

# DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE MILHO NO SUL DO BRASIL COM CARACTERÍSTICAS DE SUSTENTABILIDADE<sup>(1)</sup>

L. DEBARBA<sup>(2)</sup> & T.J.C. AMADO<sup>(3)</sup>

## RESUMO

De 1991 a 1993, foi desenvolvido um experimento, no *Campus* da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em um podzólico vermelho-amarelo, com 0,055 m m<sup>-1</sup> de declividade, visando identificar sistemas de produção de milho com características de sustentabilidade. As parcelas mediam 22,0 x 3,5 m, conforme método para experimentos com chuva natural, e utilizaram-se os seguintes tratamentos: (1) solo descoberto; (2) aveia-preta + ervilhaca comum/milho; (3) tremoço-azul/milho; (4) chícharo/milho; (5) milho + mucuna; (6) milho + feijão-de-porco e (7) campo nativo. Os adubos verdes e o milho foram semeados transversalmente ao declive, no sistema plantio direto. As principais avaliações foram a cobertura do solo nos sistemas de produção, as taxas de erosão e, após 1,5 ano da implantação dos sistemas, algumas características químicas, físicas e biológicas do solo. A cobertura do solo manteve-se elevada nos sistemas de produção de milho, especialmente nos sistemas aveia + ervilhaca/milho, milho + mucuna e milho + feijão-de-porco, proporcionando um controle efetivo sobre a erosão hídrica, com redução superior a 98% nas perdas de solo e 85% nas de água. Os sistemas de produção com inclusão de adubos verdes apresentaram alta adição de carbono orgânico ao solo, refletindo no aumento do teor de CO na camada superficial (0-2,5 cm). Em relação ao solo descoberto, tais sistemas apresentaram maior infiltração de água no solo e maior atividade microbiana, na camada de 0-5 cm. Com a utilização de leguminosas, foi possível reduzir à metade a adubação nitrogenada mineral na cultura do milho, obtendo-se rendimentos de grãos superiores ao dobro da média estadual. Considerando as taxas de perdas de solo e água e as modificações induzidas pelos sistemas de produção, nas características químicas, físicas e biológicas do solo, conclui-se que os sistemas apresentaram características de sustentabilidade.

**Termos de indexação:** sistemas sustentáveis, nitrogênio, perdas de solo e água, carbono orgânico, adubo verde.

**SUMMARY:** *DEVELOPMENT OF SUSTAINABLE CORN PRODUCTION SYSTEMS IN SOUTHERN BRAZIL*

*The aim of this study was to identify corn production systems using green manure crops*

<sup>(1)</sup> Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, apresentada no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração Biodinâmica do Solo, Centro de Ciências Rurais (CCR), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) em 16/12/93. Recebido para publicação em julho de 1996 e aprovado em maio de 1997.

<sup>(2)</sup> Professor Assistente do Departamento de Solos da Universidade da Região da Campanha, CEP 96400-110 Bagé (RS).

<sup>(3)</sup> Professor Assistente do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (CCR), CEP 97119-900 Santa Maria (RS).

*showing characteristics of sustainability. The experiments were carried out on a Yellow-Red Podzolic soil, 5.5% slope, at Federal University of Santa Maria, State of Rio Grande do Sul, Brazil, from 1991 to 1993. Plot dimensions were 3.5 m by 22.0 m, as defined by the methodology of natural rainfall erosion plots. The treatments consisted of: (i) bare soil, (ii) black oat (Avena strigosa) + common vetch (Vicia sativa)/corn, (iii) blue lupine (Lupinus angustifolius)/corn, (iv) wild winter pea (Lathyrus sativus)/corn, (v) gray "mucuna" (Stilobolus cinereum)/corn, (vi) pig bean (Canavalia ensiformis)/corn and (vii) natural grass. Green manure crops and corn were sowed on no-tillage system. Soil cover and erosion rates were evaluated in all production systems. After 18 months, chemical, physical and biological soil characteristics were analysed in order to assess any alteration induced by the different treatments. Soil cover was high in all systems; particularly in black oat + vetch/corn, gray "mucuna"/corn and pig bean/corn, which showed effective erosion control, with soil and water loss reductions higher than 98 and 85%, respectively. Incorporation of green manure crops into corn production systems resulted in a high carbon addition, leading to an increase of carbon content in the soil top layer (0-2.5 cm). Comparing to bare soil, soil infiltration (measured by a rainfall simulator) and microbiological activity (0-5 cm) were also increased. The use of legumes made possible to reduce 50% of the mineral nitrogen fertilization, with grain yield superior to double the State average. Considering the reduction of soil and water losses and changes in the biological, physical and chemical soil attributes, it can be concluded that these systems have characteristics of sustainability.*

*Index terms: sustainable systems, nitrogen, soil and water losses, organic carbon, green manure.*

## INTRODUÇÃO

Sistema sustentável, com base no conceito proposto pela Sociedade Americana de Agronomia, pode ser definido como aquele que garante, a longo prazo, a qualidade ambiental e a preservação dos recursos naturais, que atende às demandas de produção de fibras e alimentos, é economicamente viável e promove a melhoria da qualidade de vida da sociedade (Stewart et al., 1991). Entre as estratégias possíveis de utilizar, visando ao desenvolvimento de uma agricultura sustentável, destacam-se o controle da erosão, o manejo dos resíduos culturais, a reciclagem de nutrientes e a utilização de plantas de cobertura do solo e leguminosas em rotação com cereais. O Sul do Brasil, pelas suas características quanto ao regime de temperatura e umidade, apresenta potencial para o desenvolvimento de sistemas sustentáveis<sup>(4)</sup>. A presença de temperaturas baixas durante uma estação do ano e de um regime pluviométrico bem distribuído possibilita a implantação de sistemas de culturas com elevada adição de carbono, combinado com taxas de decomposição que permitem, a longo prazo, o progressivo aumento de matéria orgânica no solo (Bayer et al., 1995).

