

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 triticales, 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 triticales:

Sistema I: triticales/soja;

Sistema II: triticales/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 conversora 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, constituiu-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 |       |
|              | ----- Contrastes entre tratamentos (P>F) ----- |      |      |      |      |       |
| Ap+E x T     | **   | **   | **   | **   | **   | **    |
| Ap+E+Az x Mi | 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: azevém; E: ervilhaca; Mi: 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, triticale 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, conseqüentemente,

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 energético 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 tritcale (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 triticale 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.