

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PERDAS DE SOLO, NUTRIENTES E ÁGUA POR EROÇÃO E O
SUBFATOR $C_{i||}$ EM ARGISSOLO E LATOSSOLO COM RESÍDUOS
VEGETAIS DE CANA-DE-AÇÚCAR.**

Mayara Germana dos Santos Gomes
Engenheira Agrônoma

2019

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PERDAS DE SOLO, NUTRIENTES E ÁGUA POR EROÇÃO E O
SUBFATOR $C_{i_{II}}$ EM ARGISSOLO E LATOSSOLO COM RESÍDUOS
VEGETAIS DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Mayara Germana dos Santos Gomes

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 obtenção do título de Mestra
em Agronomia (Ciência do Solo).**

2019

G633p

Gomes, Mayara Germana dos Santos

Perdas de solo, nutrientes e água por erosão e o subfator Cill em Argissolo e Latossolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar / Mayara Germana dos Santos Gomes. -- Jaboticabal, 2019

42 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Marcílio Vieira Martins Filho

1. Chuva simulada. 2. Erosão em entressulcos. 3. Fator cobertura e manejo. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp.
Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,
Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: PERDAS DE SOLO, NUTRIENTES E ÁGUA POR EROÇÃO E O SUBFATOR C_{ij} EM ARGISSOLO E LATOSSOLO COM RESÍDUOS VEGETAIS DE CANA-DE-AÇÚCAR

AUTORA: MAYARA GERMANA DOS SANTOS GOMES

ORIENTADOR: MARCÍLIO VIEIRA MARTINS FILHO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MARCÍLIO VIEIRA MARTINS FILHO
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. JOSÉ MARQUES JUNIOR
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Profa. Dra. VERA LUCIA DA SILVA FARIAS
Faculdade de Frutal-FAF / Frutal/MG

Jaboticabal, 22 de abril de 2019

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Mayara Germana dos Santos Gomes – Filha de Alexandre Gutemberg Gomes dos Santos e Geusa dos Santos Gomes. Nasceu no município de Esperança- PB, em 25 de março de 1992. cursou Agronomia pelo Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal da Paraíba (CCA-UFPB) onde obteve em fevereiro de 2017 o título de Engenheira Agrônoma. Durante a graduação, desenvolveu com êxito algumas atividades de extensão, com destaque para os projetos “Desenvolvimento de habilidades básicas na agricultura por alunos da APAE” e “Educação ambiental com ênfase em solos nas escolas públicas de Areia: Do discurso à prática” ambos realizados no município de Areia, PB. Além disso, a proponente também desenvolveu pesquisas relacionadas às características químicas e estoques de nitrogênio das frações da matéria orgânica em Neossolo Regolítico sob sistemas de uso no semiárido.

Dedico

A Deus toda honra e toda gloria, o seu amor incondicional que nos motiva a seguir em frente perseverando aumentando a nossa fé a cada novo dia. À minha amada e admirável mãe Geusa dos Santos Gomes por todo apoio e incentivo.

Aos meus avós Geraldo Alves dos Santos (*in memoriam*) e Marluce Gomes dos Santos (*in memoriam*) presto essa pequena homenagem como forma de gratidão por todo cuidado e o legado que vocês deixam de caráter, integridade, muito amor e leveza na alma.

**“...Digo e repito: Seja forte e corajoso!
Nada de desânimo e não fique com medo! Lembre-se bem:
O Senhor, o seu Deus, estará com você, esteja onde estiver!”.**

Josué 1:9

AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre demonstrar o seu amor e cuidado comigo nos mínimos detalhes, sendo minha provisão, meu consolador nos dias maus, meu porto seguro de onde veio a minha força para vencer mais este desafio que a vida me proporcionou.

À minha mãe Geusa dos Santos Gomes por todo apoio, compreensão, e disponibilidade em ajudar a tornar esse sonho uma realidade. Mesmo diante de algumas limitações, a senhora não mediu esforços para me ajudar e sempre se desdobrou ao máximo para proporcionar o melhor para os seus filhos. Tenha certeza de que esta vitória é nossa minha rainha e que toda a sua renúncia será recompensada.

Ao meu pai Alexandre Gutemberg Gomes dos Santos por sempre me amar e apoiar em todos os meus passos.

Ao meu irmão Emmanuel Gomes, muito obrigada por todo companheirismo e ser a alegria da minha vida.

Ao meu namorado David Farias, por todo companheirismo, paciência, incentivo e confiança transmitida durante esta caminhada. Amo você!

Aos demais familiares agradeço por todo apoio e compreensão, vocês são parte fundamental da minha vida e nessa trajetória acadêmica. Em especial aos meus avós que permanecem em vida Maria José (materna) e Manoel Gomes Filho (Paterno), vocês são a minha inspiração de força, vigor e superação. Também aos meus avós que se foram, que embora não estejam fisicamente presentes, deixaram conosco as melhores lembranças e ensinamentos.

Aos meus tios Giselia, José Geovane, M^a Geovana (*in memorian*), Júnior, Ricardo, Patrícia, Cláudia, Emmanuel das Chagas, Ordenice e em especial Michele, que além de tia a considero como mãe. Agradeço a todos pelos ensinamentos, cuidado e todo carinho. Aos meus primos, obrigada por fazerem parte desta história.

Ao meu padrasto Natan Silva e madrasta Margarida Santos pelo carinho e acreditarem no meu potencial.

Aos amigos da Paraíba, Glauco, Jussara, Kelvin, Lourrane Raynara, Pedro, Ana Maria, Candice Karen, Wagner e Kiara, Anderson, Gisliane, Denisvaldo, Aldeir e

em especial a José (Cruz) e Patrícia, pelos momentos vivenciados juntos nesse desafio proposto. A presença de vocês todos os dias ajudaram a aliviar o peso da distância e da saudade de casa, foi muito legal essa experiência.

Aos amigos que a Unesp me proporcionou, em especial Maria Elisa, Sabrina, Poliana e Angelina, minha parceira forte, que com toda a sua espontaneidade alegrou os meus dias. Givanildo pela estadia e todo acolhimento quando chegamos em Jaboticabal- SP

Aos amigos de Jaboticabal Marcia Sanches (carinhosamente chamada de tia Márcia), Alcimar Sanches (tio Alcimar) e sua filha Larissa. Agradeço a todos vocês pelo imenso carinho, atenção e por me acolherem como uma filha, sempre tão solícitos e prestativos.

Ao Prof. Dr. Marcílio Vieira Martins Filho, pela orientação e total disponibilidade, ensinamentos, humildade e carisma que encanta a todos a sua volta. Muito obrigada por todo conhecimento e confiança.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/UNESP), por ter me acolhido durante o decorrer do curso, me proporcionando a oportunidade de ter uma melhor qualificação, contribuindo assim para o meu futuro profissional.

Ao Grupo CSME agradeço a oportunidade de ampliar meus conhecimentos na área de ciência do solo e pelas novas amizades que fiz por intermédio deste.

A todos os professores e funcionários da FCAV/UNESP que contribuíram com a minha formação pessoal e profissional durante a trajetória acadêmica.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

A todos aqueles que de forma direta e indireta contribuíram para a realização deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

	PÁGINAS
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1 Erosão	5
2.2 Erosão em entressulcos.....	7
2.3 Fatores que afetam a erosão em entressulcos	9
2.4 Perdas de nutrientes por erosão	14
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5. CONCLUSÕES	33
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

PERDAS DE SOLO, NUTRIENTES E ÁGUA POR EROSÃO E O SUBFATOR C_{III} EM ARGISSOLO E LATOSSOLO COM RESÍDUOS VEGETAIS DE CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO A perda do solo quando ocasionada pela água da chuva resulta em impactos negativos como a degradação do solo. O fator cobertura e manejo do solo (Fator C) é aquele que mais facilmente técnicos e agricultores podem modificar, com o intuito de reduzir a erosão em entressulcos com a adição de resíduos vegetais na superfície do solo. O presente trabalho teve os seguintes objetivos: 1) avaliar a eficácia do uso de resíduos de palha de cana-de-açúcar em diferentes proporções no controle das perdas de solo, água, matéria orgânica (MO) e nutrientes; 2) propor modelos para estimar o subfator C_{III} relativo ao manejo com resíduos mantidos em superfície; 3) estimar o custo da erosão associados com as perdas de nutrientes do solo. O experimento foi realizado em duas áreas experimentais. A área 1 está localizada no município de Guariba - SP num Latossolo (LV) enquanto a área 2 está localizada no município de Tabapuã - SP em um Argissolo (PV). Para estimar as perdas de solo, água e nutrientes por erosão, aplicou-se chuva artificial, em parcelas experimentais, com 0 (CS_0), 50% (CS_{50}) e 100% (CS_{100}) de cobertura sobre a superfície do solo. Cada parcela tinha a dimensão de 0,50 m de largura e 1,00 m de comprimento (0,5 m²). A intensidade média da chuva foi 60 mm h⁻¹, durante 60 minutos. Os tratamentos CS_{100} propiciaram redução significativa nas perdas de solo (90%), água (88%), MO (97%) e nutrientes como P (97%), K (96%), Ca e Mg (98%), para ambos solos. O aumento da cobertura do solo nos tratamentos reduz os custos das perdas de nutrientes por erosão quando expressos em termos de P₂O₅ (R\$ 2,09 ha⁻¹), KCl (R\$ 4,30 ha⁻¹) e corretivo do solo CaMg (CO₃)₂ (R\$ 1,70 ha⁻¹). As taxas de infiltração de água foram maiores nas parcelas com CS_{50} e CS_{100} . Recomenda-se o uso da equação $C_{III} = e^{-2,917 CS/100}$, no LV e PV estudados, nas estimativas indiretas do subfator cobertura e manejo do solo para a cultura da cana-de-açúcar, em áreas com colheita mecanizada.

Palavras chave: chuva simulada, erosão em entressulcos, fator cobertura e manejo.

SOIL LOSS, NUTRIENTS AND WATER BY EROSION AND THE SUBFACTOR C_{ii} IN ARGISSOL AND LATOSOLO WITH VEGETABLE WASTE OF SUGAR CANE

ABSTRACT Soil loss when caused by rainwater results in negative impacts such as soil degradation. The soil cover and management factor (Factor C) is the one that technicians and farmers can most easily modify in order to reduce interrill erosion with the addition of vegetal residues on the soil surface. The present work had the following objectives: 1) to evaluate the effectiveness of the use of sugarcane straw residues in different proportions in the control of soil losses, water, organic matter (OM) and nutrients; 2) to propose models for estimating the sub-factor C_{ii} concerning the management with residues kept on the surface; 3) estimate the cost of erosion associated with soil nutrient losses. The experiment was carried out in two experimental areas. Area 1 is located in the municipality of Guariba - SP in a Latosol (LV) while area 2 is located in the municipality of Tabapuã - SP in an Argisol (PV). To estimate soil, water and nutrient losses by erosion, artificial rainfall was applied in experimental plots with 0 (CS_0), 50% (CS_{50}) and 100% (CS_{100}) covering on the soil surface. Each plot was 0.50 m wide and 1.00 m long (0.5 m²). The average rainfall intensity was 60 mm h⁻¹ for 60 minutes. CS_{100} treatments provided significant reduction in soil losses (90%), water (88%), MO (97%) and nutrients such as P (97%), K (96%), Ca and Mg both alone. The increase in soil cover in the treatments reduces the costs of erosion losses when expressed in terms of P₂O₅ (R\$ 2.09 ha⁻¹), KCl (R\$ 4.30 ha⁻¹) and soil remediation Ca Mg (CO₃)₂ (R\$ 1.70 ha⁻¹). Water infiltration rates were higher in the plots with CS_{50} and CS_{100} . It is recommended to use the $C_{ii} = e^{-2,917 CS / 100}$, in the LV and PV studied, in the indirect estimates of the sub-soil cover and soil management for the sugarcane crop, in areas with mechanized harvesting.

Keywords: rainfall simulation, interrill erosion, coverage and management factor.

1. INTRODUÇÃO

A perda do solo quando ocasionada pela água da chuva, tem grande importância devido à velocidade com a qual ocorre na natureza, o que conduz a impactos negativos quanto a degradação do solo. Segundo o relatório da FAO (2015) estima-se que são perdidos de 25 a 40 bilhões de toneladas de solo por ano, ocasionado pela erosão hídrica, reduzindo de forma considerável a produtividade das culturas pois a erosão hídrica afeta sua grande maioria em áreas agricultáveis.

