

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL

PERDAS DE NUTRIENTES E MATÉRIA ORGÂNICA POR  
EROSÃO EM ENTRESSULCOS EM ARGISSOLO COM  
RESÍDUOS DE CANA-DE-AÇÚCAR.

**Nilton Carlos de Souza Romero**  
Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL  
Novembro de 2009

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL

PERDAS DE NUTRIENTES E MATÉRIA ORGÂNICA POR  
EROSÃO EM ENTRESSULCOS EM ARGISSOLO COM  
RESÍDUOS DE CANA-DE-AÇÚCAR.

**Nilton Carlos de Souza Romero**

Orientador: Prof. Dr. Marcílio Vieira Martins Filho

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Novembro de 2009

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**NILTON CARLOS DE SOUZA ROMERO** – Nascido em São Paulo – SP em 10 de setembro de 1982, graduou-se Engenheiro Agrônomo em dezembro de 2006 na Faculdade de Engenharia/Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Ilha Solteira, Ilha Solteira – SP. Durante o curso de graduação realizou diversos estágios, participou de diversos congressos de iniciação científica, bolsista por dois anos, dentre outras atividades realizadas. Em agosto de 2007 iniciou o Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Jaboticabal. Durante o mestrado foi bolsista CAPES por dezoito meses. Realizou diversas atividades como, participação em simpósios e foi avaliador de trabalho em congresso de iniciação científica.

Aos meus pais Isaar e Dulce, e a minha noiva Talita,

**DEDICO**

À minha avó Noemi e aos meus avós, Thomas, Delfina e Onésimo (*in memoriam*),

**OFEREÇO**

A Deus  
**AGRADEÇO SEMPRE**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, em primeiro lugar, agradeço a tudo na vida.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Jaboticabal, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Ciência do Solo, pela oportunidade oferecida.

À CAPES, pela concessão da bolsa durante dezoito meses do mestrado, sem a qual seria impossível a realização do projeto e do curso de mestrado.

Ao Professor Dr. Marcílio Vieira Martins Filho pela compreensão, paciência, incentivo, empenho pessoal, orientação e, sobretudo amizade, que tanto contribuíram para a minha formação profissional.

A todos os professores da Pós-graduação que contribuíram para a minha formação profissional.

A todos meus familiares, em especial meus pais, Isaar e Dulce, pelo exemplo de luta, carinho e apoio nesta caminhada.

A minha noiva Talita, por todo carinho, compreensão, paciência, apoio e companheirismo em todos os momentos.

As minhas tias, em especial à Mainan e Marlei, pelas muitas palavras de incentivo e por todo carinho.

Aos amigos Valdeci e Gisele, pelos ensinamentos e favores oferecidos durante esses anos.

A todos os amigos, colegas e companheiros de pesquisa, que estando presentes ou não, sempre torceram pelo meu sucesso e sempre me incentivaram e também, pela amizade durante essa caminhada.

Às funcionárias da seção de Pós-Graduação e aos funcionários da Biblioteca da FCAV, pelo atendimento, auxílio e simpatia.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

**MUITO OBRIGADO!!!**

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS .....	vii
RESUMO.....	viii
SUMMARY.....	ix
CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1.1. Processo de erosão do solo e o contexto atual de produção de cana-	
1.2. de-açúcar.....	1
1.3. Objetivos.....	4
1.4. Hipótese.....	4
1.5. Revisão de literatura.....	4
1.6. Referências.....	13
CAPÍTULO 2 - PERDAS DE NUTRIENTES E MATÉRIA ORGÂNICA POR	
EROSÃO EM ENTRESSULCOS EM ARGISSOLO COM RESÍDUOS DE	
CANA-DE-AÇÚCAR.....	20
Resumo.....	20
2.1. Introdução.....	21
2.2. Material e Métodos .....	23
2.3. Resultados e Discussão.....	25
2.4. Conclusões .....	29
2.5. Referências.....	30

**LISTA DE TABELAS**

	Página
Tabela 1. Valores médios dos atributos químicos do solo na profundidade 0,00 - 0,20m.....	23
Tabela 2. Taxa de erosão em entressulcos, concentração média de matéria orgânica (MO) e nutrientes no sedimento erodido em função da cobertura do solo.....	..26
Tabela 3. Taxa de enriquecimento do sedimento (ER) por matéria orgânica (MO) e nutrientes.....	..27

## **PERDAS DE NUTRIENTES E MATÉRIA ORGÂNICA POR EROÇÃO EM ENTRESSULCOS EM ARGISSOLO COM RESÍDUOS DE CANA-DE-AÇÚCAR.**

**RESUMO** – As reduções das perdas de matéria orgânica e nutrientes por erosão hídrica do solo tornam-se fundamentais, no contexto atual de sistemas de produção sustentáveis, para o aumento do seqüestro de carbono no solo e, conseqüentemente, diminuir as emissões de gases que contribuem para o efeito estufa como o CO<sub>2</sub>. Deste modo, o objetivo do presente trabalho foi o de quantificar as concentrações de matéria orgânica (MO) e nutrientes (P, K, Ca e Mg) e, calcular, a taxa de enriquecimento desses elementos no sedimento erodido, em área cultivada com a cultura de cana-de-açúcar, em níveis de cobertura do solo de 0% (CS<sub>0</sub>), 50% (CS<sub>50</sub>) e 100% (CS<sub>100</sub>). As parcelas experimentais foram submetidas à ação de uma chuva simulada com intensidade de 60 mm h<sup>-1</sup>, durante 65 minutos. Foram feitas análises do sedimento erodido e determinou-se, as taxas de enriquecimento do mesmo em MO e nutrientes, valores estes que tiveram as seguintes variações: MO (2,9 a 0,5), P (1,5 a 0,2), K (2,4 a 0,8), Ca (3,5 a 0,5), Mg (3,3 a 0,3) sendo cobertura do solo 0% a 100% respectivamente, mostrando que a cobertura do solo de 100% é eficiente, apresentando todos os valores da taxa de enriquecimento (ER) abaixo de 0,9 e com diferença significativa para com as outras coberturas, 0% e 50%, com exceção do potássio. A cobertura do solo de 100%, em relação a 0%, reduziu a concentração de MO, no sedimento erodido, em 81,9%, a concentração de fósforo em 84,2%, a de potássio em 66,7%, a de cálcio em 84,5%, e reduziu em 89,8% a de magnésio.

**PALAVRAS-CHAVE:** cobertura do solo, sedimento erodido, taxa de enriquecimento.



## **NUTRIENTS AND ORGANIC MATTER LOSSES FOR INTERRILL EROSION OF AN ALFISOL WITH SUGARCANE CROP RESIDUE**

**SUMMARY:** Reductions in losses of organic matter and nutrients by water erosion become crucial in the current context of sustainable production systems to increase carbon sequestration in soil and thus reduce greenhouse gas emissions that contribute to the greenhouse gases like CO<sub>2</sub>. Thus the present work had a goal to quantify the concentration of organic material (MO) and nutrients (P,K,Ca, and Mg) into a erosive sediments and also make an calculate according to increasing and enrichment soil's rates, if there are enrichment of MO and nutrients in a cultivated area of sugar-cane plantation provided with mechanical crop the next levels of soil's coverage, 0% (CS<sub>0</sub>), 50% (CS<sub>50</sub>) and 100% (CS<sub>100</sub>). The experimental pieces were submitted into a simulated raining with intensity of 60 mm h<sup>-1</sup>, during 65 minutes. After that, the analysis of the sediments, determinated the following variation: MO (2.9 to 0.5), P (1.5 to 0.2), K (2.4 to 0.8), Ca (3.5 to 0.5), Mg (3.3 to 0.3), being the soil's coverage 0% (CS<sub>0</sub>) to 100% (CS<sub>100</sub>), showing that the soil's coverage of 100% was efficient, presenting all values of enrichment rates (ER) below 0.9 with significant difference comparing to the others coverage, 0% (CS<sub>0</sub>) and 50% (CS<sub>50</sub>), except for potassium. The soil's coverage of 100%, on soil's coverage of 0%, have reduced the concentration of MO, in the erosive sediments, in 81.9%, the concentration of phosphorus in 84.2%, the concentration of potassium in 66.7%, the concentration of calcium in 84.5%, And reduced in 89.8% the magnesium concentration.

**KEY-WORDS:** enrichment rates, eroded sediment, soil cover.

## **CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS**

### **1.1. PROCESSO DE EROSÃO DO SOLO E O CONTEXTO ATUAL DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR.**

Muitos estudos têm relatado os efeitos detrimenais oriundos da erosão do solo na produtividade agrícola (LOWERY et al., 1995; SCHUMACHER et al., 1999; BAKKER et al., 2004). A erosão pode reduzir, segundo BAKKER et al. (2004), a produtividade na proporção de cerca de 4 % por cada 10 cm de solo perdido.

