

AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE SISTEMAS CONSERVACIONISTAS NO USO DOS SOLOS AGRÍCOLAS: O CASO DO BINÔMIO TRIGO-SOJA NO RIO GRANDE DO SUL¹

PAULO C. KITAMURA², EDGAR AUGUSTO LANZER³ e
REINALDO IGNÁCIO ADAMS³

RESUMO - O uso intensivo de equipamento mecanizado nas atividades de lavoura determina um aumento no grau de compactação do solo na base da camada arável que, por sua vez, determina um aumento nas perdas de terra por erosão acompanhada de queda do potencial produtivo. Para contornar este problema - crescente na área devotada ao binômio trigo-soja no Rio Grande do Sul - recomendações têm sido elaboradas no sentido de adoção de sistemas de manejo do solo com mecanização reduzida e uso de subsolagem seguida de adubação verde. Para analisar a viabilidade econômica destas práticas conservacionistas desenvolveu-se um modelo dinâmico incorporando as variáveis relevantes do problema, procedendo-se à avaliação do efeito de decisões alternativas através de simulação em computador. Os resultados indicaram que os métodos mais conservacionistas no uso do solo no binômio trigo-soja apresentam considerável superioridade econômica sobre outras alternativas. Sugere-se, conseqüentemente, ação governamental capaz de acelerar a taxa de adoção dos sistemas de manejo mais ecológicos uma vez que estes carregam significativos benefícios privados e sociais.

Termos para indexação: solos, métodos de conservação, economia de solos, terra, uso de plantio direto, cultivo mínimo, manejo de solo, adubação verde.

ECONOMIC ANALYSIS OF SOIL CONSERVATION PRACTICES: THE CASE OF WHEAT-SOYBEAN ROTATION IN RIO GRANDE DO SUL

ABSTRACT - Cropping systems based on intensive use of mechanical equipment in the wheat-soybean area of southern Brazil have resulted in increasing levels of compaction at the basis of the plowed soil. This, in turn, leads to increasing levels of soil losses to erosion as well as decreased yields. Agronomists believe that this problem can be controlled through alternative cropping systems based on limited mechanization practices, such as minimum cultivation, direct seeding, periodical subsoiling and mulch tillage. To examine the economic viability of these practices, conservationists developed a dynamic model incorporating relevant variables of the problem and evaluated the effect of alternative decisions by computer simulation. The results showed that the use of soil conservation methods in wheat-soybean rotation result in a considerable economic advantage over cropping systems currently in use in Rio Grande do Sul. Therefore, governmental action capable of speeding up the rate of adoption of ecology based systems should be taken since these systems provide significant private and social benefits.

¹ Aceito para publicação em 9 de março de 1982.

² Eng.^o Agr.^o, M.Sc., Pesquisador do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (CPATU) - EMBRAPA, Caixa Postal 48, CEP 66000 - Belém, PA.

³ Econ. Agrícola, Ph.D., Professor Adjunto do Centro de Estudos e Pesquisas Econômicas (IEPE) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. João Pessoa n.^o 31, CEP 90000 - Porto Alegre, RS.

Index terms: conservation methods, economics of soil conservation, land use economics, land reclamation, direct seeding, minimum plowing, green manure cropping.

INTRODUÇÃO

A erosão dos solos agricultados tem sido objeto de preocupação para muitos pesquisadores, há bastante tempo. Benett (1955), por exemplo, relata que o volume de nutrientes essenciais para as plantas que foi perdido através da erosão dos solos norte-americanos, em 1939, representava cerca de sessenta vezes a quantidade de fertilizantes usada naquele país, em 1934. A perda da fertilidade química, todavia, não é o único custo associado à erosão. Frequentemente, a perda de substrato físico determina diminuições no potencial de produtividade do solo que não podem ser compensadas pelo uso adicional de fertilizantes químicos. Além disto, o aumento no volume de terra carregado pelos cursos d'água que atravessam as zonas agricultadas, determina acréscimos significativos no custo social da produção de alimentos. Considerações sobre assoreamento e redução da vida útil de barragens, construídas para fins de irrigação e/ou de geração de energia elétrica, e sobre as crescentes dificuldades de obtenção de água limpa para fins de consumo humano e/ou industrial se traduzem em custos objetivos que a sociedade paga pelo uso ecologicamente inadequado dos seus recursos naturais de solo.

Sem embargo, uma inadequação ecológica não é condição suficiente para caracterizar uma ineficiência econômica. Para o agricultor que trabalha a terra sob um contrato de arrendamento por tempo determinado, pode ser economicamente injustificável realizar qualquer espécie de investimento no controle da erosão. Para a própria sociedade, pelo menos enquanto dispuser de recursos naturais abundantes, pode ser apropriado desgastar uma parte destes recursos de modo a gerar excedentes para o financiamento de projetos de interesse social premente.

De qualquer modo, o estudo de um problema empírico qualquer na área da economia da conservação do solo deve ser iniciado pela avaliação de alternativas, a nível do agente que pode exercer o controle físico da questão, isto é, o agricultor. É a partir dos resultados observados neste nível que se pode decidir sobre a necessidade ou não de levar a investigação adiante pela inclusão de custos sociais na análise. Havendo diferença entre a conveniência privada dos agricultores e a conveniência social da comunidade atingida pelas externalidades da erosão, tem-se o quadro clássico para justificar uma intervenção governamental no mercado. Se eventualmente tal diferença não se observa, a existência do

problema pode ser explicada pela desinformação do agricultor. A única interferência requerida para aumentar o benefício privado e o benefício social é a disseminação dos resultados da pesquisa econômica entre os agentes privados (Barlowe 1972, Bunce 1942 e Ciriacy-Wantrup 1963).

A pesquisa relatada neste trabalho trata dos custos e benefícios privados de sistemas conservacionistas alternativos no uso dos solos agrícolas devotados ao binômio trigo-soja no extremo sul do Brasil. Os sistemas estudados não envolvem alterações radicais nos empreendimentos produtivos básicos (trigo e soja). Na verdade, trata-se de analisar a compatibilidade econômica destes empreendimentos com níveis reduzidos de erosão dos solos.