As partículas de solos que são transportadas pelo escoamento superficial da água carregam vários nutrientes essenciais para o desenvolvimento vegetal, além de sementes e insumos que foram adicionados ao solo, ocasionando problemas ambientais, sociais e econômicos. Dai et al. (2018) acreditam que a perda acelerada de solo e conseqüentemente de água e nutrientes, são resultados dos cultivos intensos, manejo do solo inadequado e as chuvas irregulares.

A erosão em entressulcos é resultado de um processo em que as partículas do solo são desagregadas pelo impacto das gotas da chuva e, posteriormente, transportadas pelo escoamento superficial ou fluxo laminar. Essa forma de erosão atinge todas as áreas agricultáveis indistintamente em maior ou menor grau. Uma forma de reduzir a erosão em entressulcos é a adição de resíduos vegetais na superfície do solo (Sousa, 2012).

No Brasil os cultivos com cana-de-açúcar ocupam uma grande parte do território nacional, no qual destaca-se o estado de São Paulo que por muitas décadas adotou o sistema de cultivo convencional, com queima da cana-de-açúcar antes da colheita manual. No ano de 2002, criou-se no referido estado uma legislação (lei nº 11.241 de 19 de setembro de 2002) a qual determina a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar. Desde então, o setor canavieiro do estado de São Paulo tem procurado se adaptar às novas regras adotando a colheita mecanizada. Esta nova estratégia de colheita tem comprovado ser uma técnica bastante promissora, em termos de conservação do solo e da água, por promover uma maior cobertura do solo com os resíduos da cultura.

Esse sistema de manejo demonstra ser importante, pois, além de reduzir o impacto ambiental ao dispensar a queima de resíduos, pode auxiliar na conservação

dos solos que são mais suscetíveis à erosão em entressulcos. De acordo com Silva e Alvares (2005), os Argissolos e os Latossolos são os solos predominantes no estado de São Paulo. Deste modo, como amplamente estabelecido na literatura os Argissolos tendem a ser mais erodíveis que os Latossolos.

Com a manutenção dos resíduos vegetais sobre o solo haverá uma redução no impacto das gotas de chuva, dissipando a energia dessas gotas, evitando a desagregação das partículas e o selamento superficial. Haverá contribuições, também, na melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo pelo fornecimento de matéria orgânica pela palha, determinando aumento da atividade microbiana e a reciclagem mais intensa dos nutrientes no solo (Derpsch et al., 2014).

Mesmo diante dos benefícios apresentados, pela manutenção dos resíduos em superfície, ainda são poucos os estudos com palha de cana-de-açúcar, tal que possam auxiliar no entendimento de como esse sistema de manejo atua no controle das perdas de solo, matéria orgânica e nutrientes por erosão hídrica do solo (Silva e Alvares, 2005; Martins Filho et al., 2009).

Andrade et al. (2011) avaliaram o impacto técnico e econômico das perdas de solo e nutrientes por erosão, no cultivo da cana-de-açúcar em diferentes sistemas de colheita (cana crua e queimada). Eles determinaram que a maior perda de solo e de nutrientes por erosão ocorreu nas áreas de cana queimada; a cana queimada (corte manual) perdeu 48,82% por hectare a mais de solo, 56,45 % de potássio (K) e 60,78 % de fósforo (P) do que a cana crua (corte mecanizado). Em consequência, a cana queimada apresentou um maior custo de reposição de nutrientes (R\$ 33,92 ha⁻¹ ano⁻¹), maior custo de produção (R\$ 32,71 Mg⁻¹) e menor retorno financeiro (R\$ 2,59 Mg⁻¹) quando comparada com a cana crua.

Dentre os vários fatores de risco à erosão do solo, o fator cobertura e manejo do solo (Fator C) é aquele que os formuladores de políticas e os agricultores podem modificar de maneira mais clara, a fim de ajudar a reduzir as taxas de perdas de solo (Panagos et al., 2015). O fator C é um dos cinco índices utilizados para estimar o risco de erosão por modelos como a USLE (*Universal Soil Loss Equation*), RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*) e WEPP (*Water Erosion Prediction Project*).

Para avaliar a resposta de modelos de predição da erosão para as culturas e sistemas de manejo do solo são necessários, portanto, valores do Fator C – Fator

cobertura e manejo do solo. O fator C é determinado de modo similar entre os modelos USLE, RUSLE e WEPP (Zhang et al., 2001).

Segundo Foster (1982), o efeito da cobertura vegetal no processo de erosão do solo pode ser concebido como: Tipo I (C_{iI}), relativo à cobertura vegetal oferecida pelo dossel; tipo II (C_{iII}), relativo à cobertura vegetal em contato direto com a superfície do solo, e tipo III (C_{iIII}), efeito da incorporação de resíduos vegetais ao solo em função do seu uso e manejo.

O efeito tipo I é aquele devido à interceptação das gotas da água da chuva pelo dossel ou parte aérea das culturas, o qual é dependente da altura e da densidade do dossel (Lafren et al., 1985).

A cobertura em contato direto com a superfície do solo, efeito tipo II, permite que a energia cinética das gotas da chuva seja dissipada junto à superfície, além de ser obstáculo à ação cisalhante da enxurrada (Foster, 1982; Braida e Cassol, 1999).

Segundo Wischmeier (1975), o efeito tipo III é aquele resultante dos resíduos incorporados e do efeito residual do uso e do manejo do solo na desagregação e no transporte de sedimentos erodidos. Braida e Cassol (1999) afirmaram que o efeito II possibilita maior controle do processo de erosão do que o efeito I.

Schaefer et al. (2002) estimaram as perdas de solo e nutrientes causadas pela erosão, com chuva artificial, em Argissolo Vermelho-Amarelo. Eles obtiveram valores de perdas de solo entre 11 e 13,2 t ha⁻¹ nos tratamentos com pequenas porcentagens de cobertura (0 %, 20 % e 40 %); com 80 % de cobertura as perdas foram de 5,2 t ha⁻¹, enquanto com 100 % não se constataram perdas.

Izidorio et al. (2005) avaliaram em área de cultivo cana-de-açúcar, sujeita à queima, as perdas de nutrientes no sedimento erodido, em condições de chuva artificial, num Latossolo Vermelho eutroférico, com ausência de cobertura vegetal e preparo no sentido do declive (0,08 m m⁻¹). Eles obtiveram perdas de 1,07 kg ha⁻¹ (P); 1,59 kg ha⁻¹ (K); 1,24 kg ha⁻¹ (Ca) e 1,91 kg ha⁻¹ (Mg).

Na literatura é possível encontrar diversos trabalhos realizados sobre a perda de solo por erosão para diferentes sistemas de manejo, em especial quando se trata de culturas anuais (Bertol et al., 2004; Almeida et al., 2018). Entretanto, existe uma precariedade de informações na literatura sobre as perdas de solos e nutrientes em áreas sob o cultivo da cana-de-açúcar com o uso de colheita mecanizada. Os custos

da erosão do solo quando associados a perda de fertilizantes têm grande relevância para o planejamento de produção.

O presente trabalho teve os seguintes objetivos: 1) avaliar a eficácia do uso de resíduos de palha de cana-de-açúcar em diferentes proporções no controle das perdas de solo, água, matéria orgânica e nutrientes; 2) propor modelos para estimar o subfator C_{ii} relativo ao manejo com resíduos mantidos em superfície; 3) estimar o custo da erosão associados com as perdas de nutrientes do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Erosão

A erosão é o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela água e pelo vento (Bertoni e Lombardi Neto, 2017). Ela é uma das principais causas da degradação do solo em todo o mundo, tendo em vista que reduz a capacidade produtiva, causa sérios danos ao meio ambiente como assoreamento de rios e poluição das fontes de água (Cogo et al., 2003; Ostovari et al., 2016).

A erosão do solo afeta as mais diversas esferas sociais, em especial os agricultores que, por muitas vezes por falta de conhecimento e/ou acompanhamento necessário, estão perdendo a fertilidade de suas terras, em função do uso de práticas agrícolas inadequadas, que potencializam a desagregação e transporte das partículas do solo pela enxurrada (Telles et al., 2013).

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2017), as terras reduzem sua produtividade devido à perda da estrutura do solo, perda da matéria orgânica, perda dos elementos nutritivos e não menos importante, a perda do solo. Esses prejuízos são causados por diversos fatores, mas principalmente pelo mau uso do solo.

Existem diversos métodos agrícolas desenvolvidos, porém, poucos adotam como prioridade a execução dos fundamentos básicos de conservação do solo, como o de usá-lo conforme a sua capacidade produtiva e o de protegê-lo conforme sua necessidade.

Os processos de desagregação, transporte e deposição das partículas do solo que caracterizam a erosão, podem ser previstos matematicamente através de equações. Estes modelos reúnem uma série de informações como topografia, precipitação, vegetação e uso do solo (Brady e Weil, 2013).

São muitos os modelos utilizados para predição da erosão do solo. Dentre esses, está a *Universal Soil Loss Equation* (USLE) proposta por Wischmeier e Smith em 1978, que prevê a quantidade média de perda anual do solo por erosão laminar e em sulcos (Chaves, 2010). A equação é expressa da seguinte forma:

$$A = R K L S C P \quad (1)$$

em que,

- A - índice que representa a perda de solo por unidade de área $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$;
- R - fator erosividade da chuva ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);
- K - fator erodibilidade ($\text{t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$);
- LS - fator topográfico (adimensional);
- C - fator cobertura e manejo (adimensional);
- P - fator práticas de controle da erosão (adimensional).

Os fatores R, K e LS são dependentes das condições naturais relacionados ao clima, solo e relevo, já os fatores C e P dependem de diferentes formas de uso e ocupação do solo, ou seja, as ações antrópicas. Para aplicação do modelo USLE em determinada área, estes fatores precisam ser ajustados considerando as condições locais (Weill e Sparovek, 2008).

A USLE tem sido utilizada desde a década de 70, mas com o passar do tempo foi atualizada e informatizada e passou a ser conhecida como “*Revised Universal Soil Loss Equation*” (RUSLE), a qual usa os mesmos princípios básicos da USLE, com os seus fatores de erosão, parâmetros sendo constantemente atualizados (Renard et al., 1997).

Esses métodos de predição a erosão (USLE e RUSLE) foram elaborados e ajustados para regiões de clima temperado, não sendo eficiente o seu uso em regiões de clima tropical (Albuquerque et al., 2000). Neste sentido, é fundamental observar a real aplicabilidade dos modelos para as situações adversas existentes.

Devido a velocidade com que ocorre a erosão na natureza e em função da necessidade de se obter informações mais precisas, surgiu a proposta de um modelo com fundamentação física conhecido como *Water Erosion Prediction Project* - WEPP (Nearing et al., 1989).

O WEPP é aplicável para diversas condições de uso e manejo do solo com diferentes topografias, além de ser capaz de prever distribuições espaciais e temporais de deslocamento e deposição de sedimentos ao longo de uma encosta, ser independente para eventos isolados de precipitação ou para valores médios anuais (Flanagan et al., 1995).

O modelo WEPP é um modelo de simulação que tem dentre alguns dos seus parâmetros, a erodibilidade em entressulcos e a erodibilidade em sulcos (Albuquerque et al., 2000). Este modelo também tem algumas restrições para sua aplicação no

Brasil, devido às limitações relacionadas ao clima, haja vista que este modelo foi criado para as condições de região temperada.

No entanto, vários estudos têm sido realizados com o objetivo de avaliar e comparar os resultados obtidos com o WEPP para condições de regiões tropicais. Foi constatado que existe a necessidade de calibrar e validar as equações do WEPP para uma melhor eficiência da modelagem no processo de erosão, com base em estudos experimentais em laboratórios ou no campo (Machado et al., 2003; Pieri et al., 2007; Cecílio et al., 2009; Amorim et al., 2010; Moraes, 2016).

2.2 Erosão em entressulcos

A erosão em entressulcos caracteriza-se pelo desprendimento das partículas do solo pelo impacto direto das gotas da chuva em um solo descoberto. A partir deste processo, as partículas são transportadas por um fino fluxo superficial ou de enxurrada (Foster, 1982; Cassol e Lima, 2003).

Por outro lado, a erosão em sulcos ocorre com escoamento concentrado na superfície, onde a água flui em canais transitórios, os quais podem ter tido início devido ao desprendimento das partículas associados aos processos erosivos ou relacionado ao relevo, rugosidade do solo e marcas de tráfegos de equipamentos de cultivo (Martins Filho, 1999). Sendo assim, a erosão que acontece entre os sulcos é denominada entressulcos (Izidorio et al., 2005).