A erosão acelerada é considerada o principal fator de degradação do solo em todo o mundo, resultando em decréscimo da produtividade. A cultura do milho, em função da arquitetura foliar e do grande espaçamento entre linhas, oferece pouca proteção à superfície no período inicial de desenvolvimento, sendo, por isso, suscetível à erosão hídrica. Levien et al. (1990) observaram que 90% das perdas de solo, durante o ciclo dessa cultura, ocorrem entre a semeadura e os primeiros 30 dias, caracterizando-o como o período crítico em relação à erosão. Isso é agravado na região Sul, cujas culturas de verão,

geralmente, são estabelecidas sob condição de baixa percentagem de cobertura do solo, em um período do ano em que ocorrem chuvas de alta erosividade, ocasionando elevadas perdas de solo. Portanto, no desenvolvimento de um sistema sustentável de produção de milho, deve-se priorizar o controle da erosão. Para tanto, torna-se imprescindível a utilização de sistemas que contemplem o uso de espécies para cobertura do solo, aliada à manutenção dos resíduos culturais sobre a superfície, de modo que o solo permaneça coberto durante todo o ano.

O objetivo deste trabalho foi monitorar as taxas de erosão e alguns indicadores da qualidade do solo, relacionados com as características físicas, químicas e biológicas, visando identificar sistemas sustentáveis de produção no Sul do Brasil.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em março de 1991, no Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em um podzólico vermelho-amarelo distrófico (Hapludalf) - unidade de mapeamento São Pedro, com declividade média de 0,055 m m<sup>-1</sup>. Antes da sua implantação, a área encontrava-se coberta por gramíneas nativas. Visando avaliar a fertilidade do solo, coletaram-se amostras na camada de 20 cm. A aplicação do calcário dolomítico foi feita a lanço e a incorporação, mediante uma lavração e duas gradagens transversalmente ao declive.

As parcelas experimentais, com 3,5 x 22,0 m, foram delimitadas por chapas galvanizadas com 20 cm de altura e introduzidas 10 cm no solo. Na parte inferior de cada parcela, instalou-se uma calha coletora da enxurrada, conectada ao primeiro tanque de decantação através de um cano PVC. Um segundo

<sup>(4)</sup> J. Mielniczuk. Comunicação pessoal, 1996.

tanque foi conectado ao primeiro, através do divisor tipo Geib, o qual recebia 1/9 da enxurrada excedente do primeiro tanque.

O delineamento experimental, inteiramente casualizado, com duas repetições, com exceção do campo nativo, constou dos seguintes tratamentos: (1) solo descoberto; (2) aveia-preta (*Avena strigosa* Schieb) + ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.)/milho (*Zea mays* L.); (3) tremoço-azul (*Lupinus angustifolius*)/milho; (4) chícharo comum (*Lathyrus sativus* L.)/milho; (5) milho + mucuna-cinza (*Stizolobium cinereum*); (6) milho + feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* DC.) e (7) campo nativo. Em 1991, os adubos verdes de inverno foram semeados em junho, transversalmente ao declive, no espaçamento de 30 cm (tremoço e chícharo) e de 15 cm (consorciação aveia + ervilhaca). O manejo das espécies ocorreu em meados de setembro, na fase do pleno florescimento, por meio de corte e distribuição dos resíduos culturais uniformemente sobre a parcela. Uma semana após o manejo dos adubos verdes, semeou-se o milho (Cargill 511-A), transversalmente ao declive, no sistema plantio direto, por meio de semeadora manual, no espaçamento de 1,0 m entre linhas e sete a oito sementes por metro linear, com uma população de 50.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Em 1992, a semeadura dos adubos verdes ocorreu em abril e o plantio direto de milho, em outubro, usando-se os mesmos procedimentos do ano anterior. A semeadura dos adubos verdes de verão (mucuna-cinza e feijão-de-porco) foi realizada em janeiro de 1992 e 1993, no estádio de grão leitoso do milho no espaçamento de 50 cm entre linhas, com duas linhas de adubo verde intercalares às fileiras de milho. O manejo das espécies de verão dispensou o uso de herbicida dessecante devido à ocorrência de geadas nos meses anteriores.

Visando ao aproveitamento, na cultura do milho, do N adicionado pelas leguminosas, reduziu-se 50% a adubação nitrogenada recomendada pela ROLAS (Comissão, 1989), nos sistemas tremoço/milho, milho + mucuna e milho + feijão-de-porco. Nos sistemas chícharo/milho, em vista de problemas no estabelecimento da leguminosa e aveia + ervilhaca/milho, pela predominância da gramínea, utilizou-se a dose integral de N. Com o objetivo de avaliar a capacidade de fornecimento de nitrogênio ao milho pelo solo, delimitaram-se duas parcelas de 4 x 5 m, nas quais o milho foi adubado apenas com fósforo e potássio.