PROBLEMAS E OBJETIVOS

Em muitos locais do planalto médio do Rio Grande do Sul, a terra tem sido devotada ininterruptamente à sucessão trigo-soja por períodos de tempo que já ultrapassam uma década. A utilização de equipamento mecanizado para o preparo do solo, semeadura, tratos culturais e colheita é comum na região. As práticas mais convencionais de controle à erosão, como terraceamento e cultivo em contorno, são conhecidas e adotadas por um número cada vez maior de agricultores. Todavia, em muitos locais, já se pode observar uma crescente insuficiência destas práticas no sentido de cumprir a finalidade a que se destinam (Gianluppi 1979, Scopel & Mielmiczuck 1979). As pesadas chuvas do inverno gaúcho ensoam a camada de solo mobilizada pela lavração e gradagem e arrastam, por inteiro, esta camada junto com os terraços que, eventualmente, encontrem no seu caminho morro abaixo. Este tipo de erosão decorre da existência de lâminas mais ou menos espessas de solo compactado e impermeabilizado, localizadas na base da camada árvél. Tais lâminas se formam em conseqüência do uso continuado de arados e grades no preparo do solo para o plantio, bem como pelo tráfego de maquinaria sobre a área agricultada.

As alternativas apresentadas pela pesquisa agrônômica para o controle da "erosão por arrastamento" visam atingir dois flancos distintos do problema. Em primeiro lugar, a lâmina compactada pode ser "atacada" diretamente pelo uso de arados subsoladores, seguido do plantio de tremoço⁴ para fins de adubação verde. O uso desta alternativa determina o impedimento de obtenção de uma safra de trigo, pois o tremoço é um cultivo de inverno. Em segundo lugar, é possível desacelerar a taxa de aumento da compactação do solo pela adoção de sistemas de cultivos

⁴

O tremoço é a espécie recomendada devido à grande capacidade de penetração de sua raiz pivotante.

não-convencionais. Duas subalternativas se abrem a partir daí. Uma delas é a redução pura e simples do trabalho de preparo do solo adotado no binômio trigo-soja. Apenas uma gradagem leve em vez de uma aração e duas gradagens, como tem sido feito até agora. Tal subalternativa é denominada convencional. A outra subalternativa é o chamado plantio direto que, pelo emprego de maquinaria especial, reduz a mobilização do solo a faixas estreitas onde são colocadas as sementes e os fertilizantes. Deve ser notado que tanto o cultivo mínimo quanto o plantio direto não destroem a lâmina compactada eventualmente, já formada, ao longo dos anos passados, com mecanização intensiva. Na verdade, o efeito destes sistemas é apenas o de diminuir a velocidade com que o grau de compactação evolui ao longo do tempo.

Qual a competitividade econômica destas alternativas conservacionistas de manejo do solo? Esta pergunta, estabelecida ao nível do produtor engajado no binômio trigo-soja no Rio Grande do Sul, orientou o desenvolvimento da pesquisa ora relatada.

CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS

O problema da conservação de solos, a exemplo da maioria dos problemas econômicos, tem uma natureza fundamentalmente dinâmica: trata-se aqui de fazer uma escolha entre a taxa de uso presente e as taxas de uso futuro de um recurso natural não-renovável. Neste contexto, os métodos de análise estática nada têm a oferecer; ao contrário, "o único procedimento correto é focar o problema tal como ele se apresenta: um fenômeno verdadeiramente dinâmico" (Burt 1972).

O primeiro passo na pesquisa foi a busca de um modelo agrônômico que lastreasse o estudo do problema em mãos. Para a análise de questões pertinentes à conservação de solos, os agrônomos geralmente se valem da equação universal de perdas de solos (Food and Agriculture Organization 1967):

$$A = K.R.S.L.C.P$$

onde A: perda de solo (t/ha/ano)

K: fator de erodibilidade do solo ($0 \leq K \leq 1$)

R: fator de erosividade da chuva ($R \geq 0$)

S: fator de erosividade do declive ($0 \leq S \leq 1$)

L: fator de erosividade do comprimento da rampa ($0 \leq L \leq 1$)

C: fator de manejo e cobertura vegetal ($0 \leq C \leq 1$)

P: fator de práticas conservacionistas ($0 \leq P \leq 1$).

A estimativa dos diversos fatores da equação universal para um determinado solo e local é feita por pesquisa empírica direta e por compara-

ção dos resultados obtidos. A equação universal, embora útil para certas finalidades, não incorpora explicitamente a dinâmica da erosão. É sabido, por exemplo, que o fator K é uma função do grau de erosão acumulado ao longo do tempo: quanto mais um solo se encontra erodido, maior seu grau de erodibilidade. Além disto, a equação universal representa pouco para o problema econômico da conservação de solos. É preciso ainda saber de que modo a produtividade física dos cultivos é afetada pelas perdas de terra causadas pelas chuvas. Este elo se faz tanto pela perda de nutrientes que compõem a fertilidade química do solo, quanto pela perda e modificação do substrato físico para as raízes das plantas cultivadas⁵.

Dois aspectos limitavam a possibilidade de emprego da equação universal na presente pesquisa. Em primeiro lugar, a pesquisa agrônômica para a obtenção dos diversos fatores de erosividade, embora vigorosa, é ainda muito recente no Rio Grande do Sul. Em segundo lugar, a principal variável endógena do problema empírico em mãos, qual seja, o grau de compactação do solo na base da camada arável, não é diretamente contemplada entre os fatores da equação universal. Estas dificuldades levaram os autores à realização de diversos contatos com pesquisadores do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e do Departamento de Recursos Naturais da Secretaria da Agricultura (RS) no sentido de procurar melhor definir as características físicas do sistema sob análise. Ao cabo de várias discussões com este objetivo, concluiu-se que os principais elementos do problema poderiam ser sintetizados através das seguintes equações:

$$(1) Y_{jt} = Y_j (X_t, a_t, c_t, d_t)$$

$$(2) X_t = X (X_{t-1}, a_{t-1}, V_{t-1}, d_{t-1})$$

$$(3) V_t = V (C_t, S_t)$$

$$(4) C_t = C (C_{t-1}, S_{t-1}, d_{t-1})$$

onde

Y_{jt} : produtividade física do j-ésimo cultivo (j = trigo, soja) no ano t

X_t : vetor de quantidades de nutrientes existentes no solo no período t

a_t : vetor de quantidades de nutrientes aplicados com fertilizantes no período t

C_t : grau de compactação do solo da camada arável no período t

V_t : volume de terra carregado pela erosão no período t

S_t : sistema de cultivo adotado no período t

d_t : execução de subsolagem-adubação verde (SAV) no período t.

⁵

Evidentemente estas limitações da equação universal podem ser contornadas (Nelson 1978).