Separar o processo de erosão em entressulcos e em sulcos pode ser eficiente para identificação de fontes em potencial de sedimentos, o que vem a ser importante para modelagem da distribuição dos produtos químicos em áreas agrícolas, principalmente dos que são adsorvidos pelas partículas do solo (Martins Filho, 1999; Nearing et al., 2001; Koiter et al., 2017).

A erosão em entressulcos tem chamado atenção de pesquisadores, por ser o processo erosivo de maior ocorrência, pois ela pode acontecer em áreas de uso agrícola, áreas de pastagens ou de pousio, até em áreas caracterizadas por baixas declividade e comprimentos de rampa curtos (Nearing, 1997; Martins Filho, 2007).

Neste processo, as partículas que são desagregadas podem obstruir os poros e causar o que é conhecido como selamento superficial do solo, o qual reduz a

infiltração da água e aumenta o escoamento superficial ou a enxurrada (Carvalho et al., 2009; Martins Filho et al., 2009; Carvalho et al., 2012). Como consequência, ocorre a perda da matéria orgânica e redução da fertilidade do solo.

Sendo assim, quanto mais a área fica exposta, maior a sua fragilidade e maior será o seu potencial erosivo implicando em um alto grau de degradação do solo (Meyer et al., 1975; Hudson, 1995).

Compreender os fatores do processo erosivo e quantificar as perdas de solo, servem como princípio para o planejamento de medidas preventivas e/ou de controle que proponham maximizar o uso dos recursos hídricos e reduzir os efeitos negativos proporcionados pela perda do solo (Bertoni e Lombardi, 2017). Embora a erosão do solo não possa ser totalmente evitada, ela pode ser atenuada caso seja respeitado o limite de tolerância de perda do solo (Morgan, 2005; Montgomery, 2007). Inúmeras técnicas de conservação têm sido amplamente utilizadas para reduzir os impactos dos fatores erosivos do solo e da água, em todo o mundo.

Nesse sentido, os autores Xiong et al. (2018) relatam que a eficiência de técnicas de conservação do solo e da água para melhoria da qualidade ambiental está associada a atividades que auxiliam a: reduzir o escoamento e conservar o solo, melhorar a fertilidade e produtividade do solo, aumentar o rendimento das culturas e garantir a segurança alimentar, crescimento da biodiversidade, maior capacidade de infiltração da água no solo e proporcionar uma melhor visualização da paisagem ambiental.

Diversas pesquisas têm reportado a eficiência de adotar manejo adequados que tenham como principal objetivo a redução dos impactos da erosão hídrica do solo, tais como o reflorestamento (Buendia et al., 2016), terraceamento (Chen et al., 2017), cobertura vegetal sobre o solo (Cassol, 2004; Bezerra e Cantalice, 2006; Martins Filho et al., 2009; Souza et al., 2012).

A manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo forma uma barreira interceptando as gotas de chuva e dissipam a sua energia, evitando a desagregação das partículas e selamento superficial, como também reduz a capacidade de transportar partículas do solo (Bezerra e Cantalice 2006).

2.3 Fatores que afetam a erosão em entressulcos

Um dos fatores mais importantes a influenciar a erosão em entressulcos é a erosividade, a qual representa a capacidade da chuva em provocar a erosão no solo. Tal processo ocorre simultaneamente ao impacto direto das gotas da chuva sobre a superfície do solo e do escoamento superficial (Valle Junior, 2008). Neste sentido, a chuva é um dos fatores climáticos que devem ser considerados por ser facilitador da erosão do solo.

O volume e a velocidade da enxurrada dependem intimamente da intensidade, duração e frequência da chuva. A intensidade é um fator muito importante, pois quanto maior a intensidade maior será a perda de solo por erosão (Santos et al., 2010, Bertoni e Lombardi, 2017). Durante uma chuva muito forte, são inúmeras gotas de chuva que golpeiam o solo, desprendendo as partículas do mesmo.

A energia cinética das gotas da chuva e o intenso umedecimento do solo, levam a quebra dos agregados resultando em um selamento superficial do solo, o que reduz a porosidade, e em consequência, ocorre a redução da velocidade da infiltração (Kuhn, 2007). Se o solo estiver com ausência de vegetação, acontece o processo de erosão por salpico, tal que as gotas podem desintegrar toneladas de partículas que serão desprendidas do solo, modificando assim a sua estrutura e reduzindo a capacidade de infiltração por causa dos poros obstruídos na superfície do solo (Assouline, 2004).

Para determinar a erosividade da chuva (R), é necessário selecionar leituras e uma série de dados pluviométricos, tornando-se um trabalho exaustivo e na maioria das vezes, de difícil acesso à essas informações, em especial no Brasil, pois são poucas as localidades que têm disponíveis tais informações (Santos et al., 2010).

Nos Estados Unidos, Wischmeier e Smith (1958) para determinar numericamente a capacidade erosiva das chuvas desenvolveram um índice conhecido como EI_{30} , que se refere a energia cinética da chuva pela intensidade máxima em um período de 30 minutos consecutivos. A combinação do impacto da gota de chuva, a turbulência e o escoamento superficial foram bem associados a esse índice, o qual apresenta correlação com as perdas de solo (Valle Junior, 2008).

Para Lal et al. (1980) o modelo apresentado por Wischmeier e Smith (1958) pode subestimar os valores da energia cinética calculada das chuvas nas regiões tropicais. Isso acontece devido às altas intensidades de precipitação, e a distribuição irregular das gotas, aliando-se com a frequência elevada da velocidade dos ventos.

A obtenção de um fator R confiável requer bastante tempo, sendo necessário um período de 20 a 30 anos de coleta de dados.

Dentre todos os fatores erosivos do solo, a erosividade é considerada o fator mais ativo da erosão hídrica, e no decorrer do ano, é ela que define a melhor época para executar as práticas de manejo e conservação do solo, como também auxilia na definição de épocas susceptíveis a erosão (Santos et al., 2010).

A suscetibilidade do solo à erosão em entressulcos que caracteriza a sua erodibilidade, é um atributo intrínseco de cada solo influenciado pela infiltração e permeabilidade do mesmo (Wischmeier e Smith, 1978). A erodibilidade justifica o porquê de alguns solos erodirem mais facilmente do que outros, mesmo estando em situações na qual o clima, relevo, cobertura e o uso e ocupação do solo são iguais.

Sendo assim, a erodibilidade se trata de um atributo fundamental para a previsão de perdas do solo e planejamento do uso da terra (Silva et al., 2009). A facilidade que um solo tem em sofrer a desagregação e transporte das partículas pelo impacto das gotas da chuva e por um fino fluxo superficial de água, é definido como erodibilidade em entressulcos.

As propriedades do solo que afetam diretamente a erodibilidade em entressulcos estão relacionadas com a textura, teor de matéria orgânica, teor de óxidos de Fe^{2+} e Al^{3+} , a estabilidade de agregados que afeta diretamente na porosidade, infiltração de água, compactação e impermeabilização do solo (Vaezi et al., 2018).

A erodibilidade pode ser determinada diretamente no campo, com chuva natural ou simulada. Especialmente, a chuva natural demanda bastante tempo e altos custos. Desse modo, outros métodos têm sido utilizados para predição da erodibilidade por meio de modelos matemáticos que utilizam variáveis que se correlacionam com a resistência do solo de forma direta ou indireta (Martins Filho et al., 2009).

Para determinação da erodibilidade em entressulcos do solo (K_i) é recomendado o uso das taxas de desagregação do solo, que são obtidas nos últimos 30 minutos de avaliação para os tratamentos com o solo descoberto (Elliot et al., 1989). Para tanto, recomenda-se a seguinte equação:

$$K_i = \frac{D_i}{I^2 S_f} \quad (2)$$

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

Outro fator de grande relevância que afeta a erosão em entressulcos do solo é a declividade do terreno. Com o aumento da declividade e o aumento na velocidade do fluxo superficial, aumenta-se conseqüentemente a magnitude de perda de solo (Armstrong et al., 2011; Qian et al., 2016).

Na erosão em entressulcos, o grau do declive influi em atributos hidráulicos como a tensão cisalhante e a velocidade do fluxo, que poderá determinar a erosividade da enxurrada (Nearing 1991). Para avaliar o efeito da declividade em entressulcos, utiliza-se a seguinte equação (Liebenow, 1990):

$$S_f = 1,05 - 0,85 e^{(-4 \text{ sen}\theta)} \quad (3)$$

em que, S_f é o fator declividade do solo; e é a base do logaritmo natural, θ é o ângulo do declive representado em graus.

O fator cobertura e manejo do solo apresenta grande importância no processo de controle e redução da erosão em entressulcos do solo, pois os mecanismos da vegetação para conservar a água e o solo são eficientes. Este fator pode proporcionar inúmeros benefícios para o solo, tais como: melhoria na fertilidade do solo ao oferecer maior aporte de matéria orgânica, na estabilidade dos agregados, na mecânica do solo, no número de canais feitos pelas raízes que auxiliam na infiltração de água, no armazenamento de nutrientes no solo, e no aumento na macro e microfauna (Xiong et al., 2018).

Deste modo, as atividades agrícolas desempenham um papel importante para redução e controle da perda do solo e água, pois a adoção de cobertura vegetal pode ser um aliado na redução das taxas de erosão (Gyssels et al., 2005).

A adoção de práticas conservacionistas do uso e manejo do solo são essenciais para controle da erosão, estratégias como plantio direto e cultivo mínimo

podem proteger os agregados da ação direta das gotas da chuva evitando o selamento e o encrostamento superficial (Xoing et al., 2016; Xin et al., 2019).

Os efeitos da cobertura do solo na erosão entressulcos, podem ser três (Martins Filho et al., 2004): 1) efeito tipo I que correspondente à cobertura vegetal fornecida pelo dossel ou copa da planta; 2) efeito tipo II relativo à cobertura por resíduos vegetais em contato direto com a superfície do solo; 3) efeito tipo III relativo à incorporação de resíduos no solo.

A taxa de erosão em entressulcos na presença de resíduos vegetais na superfície do solo pode ser estimada pela seguinte equação (Martins Filho et al. 2004):

$$D_i = K_i I^2 S_f C_i \quad (4)$$

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

O coeficiente C_i é o produto de uma combinação de subfatores que de acordo com Foster, (1982) pode ser expressa pela seguinte equação:

$$C_i = C_{iI} C_{iII} C_{iIII} \quad (5)$$

em que, C_{iI} , C_{iII} e C_{iIII} efeitos tipo I, II, III da cobertura do solo de acordo com Wischemeier (1975).

O subfator C_{iII} é caracterizado quando a cobertura do solo está totalmente composta por resíduos em contato direto com a superfície do solo. Na referida condição os subfatores C_{iI} (efeito tipo I) e C_{iIII} (efeito tipo III) igualam-se e assumem o valor unitário (Martins Filho et al., 2004).

Os valores do efeito do subfator C_{iII} , a partir de parâmetros relativos à porcentagem da cobertura do solo por resíduos e das características hidráulicas do fluxo superficial, de acordo com Foster (1982) pode ser obtido pela seguinte equação:

$$C_{iII} = E e^{\{-0,2 [(\frac{Y_c}{Y_d})^{-1}]^{1,18}\}} \quad (6)$$

em que, C_{iII} é o subfator cobertura do solo para resíduos em contato com a superfície; E 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 forma de modelar o subfator C_{iII} , mais simples que a equação 6, foi proposta por Laflen et al. (1985) a seguinte expressão:

$$C_{iII} = e^{-2,5 CS/100} \quad (7)$$

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.

Na literatura, ainda há deficiência de informações sobre a relação da erosão em entressulcos com a quantidade e tipos de resíduos vegetais, considerando os benefícios que a cobertura vegetal proporciona na redução do potencial erosivo da chuva e enxurrada, ao reduzir a velocidade do fluxo. Por esse motivo, torna-se necessário a realização de estudos que abordem a eficiência do fator C no controle da erosão.

Braida e Cassol (1999) avaliaram as relações da erosão em entressulcos com o tipo e quantidade de resíduos vegetais de milho e trigo na superfície do solo. Eles verificaram que com o aumento da cobertura do solo pelos resíduos houve redução da erosão em entressulcos, mesmo os resíduos de milho tendo um potencial de cobertura do solo diferente dos oriundos do trigo.