Uma substancial translocação de solo pode ocorrer em áreas cultivadas como resultado da interação de processos erosivos: erosão pelo preparo ou cultivo, hídrica e eólica (GOVERS et al., 1994; SCHUMACHER et al., 1999). As perdas de solo, por algum desses processos erosivos, resulta em um material modificado, em relação às suas propriedades originais, o que reduz a produção das culturas (SCHUMACHER et al., 1999). O efeito da translocação do solo como uma combinação dos processos erosivos aumenta a variabilidade espacial das produções agrícolas, assim como a do declínio global da produtividade do solo (SCHUMACHER et al., 1999).

As reduções na produtividade dos solos ocorrem, embora isto dependa do contraste entre propriedades do topo e do subsolo em termos de textura, fertilidade e estágio do processo erosivo (BAKKER et al., 2004).

A remoção das substâncias químicas em solução com a enxurrada, em áreas agrícolas, tem potencial para ser uma significativa fonte de perdas destas substâncias em sistemas de cultivo como o plantio direto e com cobertura morta (THOMPSON et al., 2001). Substâncias químicas podem ser transportadas pelo fluxo superficial em solução e/ou adsorvidas nos sedimentos suspensos no escoamento (WALTON et al., 2000). A relativa contribuição de cada um destes mecanismos de transporte na perda total de substâncias químicas com o fluxo superficial ainda não está bem esclarecida (BARISAS et al., 1978; FRINK, 1991; SOILEAU et al., 1994).

Muitos estudos têm demonstrado que sistemas de conservação do solo (plantio direto, cultivo mínimo, etc) diminuem a erosão (HERNANI et al., 1999; HANSEN et al., 2000; BERTOL et al., 2004) e as perdas de substâncias químicas adsorvidas ao sedimento (HERNANI et al., 1999; WALTON, 2000). Contudo, as perdas de produtos químicos em solução poderão ser consideravelmente elevadas, porque em sistemas conservacionistas como os mencionados há grande utilização de agrotóxicos e herbicidas, os quais são aplicados e levemente incorporados na superfície do solo.

Com a introdução da colheita mecanizada na cultura de cana-de-açúcar, algumas áreas canavieiras têm potencial para ser a principal fonte de perdas de produtos químicos transportados em solução no fluxo de enxurrada. Tal afirmação justifica-se pelos seguintes motivos: 1) neste sistema não há despalha pelo fogo, as perdas de solo são reduzidas devido a um menor número de operações de cultivo e, ainda, pela proteção oferecida pela camada de resíduos deixada sobre a superfície após a colheita da cana; e 2) as aplicações de fertilizantes e corretivos ocorrem pela distribuição destes produtos sobre a superfície do solo.

Devido ao grande valor econômico da cultura da cana-de-açúcar, esta assume posição de destaque no Brasil, tal que o país é o maior produtor desta cultura no mundo, totalizando 645,3 milhões de toneladas. Esta produção representa um aumento de 17,4% em comparação ao ano anterior. Houve ainda expansão de 16,5% na área colhida, com um acréscimo de aproximadamente 1 milhão de hectares, ou seja, uma área cultivada total de aproximadamente 7,2 milhões, conforme informações disponibilizadas pelo IBGE (2009).

O aumento da produção de cana-de-açúcar está relacionado à crescente demanda por etanol, principalmente no mercado interno, impulsionada pelo crescimento nas vendas de carros movidos a biocombustíveis (IBGE, 2009). Resultados demonstram, ainda, que São Paulo continua sendo o maior produtor de cana-de-açúcar, respondendo por 59,8% da produção brasileira e apresentando um crescimento de 17,3% em relação a 2007 (IBGE, 2009). Também foi verificado, segundo IBGE (2009), aumento da produção no Paraná (11,7%) e em Minas Gerais (23,7%). Entre os municípios, Morro Agudo, no norte de São Paulo, também manteve a liderança, com 10,3 milhões de toneladas (1,6% da produção nacional).

É preciso considerar o fato de que um avanço da área de produção de cana-de-açúcar, estimulado pela produção de álcool e açúcar, pode provocar degradações em regiões mais sensíveis ambientalmente (TORQUATO et al., 2009). LICCIOTI (2004) demonstrou tal preocupação, sob o ponto de vista da conservação do solo e da água, com a expansão das áreas de produção de cana-de-açúcar no interior paulista, principalmente em solos susceptíveis à erosão como os Argissolos. Na safra 2008/09 os canaviais paulistas ocupavam cerca de 24% da área de uso agrícola do Estado.

O Estado de São Paulo, principal produtor de cana-de-açúcar, apresenta desde 2002 lei fixando prazos para erradicar a queima do canavial, como parte do processo de colheita da cana-de-açúcar, por motivos ambientais e de saúde pública (Decreto Estadual nº 42.056). Com isto o processo de colheita da cana-de-açúcar deverá ser o mecanizado e com a manutenção do palhicho sobre a superfície do solo. Tal sistema de manejo é importante principalmente em solos susceptíveis à erosão, a exemplo dos Argissolos que ocorrem em extensas áreas do Estado de São Paulo. Com a manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo, estes poderão interceptar as gotas de chuva e dissipar a sua energia, evitando a desagregação das partículas e a formação do selamento superficial e, conseqüentemente, reduzir ou mitigar os efeitos adversos da erosão.

Entretanto, 50,9% da área colhida nos canaviais paulistas produz cana queimada, ou seja, aquela que utiliza a colheita manual. Neste sistema de produção há eliminação do palhicho pelo fogo, o que implica a redução da cobertura vegetal oferecida ao solo. O aproveitamento do palhicho para a produção de energia elétrica é, ainda, uma aplicação não-consolidada comercialmente, para a qual se deverá considerar aspectos até então não abordados quanto a conservação do solo e da água. Trabalhos têm demonstrado haver preocupação quanto ao efeito pronunciado no processo de erosão do solo e nas perdas de nutrientes associadas a este fenômeno, em função da percentagem de cobertura do solo por palha de cana-de-açúcar (LICCIOTI, 2004; SOUZA et al., 2004; IZIDORIO et al., 2005; MARTINS FILHO, 2009).

Em função do exposto, as relações entre processos erosivos, percentagem de cobertura sobre a superfície do solo e as perdas de nutrientes por erosão hídrica, em área com colheita mecanizada da cana-de-açúcar são merecedoras de análise.

## 1.2. OBJETIVOS

Considerando-se o exposto, o objetivo do presente trabalho foi o de quantificar as concentrações de matéria orgânica (MO) e nutrientes (P, K, Ca e Mg) e, calcular a taxa de enriquecimento desses elementos no sedimento erodido, em área cultivada com a cultura de cana-de-açúcar, em níveis de cobertura do solo de 0% (CS<sub>0</sub>), 50% (CS<sub>50</sub>) e 100% (CS<sub>100</sub>).

## 1.3. HIPÓTESE

Sistemas de conservação com resíduos sobre a superfície do solo diminuem a erosão e as perdas de substâncias químicas adsorvidas ao sedimento erodido.

## 1.4. REVISÃO DE LITERATURA

O fenômeno de erosão em entressulcos é aquele, segundo LATTANZI et al. (1974) e FOSTER (1982), decorrente da atuação de processos como o impacto das gotas de chuva e o transporte por um fino fluxo superficial. A erosão entressulcos é um fenômeno dependente de alguns fatores como: resistência do solo ao impacto das gotas de água da chuva, efeitos do fluxo superficial, mudanças no processo de infiltração de água, rugosidade e resistência ao movimento e transporte das partículas (MARTINS FILHO, 1999; ALBUQUERQUE et al., 2002; CASSOL et al., 2004; BEZERRA & CANTALICE, 2006).

A separação do processo de erosão em entressulcos e em sulcos pode ajudar a identificar fontes potenciais de sedimentos, o que é extremamente importante na modelagem da distribuição de produtos químicos nas áreas agrícolas, especialmente daqueles que são fortemente adsorvidos pelas partículas do solo (MARTINS FILHO, 2007). Em áreas ou terras agricultáveis, a erosão do solo caracteriza-se como a principal fonte difusa ou não-pontual de poluição. No fluxo de enxurrada, poderá haver

elevada concentração de matéria orgânica e nutrientes essenciais às principais plantas cultivadas (NEARING et al., 2001). Segundo IZIDORIO et al. (2005), o sedimento das áreas em entressulcos pode carrear altas concentrações de contaminantes, quando produtos químicos são aplicados em superfície. Em contraste, o sedimento dos sulcos pode conter mais contaminantes quando os produtos químicos são aplicados de forma localizada e concentrados.