Algumas observações gerais devem ser feitas com relação ao sistema representado pelas equações (1) a (4). Em primeiro lugar, as equações abstraem condições climáticas, tipo de solo, ocorrências de pragas e doenças e outras variáveis de importância na produção agrícola. A razão para tanto é, evidentemente, enfocar o objeto da pesquisa mantendo a dimensão do problema dentro de limites viáveis para a análise empírica. As variáveis de decisão S_t e d_t devem ser entendidas como representações de decisões mutuamente exclusivas:

S = (sistema convencional ou cultivo mínimo ou plantio direto)

d = (executar ou não executar a prática de subsolagem-adubação verde)

Note-se na equação (1), que a decisão d está presente entre os argumentos da função de produção. Isto se deve ao fato de que a execução da subsolagem-adubação verde (SAV) impede o cultivo de trigo no período em que é feita. Já a presença de d na equação vetorial (2) é justificada pela possibilidade de aumentar o suprimento de nitrogênio do solo via adubação verde.

A análise econômica sobre sistemas dinâmicos, por outro lado, pode ser realizada através de, pelo menos, quatro técnicas matemáticas alternativas: programação poliperiódica em horizontes móveis (Lanzer & Paris 1981), programação dinâmica (Burt 1981), teoria de controles ótimos (Dixon & Howitt 1979). Esta última foi escolhida para a análise do caso devido à maior flexibilidade oferecida tanto em relação à especificação das equações do sistema quanto em relação ao exame de alterações paramétricas sobre os resultados obtidos.

Para fins de análise, admitir-se-á que o agricultor tem interesse em otimizar o valor presente da seqüência de lucros, determinada pelas decisões quanto ao nível de emprego de fertilizantes, quanto à escolha do sistema de cultivo e quanto à freqüência da prática de subsolagem-adubação verde (SAV). Estas serão, portanto, as variáveis de controle do problema. As variáveis de estado são a produtividade física, o lucro, o nível de compactação do solo na base da camada arada, o volume de perdas de terra por erosão e o grau de fertilidade química do solo. Os parâmetros do modelo, além daqueles incorporados nas estações (1) a (4), são os preços dos diversos insumos e produtos, o horizonte de planejamento e a taxa de juros usada para cômputo de valores presentes. Por razões já expostas, resolveu-se abstrair efeitos climáticos e outras variáveis exógenas do modelo. Note-se que tal procedimento confere uma característica de controlabilidade total ao sistema. Este aspecto, embora limitante, permite a avaliação mais clara dos impactos prováveis das diversas alternativas de controle. Por outro lado, a pesquisa deverá ainda prosseguir e ser ampliada através da incorporação gradativa

de outras variáveis e outras relações ao modelo básico representado pelas equações (1) a (4).

ESTIMATIVAS DOS COMPONENTES

O sistema que se pretende estudar é aquele descrito pelas equações (1) a (4) na seção anterior. Para estimar estas equações se fez necessário integrar resultados relatados em diversas pesquisas agrônomicas independentes realizadas no Rio Grande do Sul. Em alguns casos, a melhor informação que se pode obter resumia-se à opinião da parte de pesquisadores biológicos especializados no assunto particular que estivesse em tela. Conseqüentemente, os resultados do presente trabalho têm caráter indicativo. Por outro lado, parece ser mais útil usar informação incompleta e obter resultados indicativos para decidir sobre um problema que existe "aqui e agora" do que esperar uma ou duas dezenas de anos até que se obtenha a informação suficiente para ornar os resultados da pesquisa com asteriscos freqüentistas de escassa procura entre os produtores ruais (Dillon 1975).

Relações entre produtividade, fertilidade química e compactação

As relações físicas e econômicas envolvendo a produtividade do bi-nômio trigo-soja e o emprego de fertilizantes (N, P, K) para o Rio Grande do Sul foram recentemente estudadas por Lanzer & Paris (1981). Estes autores estimaram doses de fertilizantes que deveriam ser usadas, a cada safra, para manter a fertilidade química do solo num nível dinamicamente ótimo e estável. Entretanto, como os dados utilizados naquele trabalho provieram de parcelas experimentais pequenas e pouco sujeitas à erosão, é de esperar que as estimativas obtidas naquele trabalho devam ser redimensionadas pela inclusão da perda de nutrientes que ocorre através da erosão.

Admitindo-se uma função de produção do trigo Liebig (Perrin 1976), em conjunção com o princípio de rendimentos relativos de Mitscherlich (Lanzer & Paris 1980) e definindo-se X_j^* como a quantidade do j-ésimo nutriente que deve ser aplicada, a cada safra, para manter o nível de rendimentos físicos do cultivo em torno do potencial máximo permitido pelas condições climáticas de cada safra, conclui-se que, para maximizar o valor presente da expectância de lucros, as doses ótimas a aplicar de cada fertilizante, em cada safra, ou são nulas ou são iguais a X_j^* . Como o caso de doses ótimas nulas parece pouco provável no nível empírico, adotaram-se os seguintes níveis de produtividade física próximo do potencial máximo permitido pelas condições climáti-

cas de cada safra (Lanzer & Paris 1981).

- (a) para trigo: 50 kg de N/ha/safra
 55 kg de P_2O_5 /ha/safra
 50 kg de K_2O /ha/safra
 (Custo: Cr\$ 2.230/ha/safra; preços de julho/79)
- (b) para soja: 08 kg de N/ha/safra
 55 kg de P_2O_5 /ha/safra
 50 kg de K_2O /ha/safra
 (Custo: Cr\$ 1.556/ha/safra; preços de julho/79).

Admitiu-se, também, a partir de consultas com especialistas em fertilidade de solo, que a necessidade de nitrogênio para o trigo poderia ser reduzida em 80%, 40% e 20%, nas safras subseqüentes à realização de uma adubação verde. Além disto, por razões já apresentadas anteriormente, pode-se acrescentar as quantidades de nutrientes perdidas pela erosão aos níveis de emprego de fertilizantes supracitados. Neste sentido, os resultados de pesquisas realizadas por Eltz et al. (1980) e Saraiva (1980) permitiram a sintetização das informações apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1. Volumes de erosão e perdas de nutrientes essenciais (médias de 3-4 anos).

Caso	Perdas de solo (t/ha/ano)	Conteúdo de nutrientes (kg/ha/ano)				
		P_2O_5	K_2O	N	$CaCO_3$	$MgCO_3$
1	0,08	0,009	2,14	0,13	6,80	5,18
2	1,74	0,123	4,88	3,27	4,23	20,23
3	9,04	0,459	20,17	12,36	23,36	23,07
4	11,81	0,517	12,36	16,35	25,00	21,76
5	25,96	1,053	27,18	36,04	54,97	56,77
6	3,24	0,251	21,75	4,42	14,08	10,73
7	23,14	1,022	24,23	32,04	49,01	42,65

Fonte: Tabela calculada a partir de Eltz et al. (1980) e Saraiva (1978).