Nos adubos verdes, avaliaram-se a cobertura do solo, o rendimento de matéria seca e o teor de nitrogênio na parte aérea, enquanto, na cultura do milho, além desses parâmetros, estimou-se o rendimento de grãos. A avaliação da cobertura do solo, nos sistemas de produção de milho, foi realizada a intervalos de dez dias, pelo método do ponto quadrado (Spedding & Large, 1957). O rendimento de matéria seca dos adubos verdes foi avaliado, coletando-se amostras em três locais por parcela, numa área de 0,8 m<sup>2</sup>, enquanto no milho foram coletadas, aleatoriamente, doze plantas por parcela. O teor de nitrogênio das amostras foi determinado pelo método semimicro Kjeldahl, descrito em Tedesco et al. (1985).

A quantidade de N absorvida pelos adubos verdes e pelo milho foi obtida, multiplicando-se a percentagem de N no tecido pelo rendimento de matéria seca das plantas. O rendimento de grãos de milho (safra 1992) foi avaliado numa área útil de 10 m<sup>2</sup>, em três locais por parcela.

Em setembro de 1992, período entre o manejo dos adubos verdes e a semeadura do milho, transcorrido um ano e meio da implantação do experimento, realizaram-se avaliações físicas (infiltração de água no solo), químicas (carbono orgânico) e biológicas (atividade microbiana). Para a determinação do teor de carbono orgânico pelo método da Embrapa (1979), coletaram-se amostras de solo nas profundidades de 0-2,5, 2,5-5,0 e 5,0-10,0 cm, em dez locais na parcela, reunindo-as em uma amostra composta. A quantidade de carbono orgânico adicionado ao solo, pelos sistemas, foi estimado, considerando uma concentração de 400 g kg<sup>-1</sup> de C no tecido dos adubos verdes e do milho, multiplicada pela quantidade de matéria seca produzida. Para a determinação da infiltração de água no solo, utilizou-se um minissimulador de chuva, calibrado para fornecer uma precipitação com intensidade de 127 mm h<sup>-1</sup>, com pequenas gotas e baixa energia cinética. O aparelho foi instalado no centro da parcela, demarcando-se uma área de 1,0 m<sup>2</sup>, mediante chapas de metal introduzidas no solo e um sistema coletor da enxurrada acoplado na parte inferior da parcela. A atividade microbiana foi estimada pela evolução do CO<sub>2</sub>, em amostras coletadas na profundidade de 0-5 cm, utilizando-se o método descrito por Stotzky (1965).

A medição e a amostragem da enxurrada para os cálculos de perdas de solo e de água por erosão seguiram o método proposto por Cogo (1978). Para o cálculo do índice de erosividade das chuvas (EI<sub>30</sub>), adotou-se critério de Wischmeier (1959) modificado<sup>(5)</sup>. Os resultados foram avaliados mediante a análise da variância e aplicação do teste de Duncan ao nível de 5% para a comparação das médias dos tratamentos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Perda de solo, água e matéria orgânica

Os resultados de perdas de solo e água por erosão (Quadro 1) foram discutidos por períodos, visando relacioná-los com o tipo de cobertura do solo (CS) existente no campo. No primeiro período de avaliação (abril a setembro), a CS deveu-se, principalmente, ao desenvolvimento vegetativo dos adubos verdes, pois o milho (safra 1991) permaneceu dobrado após a colheita, pouco contribuindo.

Os sistemas de produção de milho com inclusão de adubos verdes mostraram-se efetivos no controle da erosão, apresentando grandes reduções nas perdas de solo e água verificadas no solo descoberto, enquanto o

<sup>(5)</sup> M.S.V. CABEDA. Computation of storms EI values. West Lafayette, Purdue University, 1976. 6. (Unpublished).

**Quadro 1. Perdas de solo, água e matéria orgânica, nos sistemas de produção de milho, de abril/92 a março/93. Média de duas repetições**

Sistema de Produção	Período 1 <sup>(1)</sup>		Período 2 <sup>(2)</sup>		Total					
	Solo	Água	Solo	Água	Solo		Água		Perda M.O.	
	t ha <sup>-1</sup>	mm	t ha <sup>-1</sup>	mm	t ha <sup>-1</sup>	% <sup>(3)</sup>	mm	% <sup>(4)</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	% <sup>(3)</sup>
1. Solo descoberto	15,56a	159,5a	159,22a	283,9a	171,78a	100	443,4a	24,93	7124,1	100
2. Aveia + ervilhaca/milho	0,27b	24,5c	0,24c	8,6c	0,52c	0,30	33,2c	1,86	28,3	0,39
3. Tremoço/milho	0,63b	19,1c	1,24c	34,4c	1,87c	1,87	53,6c	3,01	84,3	1,18
4. Chicharo/milho	0,85b	50,0b	5,62b	165,6b	6,47b	3,77	215,2b	12,10	360,8	5,06
5. Milho + mucuna	0,59b	15,2c	0,88c	25,9c	1,47c	0,86	41,1c	2,31	56,9	0,80
6. Milho + feijão-de-porco	0,59b	12,9c	1,05c	19,3c	1,64c	0,95	32,2c	1,81	76,2	1,07
7. Campo nativo	0,06	97,7	0,05	175,1	0,11	0,06	273,1	15,35	-	-