Sistemas conservacionistas, como o cultivo mínimo e o plantio direto, podem reduzir substancialmente as perdas de solo por erosão, se comparado com os sistemas de preparo convencional (LAFLEN et al., 1978; GHIDEY & ALBERTS, 1997; COGO et al., 2003). A colheita mecanizada da cana-de-açúcar, a denominada cana crua, caracterizada pela não-despalha, com o uso do fogo na pré-colheita, torna-se, nesse contexto, um sistema interessante visto que há conservação do solo e da água. Segundo WALTON et al., (2000), no sistema de cana crua, a erosão do solo é reduzida porque há um menor número de operações de preparo e, também, pela presença de uma camada de resíduos que é deixada sobre a superfície do solo após a colheita.

Os resíduos vegetais, quando deixados ou mantidos em contato direto com a superfície do solo, são extremamente eficientes em controlar o processo de erosão em entressulcos (BRAIDA & CASSOL, 1999; MARTINS FILHO et al., 2004; CASSOL et al., 2004; BEZERRA & CANTALICE, 2006, MARTINS FILHO, 2007).

A relação entre taxa de desagregação e a presença de cobertura vegetal, no processo de erosão em entressulcos, pode ser modelada como, BRADFORD & FOSTER (1996)

$$D_i = K_i R I S_f C_i \quad (1)$$

em que,  $D_i$  é a taxa de erosão em entressulcos ( $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ );  $R$  é a taxa de enxurrada ( $\text{m s}^{-1}$ );  $I$  é a intensidade de chuva ( $\text{m s}^{-1}$ );  $K_i$  é a erodibilidade em entressulcos ( $\text{kg s m}^{-4}$ );  $S_f$  é o fator declividade e,  $C_i$  é o coeficiente de cobertura do solo.

O coeficiente  $C_i$  é o produto de uma combinação de subfatores tal que (FOSTER, 1982):

$$C_i = C_{iI} C_{iII} C_{iIII} \quad (2)$$

em que,  $C_{ii}$  é o subfator relativo à cobertura vegetal oferecida pelo dossel ou copa da planta;  $C_{iii}$  é o subfator relativo à cobertura por resíduos vegetais em contato direto com a superfície do solo e,  $C_{iiii}$  é o subfator que expressa o efeito da incorporação de resíduos vegetais ao solo em função do seu uso e manejo.

Segundo MARTINS FILHO et al. (2004), quando a cobertura do solo é constituída, exclusivamente, por resíduos em contato com a superfície, o fator cobertura e manejo ( $C_i$ ) do modelo (1) iguala-se ao subfator  $C_{iii}$  (efeito tipo II). Nessa condição, os subfatores  $C_{ii}$  e  $C_{iiii}$  assumem valores unitários.

Em seus estudos, FOSTER (1982) propôs estimar o efeito tipo II, a partir de parâmetros relativos à porcentagem de solo coberto por resíduos e das características hidráulicas do fluxo superficial, como:

$$C_{iii} = \zeta e^{\{0,21 [(Y_c/Y_d) - 1]\} 1,18} \quad (3)$$

em que,  $C_{iii}$  é o subfator cobertura do solo para resíduos em contato com a superfície;  $\zeta$  é a fração da superfície exposta ao impacto direto das gotas da chuva, e  $Y_c/Y_d$  é a razão da altura da lâmina da água na superfície com cobertura ( $Y_c$ ) e sem cobertura ( $Y_d$ ).

Outra expressão, porém, mais simples que a equação (3), foi proposta por LAFLEN et al. (1985) para estimar  $C_{iii}$  como:

$$C_{iii} = e^{-2,5 CS/100} \quad (4)$$

em que,  $C_{iii}$  é o subfator cobertura do solo para resíduos em contato com a superfície, e CS é a porcentagem da superfície entressulcos coberta por resíduos.

O dossel é, segundo Foster et al. (2003), a cobertura vegetal viva ou morta acima da superfície do solo, que intercepta o impacto das gotas d'água da chuva, mas que não está em contato direto com a enxurrada.

É conhecido que o dossel intercepta algumas das gotas d'água da chuva e previne a erosão (FOSTER et al., 2003; HUANG et al., 2005). Entretanto algumas gotas passam ao longo do dossel sem qualquer interferência, segundo MARTINS FILHO (2007), essas gotas podem vir a desagregar o solo onde esse esteja desprotegido. Duas variáveis relativas ao dossel são utilizadas para descrever o seu efeito nas perdas de solo por erosão (Foster et al., 2003): (1) a porcentagem da superfície coberta pela cultura; e (2) a sua altura efetiva de queda. A altura efetiva de queda ( $h_e$ ) é determinada

como sendo igual a 1/3 da diferença entre a altura do topo ( $h_t$ ) e a altura da base ( $h_b$ ) somada a altura da base, cujo referencial para estabelecer  $h_t$  e  $h_b$  é a superfície do solo (MARTINS FILHO, 2007).

A manutenção de resíduos vegetais em contato direto com a superfície do solo é uma das melhores e mais efetivas medidas de controle da erosão em entressulcos. Os resíduos culturais uniformemente distribuídos sobre a superfície significativamente reduzem a erosão. A presença de resíduos na superfície do solo aumenta a rugosidade hidráulica dessa superfície, o que reduz a velocidade e a profundidade do fluxo de enxurrada (FOSTER, 1982; MARTINS FILHO, 2007). Esse tipo de cobertura do solo reduz a erosão em entressulcos devido a três efeitos (BRAIDA & CASSOL, 1999; MCCARTHY, 2006): (a) os resíduos na superfície do solo previnem o processo de desagregação e o salpico das partículas do solo devido ao impacto das gotas d'água da chuva; (b) reduzindo ou limitando a capacidade de transporte das partículas desagregadas pelo fluxo de enxurrada ao longo do declive; (c) aumentando a profundidade do fluxo, o que pode implicar na dissipação da energia do impacto das gotas de água da chuva e, na redução da taxa de desagregação.

O potencial de controle da erosão pelos resíduos vegetais é baseado na percentagem de cobertura oferecida ao solo (MARTINS FILHO, 2007). Na literatura, há relatos de que 30% de cobertura oferecida ao solo é o limite mínimo para um controle da erosão (COGO et al., 1984; LOPES et al., 1987). É evidente que dependendo das condições locais um maior percentual de cobertura será necessário para um efetivo controle da erosão.

Trabalhos de COGO (1981), BRAIDA & CASSOL (1999), MARTINS FILHO et al. (2004) têm demonstrado que o efeito dos resíduos vegetais sobre a erosão é dependente do tipo, quantidade, manejo, percentagem de cobertura e estágio de decomposição.

Para uma mesma quantidade, há diferenças nas percentagens de cobertura em função do tipo de resíduo e do modo de aplicação dos mesmos. Para uma mesma quantidade de resíduos, LOPES (1984) observou que a percentagem de cobertura oferecida ao solo apresentou a seguinte ordem: trigo > milho > soja. Diferenças na eficácia de controle da erosão pelos resíduos de trigo, milho e soja têm sido



relacionadas às características dos resíduos vegetais. Dentre essas características incluem-se: tamanho, forma e densidade dos fragmentos de palha que formam os resíduos.

Segundo BRAIDA & CASSOL (1999) não existe diferença, quanto à eficácia, no controle da erosão em entressulcos, entre a palha de trigo e a de milho. Eles observaram nas parcelas com 100% de cobertura, que a erosão em entressulcos foi reduzida em 92% em relação ao solo descoberto.

Segundo CASSOL et al. (2004) a hidráulica do escoamento em entressulcos foi afetada pela presença de resíduos vegetais na superfície em um Argissolo Vermelho distrófico típico, implicando numa redução da velocidade e no aumento da resistência e da altura da lâmina do escoamento superficial. Os mesmos autores verificaram, ainda, que a interposição física dos resíduos ao escoamento reduz as taxas de desagregação por erosão em entressulcos.

Recentemente, BEZERRA & CANTALICE (2006) concluíram que os resíduos da cana-de-açúcar em contato direto com o solo propiciaram um aumento da rugosidade hidráulica, enquanto o dossel, pela interceptação da chuva, retardou o início do escoamento superficial, com o subsequente aumento das taxas de infiltração de água no solo e redução das taxas de erosão em entressulcos.

Em sistemas de manejo conservacionistas, nos quais a aplicação de fertilizantes é em superfície, ocorre acúmulo de fósforo nos primeiros centímetros de profundidade do solo devido a mínima mobilização do solo e da ciclagem dos resíduos da superfície (MUZILLI, 1983). O conteúdo de matéria orgânica, a umidade e a mineralogia são alguns dos fatores que afetam a disponibilidade de fósforo no solo. Solos com altos teores de argila e óxidos de ferro e alumínio, tendem a fixar mais o fósforo do que solos arenosos. Daí, segundo SANTOS (2000), existir a necessidade de adicionar mais fósforo para elevar o teor desse elemento em solos argilosos do que em solos arenosos.