Os dados da Tabela 1 permitiram a estimação da seguinte relação entre o volume de perdas por erosão e o custo da fertilização química adicional para reposição dos nutrientes perdidos pela erosão:

$$CR_t = 42,54 + 37,82 VE_t \quad (R^2 = 0,98)$$

onde CR_t : custo de reposição dos nutrientes perdidos por erosão no ano t, em Cr\$/ha a preços de julho/79

VE_t : volume de solo perdido na erosão no ano t (t/ha).

Observe-se que os dados da Tabela 1 foram obtidos para um solo latérfico. Dados semelhantes para solos mais representativos da região

de estudo parecem ainda não estar disponíveis no momento.

Por outro lado, estimativas do Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (CNPT/EMBRAPA) indicam que, em condições normais de clima e alta tecnologia, pode-se esperar produtividades de 1.800 kg/ha e de 2.800 kg/ha para trigo e soja, respectivamente. Tais estimativas foram associadas a um nível de produtividade relativa de 100%. Este potencial de produtividade, todavia, é afetado pelo grau de compactação na base da camada arável. Uma indicação neste sentido pode ser obtida a partir dos resultados de uma pesquisa realizada no Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRS (Cintra 1980). Nesta pesquisa, o autor reporta o rendimento de matéria seca de diversos cultivos em função do grau de compactação do solo na base da camada arada. Utilizando-se o rendimento de matéria seca como "proxy" para o rendimento de grãos, estimou-se a seguinte relação entre a produtividade relativa (ou percentual) e o grau de compactação:

$$YR_t = \text{Min} \{ 100; 125,8 - 4,35 C_t \} \quad (R^2 = 0,83)$$

onde YR_t : rendimento percentual do cultivo realizado no ano t

C_t : grau de compactação do solo na base da camada arada no ano t (kg/cm^2).

Observa-se que o rendimento percentual máximo (100%) é obtido para um grau de compactação em torno de $6 \text{ kg}/\text{cm}^2$. Assim, com este nível de compactação e doses anuais de fertilizantes compensados para as perdas de erosão, espera-se uma produtividade física de 1.800 kg/ha para o trigo e de 2.800 kg/ha para a soja. Entretanto, mesmo mantendo o nível de fertilidade química elevado, o aumento no grau de compactação determina quedas na produtividade física dos cultivos (Fig. 1).

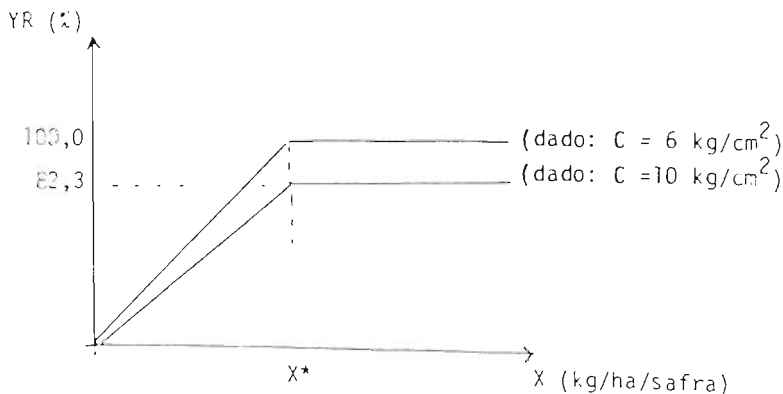


FIG. 1. Resposta relativa dos cultivos (YR) à aplicação de fertilizantes (X) sob níveis diferenciados de compactação na base da camada arada (C).

Na Fig. 1, deve-se observar que o princípio de rendimentos relativos de Mitscherlich foi estendido a uma variável descritiva de um aspecto físico do solo, isto é, o nível de compactação. Esta generalização encontra suporte em pesquisa realizada por Hildreth (1956).

A dinâmica da erosão do solo

O grau de compactação do solo na base da camada arada evolui ao longo do tempo em que uma determinada área é usada para fins de lavoura. Na medida em que este grau aumenta, diminui a capacidade de absorção de água do solo e, conseqüentemente, aumenta o volume médio de perdas de terra por erosão hídrica. Qual a taxa de evolução do grau de compactação para cada sistema de cultivo alternativo? Em quanto o grau de compactação existente num dado momento é reduzido pela subsolagem-adubação verde (SAV)? Qual a relação entre o grau de compactação e o volume de perdas de solo? Estas questões formam o ângulo da dinâmica do problema enfocado nesta pesquisa. Entretanto, a evidência empírica sobre o assunto é ainda muito reduzida no Rio Grande do Sul.

A partir de consultas com especialistas de solos da FA/UFRS, estimou-se que o grau de compactação de um solo virgem na região de estudo é de cerca de 6 kg/cm^2 e que, em condições de cultivo convencional continuado com o binómio trigo-soja, este grau aumenta para cerca de 12 kg/cm^2 , ao fim de vinte anos de uso da terra. Tem-se, então, uma estimativa da taxa de evolução do grau de compactação na base da camada arada de $0,286 \text{ kg/cm}^2$ por ano de uso, sob o sistema convencional. Admitiu-se, a seguir, que esta taxa seria proporcional à quantidade de horas-máquina empregada no sistema de cultivo. Com esta hipótese de trabalho, estimou-se que a taxa de evolução do grau de compactação, tanto para o sistema de cultivo mínimo quanto para o de plantio direto, deveria situar-se em torno de $0,172 \text{ kg/cm}^2/\text{ano}$ de uso.

Portanto:

(a) para o sistema convencional de cultivo:

$$C_t = C_{t-1} + 0,286$$

(b) para o cultivo mínimo e o plantio direto:

$$C_t = C_{t-1} + 0,172$$

Por outro lado, resultados experimentais obtidos por Cassol et al. (1980) permitem estimar uma taxa de aceleração no volume de perdas de solo de 4,46% ao ano. Em vista disso, da informação relatada no parágrafo anterior e dos resultados das pesquisas de Eltz et al. (1980) e Saraiva (1978), obteve-se a síntese apresentada na Tabela 2.

TABELA 2. Evolução do grau de compactação na base da camada arada e das perdas de solo por erosão em três sistemas de cultivo no binômio trigo-soja.