<sup>(1)</sup>Abril a setembro/92. P: 935 mm; EI: 3539 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. <sup>(2)</sup>Outubro/92 a março/93. P: 843,6 mm; EI: 4380 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. <sup>(3)</sup> Relativo ao solo descoberto. <sup>(4)</sup> Relativo à precipitação total.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

campo nativo apresentou a menor perda de solo, aproximando-se dos resultados de Eltz et al. (1977). Embora sem haver diferença significativa, os sistemas com maior CS apresentaram as menores perdas de solo. No sistema aveia + ervilhaca/milho, a rápida velocidade inicial de CS da consorciação e a manutenção de elevados valores até a época de manejo dos adubos verdes (Figura 1) propiciaram a menor perda de solo. O tremoço e o chicharo, apesar de terem apresentado desenvolvimento normal no primeiro ano, sofreram o ataque de doenças no segundo, resultando em menores valores de CS e conseqüente aumento nas perdas de solo e água em relação à consorciação. Apesar do efeito das doenças na redução da CS, as taxas de erosão registradas ainda foram muito menores do que as verificadas no solo descoberto.

A distribuição relativa mensal das perdas de solo revela que, nos sistemas de produção com emprego de adubos verdes de inverno, as maiores perdas de solo ocorreram em abril (Figura 2a). Nesse mês, que correspondeu à semeadura das espécies, além da menor CS, coincidiram as chuvas de maior erosividade de todo o período (36,5% do EI<sub>30</sub>), enquanto, nos sistemas de produção com adubos verdes de verão, ocorreu o inverso. Em abril, apesar da elevada erosividade, a perda relativa de solo foi baixa em tais sistemas, uma vez que a mucuna e o feijão-de-porco se encontravam em desenvolvimento, cobrindo 100% da superfície. A partir de junho, aumentaram as perdas de solo devido ao decréscimo na CS provocado pela ocorrência de geadas, que interromperam o desenvolvimento dessas espécies, iniciando a decomposição dos resíduos culturais. Os resultados indicam que, para os sistemas que utilizam adubos verdes de inverno, o período de maior suscetibilidade à erosão ocorre na época de desenvolvimento inicial das espécies (abril-maio), enquanto naqueles que utilizam adubos verdes de verão, o período ocorre próximo à época de semeadura do milho (agosto-setembro).

No segundo período de avaliação (outubro a março), a CS era composta pelos resíduos culturais dos adubos verdes e de milho (safra 1991), distribuídos uniformemente sobre a superfície, e também da CS proporcionada pelo desenvolvimento de milho (safra 1992). Nesse período, ocorreram chuvas de alta erosividade, provocando, no solo descoberto, aumento de cerca de dez vezes nas perdas de solo em relação ao período anterior, concordando com McGregor et al. (1975) e Burwell & Kramer (1983), segundo os quais, grande parte das perdas de solo que ocorrem durante o ano estão freqüentemente associadas a poucos eventos de chuva e se concentram em determinados períodos (Figura 2b). Todos os sistemas, exceto chicharo/milho, reduziram cerca de 99% as perdas de solo e 85% as de água em relação ao solo descoberto, evidenciando que a CS proporcionada pelos adubos verdes, associada ao plantio direto, foi a principal responsável pelo controle da erosão hídrica. Diversos trabalhos demonstraram que a utilização de sistemas de produção conservacionistas, com redução na mobilização do solo e manutenção dos resíduos sobre a superfície, como o plantio direto, reduzem significativamente as perdas por erosão em relação a sistemas que mobilizam o solo (McGregor et al., 1975; Wünche & Denardin, 1978; Levien et al., 1990; Vieira et al., 1991).

Em apenas um ano, o solo descoberto perdeu o equivalente a 10% do total da matéria orgânica da camada arável do solo (Quadro1), ao passo que, nos sistemas de produção, as perdas foram reduzidas mais de 95%. Mantida esta taxa de erosão, em poucos anos o solo estaria inviabilizado, economicamente, para a exploração agrícola, devido à queda da fertilidade e de outras características que determinam a qualidade do solo. Já os sistemas aveia + ervilhaca/milho, tremoço/milho, milho + mucuna e milho + feijão-de-porco apresentaram características de sustentabilidade, devido, entre outros, a três fatores principais: (a) efetivo controle sobre as perdas de solo, com perda

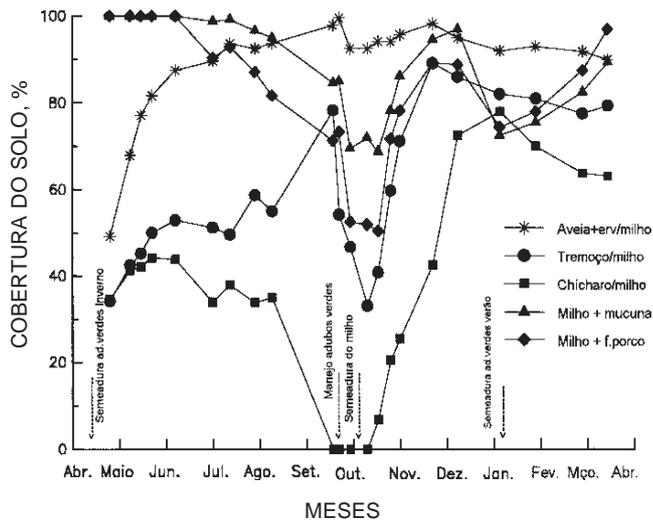


Figura 1. Cobertura do solo, nos sistemas de produção de milho, de abril/92 a março/93.