O escoamento superficial é muito seletivo em relação ao transporte de partículas. Isso ocorre em função de variáveis hidráulicas e também em função das características específicas das partículas transportadas. A quantidade de fósforo transportado no escoamento superficial pode tornar-se concentrada, devido a seletividade natural, pois

o fósforo está associado principalmente com partículas pequenas da fração mineral (argila) e matéria orgânica, as quais são preferencialmente transportadas pelo escoamento superficial (FONSECA, 2006).

Como grande parte do fósforo se encontra associada com a superfície de partículas do solo, a erosão é provavelmente, um importante mecanismo de transporte de fósforo de áreas agrícolas para ambientes aquáticos (FONSECA, 2006).

O potássio do solo é encontrado nas formas cristalinas, fixadas, trocável, solúvel e integradora da matéria orgânica. Na forma cristalina, ele está presente nos minerais primários, como feldspatos, micas e argilas micácias. Na forma fixada, ele está imobilizado entre as lâminas de argilas do tipo 2:1, como vermiculita e montmorilonita. Na forma trocável, ele está adsorvido aos colóides do solo. Na forma solúvel, ele está presente na solução do solo. Por sua vez, o potássio integrador da matéria orgânica resulta das reações de mineralização da mesma (MELLO et al., 2003). MEDEIROS (1995) associa a distribuição do potássio no solo a algumas de suas características, como drenagem interna, textura e teor de matéria orgânica. O autor menciona ainda que, em solos de textura média ou, mesmo argilosa, com boa drenagem, há tendência de lixiviação do potássio das camadas superficiais para as camadas mais profundas no perfil do solo.

Assim como acontece com o fósforo, a perda de potássio do solo por erosão hídrica está mais associada ao sedimento, sendo sua concentração, na água do escoamento superficial ou enxurrada, baixa (SCHWARZ, 1997 e COGO et al., 2003).

Nos estudos realizados por BERTOL et al. (2004) relataram maiores concentrações de potássio no sedimento da erosão do que na água do escoamento superficial, em virtude da sua alta concentração no solo, decorrente da aplicação de fertilizantes. A lavagem do potássio do tecido das plantas pela água da chuva também contribui para sua maior concentração na camada mais superficial do solo (VIEIRA et al., 1978; BARTZ, 2009).

O cálcio do solo pode ser encontrado em várias formas no solo, como componente de minerais primários, como por exemplo a augita, a anortita, o epidoto e a apatita; na forma de sais, como o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e o sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4$ ); adsorvido à matéria orgânica, nas formas de quelatos e complexos, e livre na

solução do solo, na forma iônica, ou então, ligado aos colóides do solo, na forma trocável, sendo que uma das principais fontes de cálcio no solo é a matéria orgânica (GRASSI FILHO, 2009). De acordo com REZENDE et al. (2003), as rochas calcárias constituem a fonte primária de cálcio na natureza e, sua intemperização se dá pela ação das chuvas, visto que a dissolução do gás carbônico atmosférico na água faz com que as chuvas adquiram caráter ácido.

O magnésio do solo se encontra associado, a minerais primários, como o piroxênio, as olivinas, a anfibólio, a turmalina, a muscovita e a biotita; a minerais secundários como a vermiculita, a montmorilonita, a illita e a clorita; a carbonatos e sulfatos; na forma trocável, ligado aos colóides, e na forma iônica, na solução do solo (GRASSI FILHO, 2009).

Segundo MEDEIROS (1995), a distribuição do cálcio e do magnésio, em solos cultivados por meio de preparos que o mobilizam pouco, resulta em acumulação nas suas camadas superiores, motivada pela tendência de reciclagem dos resíduos culturais presentes em tais camadas. Sob a técnica de semeadura direta/plantio direto, entretanto, devido à precedência da calagem, a distribuição do cálcio e do magnésio no solo vai depender do modo como a calagem é feita, bem como do intervalo de tempo entre duas calagens sucessivas. A calagem afeta a disponibilidade do cálcio e do magnésio para as plantas, pois, à medida em que o calcário se dissolve no solo, há liberação dos íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , que são prontamente adsorvidos pelas cargas negativas da matéria orgânica, das argilas e dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, aumentando a quantidade dos mesmos, tanto na fase sólida, quanto na solução do solo (BISSANI et al., 2004).

O cálcio e o magnésio do solo são removidos pelo mesmo processo durante a erosão hídrica, principalmente, adsorvidos às suas partículas sólidas (SCHWARZ, 1997; COGO et al., 2003; MARTINS FILHO et al., 2009). Comparativamente, em solos bem drenados, espera-se ocorrer maior perda de  $\text{Mg}^{2+}$  do que de  $\text{Ca}^{2+}$  pelo processo de erosão hídrica, o que RAIJ (1991) explicou ser uma consequência da maior energia de ligação do  $\text{Ca}^{2+}$  com os colóides do solo.

Dentre as técnicas de preparo do solo, a mais utilizada no cultivo da cana-de-açúcar, tem sido o denominado plantio convencional, em cujo manejo da cultura da

cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) se utiliza de um vigoroso revolvimento do solo por ocasião do plantio, com o uso de arados, grades pesadas e subsoladores. Neste sistema ao fim do ciclo de produção, é comumente realizada a queima da palhada da cana antes da colheita, o que é prejudicial à manutenção dos níveis de matéria orgânica do solo. O aporte de matéria orgânica é reduzido, e a prática da queima favorece a mineralização da matéria orgânica já existente. Além disso, o solo permanece descoberto por um período relativamente longo, o que acelera o processo erosivo.

Trabalhos realizados por IZIDORIO et al. (2005) demonstraram algumas consequências de tal sistema de cultivo da cana, quando determinaram as perdas de nutrientes por erosão em entressulcos, sulcos e global (entressulcos + sulcos), em área cultivada com cana-de-açúcar submetida à queima da palhada na sua pré-colheita, num Latossolo Vermelho eutroférico (LVef). Análises do sedimento erodido do LVef, segundo IZIDORIO et al. (2005), indicaram altas taxas de enriquecimento: 1,62 (matéria orgânica, MO); 4,30 (P); 1,17 (K); 1,33 (Ca) e 1,24 (Mg) vezes em relação ao solo original.

Existem alguns métodos de prevenção da erosão, ou seja, medidas tomadas com o intuito de evitar, ou ao menos controlar o processo de erosão. Todas as práticas têm como princípio evitar o impacto das gotas da chuva com o solo, evitar o escoamento superficial e propiciar condições para a infiltração de água no solo. Neste sentido, a produção de cana crua com a colheita mecânica tem contribuído para uma maior utilização do sistema de plantio direto. Neste sistema de cultivo a semente (colmo - semente) é colocada em sulcos ou covas, sob a resteva da cultura anterior, sem um preparo prévio do solo, tendo dois pressupostos básicos: a) não movimentação do solo, exceto na linha de semeadura ou cova; b) a manutenção da resteva da cultura anterior sobre a superfície do solo.

Sistemas de conservação do solo, como o plantio direto, podem promover benefícios econômicos e ambientais (PARSCH et al., 2001). MARTINS FILHO et al. (2009) verificou, num Argissolo, que considerável enriquecimento por nutrientes do sedimento erodido ocorre, quando a cobertura por resíduos de cana-de-açúcar sobre a superfície do solo é igual ou inferior a 50%. Deste modo, é possível supor que os

sistemas de produção de cana crua (colheita mecanizada) que deixam apreciável quantidade de resíduos culturais na superfície, tem maior potencial de redução das perdas de solo por erosão hídrica. Isso, segundo BERTOL et al. (2007), é motivado pela ausência de preparo do solo que permite a manutenção de praticamente todos os resíduos culturais em superfície, o que diminui a perda de solo, água e de nutrientes anualmente como P, K, Ca e Mg por erosão hídrica.

### 1.5. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, J. R. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 136-141, 2002.

BAKKER, M.M.; GOVERS,G.; ROUNSEVELL, M.D.A. The crop productivity- erosion relationship: an analysis based on experimental work. **Catena**, Amsterdam, v.57, p.55-76, 2004.

BARISAS, S.G.; BAKER, J.L.; JOHNSON,H.P.; LAFLEN, J.M. Effect of tillage systemson runoff losses of nutrients, a rainfall simulation study. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St Joseph, v.21, p.893-897, 1978.