Sistemas de cultivo	Ano 0		Ano 10		Ano 20	
	Grau de compactação ¹	Perdas de solo ²	Grau de compactação	Perdas de solo	Grau de compactação	Perdas de solo
Convencional	6,0	25,96	9,2	40,55	12,0	63,34
Mínimo	6,0	11,81	7,9	18,45	9,6	28,82
Direto	6,0	9,04	7,9	14,12	9,6	22,06

Fonte: dados da pesquisa.

(1) kg/cm²

(2) t/ha/ano

A associação sugerida na Tabela 2 repousa sobre hipóteses bastante sujeitas à crítica. Fica registrada a necessidade de realização de pesquisas agrônomicas voltadas ao levantamento de maior evidência empírica para superar esta limitação do trabalho. Sem embargo, os números da Tabela 2 pareceram plausíveis a especialistas em conservação que foram consultados a respeito⁶. Assim, a informação contida na Tabela 2 pode ser apresentada - aproximadamente - na forma das seguintes equações.

(a) para o sistema de cultivo convencional.

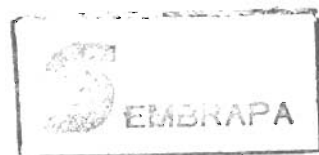
$$VE_t = \text{Max} \{ 25,96; -4,67 + 5,105 C_t \}$$

(b) para o sistema de cultivo mínimo:

$$VE_t = \text{Max} \{ 11,81; -2,11 + 2,320 C_t \}$$

(c) para o sistema de plantio direto:

$$VE_t = \text{Max} \{ 9,04; -1,62 + 1,770 C_t \}$$



Para completar as relações descritivas da dinâmica da erosão seria ainda necessário estimar o efeito da SAV sobre o nível de compactação do solo. Também neste particular, a evidência empírica acumulada pela pesquisa agrônômica no Rio Grande do Sul é ainda bastante limitada. Abrão et al. (1979) reportam uma diminuição média de 2,2% no grau de compactação do solo por operação de subsolagem com um arado tipo "pé-de-pato". Entretanto, existem evidências indiretas de que esta estimativa seja excessivamente conservadora. Cassel (1980) relata aumentos de produtividade na soja de 30 a 50% devido à subsolagem. Além disto, o emprego de adubação verde através de espécies vegetais com sistemas radiculares de alta capacidade de penetração em camadas compactadas, como os tremoços, em seqüência à subsolagem, provavelmente induz uma redução adicional muito significativa no grau de compactação do solo. Por fim, segundo especialistas do Departamento de Solos da UFRS, já existem no mercado sulino subsoladores com eficiência bem superior à do "pé-de-pato". Em vista destas observações, adotaram-se duas estimativas alternativas para a taxa de diminuição do grau de compactação decorrente da SAV: 5% e 10%. Posteriormente, poder-se-á, então, verificar a sensibilidade das decisões ótimas com relação ao valor adotado para este parâmetro no modelo.

Dada a possibilidade de alterar a trajetória do grau de compactação através da realização periódica da SAV, a equação daquela trajetória

⁶ É necessário lembrar que se está trabalhando sob a hipótese de que os sistemas mais convencionais de proteção contra a erosão, isto é, cultivo em contorno e terraceamento já são adotados pelo agricultor. Os experimentos para mensuração de perdas de erosão, quando se adotam determinados comprimentos de rampa em função da declividade, também trazem esta hipótese implícita no seu bojo. Isto explica os valores de perda de solo relativamente baixos que se estimou ocorrerem no ano 20.

deve ser modificada para:

(a) sistema convencional

$$C_t = (1 - d_t) \cdot (C_{t-1} + 0,286) + d_t \cdot k \cdot C_{t-1}$$

(b) cultivo mínimo e plantio direto

$$C_t = (1 - d_t) \cdot (C_{t-1} + 0,172) + d_t \cdot k \cdot C_{t-1}$$

onde d_t : variável binária para representar a decisão de executar ($d_t = 1$) ou não executar ($d_t = 0$) a SAV no ano t

e k: coeficiente de reversão no grau de compactação do solo pelo emprego da SAV ($k = 0,95$ se adotada uma taxa de redução de 5% e $k = 0,90$ se adotada uma taxa de redução de 10%).

A regra de decisão simulada com o modelo era a seguinte: se $C_t \geq C^*$ então $d_t = 1$, caso contrário $d_t = 0$. O valor C^* , denominado nível crítico de compactação, seria variado parametricamente de modo a estimar os resultados físico-econômicos decorrentes de regras de decisão alternativas. O nível ótimo de compactação, definido como aquele valor de C^* que maximiza valor presente de lucros, era obtido por comparação de valores alternativos.

Por fim, admitiu-se ainda que as perdas de solo por erosão, associadas ao período de cobertura do solo com o cultivo de tremoço, seriam equivalentes ao valor observado por Eltz et al. (1980) para pastagens cultivadas, isto é, em torno de 2 t/ha/ano.

Componentes econômico-financeiros

A análise econômica do sistema físico descrito nas seções anteriores foi feita a preços reais constantes de julho de 1979. A taxa de juros empregada para cálculo de valores presentes foi de 6% a.a. Os coeficientes técnicos usados no cômputo dos custos por ha de cada atividade foram baseados em informações da FECOTRIGO e de pacotes tecnológicos da EMBRAPA. O custo no ano t é dado por:

$$CT_t = CF_t + CAV_t + CN_t + CR_t$$

onde CT_t : custo total das atividades realizadas no ano t (Cr\$/ha)

CF_t : custo de produção de cultivos realizados no ano t, excluindo o custo da adubação nitrogenada de cobertura para o trigo (Cr\$/ha)

custo da soja em cultivo convencional: Cr\$ 5.876/ha

custo do trigo em cultivo convencional: Cr\$ 5.073/ha

custo da soja em cultivo mínimo: Cr\$ 6.067/ha

custo do trigo em cultivo mínimo: Cr\$ 4.569/ha

custo da soja em plantio direto: Cr\$ 6.194/ha

custo do trigo em plantio direto: Cr\$ 5.124/ha

CAV_t : custo da subsolagem-adubação verde no ano t (Cr\$/ha)

$$CAV_t = 5.878 \cdot d_t$$

CN_t : custo da adubação nitrogenada de cobertura do trigo no ano t (Cr\$/ha)

$CN_t = 802$ (se a adubação verde mais recente ocorreu antes de $t - 3$)

$CN_t = 642$ (se a adubação verde mais recente ocorreu em $t - 3$)

$CN_t = 481$ (se a adubação verde mais recente ocorreu em $t - 2$)

$CN_t = 160$ (se a adubação verde mais recente ocorreu em $t - 1$)

CR_t : custo da fertilização adicional requerida para reposição dos nutrientes perdidos pela erosão no ano t .