Cassol et al. (2004) avaliaram as condições hidráulicas e as relações de desagregação de um Argissolo Vermelho distrófico típico e, ainda, a capacidade de resistência ao escoamento com a presença de resíduos vegetais na forma de palha de soja na erosão em entressulcos. Eles evidenciaram que, a hidráulica do escoamento em entressulcos foi afetada pela presença de resíduos vegetais na superfície do solo, reduzindo a velocidade e aumentando a resistência e a altura da lâmina do escoamento.

Cassol et al. (2004) avaliaram as condições hidráulicas e as relações de desagregação de um Argissolo Vermelho distrófico típico e, ainda, a capacidade de resistência ao escoamento com a presença de resíduos vegetais na forma de palha de soja na erosão em entressulcos. Eles evidenciaram que, a hidráulica do escoamento em entressulcos foi afetada pela presença de resíduos vegetais na superfície do solo, reduzindo a velocidade e aumentando a resistência e a altura da lâmina do escoamento. Além disso, a interposição física dos resíduos reduz a taxa de desagregação do solo, aumentando a resistência devido a ação das forças viscosas e gravitacionais.

Bezerra e Cantalice (2006) ao estudarem o efeito de diferentes coberturas do solo em áreas de cultivo com cana-de-açúcar, verificaram que a palha da cana-de-

açúcar sobre a superfície do solo além de reduzir a perda de solo por erosão em entressulcos, proporciona outros benefícios como o aumento da rugosidade do solo, redução do impacto direto das gotas da chuva (selamento superficial) e redução da velocidade do escoamento superficial, o que leva a uma maior infiltração de água no perfil do solo.

O processo de erosão em entressulcos é a resposta de uma interação de fatores com alto índice de complexidade, por esse motivo, espera-se que os resíduos vegetais quando mantidos sobre a superfície possam evitar não apenas a desagregação das partículas do solo, mas também evitar as perdas de nutrientes associadas a tal processo.

2.4 Perdas de nutrientes por erosão

As perdas de fertilizantes e insumos agrícolas adicionados ao solo, os quais são transportados pela enxurrada, têm sido a temática de vários trabalhos de pesquisa (Thompson et al., 2001; Cassol e Lima, 2003; Martins Filho et al., 2009). A preocupação com o transporte da água e dos sedimentos devido à erosão hídrica é cada vez maior, pois a perda de nutrientes em excesso nas áreas agrícolas vem reduzindo a fertilidade dos solos, além de estar comprometendo a qualidade da água dos córregos e rios (Bertol et al., 2004).

Os sedimentos erodidos acabam concentrando grandes quantidades de nutrientes como nitrogênio e fósforo, que são tidos como os principais elementos causadores da eutrofização (Xu et al., 2013). As perdas aceleradas de solo, água e nutrientes por erosão têm sido atribuídas a cultivos intensivos, manejos agrícolas inadequados e à ocorrência de chuvas irregulares (Dai et al., 2018).

Estudar as causas e formas de redução da erosão hídrica do solo é importante porque esta causa impactos ambientais, sociais e econômicos. Apesar do solo, água e os nutrientes serem fundamentais para a manutenção da vida na terra, estes são os recursos naturais mais ameaçados e desperdiçados e com maior índice de escassez (Pimentel et al., 1995).

Segundo o relatório da FAO (2015), somente a erosão elimina 25 a 40 bilhões de toneladas de solo por ano, reduzindo de forma significativa a produtividade das

culturas e a capacidade de armazenar carbono, nutrientes e água. Em seu relatório a FAO (2015) apontou, ainda, que as perdas de produção de cereais causadas pela erosão podem chegar a 7,6 milhões de toneladas por ano.

Dentro do contexto apresentado pela FAO (2015), que afeta o mundo todo, são necessárias medidas de prevenção, controle e fiscalização relativas à erosão hídrica que precisam ser adotadas, caso contrário, a previsão é que até o ano de 2050 a diminuição da produção dos cereais totalize mais de 253 milhões de toneladas.

O efeito do deslocamento do solo como uma combinação dos processos erosivos aumenta a variabilidade espacial das produções agrícolas, bem como diminui a capacidade produtiva dos solos em todo o mundo (Souza et al., 2011).

Neste sentido, depreende-se que a perda de solo e nutrientes prejudica gravemente a produção de alimentos e a segurança alimentar, intensifica as variações dos preços dos alimentos, sendo crescente o número de pessoas que não têm acesso a uma alimentação saudável aumentando o índice de pobreza e fome (FAO, 2015).

Além dos danos sociais, a perda de solo por erosão resulta em enormes prejuízos econômicos, tendo em vista que cerca de 20 a 40% dos custos de produção em culturas como milho, soja, cana-de-açúcar são em fertilizantes, herbicidas e insumos agrícolas (Cavalett e Ortega, 2009; Souza et al., 2012, Pereira et al., 2015).

Estes investimentos são realizados em cada safra e são desperdiçados juntamente com o sedimento erodido pelas gotas da chuva através do carreamento, ocasionando prejuízos econômicos incalculáveis para os agricultores, não somente com a perda de fertilizantes mas também de sementes, matéria orgânica e para reparar os danos deixados pelo rastro da perda do solo por erosão (Dechen et al., 2015).

Os custos da erosão hídrica associados às perdas de nutrientes, em diferentes condições de cobertura superficial do solo (C=0%, C=24%, C=40%, C= 90%), foram avaliados por Dechen et al. (2015). Nesta pesquisa, os autores verificaram que o tratamento com 90% de cobertura foi eficiente para redução das perdas de solo, água, matéria orgânica e nutrientes em 54,44% ,51,97% e 54,91%, respectivamente, quando comparados aos tratamentos com ausência de cobertura. Além disso, os autores estimaram que o Brasil perde cerca de 616,5 milhões de toneladas de solo

por ano, em função do processo de erosão do solo em lavouras anuais, o que representa um prejuízo na ordem de US\$ 1,3 bilhão ao ano.

Bertol et al. (2007) avaliando o custo das perdas de P e K disponível, Ca e Mg trocáveis por erosão hídrica em um Cambissolo submetido aos sistemas de preparo convencional (PC), preparo mínimo (PM) e semeadura direta (SD) durante 11 anos, verificaram que os sistemas de manejo utilizados influenciaram significativamente as perdas de solo por erosão, em função dos anos de cultivo. Neste estudo, o prejuízo econômico referente a perda destes nutrientes nos sistemas de preparo foi de US\$ 14,83 (SD), US\$ 16,33 (PM) e US\$ 24,94 (PC) por hectare ao ano para semeadura direta, preparo mínimo e preparo convencional, respectivamente.

O custo das perdas dos nutrientes P, K, Ca e Mg por erosão do solo, em área com cultivo da cana-de-açúcar, para dois sistemas de colheita (cana crua e queimada) em Catanduva- SP, foram estimados por Andrade et al. (2011). Foi avaliado que uma área com cana queimada perde mais nutrientes em todos os cortes, representando um custo médio para reposição de nutrientes de R\$ 33,93 ha⁻¹ ano⁻¹ quando comparado com a cana crua que apresentou um custo de R\$ 21,12 ha⁻¹ ano⁻¹. Segundo Andrade et al. (2011), a cana crua oferece melhor rendimento técnico e econômico como também proporciona melhor conservação do solo e da água.

Bertol et al. (2004) avaliando as perdas de P e K em um Cambissolo Húmico alumínico léptico de Lages-SC por erosão hídrica, em sistemas de manejo convencionais e conservacionistas, utilizando várias culturas em 2 sistemas de cultivo (rotação e sucessão), sob chuva natural, verificaram que o solo sem cobertura apresentou uma maior perda destes nutrientes e, também, que a concentração dos dois elementos em sistemas de manejo conservacionista foi maior quando comparada com a concentração presente em sistemas convencionais.

Guadagnin et al. (2005) ao avaliarem perda de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em Cambissolo Húmico, sob diferentes sistemas de manejo e cultivo, constataram que as perdas de NH₄⁺ e NO₃⁻ na água da enxurrada foram menores no sistema de manejo utilizando escarificação e gradagem com nove anos em cultivo com feijão na rotação e soja na sucessão, e que as perdas de nitrogênio mineral foram maiores nos sistemas convencionais (aração + duas gradagens com nove anos e solo sem cultura com nove anos).

Em outro estudo, Gilles et al. (2009) avaliando as perdas por erosão hídrica no cultivo de milho em área de campo nativo, sob diferentes métodos de preparo do solo e tipos de adubação, observaram que as perdas de água, matéria orgânica e de nutrientes foram maiores em solo sob sistema de semeadura direta quando comparado com solo sob sistema de escarificação, independente do tipo de adubação utilizada.

A adoção de práticas agrícolas convencionais pode intensificar o processo erosivo uma vez que altera negativamente as características físicas do solo, aumentando a desagregação do mesmo, o que proporciona prejuízos econômicos e socioambientais (Bertol et al., 2007). O manejo do solo com o uso de arado e grade pode resultar em um clássico exemplo de degradação da estrutura, que desagrega na superfície e compacta na subsuperfície, como também reduz a cobertura vegetal do solo (Amado et al., 2007).

Acredita-se que sistemas de conservação do solo, como o plantio direto e o cultivo mínimo, podem auxiliar as atividades agrícolas reduzindo os danos ocasionados pela erosão do solo em comparação ao sistema convencional (Walton et al., 2000).

Diante do que foi exposto, fica perceptível que existe a necessidade em se adotar práticas de uso e manejo do solo que priorizem o uso sustentável do mesmo de maneira a conservar suas propriedades químicas, físicas e biológicas.

Portanto, a adoção de práticas conservacionistas é fundamental considerando que elas podem minimizar as perdas de solo, água e nutrientes pela enxurrada, reduzir os custos de produção ao diminuir a necessidade de adubações excessivas e proporcionar um melhor rendimento para os produtores, tornando a agricultura um setor ainda mais produtivo e rentável. Pesquisas que busquem evidenciar a importância do uso da cobertura vegetal sobre o solo poderão auxiliar no correto planejamento, uso e manejo, bem como em melhorias relacionadas à conservação do mesmo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em duas áreas experimentais. A área 1 está localizada na região nordeste do estado de São Paulo, no município de Guariba, na fazenda São Bento, cujas coordenadas geográficas são latitude 21° 19' 42" S e longitude 48° 13' 32" W, com altitude média de 640 m acima do nível do mar.

De acordo com a classificação de Köppen o clima da região é do tipo mesotérmico com inverno seco (Aw), cuja precipitação média de 1.400mm, com chuvas concentradas no período de novembro a fevereiro. Apresenta vegetação natural formada por floresta tropical subcaducifólia. O solo da área foi classificado por Souza et al. (2004) como Latossolo Vermelho eutrófico (LV), textura muito argilosa (Tabela 1), o qual está sob cultivo de cana-de-açúcar.

A área 2 do experimento está situada no município de Tabapuã, noroeste do estado de São Paulo cujas coordenadas geográficas são: latitude 20° 59' 45,16" S e longitude 49° 4' 44,60" W. De acordo com a classificação de Köppen, o clima local é denominado tropical quente úmido, tipo Aw, seco no inverno, com precipitação média anual de 1.318 mm.

A região apresenta vegetação primária classificada como floresta pluvial estacional e cerrado. A área tem 220 ha com um histórico de mais de 20 anos consecutivo com cultivo de cana-de-açúcar e aproximadamente mais de 10 anos com o sistema de colheita mecanizada com ausência da queima.

Portanto, a cobertura vegetal da área, na época da realização do trabalho, estava composta por resíduos de cana-de-açúcar. O solo da área foi classificado por Sanchez et al. (2009) como Argissolo Vermelho eutrófico (PV), cujos valores dos principais atributos granulométricos são apresentados na Tabela 1.

Para estimar as perdas de solo, água, matéria orgânica e nutrientes por erosão aplicou-se chuva artificial, em três condições de cobertura vegetal com palha de cana-de-açúcar, sendo: 1) ausência de cobertura (CS₀); 2) 50% de cobertura (CS₅₀); 3) 100% de cobertura (CS₁₀₀).

Tabela 1. Atributos físicos e químicos do Latossolo Vermelho eutrófico (LV) e Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (PV).