BARTZ, H. R. **Dinâmica dos nutrientes e adubação em sistemas de produção sob plantio direto**. Disponível em: <<http://www.rau.edu.uy/agro/uepp/siembra6.htm>>. Acesso em: 15 abr. 2009.

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J.C.; CASSOL, P.C.; AMARAL, A.J.; BARBOSA, F.T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.28, p.485-494, 2004.

BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo sob cultivo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 565-573, 2006.

BISSANI, C. A.; BOHNEN, H. Micronutrientes. In: BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Genesis, 2004. v.1, p.221-237.

BRADFORD, J. M.; FOSTER, G. R. Interrill soil erosion and slope steepness factors. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 60, n. 5, p. 909-915, 1996.

BRAIDA, J. A.; CASSOL, E. A. Relações da erosão em entressulcos com o tipo e com a quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 3, p. 711-721, 1999.

CASSOL, E. A.; CANTALICE, J. R. B.; REICHERT, J. M.; MONDARDO, A. Esoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 685-690, 2004.

COGO, N. P. **Effect of residue cover, tillage induce roughness, and slope lenght on erosion and related parameters**. 1981. 346 f. Tese (PhD – Soil Science) - Purdue University, West Lafayette, 1981.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4 , p. 743-753, 2003.

FONSECA, E. O. **Dinâmica do transporte de nutrientes no escoamento superficial em sistemas de manejo do solo**. 2006. 176f. Dissertação (Doutorado)- Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

FOSTER, G. R.; YODER, D. C.; WEESIES, G. A.; McCOOL, D. K.; MCGREGOR, K. C.; BINGNER, R. L. **User's Guide**: revised universal soil loss equation: version 2. Washington: Agricultural Research Service, 2003. 77p.

FOSTER, G.R. Modeling the erosion process. In: HAAN, C. T.; JOHNSON, H. P.; BRAKENSIEK, D. L. **Hydrologic modeling of small watersheds**. Saint Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1982. p. 296-380. (Monograph, 5)

FRINK, C.R. Estimating nutrient exports to estuaries. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.20, p.717-724, 1991.

GHIDEY, F.; ALBERTS, E. E. Runoff and soil losses as affected by corn and soybean tillage systems. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 53, n. 1, p. 64-70, 1997.

GOVERS, G.; VANDAELE, K.; DESMET, P.; BUNTE, K. The role of tillage in soil redistribution on hillslopes. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 45, p.469-478, 1994.

GRASSI FILHO, H. **Fontes de nutrientes**. Disponível em: <<http://www.fca.unesp.br/intranet/arquivos/helio/Macro%20K,%20Ca%20e%20Mg%202006.pdf#search=%22nutrientes%20do%20solo%20%22helio%20grassi%22%22>>.

Acesso em: 15 abr. 2009.

HANSEN, N.C.; GUPTA, S.C.; MONCRIEF, J.F. Snowmelt runoff, sediment, and phosphorous losses under three different tillage systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 57, p. 93-100, 2000.

HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H.; SILVA W.M. Sistema de manejo de solos e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.23, p.145-154, 1999.

HUANG, Y. S.; CHEN, S. S.; LIN, T. P. Continuous monitoring of water loading of trees and canopy rainfall interception using the strain gauge method . **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.311, n. 1-4, p. 1-7, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. **Cana-de-açúcar**. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_visualiza.php?id\\_noticia=1259&id\\_pagina=1](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1259&id_pagina=1)>. Acesso em: 03 nov. 2009.

IZIDORIO, R.; MARTINS FILHO, M.V.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M.; PEREIRA, G. T. Perdas de nutrientes por erosão e sua distribuição espacial em área sob cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.3, p.660-670, 2005.

LAFLEN, J. M.; BAKER, J. L.; HARTWIG, R. O.; BUCHELE, W. F.; JOHNSON, H. P. Soil and water conservation tillage systems. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 21, n. 5, p. 881-885, 1978.

LAFLEN, J. M.; FOSTER, G. R.; ONSTAD; C. Simulation of individual storm soil losses for modeling the impact of soil erosion on cropland productivity. In: EL-SWAFY, S. A.; MOLDENHAUER, W. C. and LO, A. (Ed.). **Soil erosion and conservation**. Ankeny: SCSA, 1985. p. 285-295.

LATTANZI, A. R. D.; MEYER, L. D.; BAUMGARDNER, M. F. Influences of mulch rate and slope steepness on interrill erosion. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 38, n. 6, p. 946-950, 1974.

LICCIOTI, T.T. **Perdas de matéria orgânica e nutrientes por erosão num argissolo com resíduos vegetais sobre a superfície em área cultivada com cana-de-açúcar**.



2004. 40 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.

LOPES, P. C. R. **Relações da erosão com tipos e quantidades de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo**. 1984. 116 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1984.

LOWERY, B.; SWAN, J.; SCHUMACHER, T.; JONES, A. Physical properties of selected soils by erosion class. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.50, p. 306-311, 1995.

MARTINS FILHO, M. V. **Modelagem do processo de erosão entressulcos em latossolos de Jaboticabal – SP**. 1999. 140 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

MARTINS FILHO, M. V.; ENGLER, M. P. C.; IZIDORIO, R.; COTRIN, F. B.; SERRA, E. A.; AMARAL, N. S.; SOUZA, Z. M. Modelos para a estimativa do subfator cobertura-manejo ( $C_{III}$ ) relativo à erosão entressulcos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 603-611, 2004.

MARTINS FILHO, M.V. **Modelagem do processo de erosão e padrão espacial da erodibilidade em entressulcos**. 2007. 121f. Tese (Livre-docência) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

MARTINS FILHO, M.V.; LICCIOTTI, T.T.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SANCHEZ, R.B. Perdas de solo e nutrientes por erosão num argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 8-18, 2009.

McCARTHY, R. J.; PFOST, D. L.; CURRENCE, H. D. **Conservation tillage and residue management to reduce soil erosion**. 2006. Disponível em: <<http://muextension.missouri.edu/explore/agguides/agenging/g01650.htm>>. Acesso em: 25 ago. 2006.

MEDEIROS, G. B. Evolução e estado da arte do cultivo mínimo na agricultura. In: SEMINÁRIO SOBRE CULTIVO MÍNIMO DO SOLO EM FLORESTAS, 1995, Curitiba. **Anais**. Disponível em: <[http://www.ipef.br/publicacoes/seminario\\_cultivo\\_minimo/cap02.pdf#search=%22perdas%20de%20calcio%20e%20magnesio%20do%20solo%22](http://www.ipef.br/publicacoes/seminario_cultivo_minimo/cap02.pdf#search=%22perdas%20de%20calcio%20e%20magnesio%20do%20solo%22)> Acesso em: 15 abr. 2009.

MELLO, E. L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, A. L. V.; CARRAFA, M. R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo háplico submetido à chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.27, p.901-909, 2003.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.7, p. 317-322, 1983.

NEARING, M. A.; NORTON, D. L.; ZHANG, X., Soil erosion and sedimentation. In: RITTER, W. F.; SHIRMOHAMMADI, A. (Ed.). **Agricultural nonpoint source pollution**. Boca Raton: Lewis Publishers, 2001. p.29-58

PARSCH, L.D.; KEISLING, T.C.; SAUER, P.A.; OLIVER, L.R.; CRABTREE, N.S. Economic Analysis of conservation and conventional tillage cropping systems on clayey soil in eastern Arkansas. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, n.6, p.1296-1304, 2001.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres, 1991. 343p.

REZENDE, M. O. O.; AMBROZINI, B.; MESSIAS, R. A.; ROSA, R. S. **Importância da compreensão dos ciclos biogeoquímicos para o desenvolvimento sustentável**. São Carlos, SP: Universidade de São Paulo. 2003. Disponível em:

<<http://www.iqsc.usp.br/iqsc/servidores/docentes/pessoal/mrezende/arquivos/EDUC-AMB-CiclosBiogeoquimicos.pdf#search=%22biofixa%C3%A7%C3%A3o%20do%20N%20ao%20solo%22>>. Acesso em: 15 abr. 2009.

SCHUMACHER, T.E.; LINDSTROM, M.J.; SCHUMACHER, J.A.; LEMME, G.D. Modeling spatial variation in productivity due to tillage and water erosion. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 51, p. 331-339, 1999.

SCHWARZ, R. A. **Perdas por erosão hídrica em diferentes classes de declividade, sistemas de preparo e níveis de fertilidade do solo na Região das Missões – RS**. 1997. 131f. Dissertação (Mestrado Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo)-Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

SOILEAU, J.M.; TOUCHTON, J.T.; YOO, K.H. Sediment nitrogen and phosphorous runoff with conventional and conservation-tillage cotton in a small watershed. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.49, p. 82-89, 1994.

