agricultores, da região de Guarapuava, sob os pontos de vista de rentabilidade e de menor risco, em relação à monocultura trigo/soja.

## **Sistemas de rotação de culturas para cevada, em Guarapuava, PR**

### **Análise econômica**

Os sistemas estudados equivalem-se, do ponto de vista de rentabilidade.

Considerando as médias anuais, o sistema II, que envolve o cultivo de cevada/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja, é o que se apresenta como o mais eficiente economicamente.

### **Análise de risco**

O sistema II (cevada/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja) é a melhor alternativa de produção, por ser o mais rentável e o de menor risco.

Em termos de rentabilidade e de risco, os sistemas estudados podem ser classificados na seguinte ordem decrescente: sistema II, sistema III, sistema IV e sistema I.

### **Sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, sob sistema plantio direto, em Passo Fundo, RS**

#### **Análise econômica**

Dentre os sistemas de produção com integração lavoura + pecuária, o sistema II (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) pode ser considerado uma boa alternativa para rotacionar com o sistema de grãos (IV).

A atividade de engorda de animais durante o período de inverno complementa as atividades de produção de grãos, ao invés de com elas competir.

#### **Análise de risco**

O sistema II (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) mostra-se a melhor alternativa de produção para a região de Passo Fundo, RS, a ser oferecida aos agricultores, dos pontos de vista de rentabilidade e de menor risco.

A integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto é viável para engordar os animais no período invernal e na rotação com culturas de inverno e de verão

### **Sistemas de produção de grãos com integração lavoura + pecuária, sob sistema plantio direto, em Coxilha, RS**

#### **Análise econômica**

A cultura de milho apresenta valor mais elevado para receita líquida do que as demais culturas estudadas.

O sistema I (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) foi superior aos sistemas V (trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho) e VI (trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho) para receita líquida. Enquanto que o sistema II (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho) foi superior aos sistemas III (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/pastagem de milho), IV (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/pastagem de milho), V e VI.

A engorda de animais eleva a rentabilidade da lavoura.

### **Análise de risco**

Através da análise da média variância da receita líquida, os sistemas I (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) e II (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca + azevém/milho) apresentam receita líquida, por hectare, mais elevada.

Através da análise da dominância estocástica, é possível separar o sistema II como mais lucrativo e de menor risco.

A lavoura, ao ser integrada com a pecuária, pode aumentar a rentabilidade da propriedade agrícola como um todo e reduzir os riscos.

## **Tecnologias desenvolvidas**

O sistema II (trigo/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja), sob sistema plantio direto foi a melhor alternativa de sistema a ser oferecido aos agricultores da região de Guarapuava, sob os pontos de vista de rentabilidade e de menor risco, em relação à monocultura trigo/soja.

O sistema II (cevada/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja), sob sistema plantio direto), foi a melhor alternativa de produção, por ser o mais rentável e o de menor risco.

O sistema III (triticale/soja e ervilhaca/milho) foi mais eficiente economicamente do que os demais sistemas estudados.

O sistema II (trigo/soja, colza/soja, cevada/soja e leguminosa/milho) apresentou maior lucratividade que o sistema I (monocultura trigo/soja).

O sistema IV (trigo/soja, aveia/branca/soja, linho/soja e ervilhaca/milho) mostrou-se como a melhor alternativa de produção, do ponto de vista de rentabilidade e de menor risco.

O sistema II (trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) mostra-se a melhor alternativa de produção para a região de Passo Fundo, RS, a ser oferecida aos agricultores, dos pontos de vista de rentabilidade e de menor risco.

A integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto é viável para engordar os animais no período invernal e na rotação com culturas de inverno e de verão.

## Referências

AMBROSI, I.; FONTANELI, R. S. Análise de risco de quatro sistemas alternativos de produção de integração lavoura/pecuária. **Teoria e Evidência Econômica**, v. 2, n. 3, p. 129-148, 1994.

AMBROSI, I.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; ZOLDAN, S. M. Lucratividade e risco de sistemas de produção de grãos combinados com pastagens de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 10, p. 1.213-1.219, 2001.

BORIN, M.; MENINI, C.; SARTORI, L. Effects of tillage systems on energy and carbon balance in north-eastern Italy. **Soil & Tillage Research**, v. 40, n. 3/4, p. 209-226, 1997.