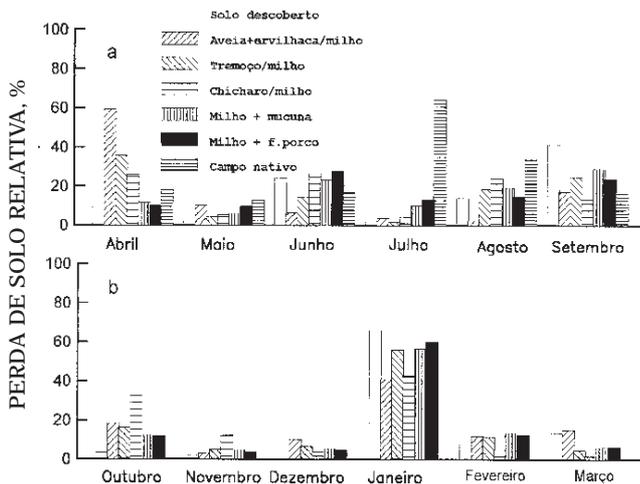


Figura 2. Distribuição da perda de solo relativa mensal, nos sistemas de produção de milho, de abril/92 a março/93.

total anual próxima à taxa de formação, estimada em  $1,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para podzólico (Demattê, 1976); (b) elevada infiltração de água no solo (acima de 95%), diminuindo os riscos de contaminação ambiental pela enxurrada; (c) reduzidas perdas de matéria orgânica por erosão. Ao longo do tempo, esses fatores positivos contribuem para a melhoria das características químicas, físicas e biológicas do solo.

#### Adição de carbono orgânico (CO)

Os sistemas de produção de milho apresentaram diferentes taxas de adição de CO ao solo (Quadro 2). Os sistemas aveia + ervilhaca/milho, milho + mucuna e milho + feijão-de-porco adicionaram as maiores quantidades de CO, e o sistema chicharo/milho, a menor, devido, principalmente, à pouca contribuição da leguminosa. Testa et al. (1992), avaliando a quantidade de carbono contida nos resíduos, em

sistemas de culturas, observaram acúmulos significativos nos sistemas milho + lablabe ( $6,34 \text{ t ha}^{-1}$ ), aveia + ervilhaca/milho + caupi ( $4,42 \text{ t ha}^{-1}$ ) e aveia + trevo subterrâneo/milho ( $4,32 \text{ t ha}^{-1}$ ), em relação ao pousio/milho ( $2,60 \text{ t ha}^{-1}$ ), com reflexos sobre o teor de CO no solo. Sistemas que adicionam grandes quantidades de CO ao solo, além de favorecer o aumento no teor de matéria orgânica e da CTC do solo, contribuem para a formação e estabilização de agregados (Tisdall & Oades, 1982; Paladini & Mielniczuk, 1991), tornando-os mais resistentes à desagregação pelo impacto das gotas da chuva.

#### Teor de carbono no solo

Os maiores teores de carbono no solo até a profundidade de 5 cm ocorreram no campo nativo (Quadro 2). Este tratamento se encontra estável, existindo igualdade entre as taxas de adição e perda de CO ao longo do tempo (Dalal & Mayer, 1986). Todos os sistemas de produção apresentaram maiores teores de CO na camada de 0-2,5 cm, o que pode estar associado à permanência dos resíduos culturais sobre a superfície. Apesar da significativa quantidade de carbono adicionada ao solo pelos sistemas, não ocorreu diferença estatística no teor de CO em relação ao solo descoberto (sem adição de carbono), com exceção dos sistemas aveia + ervilhaca/milho e chicharo/milho, na camada mais superficial. Esse resultado se deve, provavelmente, ao curto período entre a instalação do experimento e a avaliação desse parâmetro e à mobilização ocorrida no solo para a implantação dos sistemas. Teixeira (1988), após três anos da implantação de sistemas de cultura, em plantio direto com alta adição de carbono, encontrou aumentos significativos no teor de CO na camada de 0 a 2,5 cm. Testa et al. (1992), em seqüência ao trabalho anterior, observaram que o efeito se expandiu para a camada de 2,5-7,5 cm, indicando um incremento no teor de CO no solo, em profundidade, com o decorrer dos anos.