SOUZA, Z.M. de; MARQUES JR, J.; PEREIRA., G.T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica solo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39. n.5, p.491-499, 2004.

THOMPSON, A.L.; GHIDEY, F.; REDMI, T.P. Raindrop energy effects on chemical and sediment transport. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v.44, n.4, p.835-841, 2001.

TORQUATO, S.A.; MARTINS, R.; RAMOS, F.S. Cana-de-açúcar no Estado de São Paulo: eficiência econômica das regiões novas e tradicionais de produção. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.39, n.5, p.92-99, 2009.

VIEIRA, M. J.; COGO, N. P.; CASSOL, E. A. Perdas por erosão sob diferentes sistemas de preparo do solo para a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), em condições de chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, , v.2, n.3, p.209-214, 1978.

WALTON, R. S.; VOLKER, R. E; BRISTOW, K. L.; SMETTEM, K. R. J. Experimental examination of solute transport by surfacerunoff from low-angle slopes. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.233, p.19-36, 2000.

## **CAPÍTULO 2 - PERDAS DE NUTRIENTES E MATÉRIA ORGÂNICA POR EROÇÃO EM ENTRESSULCOS EM ARGISSOLO COM RESÍDUOS DE CANA-DE-AÇÚCAR.**

**RESUMO** – O controle da erosão do solo e redução das perdas de nutrientes, podem significar expressiva perda monetária na forma de adubos aplicados no solo. Entretanto os resíduos vegetais, quando deixados na superfície do solo, reduzem significativamente as perdas de solo e nutrientes. O presente trabalho teve como objetivos quantificar as concentrações de matéria orgânica (MO) e nutrientes (P, K, Ca e Mg) no sedimento erodido e, calcular, de acordo com a taxa de enriquecimento do sedimento, se houve enriquecimento de MO e nutrientes no mesmo, em área cultivada com a cultura de cana-de-açúcar, com os seguintes níveis de cobertura do solo, 0% de cobertura(CS<sub>0</sub>), 50% de cobertura(CS<sub>50</sub>) e 100% de cobertura(CS<sub>100</sub>). A cobertura do solo de 100%, em relação a 0%, reduziu 81,9% a concentração de MO, no sedimento erodido, 84,2% a concentração de fósforo, 66,7% a de potássio, 84,5% a de cálcio e em 89,8% a de magnésio. A cobertura com resíduos de cana-de-açúcar sobre a superfície do solo inferior a 50% não foi suficiente para evitar o enriquecimento do sedimento erodido em matéria orgânica e nutrientes.

**PALAVRAS-CHAVE:** níveis de cobertura, sedimento erodido, taxa de enriquecimento.

### **2.1. INTRODUÇÃO**

Trabalhos para um melhor entendimento das relações erosão e percentagem de palhada na superfície do solo, pós-colheita da cana crua, tornam-se necessários, pelos seguintes motivos: 1) controle da erosão do solo e redução das perdas de nutrientes com tal fenômeno, visto que elas podem significar expressiva perda monetária na forma de adubos e calcário aplicados ao solo; 2) diminuir as emissões de CO<sub>2</sub>, que contribui para o efeito estufa, provenientes da respiração do solo, o que é reduzido quando este se encontra coberto; 3) possibilitar entendimento prévio sobre nível mínimo de palhada

a ser mantido sobre a superfície do solo, para possível aproveitamento do excedente na produção de energia elétrica.

Os resíduos vegetais, quando deixados ou mantidos em contato direto com a superfície do solo, são eficientes em controlar o processo de erosão em entressulcos (MARTINS FILHO et al., 2004; BEZERRA & CANTALICE, 2006; MARTINS FILHO et al., 2009).

A erosão em entressulcos é aquela decorrente da atuação de processos como o impacto das gotas de chuva e o transporte por um fino fluxo superficial (MARTINS FILHO, 2007). Já a erosão em sulcos ocorre em locais onde um fluxo concentrado de água flui em canais efêmeros, os quais podem ter por origem processos erosivos anteriores, as feições da topografia, a rugosidade do solo e as marcas ou traços de equipamentos de cultivo (MARTINS FILHO, 1999).

O processo de erosão em entressulcos, por ser seletivo, preferencialmente transporta os sedimentos mais finos, de menor diâmetro e de baixa densidade, constituídos, sobretudo de colóides minerais e orgânicos e normalmente enriquecidos de elementos minerais (BERTOL et al., 2007). Essas partículas menores são desprendidas dos agregados de solo, principalmente pelo impacto das gotas da chuva, sendo as primeiras a serem transportadas, caracterizando dessa forma a seletividade do processo erosivo.

Trabalhos realizados por IZIDORIO et al. (2005) avaliaram as perdas de nutrientes por erosão, em Latossolo desprovido de vegetação, numa área de cana queimada, num declive de  $0,08 \text{ m m}^{-1}$ , sob chuva simulada. Eles determinaram concentrações médias de nutrientes no sedimento erodido, devido à erosão em entressulcos, da ordem de  $110,0 \text{ mg dm}^{-3}$  (P),  $6,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (K),  $52,1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (Ca) e  $13,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (Mg). Já com a erosão em sulcos obtiveram concentrações da ordem de  $79,3 \text{ mg dm}^{-3}$  (P),  $3,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (K),  $37,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (Ca) e  $12,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (Mg). Assim, embora a quantidade de solo perdida na erosão em entressulcos seja menor do que na erosão em sulcos, como demonstrado por IZIDORIO et al. (2005), a maior concentração de elementos minerais nos sedimentos finos indica que a primeira não deve ser descartada (BERTOL et al., 2007).

Em estudos realizados, MARTINS FILHO et al. (2009) determinaram as perdas de solo, matéria orgânica (MO) e nutrientes (P, K, Ca e Mg) por erosão, em área cultivada com cana-de-açúcar, cuja palhada foi mantida sobre a superfície de um Argissolo Vermelho–Amarelo, com  $0,052 \text{ m m}^{-1}$  de declividade. Para tanto, foram utilizadas parcelas experimentais de 3,5 m por 11,0 m de comprimento de rampa, com 0% (CS<sub>0</sub>), 50% (CS<sub>50</sub>) e 100% (CS<sub>100</sub>) de cobertura sobre a superfície do solo, nas quais se aplicou chuva simulada de  $60 \text{ mm h}^{-1}$  durante 65 minutos. Análises do sedimento erodido indicaram taxas de enriquecimento da seguinte ordem: 2,7 a 1,9 (MO); 3,8 a 2,7 (P); 1,3 a 1,7 (K); 3,9 a 3,6 (Ca); 2,9 a 2,6 (Mg) vezes em relação ao solo original para CS<sub>0</sub> e CS<sub>50</sub>, respectivamente. A CS<sub>50</sub> propiciou controle significativo da erosão de 69%, mas não reduziu a concentração de MO e nutrientes no sedimento erodido, quando comparada com CS<sub>0</sub>. A CS<sub>100</sub> foi significativamente eficiente no controle da erosão (89%) e na redução das concentrações de MO (69%), P (88%), K (23%), Ca (74%) e Mg (75%) no sedimento.

Os resultados obtidos por MARTINS FILHO et al. (2009) são importantes, dentro do atual contexto de produção de cana-de-açúcar, no Estado de São Paulo, visto que 49,1% das áreas dos canaviais paulistas, na safra 2008/09, foram colhidas com máquinas.

Considerando-se o exposto, o objetivo do presente trabalho foi o de quantificar as concentrações de matéria orgânica (MO) e nutrientes (P, K, Ca e Mg) e, calcular, a taxa de enriquecimento desses elementos no sedimento erodido, em área cultivada com a cultura de cana-de-açúcar, em níveis de cobertura do solo de 0% (CS<sub>0</sub>), 50% (CS<sub>50</sub>) e 100% (CS<sub>100</sub>).

## **2.2. MATERIAL E MÉTODOS**

O presente trabalho foi realizado na área localizada no município de Catanduva, noroeste do Estado de São Paulo, cujas coordenadas geográficas são: Latitude 21° 05' S e Longitude 49° 01' W. O clima local, segundo a classificação de Köppen, é o denominado tropical quente úmido, tipo Aw, seco no inverno, com precipitação média

anual de 1.350 mm. O solo local é um Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, A moderado, em área côncava (EMBRAPA, 2006), cujos principais atributos químicos são apresentados na Tabela 1. Cumpre ressaltar que, a área apresenta um histórico de mais de 20 anos consecutivos com cultivo de cana-de-açúcar. Deste modo, a cobertura vegetal na área, na época da realização deste trabalho, foi constituída por resíduos de cana-de-açúcar, os quais foram mantidos sobre a superfície após a colheita mecânica da cultura.