Adotaram-se os seguintes preços para os produtos: Cr\$ 4,88/kg de trigo e Cr\$ 5,82/kg de soja. Em vista destes preços e dos elementos já apresentados, a receita total do ano t é dada por:

$$R_t = [1.800 \cdot 4,88 \cdot (1 - d_t) + 2.800 \cdot 5,82] \cdot [YR_t \div 100]$$

onde R_t é a receita total no ano t (em Cr\$/ha) e as variáveis d_t e YR_t são como anteriormente definidas.

O valor presente de lucros sobre um horizonte de T anos é dado por:

$$VPL_T = \sum_{t=1}^T (R_t - CT_t) (1 + j)^{t-1}$$

onde j é a taxa de juros ($j = 0,06$, isto é, 6% a.a.).

Uma vez definidas, todas as relações bioeconômicas do sistema em estudo foram incorporadas em um programa de computador. Com este programa foi possível avaliar o efeito de regras de decisão alternativa (nível crítico de compactação C^* para realização de SAV) através de passagem de tempo simulada no computador. Os parâmetros do programa eram os seguintes:

C_o - nível inicial de compactação do solo (kg/cm^2)

T - horizonte de planejamento (anos)

S - sistema de cultivo (convencional ou mínimo ou direto; suposto constante para $t = 0, 1, 2, \dots, T$)

C^* - nível crítico de compactação para efetivação da SAV

O relatório de execução do programa fornecia as seguintes informações.

VPL_T - valor presente dos lucros acumulados em T anos (Cr\$ de julho de 79/ha)

VE - volume médio de perdas por erosão ao longo de T anos (t/ha)

F - periodicidade média de execução da SAV ao longo de T anos

YR - produtividade relativa média dos cultivos ao longo de T anos (%)

RESULTADOS

Para fins de obtenção de soluções de referência, resolveu-se adotar um horizonte de 40 anos e um coeficiente de 10% na reversão da compactação pelo uso da SAV ($k = 0,9$). Regras de decisão ótimas - nível crítico de compactação para efeito de execução da SAV - foram calculadas para cada sistema alternativo de manejo do solo e para diversas possibilidades de grau inicial da compactação. Os resultados estão apresentados na Tabela 3.

TABELA 3. Resultados da simulação com regras de decisão alternativas para a conservação do solo no binômio trigo-soja. Horizonte de 40 anos e índice de reversão da compactação por SAV de 10%.

Sistema	Nível inicial de compactação	Nível crítico ótimo ¹	Frequência da SAV ²	Valor presente de lucros ³	Volume médio de erosão ⁴	Produtividade média
Convencional	6	7	2,86	126,3	26,2	97,8
	7	7	2,67	116,8	26,1	97,8
	8	7	2,50	109,1	26,1	97,7
	10	7	2,22	92,7	26,0	97,2
	12	7	2,11	79,7	26,0	96,3
Mínimo	6	7	4,44	145,8	12,5	97,9
	7	7	4,00	135,9	12,4	97,9
	8	7	3,64	127,1	12,4	97,7
	10	7	3,08	111,6	12,4	97,3
	12	7	2,67	97,9	12,5	96,4
Direto	6	7	4,44	160,9	9,5	98,0
	7	7	4,00	150,1	9,5	97,9
	8	7	3,64	140,7	9,5	97,7
	10	7	3,08	124,3	9,6	96,8
	12	7	2,67	110,1	9,6	96,4

Fonte: dados da pesquisa

(1) kg/cm²

(2) uma vez cada

(3) em Cr\$ 1 000 de julho 79

(4) em t/ha/ano

(5) em percentagem do teto máximo

Os resultados da Tabela 3 mostram uma total convergência sobre a regra de decisão ótima - nível crítico de compactação de 7 kg/cm² para execução da SAV - que independe do nível inicial de compactação do solo e do sistema de manejo adotado. No sistema convencional, este nível é alcançado e mantido substituindo-se cada segunda ou terceira safra de trigo por uma SAV. Já nos sistemas de cultivo mínimo e de plantio direto, o nível crítico ótimo de compactação pode ser mantido substituindo-se cada quarta safra consecutiva de trigo por uma SAV (esta frequência é maior se o nível inicial de compactação já estiver acima do nível crítico ótimo). As perdas médias de solo por erosão nos sis-

temas de cultivo mínimo e plantio direto sob decisões ótimas são muito semelhantes a valores ecologicamente admissíveis para solos profundos (Smith 1965). Em todos os casos, como o nível ótimo de compactação é mantido relativamente baixo, a produtividade dos cultivos é relativamente alta. Deve ser ainda observada a superioridade econômica dos sistemas mais conservacionistas. O cultivo mínimo apresenta uma lucratividade média, a longo prazo, superior 15 a 23% sobre o cultivo convencional, enquanto que a mesma razão para o cultivo direto sobre o convencional fica entre 27 e 39%. Estes resultados contrastam com a observação de que o plantio direto apresenta, numa análise estática para um solo com um determinado grau de compactação, custos médios mais altos que o sistema convencional e a mesma produtividade física. Fica patente o viés introduzido pela eventual escolha de métodos de análise estática num problema com características fundamentalmente dinâmicas.

TABELA 4 Resultados da simulação com regras de decisão alternativas para a conservação do solo no binômio trigo-soja. Horizonte de 40 anos e índice de reversão de compactação por SAV de 5%.