#### Infiltração de água no solo

O tempo para o início da enxurrada (Te) foi influenciado pela percentagem de cobertura do solo (Quadro 3). O solo descoberto apresentou o menor tempo para esse início, enquanto nos sistemas de produção observou-se o retardamento no Te com o aumento da cobertura do solo. Resultados semelhantes, obtidos por Lopes (1984), podem ser explicados pelo efeito da cobertura do solo em dissipar a energia cinética das gotas da chuva e pelos resíduos culturais em representar uma barreira física ao livre escoamento da água, aumentando a tortuosidade do fluxo laminar e diminuindo a velocidade do escoamento superficial (Mannering & Meyer, 1962). Os resultados revelam a tendência de aumento na infiltração total de água no solo e na taxa constante de infiltração com o aumento na cobertura do solo, principalmente nos sistemas milho + mucuna e aveia + ervilhaca/milho, os quais, em relação ao solo descoberto, apresentaram aumento superior a 200% na infiltração. No solo descoberto, 72% da chuva aplicada foi perdida na forma de enxurrada. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por

Mannering & Meyer (1962) e Sidiras & Roth (1987), demonstrando a importância da manutenção dos resíduos sobre o solo na preservação das condições físicas da superfície.

### Atividade microbiana

A atividade microbiana foi maior no campo nativo (Figura 3). Todos os sistemas de produção de milho apresentaram valores significativamente superiores ao solo descoberto, com destaque para aveia + ervilhaca/milho. Cattelan & Vidor (1990) observaram maior biomassa e atividade microbiana em sistemas de cultura que apresentaram grande produção de massa vegetal e elevada cobertura do solo (guandu + milho, aveia + ervilhaca/caupi + milho e pangola) em relação ao solo descoberto: sua menor atividade microbiana está associada à não adição de material orgânico e ao fato de a superfície ficar exposta a bruscas variações de umidade e temperatura, condições essas inadequadas à população microbiana do solo. A maior atividade microbiana dos sistemas de produção influenciará positivamente a agregação das partículas do solo, melhorando sua estrutura e contribuindo para a melhoria da qualidade do solo.

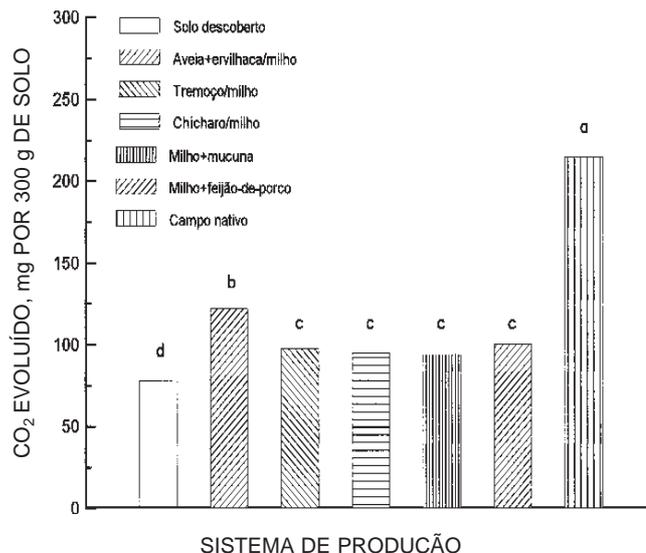


Figura 3. Atividade microbiana, avaliada por meio da evolução do CO<sub>2</sub>, na profundidade de 0 a 5 cm, nos sistemas de produção de milho. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

### Quadro 2. Adição de carbono orgânico ao solo nos sistemas de produção de milho. Média de duas repetições

Sistema de produção	Carbono orgânico adicionado			Teor de carbono orgânico (cm)		
	Ad. Verde	Milho	Total anual	0-2,5	2,5-5,0	5,0-10,0
	t ha <sup>-1</sup>			g kg <sup>-1</sup>		
1. Solo descoberto	0	0	0	9,5d	8,8b	9,7a
2. Aveia + ervilhaca/milho	1,69	2,28	3,97a	11,4b	8,8b	9,4a
3. Tremoço/milho	1,22	2,14	3,36b	10,0cd	9,7b	9,1a
4. Chicharo/milho <sup>(1)</sup>	0,64	1,63	2,27c	10,6bc	9,9b	9,5a
5. Milho + mucuna <sup>(1)</sup>	2,23	1,89	4,12a	10,3cd	9,4b	9,7a
6. Milho + feijão-de-porco <sup>(1)</sup>	2,35	1,72	4,07a	10,3cd	9,3b	9,7a
7. Campo nativo	nd	nd	nd	15,2a	11,7a	8,9a

<sup>(1)</sup> Valores referentes a um ano de observação. nd = não determinado.

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

### Quadro 3. Tempo para o início da enxurrada (Te), infiltração de água no solo e taxa constante de infiltração, através de chuva simulada, nos sistemas de produção de milho. Média de duas repetições

Sistema de produção	Cobertura do solo	Te	Infiltração total de água no solo	Taxa constante de infiltração
	%	min	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	mm h <sup>-1</sup>
1. Solo descoberto	0	2	0,28	60,0
2. Aveia + ervilhaca/milho	99,6	10	0,85	106,8
3. Tremoço/milho	54,2	6	0,72	84,4
4. Chicharo/milho	35,0	5	0,56	79,3
5. Milho + mucuna	85,0	14	0,93	114,6
6. Milho + feijão-de-porco	73,3	8	0,73	92,5