TABELA 1. Valores médios dos atributos químicos do solo na profundidade 0,00 - 0,20 m.

pH	MO	P	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					%
5,2	15	32	1,8	18,5	9,8	30	51,8	57,9

Parcelas experimentais com as dimensões de aproximadamente 0,50 m de largura por 0,75 m de comprimento (0,38 m<sup>2</sup>) e delimitadas com chapas metálicas nas laterais e parte superior e, na extremidade inferior, por uma calha convergente para uma saída de 0,10 m de diâmetro, foram utilizadas para a determinação do processo de erosão em entressulcos. A declividade média das parcelas foi aquela avaliada em cada posição da encosta.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC) com: 3 doses de palha de cana-de-açúcar e 4 repetições, totalizando 12 parcelas. As doses de palha foram aquelas definidas pelo processo de colheita mecânica da cana-de-açúcar, as quais foram rearranjadas manualmente na superfície do solo de modo a ter 0% (CS<sub>0</sub>), 50% (CS<sub>50</sub>) e 100% (CS<sub>100</sub>) de área de solo coberta por palha. As parcelas testemunhas foram consideradas aquelas sem cobertura por palha (CS<sub>0</sub>). A aplicação das doses de palha foi realizada 2 horas antes da realização de chuva simulada e das avaliações de erosão em entressulcos.

As parcelas experimentais foram submetidas a chuvas simuladas com intensidades médias de 60 mm h<sup>-1</sup>, durante 65 minutos. Utilizou-se um simulador de chuva de hastes rotativas do tipo Swanson, com bicos veejet 80-100, previamente



calibrado e nivelado no terreno, como proposto por SWANSON (1965). Trinta e seis pluviômetros, alinhados no sentido do declive, na área de ação do simulador de chuvas, como descrito por MARTINS FILHO (1999), foram utilizados para determinar as intensidades das precipitações produzidas pelo simulador, nas áreas ocupadas pelas parcelas experimentais.

Amostragens para medidas de vazões dos escoamentos superficiais e das concentrações de sedimentos foram realizadas no quinto minuto após o início da enxurrada e a partir daí, a cada cinco minutos. Amostras foram coletadas em recipientes de vidro com capacidade de 1 L, cronometrando-se o tempo de coleta. Logo após as coletas os recipientes foram fechados e conduzidos ao laboratório, para quantificação da concentração de sedimentos e volume de solução e, conseqüente, determinação das taxas de perdas de solo e água.

Os volumes de solução coletados foram avaliados gravimetricamente, em balança com resolução de 0,01 g e, em seguida, as amostras foram deixadas em repouso por 24 horas para a deposição dos sedimentos. Após o período de repouso de 24 horas, o sobrenadante foi filtrado e submetido à análise direta de determinação de P, K, Ca e Mg seguindo método da EMBRAPA (1997). Já o material decantado foi levado à estufa a 105 °C até secagem completa. Após secagem, as amostras foram pesadas determinando-se o peso do sedimento de cada uma. A concentração de sedimentos foi obtida considerando-se o volume da solução, a densidade da água e do sedimento na solução conforme descrito por VANONI (1975). Cada um dos volumes de solução obtidos foram divididos pelo tempo de coleta, obtendo-se a vazão de enxurrada em cada intervalo de coleta.

Uma vez quantificado o sedimento erodido em  $\text{kg s}^{-1}$  e a vazão em  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ , para cada amostragem realizada, a taxa de erosão em entressulcos ( $D_i$ ) e a de enxurrada foram determinadas dividindo-se cada um dos valores obtidos pela área de cada parcela.

O cálcio, o magnésio, o potássio e o fósforo do solo e do sedimento erodido, foram extraídos pelo método da resina trocadora de íons (RAIJ et al., 2001). O carbono orgânico (C%) foi determinado seguindo metodologia da EMBRAPA (1979). O pH foi determinado potenciometricamente em solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01 M.

Os resultados foram submetidos à análise da variância segundo o delineamento inteiramente casualizado, sendo que para as comparações múltiplas das médias utilizou-se o teste de Duncan a 5%. Diferenças com nível mínimo de significância inferior a 5% foram consideradas significativas. Análises de regressão também foram ajustadas entre taxa de erosão e perdas de nutrientes. Todos os resultados das análises estatísticas foram obtidos com o programa Statistica (STATSOFT, 1994).

### **2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

As taxas de erosão em entressulcos tenderam a uma diminuição significativa na medida em que a percentagem de cobertura do solo aumentou, o que é apresentado na Tabela 2. Tais resultados se assemelham aos obtidos por BERTOL et al. (2007) e MARTINS FILHO et al. (2009). Igualmente ao obtido por MARTINS FILHO et al. (2009), nas parcelas com 100% de cobertura do solo (CS<sub>100</sub>), houve erosão, apesar da proteção oferecida pela palhada ao impacto das gotas da chuva no solo. A provável causa, segundo MARTINS FILHO et al. (2009), para tal erosão, foram as operações de preparo do solo, efetuadas antes das chuvas simuladas. Tais operações auxiliaram na desagregação e no transporte das partículas do solo pelo fluxo superficial existente sob os resíduos vegetais, o que resultou numa taxa de erosão ainda mensurável como o obtido por MARTINS FILHO et al. (2009).

Associadas às perdas por erosão em entressulcos, observaram-se perdas significativas de matéria orgânica e nutrientes entre as percentagens de cobertura por resíduos testadas (Tabela 2).

Os resultados expressos na Tabela 2 evidenciam que até a CS<sub>50</sub> há uma concentração de MO e nutrientes (K, Ca e Mg), no sedimento erodido, maior do que na análise do solo (solo original, Tabela 1). As concentrações médias de MO e nutrientes no sedimento erodido apresentaram, com exceção do cálcio, diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos CS<sub>0</sub> e CS<sub>50</sub>. Tais resultados são decorrentes da significativa erosão em entressulcos ocorrida com CS<sub>0</sub> e CS<sub>50</sub> em relação a CS<sub>100</sub>. SILVA et al. (2005) explica estes resultados pela alta afinidade existente entre a fração argila, o

carbono orgânico e os nutrientes, o que é justificado pelo caráter seletivo do processo de erosão em entressulcos. Esses resultados corroboram os obtidos por BERTOL et al. (2004). A fração coloidal e a matéria orgânica são os primeiros constituintes a serem removidos pela erosão hídrica, tendo em vista a sua baixa densidade (SEGANFREDO et al., 1997; SCHICK et al., 2000a).

Os resultados para concentrações médias de matéria orgânica e nutrientes, expressos na Tabela 2, para os entressulcos com cobertura do solo de 100% (CS<sub>100</sub>), demonstraram haver diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) em relação às parcelas com cobertura de 0% (CS<sub>0</sub>) e 50% (CS<sub>50</sub>), excetuando-se o potássio (K). A provável explicação, para o caso do K, é o manejo da área com o qual há a aplicação de vinhaça. Tal fato corrobora observações de MARTINS FILHO et al. (2009). Com os resultados obtidos para CS<sub>100</sub> fica claro a atenuação da concentração de MO e nutrientes no sedimento erodido. Isto demonstra a eficiência desta percentagem de cobertura para tal finalidade, concordando assim com os resultados de CANTALICE et al. (2009) que com o aumento da cobertura vegetal diminuem-se as taxas de erosão. A cobertura do solo de 100% (CS<sub>100</sub>), em relação a 0% (CS<sub>0</sub>), reduziu a concentração de MO, no sedimento erodido, em 81,9%, a concentração de fósforo em 84,2%, a de potássio em 66,7%, a de cálcio em 84,5% e, reduziu em 89,8% a de magnésio.

TABELA 2. Taxa de erosão em entressulcos, concentração média de matéria orgânica (MO) e nutrientes no sedimento erodido em função da cobertura do solo.

Cobertura do solo (CS, %)	D <sub>i</sub>	MO	P	K	Ca	Mg
	kg m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		
0	0,000399 a	43,1 a	48,0 a	4,2 a	65,3 a	32,2 a
50	0,000094 b	20,8 b	32,2 b	2,4 bc	57,9 a	17,3 b
100	0,000087 c	7,8 c	7,6 c	1,4 c	10,1 b	3,3 c

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem, significativamente, pelo teste Duncan a 5% de probabilidade.

Na Tabela 3 é apresentada a taxa de enriquecimento do sedimento erodido (ER) por MO e nutrientes (P, K, Ca e Mg). A ER é a relação entre a concentração de MO e nutrientes no sedimento erodido e a no solo original. Quando a ER é maior que 1

significa que o sedimento encontra-se enriquecido por matéria orgânica ou nutriente do solo (MARTINS FILHO et al., 2009). Conforme SILVA et al. (2005), as taxas de enriquecimento maiores do que 1,0 indicam que a concentração no sedimento erodido foi maior do que no solo original, caracterizando a seletividade de arraste de material no processo da erosão hídrica, que transporta principalmente as partículas mais finas, as frações mais reativas do solo e, conseqüentemente, com maior capacidade de carrear nutrientes e carbono orgânico.