Solo	Hz	Prof.	Argila	Silte	Areia	M.O	pH (CaCl ₂)	P	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	Fe ₂ O ₃
		m	g kg ⁻¹			g dm ⁻³		mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³				%	g kg ⁻¹	
LV	A	0,00-0,20	632	189	179	30	5,1	33	2	31	9	41	76	54	204
	B	0,40-0,60	705	152	143	14	5,5	6	1	23	6	31	54	57	253
PV	A	0,00-0,20	128	84	788	16	5,1	34	2	20	9	31	55	56	25
	B	0,60-0,80	262	53	685	9	5,0	8	1	21	8	31	53	58	33

Hz – horizonte; Prof.- Profundidade; LV – Latossolo Vermelho eutrófico; PV- Argissolo Vermelho eutrófico; M.O- matéria orgânica. Fonte: Souza et al. (2004); Souza et al. (2012); Camargo et al. (2013); Martins Filho et al. (2009).

O método da linha de transeção de Shelton (2009) foi utilizado para avaliar a percentagens de cobertura. Uma moldura com 55 células, cada uma com espaçamento de 1,0 m entre linhas e 0,75 m entre colunas, foi utilizada para a composição da cobertura de 50% com o preenchimento aleatório. A dose de aplicação de resíduos foi a mesma para CS₅₀ e CS₁₀₀ e igual a 1,4 kg m⁻².

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC) arranjado em esquema fatorial (3 x 2), sendo 3 tratamentos – coberturas em superfície (CS₀, CS₅₀ e CS₁₀₀), 2 classes de solo - Latossolo Vermelho (LV) e Argissolo Vermelho (PV) e 4 repetições, totalizando assim 24 parcelas experimentais. Cada parcela tinha dimensão de 0,50 m de largura e 1,00 m de comprimento (0,5 m²) e foi delimitada com chapas metálicas nas laterais e na parte superior, e por calhas coletoras metálicas em seus limites inferiores.

As calhas coletoras com 0,50 m de largura convergiam para a saída de 0,065 m de diâmetro. Amostras de enxurrada foram coletadas nessas calhas para quantificar as perdas de solo de água. Todas as parcelas foram alinhadas no sentido da declividade do terreno, a qual, em média, foi de 0,075 m m⁻¹. O preparo do solo também foi realizado no sentido do declive.

As parcelas experimentais foram submetidas a chuvas simuladas com intensidade média de 60 mm h⁻¹ (I), durante um intervalo de tempo de 60 minutos. Utilizou-se, para realizar as referidas precipitações, de simulador de chuva de hastes rotativas do tipo Swanson, com bicos veejet 80-100, previamente calibrado e nivelado no terreno, como descrito por (Martins Filho et al., 2004).

Trinta e seis pluviômetros, alinhados no sentido do declive, na área de ação do simulador de chuvas, foram utilizados para determinar as intensidades das precipitações produzidas pelo simulador, nas áreas ocupadas pelas parcelas experimentais (Martins Filho, 1999).

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 (Martins Filho et al., 2004). 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, conseqüentemente, determinação das taxas de perdas de solo, água e nutrientes no sedimento.

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 h para a deposição de sedimentos. Após o período de repouso de 24 h, as amostras foram levadas à estufa a 105° C até secagem completa. Após secagem, as amostras foram pesadas, determinando-se o peso de 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 (Martins Filho et al., 2004).

Desse modo, determinou-se para cada parcela e tratamento as perdas totais por erosão em entressulcos (D_i) durante cada uma das chuvas simuladas. Taxas de infiltração de água no solo foram determinadas pela diferença entre a intensidade da chuva e a taxa de enxurrada.

A taxa desagregação do solo em entressulcos (D_i), obtidas nas parcelas experimentais, foram utilizadas para obter o efeito do subfator C_{iII} como:

$$C_{iII} = \frac{(D_i)_{CSi}}{(D_i)_{CS0}}$$

em que, (D_i) é a taxa de erosão em entressulcos ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$), CS_i cobertura do solo, numa condição i ($i = 0, 50$ ou 100%).

A Erodibilidade em entressulcos do solo (K_i) foi determinada a partir da equação 2, cujos valores de D_i foram os obtidos nos tempos de coleta 45, 50, 55 a 60 minutos de amostras de enxurrada durante as simulações de chuvas.

Os efeitos da declividade do solo na erosão em entressulcos foram estimados pela equação (3).

Valores de infiltração obtidos no experimento foram ajustados ao modelo de Horton (Equação 9). Os coeficientes do modelo foram estimados por regressão não-linear pelo método de Gauss - Newton com o programa Statistica (STATSOFT, 1994).

$$i = i_f + (i_0 - i_f)e^{(-\beta t)} \quad (9)$$

em que, i é a taxa de infiltração no tempo (mm h^{-1}); β é um coeficiente estimado; i_f é a taxa de infiltração mínima (mm h^{-1}); i_0 é a taxa de infiltração inicial; t é o tempo.

O número de Reynolds (R_e) foi determinado conforme a expressão apresentada por Gilley e Doran (1998):

$$R_e = \frac{q}{\nu} \quad (10)$$

em que, q é a descarga líquida por unidade de largura ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$); ν é a viscosidade cinemática da água ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$).

Como a viscosidade cinemática (ν , $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$) da água varia conforme a temperatura, esta foi determinada em $^{\circ}\text{C}$ a cada evento. A ν foi determinada como (Julien, 1998):

$$\nu = [1,14 - 0,031 (T - 15) + 0,00068 (T - 15)^2] \times 10^{-6} \quad (11)$$

em que, T é a temperatura da água em $^{\circ}\text{C}$.

O fluxo foi classificado em laminar quando o número de Reynolds resultou em $R_e < 1000$, turbulento transicional quando $R_e > 1000$ e completamente turbulento quando $R_e > 2000$, conforme Guo et al. (2013) e Reichert e Norton (2013).

Para determinar o número de Froude (F_r), foi utilizada a seguinte expressão (Chanson, 2004):

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{g h}} \quad (12)$$

em que, v é a velocidade média do fluxo (m s^{-1}); g é a aceleração da gravidade (m s^{-2}); h é a altura do fluxo superficial (m).

Os fluxos foram denominados de acordo com o número de Froude (F_r), conforme Guo et al. (2013): 1) fluxo supercrítico se F_r maior que um; 2) fluxo subcrítico,

se F_r menor que um.

Para as análises químicas do solo e do sedimento erodido, Ca, Mg, K e P foram extraídos pelo método da resina trocadora de íons (RAIJ et al., 1987). O carbono orgânico foi determinado seguindo a metodologia da EMBRAPA (1997). O pH foi determinado potenciométricamente em solução de CaCl_2 0,01 M. (Falta o local exato do laboratório)

Para estimar os custos das perdas dos nutrientes, com base nas concentrações de P, K, Ca e Mg nos sedimentos, os resultados foram convertidos em termos de fertilizantes e corretivos comerciais. O P foi expresso com base no superfosfato simples (17% de P_2O_5); K na forma de cloreto de potássio (60% de K_2O) e o Ca e Mg na forma de calcário dolomítico ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, com 30% de CaO e 18% de MgO).

Os dados foram submetidos à análise da variância (ANOVA) utilizando o programa Statistica (STATSOFT, 1994). As médias foram submetidas às comparações múltiplas pelo teste de Duncan ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$). Os dados foram submetidos à transformação por Log_{10} .

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 observa-se que os números de Reynolds (R_e) e Froude (F_r) foram do tipo laminar ($R_e < 1000$) e subcrítico ($F_r < 1$) para os tratamentos, com exceção do Latossolo com ausência de cobertura do solo (CS_0) que apresentou $F_r > 1$ o que caracteriza fluxo supercrítico. Neste trabalho, os valores de R_e variaram de 4,76 a 9,12 no LV e de 4,00 a 7,85 no PV. Já os valores de F_r variaram de 0,41 a 1,50 no LV e de 0,06 a 0,45 no PV. O aumento das porcentagens da cobertura de palha de cana-de-açúcar, independentemente do tipo de solo, promoveu uma significativa redução nos números de R_e e F_r .

O R_e e o F_r são variáveis hidráulicas críticas para o regime do escoamento, uma vez que a ação das forças viscosas no fluxo é representada pelo R_e , e a ação das forças gravitacionais é representada pelo F_r (Guo et al., 2013). De acordo com Cassol et al. (2004), a presença da palhada na superfície do solo, auxilia na redução da velocidade do escoamento e aumento da rugosidade superficial, aumentando a altura da lâmina d'água e as forças gravitacionais, o que diminui o número de Fr. O número de Froude representa a razão entre energia cinética e potencial gravitacional do fluxo (Guo et al., 2013).

Tabela 2. Parâmetros hidráulicos dos escoamentos e da erosão em entressulcos gerados por chuva simulada.

Solo	CS	R_e	F_r	i	C	K_i	D_i
	%			mm h ⁻¹	g L ⁻¹	kg s m ⁻⁴	Kg m ⁻² s ⁻¹
LV	0	9,12 aA	1,50 aA	35,50 cA	3,24 bA	2,33 × 10 ⁵ b	0,000027 aA
	50	5,42 bB	0,54 bB	47,47 aA	0,98 cB	-	0,000005 dB
	100	4,76 bB	0,41 cB	49,61 aA	0,18 dC	-	0,000001 eC
PV	0	7,85 aA	0,45 bA	31,16 dB	39,47 aA	3,56 × 10 ⁶ a	0,000266 aA
	50	5,01 bB	0,13 dB	43,38 bB	25,00 aA	-	0,000082 bB
	100	4,00 cC	0,06 eC	47,76 aA	14,94 aA	-	0,000041 cC

Médias seguidas de mesma letra minúscula para tipos de solo e maiúscula para tipos de cobertura na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$ LV - Latossolo Vermelho eutrófico; PV - Argissolo Vermelho eutrófico; CS - Cobertura do solo; R_e – número de Reynolds; F_r – número de Froude; C - Concentração de sedimentos; i - Taxa média de infiltração de água no solo; K_i - Erodibilidade em entressulcos; D_i - Taxa de erosão em entressulcos.

A taxa de infiltração de água no solo (i) apresentou diferença significativa entre os solos nos tratamentos CS₀ e CS₅₀ no Argissolo (Tabela 2). Foi possível observar que os solos com cobertura obtiveram os maiores valores de infiltração de água no solo no decorrer do tempo (Figura 1).

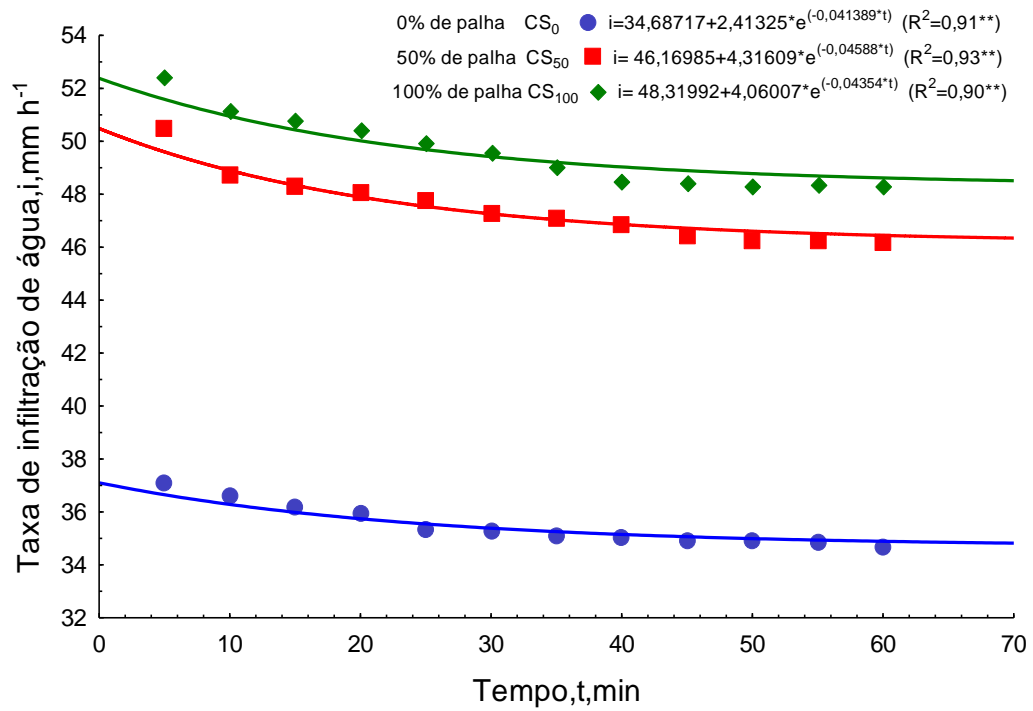
O aumento da quantidade de palha sobre o solo provavelmente aumentou a proteção contra o impacto das gotas da chuva, e como resultado, houve um menor selamento superficial e conseqüentemente maior infiltração da água no solo (Figura 1).