### Rendimento de matéria seca (MS) e nitrogênio acumulado na parte aérea dos adubos verdes

Os adubos verdes de verão (mucuna-cinza e feijão-de-porco) destacaram-se pelo elevado rendimento de MS e acúmulo de N na parte aérea, significativamente superior em relação aos adubos verdes de inverno (Quadro 4). Entretanto, como ocorreu grande intervalo de tempo (aproximadamente cinco meses) entre o manejo dos adubos verdes de verão pela geada (abril-maio) e a semeadura do milho (outubro), houve a decomposição dessas espécies e a liberação, para o solo, de, aproximadamente, 50% do N presente na fitomassa, ficando o solo sujeito a perdas. Como forma de reciclar o N liberado e diminuir tais perdas, uma opção seria a implantação de uma cultura no inverno. Já nos adubos verdes de inverno, devido à proximidade entre o manejo e a semeadura do milho, os riscos de perdas do N liberado pela fitomassa são menores.

Na consorciação aveia + ervilhaca, houve predomínio da gramínea, sendo esta responsável por cerca de 90% da MS produzida e a quase totalidade do N acumulado na parte aérea. Já o tremoço e o chícharo, mesmo apresentando menor rendimento de MS que a consorciação, acumularam quantidade semelhante de N, devido a sua capacidade em fixar o N atmosférico. Embora não havendo diferença significativa de N acumulado entre os adubos verdes de inverno, a menor relação C/N das leguminosas propicia maior velocidade de decomposição dos resíduos (mineralização) e liberação do N para o solo, ficando parte do nutriente disponível para o milho desde o início do seu desenvolvimento. Por outro lado,

nos sistemas que utilizam gramíneas (alta relação C/N), esse processo é mais lento e, normalmente, acompanhado por um período inicial de imobilização do N mineral existente no solo pela população microbiana (Mitchell & Tell, 1977; Teixeira, 1988).

### Nitrogênio absorvido e rendimento de grãos do milho

A quantidade de N absorvida pelo milho foi semelhante entre os sistemas de produção (Quadro 5). Subtraindo-se a absorção de N pelo milho em solo descoberto (23,2 kg ha<sup>-1</sup>), daquela absorvida em cada sistema, obtém-se o N fornecido pelos adubos verdes acrescido do N da adubação mineral. Neste caso, semelhança estatística na absorção de N com a utilização da metade da dose, nos sistemas com leguminosas, em relação à aplicação de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, indica que houve importante contribuição do N adicionado por essas espécies.

O maior rendimento de grãos foi obtido no sistema aveia + ervilhaca/milho, com aplicação de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral. Este resultado se deve, provavelmente, a outros fatores, além da absorção de N, como a elevada cobertura do solo, responsável pela manutenção de maior umidade no solo na camada de 0-7 cm, avaliada durante o desenvolvimento do milho (Debarba, 1993). Entretanto, os sistemas tremoço/milho, milho + mucuna e milho + feijão-de-porco proporcionaram, sem irrigação, rendimentos de grãos de milho superiores ao dobro da média estadual de 1992, com possibilidade, ainda, de redução na dose de fertilizante nitrogenado mineral.

**Quadro 4. Rendimento de matéria seca e nitrogênio acumulado na parte aérea dos adubos verdes. Média de duas repetições**

Sistema de produção	Adubo verde	Matéria seca	N acumulado
		t ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>
1. Aveia + ervilhaca/milho	Aveia + ervilhaca	4,22	54,05b
2. Tremoço-azul/milho	Tremoço-azul	3,55	68,45b
3. Chícharo comum/milho	Chícharo comum <sup>(1)</sup>	3,00	83,90b
4. Milho + mucuna-cinza	Mucuna-cinza <sup>(1)</sup>	5,58	137,80a
5. Milho + feijão-de-porco	Feijão-de-porco	5,88	162,20a

<sup>(1)</sup> Valores referentes a um ano de observação.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

**Quadro 5. Nitrogênio absorvido e rendimento de grãos de milho (safra 1992), nos sistemas de produção de milho. Média de duas repetições**

Sistema de produção	Adubação mineral nitrogenada	Nitrogênio absorvido		Rendimento de grãos
		kg ha <sup>-1</sup>		
1. Solo em solo descoberto	0	23,2b	2.760c	
2. Aveia + ervilhaca/milho	120	56,8a	5.390a	
3. Tremoço/milho	60	52,5a	4.610b	
4. Chícharo/milho	120	50,8a	4.270b	
5. Milho + mucuna-cinza	60	57,2a	4.630b	
6. Milho + feijão-de-porco	60	62,7a	4.790b	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

## CONCLUSÕES

1. Os sistemas de produção de milho com a inclusão de adubos verdes proporcionaram elevada cobertura e foram efetivos no controle da erosão, reduzindo as perdas de solo, água e matéria orgânica.
2. Em relação ao solo descoberto, os sistemas de produção apresentaram maior infiltração e atividade microbiana.
3. Com a utilização de leguminosas nos sistemas de produção, foi possível reduzir pela metade a adubação nitrogenada mineral do milho.
4. Os sistemas de produção avaliados apresentaram características de sustentabilidade.