BURT, E. C.; REEVES, D. W.; RAPER, R. L. Energy utilization as affected by traffic in a conventional and conservation tillage system. **Transactions of the ASAE**, v. 37, n. 3, p. 759-762, 1994.

CRUZ, F. R. da. PACTA - **Programa de Avaliação Comparativa de Tecnologias Alternativas: guia do usuário, versão 2**. Brasília, DF: EMBRAPA-DDM, 1980. 7 p.

DIJKSTRA, F. A integração agricultura-pecuária no plantio direto. **Informações Agrônomicas**, n. 63, p. 1-2, set. 1993.

FLOSS, E. L. Aveia. In: BAIER, A. C.; FLOSS, E. L.; AUDE, M. I. da S. **As lavouras de inverno: Aveia, centeio, triticale, colza, alpiste**. 2. ed. São Paulo: Globo, 1989. v. 1, p. 15-74. (Coleção do Agricultor Sul; Publicações Globo Rural).

FONTANELI, R. S. Aveias. In: CURSO SOBRE ESTABELECIMENTO, UTILIZAÇÃO E MANEJO DE PLANTAS FORRAGEIRAS, 1993, Passo Fundo. **Palestras apresentadas...** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1993. p. 89-100.

FONTANELI, R. S.; AMBROSI, I.; DIKESCH, J. A. Análise econômica de sistemas de rotação de culturas para trigo com pastagens anuais de inverno, em plantio direto. In: REUNIÃO CENTRO-SUL DE ADUBAÇÃO VERDE E ROTAÇÃO DE CULTURAS, 4., 1993, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1994. p. 106-110. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 14).

FONTANELI, R. S.; AMBROSI, I.; SANTOS, H. P. dos; IGNACZAK, J. C.; ZOLDAN, S. M. Análise econômica de sistemas de produção de



grãos com pastagens de inverno, em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 11, p. 2129-2137, nov. 2000.

FONTANELI, R. S.; FREIRE JUNIOR, N. Avaliação de consorciação de aveia e azevém-anual com leguminosas de estação fria. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 5, p. 623-630, maio 1991.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I. **Sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, para a região sul do Brasil, sob sistema plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1997. 8 p. (Embrapa-CNPT. Comunicado técnico, 1).

GRAY, A. W.; HARMAN, W. L.; RICHARDSON, J. W.; WIESE, A. F.; REGIER, G. C.; ZIMMEL, P. T.; LANSFORD, V. D. Economic and financial viability of residue management: an application to the Texas High Plains. **Journal of Production Agriculture**, v. 10, n. 1, p. 175-183, 1997.

HANOCH, G.; LEVY, H. Efficient portfolio selection with quadratic and cubic utility. **Journal of Business**, v. 43, n. 2, p. 181-189, 1970.

HERNÁNZ, J. L.; GIRÓN, V. S.; CERISOLA, C. Long-term energy use and economic evaluation of three tillage systems for cereal and legume production in central Spain. **Soil & Tillage Research**, v. 35, n. 4, p. 183-198, 1995.

LÉGÉRE, A.; SAMSON, N.; RIOUX, R.; ANGERS, D. A.; SIMARD, R. R. Response of spring barley to crop rotation, conservation tillage, and weed management intensity. **Agronomy Journal**, v. 89, n. 4, p. 628-638, 1997.

MELLO, J. da S. Fundamentos para integração lavoura-pecuária no sistema plantio direto. **Plantio Direto**, n. 36, p. 12-13, nov./dez.1996.

MOUTINHO, D. V.; SANDERS JUNIOR., J. H.; WEBER, M. T. Tomada de decisão sob condições de risco em relação à nova tecnologia para a produção de feijão de corda. **Revista de Economia Rural**, v. 16, n. 4, p. 41-58, out./dez. 1978.

PORTO, V. H. da F.; CRUZ, E. R. da; INFELD, J. A. Metodologia para incorporação de risco em modelos de decisão usados na análise comparativa entre alternativas: o caso da cultura do arroz irrigado. **Revista de Economia Rural**, v. 20, n. 2, p. 93-211, abr./jun. 1982.

RUEDELL, J. **Plantio direto na região de Cruz Alta**. Cruz Alta: FUNDACEP FECOTRIGO, 1995. 134 p.