Segundo Carlesso et al. (2011), o uso de cobertura no solo melhora a infiltração por ter influência direta na interceptação da chuva (redução da energia cinética da gota). Para Derpsch et al. (2014), a adição de resíduos culturais para recobrimento do solo é importante para aumentar a infiltração de água, reduzir o escoamento superficial e erosão no solo, além de ser considerada uma forma primária de entrada de matéria orgânica que aumenta a atividade biológica, conserva a umidade e modera a temperatura do solo.

A Figura 1 apresenta o modelo ajustado de infiltração (i) de água no solo para todos os tratamentos, estimado pelo modelo de Horton. Como pode ser observado, o modelo apresentou um bom ajuste, refletido no aumento do coeficiente de determinação (R²) que variou de 0,91 a 0,94 para os solos LV e PV, respectivamente.

Shao et al. (2015) ao avaliarem a eficiência de quatro modelos de infiltração (Philip, Green-Ampt, Holtan e Horton) verificaram que o coeficiente médio de determinação apresentou variação de 0,84 a 0,96 sendo que o modelo Horton se destacou com maior média de R², demonstrando que tal modelo foi capaz de descrever bem o processo de infiltração. Outros trabalhos também observaram melhores ajustes para o modelo Horton (Panachuki et al. 2011; Santos et al., 2014; Carvalho et al.2015).

a



b

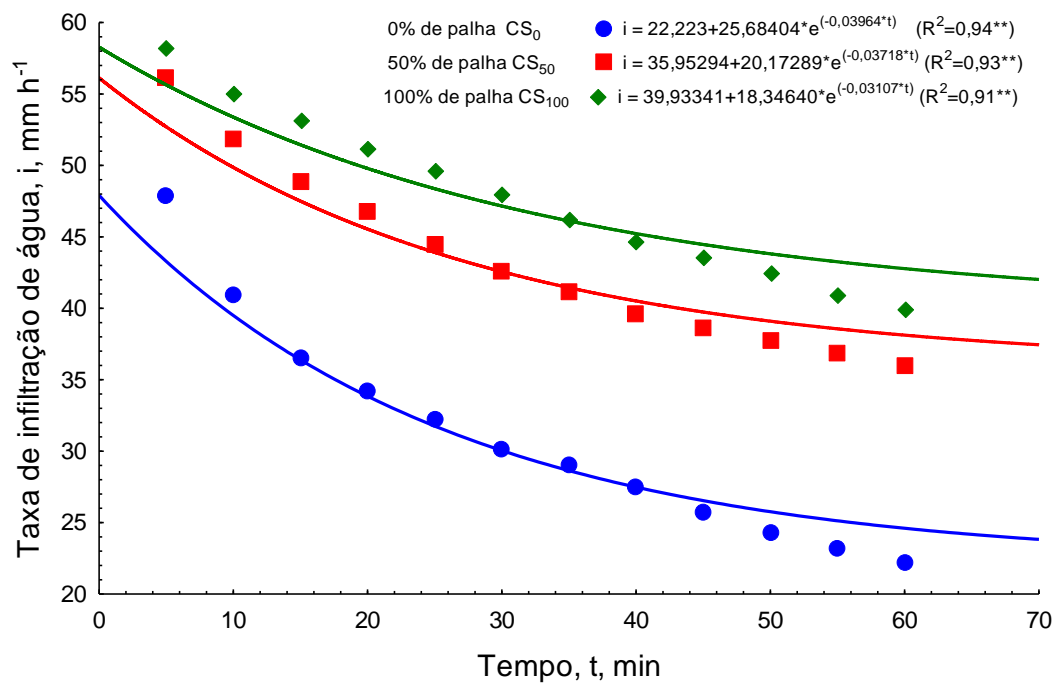


Figura 1. Taxa média de infiltração de água no solo observada e estimada pelo modelo de Horton, em função do tempo e porcentagem de resíduos em superfície: a) Latossolo (LV), b) Argissolo (PV).

Na Tabela 2 verifica-se que houve diferença significativa ($P < 0,05$) para as concentrações de sedimentos (C) entre solos e coberturas por palha de cana-de-açúcar. Entretanto, observa-se que houve concentrações de sedimentos com valores bastante acentuados em todas as porcentagens de cobertura no Argissolo, comparativamente ao Latossolo, principalmente, quando comparados os dois solos sem nenhuma cobertura (CS_0). De todo modo, foi possível observar que a concentração de sedimentos reduziu com o aumento do percentual de palhada na superfície dos solos.

As observações, quanto aos valores das concentrações de sedimentos, se assemelham aos resultados obtidos por Braida e Cassol et al. (1999) e Martins Filho et al. (2012), os quais verificaram que o aumento do percentual da cobertura sobre o solo resultou em maior proteção contra o impacto direto das gotas de chuva. Os valores da concentração de sedimentos do PV em relação aos valores observados para o LV nas três condições de cobertura estudadas, foram cerca de 12, 26, 83 vezes maiores respectivamente. Tais diferenças de valores no PV podem estar associadas à sua maior variabilidade e susceptibilidade em sofrer a erosão.

Quanto à erodibilidade em entressulcos (K_i), os resultados obtidos foram de $2,33 \times 10^5 \text{ Kg s m}^{-4}$ para o LV e de $3,56 \times 10^6 \text{ Kg s m}^{-4}$ para o PV (Tabela 2). Estes valores confirmam a maior erodibilidade do PV em relação ao LV. O valor obtido no LV é compatível, em ordem de grandeza, àquele determinado por Lima e Andrade (2001) em Latossolo Vermelho com K_i igual a $2,64 \times 10^5 \text{ Kg s m}^{-4}$.

No caso do PV, o seu valor é comparável ao obtido por Rockenbach (1992) em um Argissolo com textura franco-arenosa, cujo valor de K_i foi de $3,35 \times 10^6 \text{ kg s m}^{-4}$. Para um Argissolo Vermelho Eutrófico típico, com declividade de 9%, Franco et al. (2012) obtiveram um valor de K_i determinado experimentalmente de $1,82 \times 10^6 \text{ kg s m}^{-4}$. Uma provável explicação para as diferenças observadas, quanto a K_i , pode estar relacionada à mineralogia da fração argila do LV e PV como apontam trabalhos de Bezerra e Cantalice (2006) e Reichert e Norton (2013).

A taxa de erosão em entressulcos (D_i) apresentou diferença significativa entre os solos e coberturas por palha de cana-de-açúcar. Os maiores valores de D_i foram obtidos nos tratamentos de CS_0 . É possível observar que houve um decréscimo nos

valores de D_i conforme aumentou a percentagem da cobertura sobre o solo (Tabela 2).

Tais resultados demonstram o efeito favorável que a cobertura tem no controle da erosão do solo, e corroboram com o que foi avaliado por Cassol et al. (2004) que obtiveram valores de D_i igual a $5,35 \times 10^{-4} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ para solo com ausência de cobertura e $1,50 \times 10^{-5} \text{ kg m}^{-2}\text{s}^{-1}$ com 100% com palha de soja em superfície.

A eficiência da cobertura da palha no controle de perda do solo, água e nutrientes foi verificada em trabalhos de Martins Filho et al. (2009), Liu et al. (2016) e Dai et al. (2018). Os referidos autores verificaram que a palhada das culturas reduziu o impacto das gotas da chuva aumentando a infiltração de água durante precipitações mais intensas.

Deste modo, o uso de cobertura pode ser uma medida de conservação do solo e da água, que efetivamente utilizada pode reduzir e controlar a erosão do solo e o acúmulo de sedimentos (Maetens et al., 2012).

As concentrações médias de MO e nutrientes (P, K, Ca e Mg) nos sedimentos erodidos apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre os solos e coberturas (Tabela 3). As perdas de MO e nutrientes foram maiores nos tratamentos CS_0 e CS_{50} para ambos os solos. No tratamento CS_{100} foi observada uma menor perda destes elementos nos sedimentos erodidos. A tendência de perdas de nutrientes no sedimento erodido foi a seguinte: $MO > Ca > Mg > K > P$.

Esta tendência foi a mesma para todos os tratamentos e tipos de solos. Tais resultados sugerem que, mesmo havendo o decréscimo dos valores das concentrações de MO, P, K, Ca e Mg, com o aumento da cobertura do solo, o tratamento CS_{50} não foi suficiente para manutenção da concentração de MO e nutrientes em níveis significativamente diferentes do CS_0 .

Efeito contrário foi verificado para o tratamento CS_{100} que além de manter a concentração dos parâmetros avaliados, também foi eficiente na redução da perda de solo por erosão (D_i) em 90%, MO em no mínimo 97% e nutrientes em 97% (P), 96% (K), 98% (Ca) e 98% (Mg), para ambos solos.

Tabela 3. Concentração média de matéria orgânica, nutrientes do solo, no sedimento erodido em função da cobertura do solo.

Solo	CS (%)	M.O P K Ca Mg				
		-----Kg ha ⁻¹ -----				
LV	0	40,947 cA	0,045 cA	0,098 dA	0,885 cC	0,219 cA
	50	4,931 eB	0,006 dB	0,012 eB	0,055 eB	0,014 eB
	100	0,000 fC	0,001 eC	0,003 fC	0,011 fA	0,003 fC
PV	0	521,205 aA	0,584 aA	1,927 aA	15,344 aA	4,739 aA
	50	75,391 bB	0,118 bB	0,359 bB	4,207 bB	0,750 bB
	100	13,479 dC	0,013 dC	0,100 cC	0,343 dC	0,068 dC

Médias seguidas de mesma letra minúscula para um mesmo solo e maiúscula entre os solos na coluna, para uma mesma variável, não diferem estatisticamente, pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). LV - Latossolo Vermelho eutrófico; PV - Argissolo Vermelho eutrófico; CS- cobertura do solo M.O - matéria orgânica; P- fósforo, K- Potássio, Ca- Cálcio, Mg- Magnésio.

Os resultados alcançados neste trabalho assemelham-se aos relatados por Martins Filho et al. (2009) que ao avaliarem as perdas de solo e nutrientes por erosão em Argissolo com resíduos de cana-de-açúcar constataram que a CS₁₀₀ reduziu cerca de 89% da erosão e as concentrações de MO (69%), P (88%), K (23%), Ca (74%) e Mg (75%) no sedimento erodido.

Com relação aos valores da concentração média expressos em termos de fertilizantes minerais e corretivos do solo, que foram acumulados no sedimento erodido, observou-se diferença significativa entre solos e cobertura estudados, sendo que as maiores perdas foram observadas na CS₀ (Tabela 4). Por outro lado, a CS₁₀₀ diminuiu a concentração destes insumos no sedimento erodido, denotando, portanto, a importância do uso de cobertura do solo. Os principais danos causados pela erosão em entressulcos, além da perda de água e solo, são as perdas de M.O, nutrientes, fertilizantes e corretivos, o que resulta em prejuízos econômicos ao produtor (Telles e Guimarães, 2011; Telles et al., 2013).

Tabela 4. Concentração média em termos de fertilizantes minerais e corretivos do solo no sedimento erodido em função da cobertura do solo.

Solo	CS	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
	(%)	-----Kg ha ⁻¹ -----			
LV	0	0,103 bA	0,119 cA	1,240 cA	0,363 cA
	50	0,014 dB	0,014 dB	0,076 eB	0,023 eB
	100	0,002 eC	0,003 eC	0,015 fC	0,004 fC
PV	0	1,338 aA	2,322 aA	21,481 aA	7,858 aA
	50	0,271 bB	0,432 bB	5,890 bB	1,244 bB
	100	0,030 cC	0,120 cC	0,480 dC	0,112 dC

Médias seguidas de mesma letra minúscula para um mesmo solo e maiúscula entre os solos na coluna, para uma mesma variável, não diferem estatisticamente, pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). LV - Latossolo Vermelho eutrófico; PV - Argissolo Vermelho eutrófico; CS- cobertura do solo; P₂O₅- superfosfato simples; K₂O- Óxido de Potássio, CaO- Oxido de cálcio; MgO- oxido de magnésio.