Sistema	Nível inicial de compactação ¹	Nível crítico ótimo ¹	Frequência de SAV ²	Valor presente de lucros ³	Volume médio de erosão ⁴	Produtividade média ⁵
Convencional	6	10	3,08	107,4	37,4	87,3
	7	10	2,67	91,1	38,5	85,7
	8	10	2,35	76,6	38,6	85,1
	10	10	2,00	47,5	38,5	84,4
	12	10	1,74	33,4	38,0	83,8
Mínimo	6	—	0,00	136,8	19,1	86,4
	7	—	0,00	119,4	20,7	93,0
	8	11	5,71	103,2	20,4	92,5
	10	10	2,86	77,5	18,6	84,3
	12	10	2,35	53,4	20,7	79,9
Direto	6	—	0,00	155,0	14,6	86,4
	7	—	0,00	119,9	15,8	92,9
	8	11	5,71	100,8	15,6	92,5
	10	10	2,86	83,8	14,3	84,3
	12	10	2,35	68,6	14,1	80,0

Fonte: dados da pesquisa
 (1) em kg/cm²
 (2) uma vez cada X anos
 (3) em Cr\$ 1.000 de julho/79
 (4) em t/ha/ano
 (5) em percentagem do teto máximo

A Tabela 4 reporta os resultados obtidos na simulação adotando-se um índice de reversão da compactação pela SAV de apenas 5% (isto é, $k = 0,95$). Uma comparação entre os resultados das Tabelas 3 e 4 mostra que a ação da SAV sobre o grau de compactação é limitada, então o nível crítico ótimo de compactação é sensivelmente aumentado. Em outras palavras, se a tecnologia de recuperação do solo é pouco eficaz, valerá a pena manter o solo num nível de degradação maior (note-se que os volumes de erosão apresentados na Tabela 4 são cerca de 50% maiores que os mostrados na Tabela 3). O volume máximo de lucros sustentáveis também é bastante afetado pela mudança na hipótese

sobre o valor do coeficiente k , sendo a redução daquele indicador econômico tanto mais acentuada quanto maior o nível inicial de degradação do solo (medido pelo seu grau de compactação na base de camada arada). Observe-se que, para o agricultor que pretende utilizar um sistema convencional de plantio, um hectare de solo virgem - com grau de compactação em torno de 6 kg/cm^2 - valeria cerca de 100 mil cruzeiros, enquanto que um hectare de solo bastante explorado - compactação em torno de 10 kg/cm^2 , correspondendo a aproximadamente 14 anos de uso no binômio trigo-soja em cultivo convencional - valeria apenas a metade daquela cifra.

Entretanto, pelo menos para o sistema convencional, o grau de eficácia da SAV no controle da compactação tem pouca relevância sobre a frequência ótima com que a SAV deveria ser empregada. Novamente se observa que cada segunda ou terceira safra de trigo deveria ceder lugar ao plantio de tremoço para fins de adubação verde. Já para os sistemas de cultivo mínimo e plantio direto, a diminuição paramétrica da eficácia da SAV conduz a uma sensível redução na frequência de utilização desta se o nível inicial de degradação do solo é pequeno. Em outras palavras, partindo da exploração de um solo virgem por métodos de plantio direto ou cultivo mínimo, o agricultor poderia conduzir suas atividades por um dilatado período de tempo sem lançar mão da SAV. Porém, a importância prática desta observação é limitada no caso da região em estudo. A maior parte das áreas aí situadas têm sido devotadas, há bastante tempo, ao binômio trigo-soja no sistema convencional. Agora, se o nível inicial de compactação já é relativamente alto devido ao seu uso passado, então, mesmo para os sistemas mais conservacionistas, ainda é economicamente recomendável substituir da terceira à quinta safra de trigo pela SAV. Por fim, a diminuição paramétrica da eficácia da SAV não altera a conclusão obtida anteriormente de que o plantio direto apresenta superioridade econômica sobre os demais, a longo prazo.

A Tabela 5 mostra os resultados alcançados na simulação adotando-se um horizonte de planejamento relativamente curto de dez anos (índice de reversão da compactação pela SAV adotado nesta simulação foi de 10%, isto é, $k = 0,90$). Os resultados da Tabela 5 evidenciam, conforme o esperado, que a redução no horizonte de planejamento torna a conservação do solo menos atrativa sob o ponto de vista econômico. Com a adoção de um horizonte de dez anos, o empresário encontra certa justificativa em explorar um solo originalmente virgem por um período bastante longo sem executar SAV. Entretanto, a partir do momento em que o nível de compactação atinge cerca de 10 kg/cm^2 , o emprego periódico de SAV torna-se economicamente vantajoso, mesmo sob um horizonte de planejamento relativamente curto. Por outro lado,

pode-se questionar a validade conceptual do emprego de horizontes curtos na análise econômica. Isto porque, em tal circunstância, é atribuído um valor residual nulo para a terra, a qual, na verdade, pode ser vendida no fim do horizonte adotado. Porém, a julgar pelos resultados relatados nas Tabelas 3 e 4, o valor capitalizado da terra bem conservada deve ser bastante superior ao valor capitalizado da terra degradada. Se este fato é levado em consideração pelo agricultor - o que parece natural, pelo menos para o agricultor proprietário - então, mesmo a adoção de horizontes infinitos é plenamente justificada na análise econômica normativa (Burt 1981).

TABELA 5 Resultados da simulação com regras de decisão alternativas para a conservação do solo no binômio trigo-soja. Horizonte de 10 anos e índice de reversão da compactação por SAV de 10%.

Sistema	Nível inicial de compactação	Nível crítico ótimo ¹	Frequência da SAV ²	Valor presente de lucros ³	Volume médio de erosão ⁴	Produtividade média ⁵
Convencional	6	—	0,00	73,2	32,5	95,0
	7	—	0,00	63,7	37,6	90,7
	8	—	0,00	54,3	42,7	86,3
	10	9	2,50	38,0	34,7	89,3
	12	10	2,00	24,4	38,0	84,3
Mínimo	6	—	0,00	79,7	13,6	97,2
	7	—	0,00	71,0	15,9	92,9
	8	—	0,00	62,3	18,3	88,5
	10	10	5,00	46,7	18,6	85,9
	12	10	2,50	34,2	18,0	86,0
Direto	6	—	0,00	87,8	10,4	97,1
	7	—	0,00	79,3	12,1	92,9
	8	—	0,00	70,8	13,9	86,5
	10	10	5,00	54,3	14,3	82,4
	12	10	2,50	40,8	13,8	85,0

Fonte: dados da pesquisa.

(1) em kg/cm².

(2) uma vez cada X anos.

(3) em Cr\$ 1.000 de julho/79.

(4) em t/ha/ano.

(5) em porcentagem do teto máximo.

CONCLUSÕES

De modo geral, conclui-se que o plantio direto e o cultivo mínimo são opções superiores ao cultivo convencional sob o ponto de vista econômico. A adoção de tais sistemas não só deve aumentar a receita líquida dos agricultores como diminui o volume de perdas de solo por erosão a níveis bastante próximos do ecologicamente recomendável. Esta conclusão é reforçada sob o ponto de vista social porque, mesmo sem levar em conta os custos das externalidades da erosão, o controle da perda de terra através de manejos agronomicamente mais desenvolvidos se apresenta mais rentável para os empresários individuais. Também, de modo geral, pode-se dizer que os planos de exploração do binômio trigo-soja deveriam substituir da segunda à quinta safra consecutiva de trigo por uma adubação verde precedida de subsolagem.