SANTOS, H. P. dos. Análise econômica e de risco de sistemas de rotação de culturas para trigo. In: CUNHA, G. R.; BACALTCHUK, B. (Org.). **Tecnologia para produzir trigo no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Assembléia Legislativa, Comissão de Agricultura, Pecuária e Cooperativismo; Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. p. 58-73. (Série Culturas, n. 02).

SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; IGNACZAK, J. C.; LHAMBY, J. C. B.; SCHNEIDER, G. A. Análise econômica de sistemas de rotação de culturas para a região do Planalto Médio do RS. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 7, n. 2, p. 175-182, 2001.

SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; IGNACZAK, J. C.; SANDINI, I. Análise econômica de sistemas de rotação de culturas para cevada, sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n. 3, p. 165-171, mar. 1996.

SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; IGNACZAK, J. C.; WOBETO, C. Análise econômica de sistemas de rotação de culturas para trigo, num período de dez anos, sob plantio direto, em Guarapuava, PR. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 12, p. 2175-2183, dez. 1999a.

SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; LHAMBY, J. C. B. Análise de risco em quatro sistemas de rotação de culturas para trigo, num período de dez anos, em Passo Fundo, RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 519-526, abr. 1999b.

SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; LHAMBY, J. C. B.; BAIER, A. C. Análise de risco de sistemas de rotação de culturas com triticales, sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 4, p. 375-383, 1998a.

SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; LHAMBY, J. C. B.; BAIER, A. C. Sistemas de produção alternativos de triticales, sob sistema plantio direto, em Passo Fundo, RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 2, p. 201-208, 1999c.

SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; LHAMBY, J. C. B.; CARMO, C. de. Análise econômica de sistemas de manejo de solo e de rotação com culturas. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 8, n. 1/2, p. 103-110, 2002a.

SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; LHAMBY, J. C. B.; SCHNEIDER, G. A. Comparação econômica de sistemas de rotação de culturas para a região do Planalto Médio do RS. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 8, n. 1, p. 25-29, 2002b.

SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; SANDINI, I. Análise de risco de sistemas de rotação de culturas com cevada, em plantio direto, num período de dez anos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 8, p. 1221-1227, ago. 1998b.

SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I.; WOBETO, C. Risco de sistemas de rotação de culturas de inverno e verão, sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 30, n. 1, p. 37-42, 2000.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S. Conversão e balanço energético de sistemas de produção de grãos de milho sob plantio direto. In: SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S., SPERA, S. T. (Org.). **Sistemas de produção para milho, sob plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007. Cap. 11, p. 297-312.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; AMBROSI, I. Análise econômica de culturas de inverno e de verão em sistemas mistos, sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 9, n. 1/2, p. 121-128, 2003.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; AMBROSI, I. Análise de risco de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens anuais de inverno e de verão, sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 10, n. 1/2, p. 59-65, 2004.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; PIRES, J. L.; TOMM, G. O. (Org.). **Eficiência de soja cultivada em modelos de produção sob sistema plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2005. 248 p.

SANTOS, H. P. dos; IGNACZAK, J. C.; LHAMBY, J. C. B.; AMBROSI, I. Análise econômica de quatro sistemas de rotação de culturas para trigo, num período de dez anos, em Passo Fundo, RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 9, p. 1.167-1.175, set. 1995.

SANTOS, H. P. dos.; REIS, E. M. **Rotação de culturas em plantio direto**. 2. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003. 212 p.

SIJTSMA, C. H.; CAMPBELL, A. J.; McLAUGHLIN, N. B.; CARTER, M. R. Comparative tillage costs for crop rotations utilizing minimum tillage on a farm scale. **Soil & Tillage Research**, v. 49, n. 3, p. 223-231, 1998.

ZENTNER, R. P.; SELLES, F.; SANTOS, H. P. dos; AMBROSI, I. Effect of crop rotations on yields, soil characteristics, and economic returns in Southern Brazil. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS, 1990, Passo Fundo. **Conservation tillage for subtropical areas: proceedings**. Passo Fundo: CIDA/EMBRAPA-CNPT, 1990. p. 96-116.

ZENTNER, R. P.; TESSIER, S.; PERU, M.; DYCK, F. B.; CAMPBELL, C. A. Economics of tillage systems for spring wheat production in southwestern Saskatchewan. **Soil & Tillage Research**, v. 21, n. 3/4, p. 225-242, 1991.

**Embrapa**

**Trigo**

MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO



CGPE 12115