A aplicação de fertilizantes e corretivos representa uma boa parcela do custo de produção. Deste modo, os investimentos com adubação e calagem representam entre 20% e 41% do custo de produção para culturas anuais como soja, milho e cana-de-açúcar (Cavalett e Ortega, 2009; de Souza et al., 2012; Pereira et al., 2016).

Na Tabela 5 estão representados os custos da erosão do solo em reais por kg ha⁻¹, associados com as perdas de nutrientes na forma de superfosfato simples com 17% de P₂O₅, cloreto de potássio com 60% de K₂O e calcário dolomítico (CaMg (CO₃)₂) com 30% de CaO e 18% de MgO. Verifica-se que conforme aumenta-se a porcentagem de cobertura do solo com palha de cana-de-açúcar, diminui-se a perda de nutrientes por erosão em entressulcos.

Os maiores custos foram observados para os tratamentos CS₀, nos quais ocorreram as maiores e significativas perdas de nutrientes por erosão. O Argissolo apresentou maior perda econômica com um total desperdiçado de R\$ 124,90 para CS₀ e R\$ 32,87 para CS₅₀ para todos os nutrientes. Em particular no Argissolo o calcário dolomítico destacou-se por apresentar maior perda econômica de R\$ 115,79 para CS₀ e R\$31,27 para CS₅₀.

Tabela 5. Custos da erosão do solo associados às perdas de P, K, Ca e Mg, expressas na forma de superfosfato simples (P_2O_5 , 17%), cloreto de potássio (KCl, 60%) e calcário dolomítico ($CaMg (CO_3)_2$, 48%).

Solo	CS (%)	P_2O_5 (17%)	KCl (60% de K_2O)	$CaMg (CO_3)_2$, 48%	Total
		----- R\$ kg ha ⁻¹ -----			
LV	0	0,20	0,30	6,64	7,14
	50	0,03	0,03	0,41	0,46
	100	0,00	0,01	0,08	0,09
PV	0	2,58	5,76	115,79	124,13
	50	0,52	1,07	31,27	32,87
	100	0,06	0,30	2,55	2,91

LV - Latossolo Vermelho eutrófico; PV - Argissolo Vermelho eutrófico; CS- cobertura do solo; P_2O_5 - superfosfato simples KCl- Cloreto de Potássio granulado; $CaMg (CO_3)_2$ - Calcário Dolomítico; R\$: real; (%) concentração dos respectivos fertilizante.

Tais resultados assemelham-se aos de Dechen et al. (2015) que estimaram o custo da erosão hídrica associado à perda de nutrientes em um Latossolo Vermelho em Campinas- SP e verificaram que, com o aumento da cobertura vegetal na superfície do solo, acontece a redução da perda desses elementos, e os custos variaram entre US\$ 107,76 ha⁻¹ ano⁻¹ para 0% de cobertura a US\$ 18,15 ha⁻¹ ano⁻¹ para 90% de cobertura.

Esses resultados mostram a necessidade em se adotar práticas de manejo do solo que visem a conservação do mesmo, pois além dos danos ambientais e sociais envolvidos, existem impactos econômicos haja vista que a perda do solo leva à perda de nutrientes, e conseqüentemente, o produtor terá que investir mais em corretivos e fertilizantes, o que levará a um aumento no custo de produção da cultura.

A exemplo de Martins Filho et al. (2004) foi possível modelar o subfator C_{ii} a partir da razão de cobertura da superfície do solo por resíduos vegetais. Os valores das constantes ajustadas ($\alpha = -3,43$; $-2,48$ e $-2,91$, Tabela 6) diferem dos valores propostos por Laflen et al. (1985) de $-2,5$ e Martins Filho et al. (2004) de $-2,24$, os quais trabalharam com resíduos culturais de milho. Convém salientar que os valores de α foram superiores aos citados nos dois tipos de solos estudados. Tal resultado demonstra a efetiva necessidade de modelagens e estudos de medição direta de tal subfator (C_{ii}), para os manejos da cultura da cana-de-açúcar, principalmente em áreas com uso de colheita mecanizada.

Tabela 6. Modelos para estimativas do subfator C_{iII} .

Solo	Modelo		R^2
LV	$C_{iII} = e^{-3,430 CS/100}$	(13)	1,00**
PV	$C_{iII} = e^{-2,481 CS/100}$	(14)	0,99**
Geral	$C_{iII} = e^{-2,917 CS/100}$	(15)	0,99**

LV - Latossolo Vermelho eutrófico; PV - Argissolo Vermelho eutrófico; e - base do logaritmo natural; CS - cobertura do solo.

Os valores do subfator C_{iII} observados e estimados pelas equações estão apresentados na Tabela 7. Verificou-se que os valores do subfator C_{iII} predito para o Latossolo foi semelhante aos valores observados, enquanto o modelo estimado para o Argissolo superestimou os valores para o tratamento de CS_{50} e subestimou os valores para o tratamento $CS_{100\%}$.

Como também, foi possível constatar que ao passo que se aumentou a porcentagem do resíduo de palha de cana-de-açúcar sobre a superfície do solo, os valores do subfator C_{iII} diminuíram levando a uma redução nas taxas de erosão em entressulcos, tanto para os valores observados quanto para os estimados. Tal efeito decorre principalmente da redução da taxa de desagregação pelo impacto direto da gota da chuva (Martins Filho et al., 2009).

Ao analisar o tratamento de CS_{50} e considerando o subfator C_{iII} observado para o Latossolo, nesta condição, que foi de 0,18, pode-se inferir que a redução da erosão foi de 82%. Já para o tratamento de CS_{100} no mesmo solo e considerando o subfator C_{iII} de 0,03 constata-se que houve uma redução de 97% na taxa de erosão. Para o Argissolo, o tratamento com CS_{50} obteve subfator C_{iII} igual 0,25 e uma redução na taxa de erosão de 75%. Por fim, o tratamento CS_{100} apresentou um subfator C_{iII} de 0,15 e a redução média da erosão foi de 85%.

Estes resultados denotam que mesmo utilizando cobertura de 100% para ambos os solos, os valores para o subfator C_{iII} observado tiveram média de 0,03 e 0,15 para LV e PV respectivamente, o que caracteriza uma leve ocorrência de erosão em entressulcos. Uma justificativa para o ocorrido é o fato que os solos estavam desagregados, em função do preparo efetuado antes dos testes para avaliar a erosão em entressulcos. Assim, a exemplo de Braida e Cassol (1999), partículas

desagregadas pelo preparo foram transportadas pelo fluxo superficial existente sob os resíduos vegetais, resultando em uma taxa de erosão ainda mensurável.

Tabela 7. Comparação entre os valores médios do subfator C_{III} observado, predito e geral de LV e PV

Solo	CS	C_{III} Preditos		
		Observado	Eq. (13) ou (14)	Eq. (15)
LV	0	1,00	1,00	1,00
	50	0,18	0,18	0,23
	100	0,03	0,03	0,05
PV	0	1,00	1,00	1,00
	50	0,25	0,29	0,23
	100	0,15	0,08	0,05

LV - Latossolo Vermelho eutrófico; PV - Argissolo Vermelho eutrófico; CS- cobertura do solo; Eq.- equação.

5. CONCLUSÕES

O tratamento com 100% de cobertura de palha de cana-de-açúcar é eficiente, o que contribui para reduzir as perdas de solo, matéria orgânica e nutrientes.

As taxas de infiltração de água no solo são maiores para as parcelas com 50 e 100 % de cobertura por resíduos de cana-de-açúcar. O modelo de infiltração de Horton é eficiente para simular a taxa de infiltração de água no solo.

Recomenda-se o uso da equação $C_{ii} = e^{-2,917 CS/100}$, para o Latossolo e o Argissolo estudados para estimativas indiretas do subfator cobertura e manejo do solo para a cultura da cana-de-açúcar, em áreas com colheita mecanizada.

O aumento da porcentagem de cobertura do solo por resíduo da palha de cana-de-açúcar, reduz os custos das perdas de solo, água, matéria orgânica e nutrientes.

O Argissolo apresenta os maiores custos com as perdas por erosão em entressulcos, relativos a fertilizantes comerciais, quando em situação de ausência de cobertura por resíduos de palha de cana-de- açúcar.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque JA, Cassol EA, Reinert DJ (2000) Relação entre a erodibilidade em entressulcos e estabilidade dos agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 24:141–151.
- Almeida WS, Panachuki E, Oliveira PTS, Menezes RS, Sobrinho TA, Carvalho DF (2018) Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. **Soil Tillage Research** 175:130-138.
- Amado TJC, Pontell CB, Santi AL, Viana JHM, Sulzbach LAS (2007) Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 42:1101-1110.
- Amorim RSS, Da Silva DD, Pruski FF, De Matos AT (2010) Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. **Engenharia Agrícola** 30:1046 -1049.
- Andrade NSF, Martins Filho MV, Torres JLR, Pereira GT, Marques Júnior J (2011) Impacto técnico e econômico das perdas de solo e nutrientes por erosão no cultivo da cana-de-açúcar. **Engenharia agrícola**, 31: 539-550.
- Armstrong A, Quinton JN, Heng BCP, Chandler JH (2011) Variability of interrill erosion at low slopes. **Earth Surface Processes and Landforms** 36: 97-106.
- Assouline S (2004) Rainfall-induced soil surface sealing: A critical review of observations, conceptual models, and solutions. **Vadose Zone Journal** 3:570-591.
- Bertol I, González, AP, Vázquez EV (2007) Rugosidade superficial do solo sob diferentes doses de resíduo de milho submetido à chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 42:103- 110.
- Bertol I, Leite D, Guadagnin JC, Ritter SR (2004) Erosão hídrica em um nitossolo háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. II - Perdas e nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira Ciência do Solo** 28:1045–1054.
- Bertol I, Mello EL, Guadagnin JC, Zapparoli ALV, Carrafa MR (2003) Nutrient losses by water erosion. **Scientia Agricola** 60:581-586.
- Bertol I, Vázquez EV, González AP, Cogo NP, Luciano RV, Fabian EL (2010) Sedimentos transportados pela enxurrada em eventos de erosão hídrica em um Nitossolo Háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 34: 245-252.
- Bertoni J, Lombardi Neto F (2017) Conservação do solo – São Paulo 10ª edição.
- Bezerra AS, Cantalice JRB (2006) Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo sob cultivo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 30: 565-573.
- Brady NC, Weil RR (2013) Elementos da natureza e propriedades dos solos. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 704p.

- Braida JÁ, Cassol, EA (1999) Relações da erosão em entressulcos com o tipo e com a quantidade de resíduos vegetal na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 23: 711-721.
- Buendia C, Bussi G, Tuset J, Vericat D, Sabater S, Palau A, Batalla RJ (2016) Effects of afforestation on runoff and sediment load in an upland Mediterranean catchment. **Science of the Total Environment** 540: 144–157.
- Carlesso R, Spohr RB, Eltz FLF, Flores CH (2011) Runoff estimation in southern Brazil based on Smith's modified model and the Curve Number method. *Agriculture Water Management* 98:1020–1026.
- Carvalho DF, Cruz ES, Pinto MF, Silva LDB, Guerra JGM (2009) Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental** 13: 3-9.
- Carvalho DF, Eduardo EN, Almeida WS, Santos LAF, Alves Sobrinho T (2015) Water erosion and soil water infiltration in different stages of corn development and tillage systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 19: 1076–1082.
- Carvalho DF, Souza W J, Pinto MF, Oliveira J R, Guerra JGM (2012) Perdas de água e solo sob diferentes padrões de chuva simulada e condições de cobertura do solo. **Engenharia Agrícola** 32:708-717.
- Cassol EA, Lima VS (2003) Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 38: 117-124.
- Cassol EA, Cantalice JRB, Reichert JM, Mondardo A (2004) Escoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 39: 685-690.
- Cavalett O, Ortega E (2009) Emergy, nutrients balance, and economic assessment of soybean production and industrialization in Brazil. **Journal of Clean Production**.17:762–771.
- Cecílio RA, Rodriguez RDG, Baena LGN, Oliveira FG, Pruski FF (2009) Aplicação dos modelos RUSLE e WEPP para a estimativa da erosão hídrica em microbacia hidrográfica de Viçosa (MG). **Revista Verde** 4:39-45.
- Chanson H (2004) **The hydraulics of open channel flow**. London: Butterworth-Heinemann.
- Chaves HML (2010) Incertezas na predição da erosão com a USLE: impactos e mitigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 34:2021-2029.
- Chen D, Wei W, Chena L (2017) Effects of terracing practices on water erosion control in China: A metaanalysis. **Earth-Science Reviews**. 173:109–121.
- Cogo NP, Levien R, Schwarz RA (2003) 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** 27:743-753.