## AGRADECIMENTOS

Ao laboratorista Flávio Fontinelli, pelo auxílio nas análises laboratoriais, e aos bolsistas Ismael Bisognin, Amauri Beutler, Ricardo Jantzen, Deonir Dalpai e Paulo Cesar Conceição, os quais não mediram esforços para a realização deste trabalho.

## LITERATURA CITADA

- BAYER, C.; AMADO, T.J.C.; FERNANDES, S.V. & MIELNICZUK, J. Teores de carbono e nitrogênio total em um solo podzólico vermelho-escuro submetido 9 anos a diferentes sistemas de manejo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. Resumos. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.2036-2038.
- BURWELL, R.E. & KRAMER, L.A. Long-term annual runoff and soil loss from conventional and conservation tillage of corn. J. Soil Water Conserv., Ankeny, 3:315-319, 1983.
- CATTELAN, A.J. & VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana no solo, em função de variações ambientais. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 14:133-142, 1990.
- COGO, N.P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas por erosão em condições de chuva natural. I - Sugestões gerais, medição do volume, amostragem e quantificação do solo e da água da chuva. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., Passo Fundo, 1978. Anais. Passo Fundo, EMBRAPA/CNPT, 1978. p.75-98.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS/SC. Recomendação de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 2.ed. Passo Fundo, SBCS - Núcleo Regional Sul/EMBRAPA - CNPT, 1989. 128p.
- DALAL, R.C. & MAYER, R.J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. II. Total organic carbon and its rate of loss from the soil profiles. Aust. J. Soil Res., Victoria, 24:281-289, 1986.
- DEBARBA, L. Sistemas de produção de milho adaptados à conservação do solo. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1993. 150p. (Dissertação de Mestrado)
- DEMATTÊ, J.L.I. Fatores de formação de solos. Curso de gênese e classificação de solos. Parte 1. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1976. n.p. (Mimeo.)
- ELTZ, F.L.F.; COGO, N.P. & MIELNICZUK, J. Perdas por erosão em diferentes manejos do solo e coberturas vegetais em solo Laterítico Bruno avermelhado distrófico (São Jerônimo). I. Resultados do primeiro ano. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 1:123-127, 1977.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, EMBRAPA/SNLCS, 1979. n.p.
- LEVIEN, R.; COGO, N.P. & ROCKENBACH, C.A. Erosão na cultura do milho em diferentes sistemas de cultivo anterior e métodos de preparo do solo. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 14:73-80, 1990.
- LOPES, P.R.C. Relações de erosão com tipos e quantidades de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1984. 116p. (Dissertação de Mestrado)
- MANNERING, J.V. & MEYER, L.D. The effects of various rates of surface mulch on infiltrations and erosion. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 27:84-86, 1962.
- McGREGOR, K.C.; GREER, J.D. & GURLEY, G.E. Erosion control with no-till cropping practices. Transac. ASAE, Ankeny, 18:918-920, 1975.
- MITCHELL, W.H. & TELL, M.R. Winter-annual cover crops for no-tillage corn production. Agron. J., Madison, 69:569-573, 1977.
- PALADINI, F.L.S. & MIELNICZUK, J. Distribuição do tamanho de agregados em solo podzólico vermelho escuro afetado por sistemas de culturas. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 15:135-140, 1991.
- SIDIRAS, N. & ROTH, C.H. Infiltration measurement with double-ring infiltrometers and a rainfall simulator under different surface conditions and on oxisol. Soil Till. Res., Amsterdam, 9:161-168, 1987.
- SPEDDING, C.R.W. & LARGE, R.V. A point quadrat method for the discription of pasture in terms of height and density. J. Brit. Gras. Soc., Aberystwith, 12(4):229-234, 1957.
- STEWART, B.A.; LAL, R. & EL-SWAIFY, S.A. Sustaining the resource of an expanding world agriculture. In: LAL, R. & PIERCE, F.J., eds. Ankeny, Iowa Soil Management for Sustainability. Soil and Water Conservation Society. 1991. 189p.
- STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis, pt.2, Madison, ASA, 1965. p.1550-1552.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J. & BOHNEN, H. Análise de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, UFRGS, 1985. 188p. (Boletim técnico, 5)
- TEIXEIRA, L.A.J. Fornecimento de nitrogênio ao milho por sistemas de culturas. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1988. 96p. (Dissertação de Mestrado)
- TESTA, V.M.; TEIXEIRA, L.A.J. & MIELNICZUK, J. Características químicas de um podzólico vermelho escuro afetado por sistemas de culturas. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 16:107-114, 1992.
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. J. Soil Sci., London, 33:141-163, 1982.
- VIEIRA, M.J.; COGO, N.P. & CASSOL, E.A. Perdas por erosão, em diferentes sistemas de preparo do solo, para a cultura da soja (*Glicine max* (L.) Merr.) em condições de chuva simulada. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 2:209-214, 1991.
- WISCHMEIER, W.H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. Proc. Soil Sci. Soc. Am., Madison, 23:246-249, 1959.
- WÜNSCHE, A. & DENARDIN, J.E. Perdas de solo e escoamento de água sob chuva natural em latossolo vermelho escuro nas culturas de trigo e soja. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., Passo Fundo, 1978. Anais. Passo Fundo, EMBRAPA/CNPT, 1978. p. 289-296.