Embora os resultados alcançados no trabalho sugiram a existência de forças de mercado capazes de gerar uma tendência econômica no sentido de generalizar o uso de sistemas de exploração agrícola mais conservacionistas, a taxa de adoção de tais sistemas pode ser consideravelmente modificada pela ação - ou inação - governamental. Linhas de crédito específicas para fomentar emprego de adubação verde e subsolagem, paralelamente a um esforço concentrado dos serviços de extensão, podem acelerar consideravelmente a adoção de técnicas conservacionistas no meio rural. É necessário que tal política seja definida e consistentemente adotada por um período extenso de tempo de modo que os fornecedores de insumos, tais como sementes de adubo verde e maquinaria especializada, possam ajustar a oferta às novas necessidades do setor primário. Se tal ajuste não ocorrer, um aumento no preço real destes insumos poderá anular os ganhos que, sob as condições de preço adotadas no estudo, deverão se dirigir principalmente aos agricultores.

Outro aspecto importante a considerar é que os sistemas de cultivo mínimo e de plantio direto exigem um maior controle de inços. É necessário que a pesquisa agrícola desenvolva sistemas eficientes de capina mecânica capazes de substituir, com vantagem econômica, o emprego de herbicidas altamente poluentes que tenderão a ter o seu uso aumentado paralelamente com a disseminação do cultivo mínimo e do plantio direto. É preciso criar opções para o agricultor de modo a aumentar a elasticidade da procura de herbicidas importados. Com isto se evitará a subtração de benefícios do agricultor brasileiro pelos grupos internacionais que produzem aquela espécie de insumo.

Por fim, deve-se salientar a necessidade de estimular a pesquisa agrônoma na área de controle da erosão e de desenvolvimento de meios ecologicamente mais adequados para a produção de alimentos e fibras. Este é um tipo de pesquisa agrônoma que requer décadas de investigação para a obtenção de resultados altamente generalizáveis. Seus retornos sociais, todavia, justificam a necessidade de maior investimento governamental neste particular.

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Recursos Naturais da Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul e ao Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

REFERÊNCIAS

- ABRÃO, P.O.R. et al. Efeito de sistemas de preparo do solo sobre as características de um latossolo roxo distrófico. *Revista Brasileira de Ciências de Solo*, 3:169-72, 1979.
- BARLOWE, R. *Land resource economics*. 2a ed. New York, Prentice Hall, 1972.
- BENNETT, H. Rates of erosion and runoff. In: *Elements of soil conservation*. New York, McGraw-Hill, 1955. Cap. 5.
- BUNCE, A.C. *Economics of soil conservation*. Iowa, Iowa State University Press, 1942.
- BURT, O.R. More sophisticated tools for less important problems; the history of range improvement research: reply. *American Journal of Agricultural Economics*, 54(1):134-5, 1972.
- BURT, O.R. Farm level economics of soil conservation in the Palouse Area of the Northwest. *American Journal of Agricultural Economics*, 63(1):83-92, 1981.
- CASSEL, D.K. Subsoiling, *Crops and Soils Magazine*, 32:1, out., 1979. Citado por J.C. Taylor & L.F. Beltrama. In: *Lavoura Arrozeira*, 321:34-44, mai./jun., 1980.
- CASSOL, E. et al. Perdas por erosão sob chuva simulada na sucessão de culturas de soja e trigo em diferentes sistemas de manejo de solo - I - Solo São Jerônimo. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DE SOLO, 1, Recife, 1980. Anais . . .
- CINTRA, F.D.L. *Caracterização do impedimento mecânico em latossolos do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, UFRGS, 1980. (Tese de MS em Agronomia).
- CIRIACY-WANTRUP, S.V. *Resource conservation, economics and policies*. Berkeley, University of California Exp. Station, 1963.
- DILLON, J.L. Agricultura, pesquisa e probabilidade. In: *Seminário sobre Análise de Sistemas em Agricultura*. Brasília, D.F., IICA/EMBRAPA, 1975.
- DIXON, B.L. & HOWITT, R.E. *Uncertainty and the intertemporal management of natural resources: an empirical application to the Stanislaus National Forest*. Berkeley, University of California, 1979. (Giannini Foundation Monograph, n^o 38).
- DUMSDAY, R.G. Evaluation of soil conservation policies by systems analysis. In: DENT, J.B. & ANDERSON, J.R. *Systems analysis in agricultural management*. New York, John Wiley and Sons, 1971. p.152-72.
- ELTZ, F.L.F. et al. Perdas por erosão em diferentes manejos de solo e coberturas vegetais em solo laterítico bruno-amarelado distrófico sob chuva natural. In: *Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação de Solo, Recife, 1980*.
- FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION. *La erosión del suelo por el agua; algunas medidas para combatirlas en las tierras de cultivo*. Roma, FAO, 1967 (Cuadernos de Fomento Agropecuario, n^o 8).
- GIANLUPPI, D.; SCOPEL, I. & MIELNICZUCK, J. Alguns prejuízos de erosão de solo no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 17, Manaus, 1979. Anais . . .
- HILDRETH, C.G. Discrete models with qualitative restrictions. In: HEADY & BLACKMORE, BAUM, eds. *Methodological procedures in the economic analysis of fertilizer use data*. Iowa, The Iowa College Press, 1956.
- LANZER, E.A. & PARIS, Q. A especificação de modelos para análise econômica do uso de fertilizantes: um caso encerrado? *Revista de Economia Rural*, 18(1):24-36, jan., 1980.

- LANZER, E.A. & PARIS, Q. A new analytical framework for the fertilization problem. **American Journal of Agricultural Economics**, 63(1):93-103, feb., 1981
- NELSON, M.C. **An economic analysis of the long run productivity impacts of soil erosion control**. Urbana, University of Illinois at Urbana, 1978. (Ph.D. dissertation).
- PERRIN, R.K. The value of information and the value of theoretical models in crop response research. **American Journal of Agricultural Economics**, 58(1):54-61, feb., 1976.
- SARAIVA, D.F. **Perdas por erosão sob precipitação natural em diferentes manejos de solo e cobertura vegetal - Solo da Unidade São Jerônimo**. Porto Alegre, UFRGS, 1978. (Tese de MS em Agronomia).
- SMITH, R.M. & STANLEY, W.L. Determining the range tolerable erosion. **Soil Science**, 100(6):414-24, 1965.