No trabalho realizado por CASSOL et al. (2002) comprovaram que as perdas de nutrientes e MO aumentam com as perdas de solo, enquanto as taxas de enriquecimento do sedimento erodido diminuem. Os resultados apresentados na Tabela 3 mostram essa diferença significativa, conforme aumenta a cobertura do solo diminui-se a erosão do solo.

TABELA 3. Taxa de enriquecimento do sedimento (ER) por matéria orgânica (MO) e nutrientes.

Cobertura do solo (CS, %)	Taxa de enriquecimento (ER)				
	MO	P	K	Ca	Mg
0	2,9 a	1,5 a	2,4 a	3,5 a	3,3 a
50	1,4 b	1,0 b	1,4 b	3,1 a	1,8 b
100	0,5 c	0,2 c	0,8 b	0,5 b	0,3 c

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem, significativamente, pelo teste Duncan a 5% de probabilidade.

As taxas de enriquecimento dos sedimentos apresentaram os seguintes valores, para CS<sub>0</sub>, CS<sub>50</sub> e CS<sub>100</sub> respectivamente, MO (2,9; 1,4; 0,5), P (1,5; 1,0; 0,2), K (2,4; 1,4; 0,8), Ca (3,5; 3,1; 0,5) e Mg (3,3; 1,8; 0,3). Os resultados da Tabela 3 corroboram as afirmações feitas anteriormente baseadas nos dados da tabela 2, no entanto, com a cobertura de solo de 0% a 50% as taxas de enriquecimento do sedimento foram superiores a 1,0, o que demonstra que a cobertura vegetal de até 50% não é suficiente para evitar o enriquecimento, em MO e nutrientes, do sedimento erodido; enquanto que a cobertura de 100% demonstrou ser eficiente, apresentando valores da ER abaixo de 0,9 e significativamente menores que com CS<sub>0</sub> e CS<sub>50</sub>, com exceção do potássio, concordando com resultados obtidos por MARTINS FILHO et al. (2009).

A concentração de fósforo no sedimento erodido na cobertura do solo de 0% atingiu  $48 \text{ mg dm}^{-3}$ , a qual, segundo RAIJ et al. (1997), pode ser classificada como alta para a cultura da cana-de-açúcar. Na cobertura do solo de 50%, a concentração de P igual a  $32,2 \text{ mg dm}^{-3}$  pode ser considerada média e, com a cobertura do solo de 100% para  $7,6 \text{ mg dm}^{-3}$  de P, como baixa.

Para potássio as concentrações no sedimento para  $CS_0$ ,  $CS_{50}$  e  $CS_{100}$  de  $4,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ,  $2,4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e  $1,4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente, segundo RAIJ et al. (1997), são pela ordem classificadas em alta, média e baixa. Já as concentrações de Ca de  $65,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  na  $CS_0$ ,  $57,9 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  na  $CS_{50}$  e  $10,1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  na  $CS_{100}$  são todas consideradas altas. As concentrações de Mg de  $32,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  na  $CS_0$ ,  $17,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  na  $CS_{50}$  e  $3,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  na  $CS_{100}$ , foram altas para  $CS_0$  e  $CS_{50}$ , e baixas para  $CS_{100}$ . As perdas de cálcio e magnésio foram altas em todos os tratamentos, com exceção do magnésio na  $CS_{100}$ , resultado este que está de acordo com o obtido por BERTOL et al. (2007) e também constatado por SCHICK et al. (2000b). As taxas de enriquecimento, no solo com cobertura vegetal de 0% ( $CS_0$ ) obedecem a seguinte ordem:  $Ca > Mg > MO > K > P$ , seguindo a ordem dos teores do solo. Segundo BERTOL et al. (2004) esse fato pode ser justificado por serem, o Ca e o Mg, cátions bivalentes poucos sujeitos à lixiviação, por estarem mais fortemente adsorvidos ao solo do que alguns cátions monovalentes. Estes dados corroboram com a afirmação de que são altas as concentrações de nutrientes perdidos, junto com o sedimento erodido, para  $CS_0$  e  $CS_{50}$ .

Seria interessante analisar em estudos futuros a possibilidade de haver uma cobertura "ideal", ou seja, encontrar uma cobertura do solo entre 50% e 100% que não tenha diferença significativa para concentrações médias de matéria orgânica (MO) e nutrientes (P, K, Ca e Mg) no sedimento erodido, e com taxa de enriquecimento do sedimento inferior a 1, quando comparada com a cobertura de 100%. Tal possibilidade seria importante, visto que a cobertura do solo em 100% de palha é eficiente no controle da erosão.

As diferenças entre os valores das taxas de enriquecimento apresentadas na Tabela 3 em relação aos valores encontrados por IZIDORIO et al. (2005) e MARTINS FILHO et al. (2009), provavelmente, são devidas ao fato de que a presença de

nutrientes nos sedimentos varia conforme sua concentração no solo e tipo de erosão, o que tem influência direta das adubações e da cobertura e manejo do solo como demonstrado em diversos trabalhos (BERTOL et al., 2004; MARTINS FILHO, 2009).

## **2.4. CONCLUSÕES**

A cobertura do solo de 100% com resíduos de cana-de-açúcar, em relação a ausência destes, permite reduções significativas das concentrações e taxas de enriquecimento por matéria orgânica e nutrientes no sedimento erodido.

A cobertura com resíduos de cana-de-açúcar sobre a superfície do solo inferior a 50% não foi suficiente para evitar o enriquecimento do sedimento erodido por matéria orgânica e nutrientes.

## 2.5. REFERÊNCIAS

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J.C.; CASSOL, P.C.; AMARAL, A.J.; BARBOSA, F.T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.28, n. 3, p.485-494, 2004.

BERTOL, I.; COGO, N.P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J.C.; AMARALA, A.J. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.31, n. 4 p.133-142, 2007.

BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B. Erosão em sulco em diferentes condições de cobertura do solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 565-573, 2006.

CANTALICE, J. R. B.; BEZERRA, S. A.; OLIVEIRA, O. F. L.; MELO, R. O. de. Hidráulica e taxas de erosão em entressulcos sob diferentes declividade e doses de cobertura morta. **Caatinga**, Mossoró, v.22, n.2, p.68-74, 2009.

CASSOL, E.A.; LEVIEN, R.; ANGHINONI, I.; BADELUCCHI, M.P. Perdas de nutrientes por erosão em diferentes métodos de melhoramento de pastagem nativa no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.26, n.3, p.705-712, 2002.

EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1979.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**.

Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

IZIDORIO, R.; MARTINS FILHO, M. V.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Perdas de nutrientes por erosão e sua distribuição espacial em área sob cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.3, p.660-670, 2005.

MARTINS FILHO, M. V. **Modelagem do processo de erosão entressulcos em latossolos de Jaboticabal** – SP. 1999. 140 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

MARTINS FILHO, M. V.; ENGLER, M. P. C.; IZIDORIO, R.; COTRIN, F. B.; SERRA, E. A.; AMARAL, N. S.; SOUZA, Z. M. Modelos para a estimativa do subfator cobertura-manejo ( $C_{III}$ ) relativo à erosão entressulcos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 603-611, 2004.

MARTINS FILHO, M. V. **Modelagem do processo de erosão e padrão espacial da erodibilidade em entressulcos**. 2007. 121f. Tese (Livre-Docência) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2007.

MARTINS FILHO, M. V.; LICCIOTTI, T. T.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SANCHEZ, R. B. Perdas de solo e nutrientes por erosão num argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 8-18, 2009.

RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.



RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100)

SILVA, A. M. DA; SILVA, M. L. N.; CURTI, LIMA, N.; J. M. DE; AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.12, p.1223-1230, dez. 2005.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JÚNIOR, A.A. Erosão hídrica em cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.24, n. 2, p. 427-436, 2000a.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BALBINOT JÚNIOR, A.A.; BATISTELA, O. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.24, n. 2 p. 437-447, 2000b.

SEGANFREDO, M.L.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.21, n. 2, p. 287-291, 1997.

STATSOFT. **Statistica**: Quick reference. Tulsa: StatSoft, 1994. 148p.

SWANSON, N. P. Rotaring – boom rainfall simulator. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St Joseph, v.8, n. 1, p. 71 – 72, 1965.

VANONI, V. A. **Sedimentation engineering**. New York: The American Society of Civil Engineers, 1975. 745p.