- Dai C, Liu Y, Wang T, Li Z, Zhou Y (2018) Exploring optimal measures to reduce soil erosion and nutrient losses in southern China. **Agricultural Water Management** 210:41–48.
- Dechen SCF, Telles TS, Guimarães MF, Maria IC (2015) Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia** 74:224–233.
- Derpsch R, Franzluebbbers AJ, Duiker SW, Reicosky DC, Koeller K, Friedrich T, Sturny WG, Sá JCM, Weiss K (2014) Why do we need to standardize no -tillage research?. **Soil Tillage Research** 137:16-22.
- Elliot WJ, Liebenow AA, Laflen JM, Kohl KD, (1989) A compendium of soil erodibility data from WEPP cropland soil field erodibility experiments 1987 and 88. In: NSERL **Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, National Soil Erosion Research Lab.**, West Lafayette 3 :316.
- Embrapa - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária (1997) Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 212 p.
- FAO (2015) Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy 60 p.
- Foster GR (1982) Modeling the erosion process. In: Haan CT, Johnson HP, Brakensiek DL, Hydrologic modeling of small watersheds. Saint Joseph: **American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph. p.296-380. (Monograph, 5).
- Flanagan DC, Ascough JC, Nicks AD, Nicks AD, Nearing MA, Laflen JM. (1995). Overview of the WEPP erosion prediction model. In: FLANAGAN, D. C.; NEARING, M. A. (Ed.). **Water erosion prediction project: hillslope profile and watershed model documentation**. West Lafayette: United States Department of Agriculture/National Soil Erosion Research Laboratory. p. 1.1-1.12 (NSERL Report, 10).
- Franco AMP, Cassol EA, Pauletto EA, Inda AV (2012) Erodibilidade do solo em entressulcos determinada experimentalmente e por modelos matemáticos em um Argissolo vermelho Revista Brasileira Agrociência v18 :p175-187, 2012.
- Gilles L, Cogo NP, Bissani CA, Bagatini T, Portela JC (2009) Perdas de água, solo, matéria orgânica e nutriente por erosão hídrica na cultura do milho implantada em área de campo nativo, influenciadas por métodos de preparo do solo e tipos de adubação. **Revista Brasileira de ciência do solo**,33:1427-1440.
- Gilley JE, Doran JW, (1998) Soil erosion potential of former conservation reserve program sites Trans ASAE ,41:97–103.
- Guadagnin CJ, Bertol I, Cassol PC, Amaral AJ (2005) Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de ciência do solo**, 29:277-286.
- Guo T, Wang Q, Li D, Zhuang J, Wu L (2013) Flow hydraulic characteristic effect on sediment and solute transport on slope erosion. **Catena** 107: 145-153.

- Gyssels G, Poesen J, Bochet E, Li Y (2005) Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. **Progress Physical Geography: Earth and Environment** 29:189–217.
- Hudson N, (1995) Soil conservation 3ªedição, Low State University. 16 p 392.
- Izidorio R, Martins Filho MV, Marques Júnior J, Souza ZM, Pereira GT (2005) Perdas de nutrientes por erosão e sua distribuição espacial em área sob cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola** 25: 660-670.
- Julien PY (1998) **Erosion and sedimentation**. Cambridge: Cambridge University Press.
- Koiter AJ, Owens PN, Petticrew EL, Lobb DA (2017) The role of soil surface properties on the particle size and carbon selectivity of interrill erosion in agricultural landscapes. **Catena**. 153: 194-206.
- Kuhn NJ (2007) Erodibility of soil and organic matter: independence of organic matter resistance to interrill erosion. **Earth Surface Processes and Landforms** 32: 794-808.
- Lafren JM, Flanagan DC (1992) A powerful tool. **Agricultural Engineering** 73: 28-29.
- Lafren JM, Foster GR, Onstad C (1985) 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** 5: 285-295.
- Lafren JM, Lane LJ, Foster GR (1991) WEPP: a new generation of erosion prediction technology. **Journal of Soil and Water Conservation** 46: 34- 38.
- Lal R. (2004) Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma** 123:1–22.
- Liebenow AM, Elliot WJ, Lafren JM, Kohl KD (1990) Interrill erodibility: collection and analysis of data from cropland soils. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**. Saint Joseph 33:1882-1888.
- Liu YJ, Yang J, Hu JM, Tang CJ, Zheng HJ (2016) Characteristics of the surface–subsurface flow generation and sediment yield to the rainfall regime and land-cover by long-term in-situ observation in the red soil region, Southern China. **Journal Hydrology** 539:457–467.
- Machado CC, Garcia AR, Silva E, Fontes AM (2003) Comparação de taxas de erosão em estradas florestais estimadas pelo modelo WEPP (Water Erosion Prediction Project) modificado em relação a medições experimentais. **Revista Árvore** 7:295-300.
- Maetens W, Poesen J, Vanmaercke M (2012) How effective are soil conservation techniques in reducing plot runoff and soil loss in Europe and the Mediterranean? **Earth Science Revista** 115:21–36.
- Marques JJGSM, Curi N, Ferreira MM, Lima JM, Silva MLN, Carolino de Sá AM (1997) Adequação de Métodos Indiretos para Estimativa da Erodibilidade De Solos com Horizonte B Textural no Brasil. **Revista Brasileira de ciência do solo** 21:447-456.

Martins Filho MV (1999) **Modelagem do processo de erosão entressulcos em latossolos de Jaboticabal-SP**. 140f Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

Martins Filho MV, Engler MPC, Izidorio R, Cotrin FB, Serra EA, Amaral NS, Souza ZM (2004) Modelos para a estimativa do subfator cobertura-manejo (C_{iii}) relativo à erosão entressulcos. **Engenharia Agrícola** 24:603-611.

Martins Filho MV (2007) **Modelagem do processo de erosão e padrão espacial da erodibilidade em entressulcos**. 121 f Tese (Livre docência) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal.

Martins Filhos MV, Liccioti TT, Pereira GT, Marques Junior J, Sanchez RB (2009) Perdas de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar **Engenharia Agrícola** 29: 8-18.

Meyer LD, Foster GR, Römkens MJM (1975) Source of soil eroded by water from upland slopes In: Estados Unidos Department of Agriculture. **Agriculture Research Service** Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources Washington, p 177-189 (USDA ARS-S, 40).

Montgomery DR (2007) Soil erosion and agricultural sustainability. **Proceeding of the National Academy of Sciences** 104:13268–13272.

Moraes IC (2016) **Avaliação dos modelos de previsão da erosão hídrica MEUPS e WEPP: contribuição em Bacias Hidrográficas** 191 f Tese (Doutorado em Geografia) Unesp, Rio Claro.

Morgan RPC, (2005) Soil Erosion and Conservation. Blackwell Publishing Ltd., UK.

Nearing MA, Foster GR, Lane LJ, Finkner SC (1989) A process-based soil erosion model for USDA-Water erosion prediction project technology Transactions **of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph 32:1587-1593.

Nearing MA (1991) A probabilistic model of soil detachment by shallow turbulent flow. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers** Saint Joseph 34:81-85.

Nearing MA (1997) The mechanics of soil detachment by raindrops and runoff. **Eurasian Soil Science** 30: 552–556.

Nearing MA, Norton DI, Zhang X (2001) Soil erosion and sedimentation In: Ritter Wf, Shirmohammadi A (Eds) **Agricultural no point source pollution** Boca Raton: Lewis Publishers, p 29-58.

Ostovari Y, Ghorbani-Dashtaki S, Bahrami HA, Naderi M, Dematte JAM, Kerry R (2016) Modification of the USLE K factor for soil erodibility assessment on calcareous soils in Iran. **Geomorphology**, 273: 385-395.

Panachuki E, Bertol I, Alves Sobrinho T, Oliveira PTS, Rodrigues DBB (2011) Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 35:1777- 1785.

Panagos P, Borrelli P, Meusburger K, Alewell C, Lugato E, Montanarella L (2015) Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. **Land Use Policy**. 48: 38-50.

Pereira GGS, Albrecht AJP, Fausto DA, Migliavacca RA (2015) Custo de produção de cana-de-açúcar no Estado do Mato Grosso do Sul *Rev. iPecege* 1: 81-102.

Pieri L, Bittelli M, WU JQ, Dun S, Flanagan DC, Pisa PR, Ventura F, Salvatorelli F (2007) Using the Water Erosion Prediction Project (WEPP) model to simulate field-observed runoff and erosion in the Apennines mountain range, Italy. **Journal of Hydrology** 336: 84-97.

Pimentel D, Harvey C, Resosudarmo P, Sinclair K, Kurz D, McNair M, Crist S, Shpritz L, Fitton L, Saffouri R, Blair R (1995) Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. **Soil Science of America Journal** 267: 117-1.123.

Qian F, Cheng D, Ding W, Huang J, Liu J (2016) Hydraulic characteristics and sediment generation on slope erosion in the Three Gorges Reservoir Area, China. **Journal of Hydrology and Hydromechanics** 64:237-245.

Raij BV, Quaggio JÁ, Cantarella H, Ferreira ME, Lopes AS, Bataglia OC (1987) Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170 p.

Reichert JM, Norton LD (2013) Rill and interrill erodibility and sediment characteristics of clayey Australian Vertosols and a Ferrosol. **Soil Research** 51:1-9.

Renard KG, Foster GR, Weessies GA, McCool DK (1997) Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) In: Yoder DC, editor US Department of Agriculture, Agriculture Handbook 703.

Rockenbach CA (1992) **Erosão em entressulcos sob diferentes coberturas por resíduos de trigo em um solo Podzólico Vermelho Amarelo sob chuva simulada**. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Sanchez RB, Marques Júnior J, Souza ZM, Pereira GT, Martins Filho MV (2009) Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. **Bragantia**. 68:1095-1103.

Santos GG, Griebeler NP, Oliveira LFC (2010) Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 14:115-123.

Santos MAN, Panachuki E, Alves Sobrinho T, Oliveira PTS, Rodrigues DBB (2014) Water infiltration in an Ultimo after cultivation of common bean. **Revista Brasileira ciência do solo** 38:1143–1152.

Schaefer E,C, Silva DD, Paiva KWN, Pruski FF, Filho RMA, Albuquerque MA (2002) Perdas de solo , nutrientes , matéria orgânica e efeitos microestruturais. 669–678.

Shao Q, Weatherley D, Huang Longbin, Baumgartl T (2015) RunCA: A cellular automata model for simulating surface runoff at different scales. *Journal of Hydrology* 529:816-829.

Shelton DP (2009) Estimating Percent Residue Cover Using the Line-Transect Method. **Eng Ext Agric** 1–3.

Silva AM, Alvares CA (2005) Levantamento de informações e estruturação de um banco dados sobre a erodibilidade de classes de solos no Estado de São Paulo. **Geociencias**.24:33–41.

Silva AM, Silva MLN, Curi N, Avanzi JC, Ferreira MM (2009) Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 33:1811-1820.

Sousa GB, Martins Filho MV, Matias SSR (2012) Perdas de solo, matéria orgânica e nutrientes por erosão hídrica em uma vertente coberta com diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar em Guariba – SP. **Engenharia Agrícola** 32: 490-500.

Souza JA, Buzetti S, Tarsitano MAA, Valderrama M (2012) Lucratividade do milho em razão das fontes, doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Revista Ceres**. 59: 321-329.

Souza ZM, Marques Júnior J, Pereira GT, Moreira LF (2004) Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural** 34:1763-1771.

Statsoft Inc HILL T, Lewicki P (2007) **Statistics: Methods and Applications** Tulsa, OK, USA: StatSoft.

Telles TS, Dechen SCF, Guimarães MF (2013) Institutional landmarks in Brazilian research on soil erosion: a historical overview **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 37:1431–1440.

Telles TS, Guimarães MDF (2011) The Cost of Soil Erosion- **Literature Review**.35: 287-298.

Thompson AL, Ghidry F, Redmi TP, (2001) Raindrop energy effects on chemical and sediment transport **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers** 44:835-841.

Vaezi AR, Eslami SF, Keesstra (2018) Interrill erodibility in relation to aggregate size class in a semi-arid soil under simulated rainfalls. **Catena** 167:385-398.

Valle Junior RF (2008) **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba**. 220f Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal.

Walton RS, Volker RE, Bristow KL, Smettem KRJ (2000) Experimental examination of solute transport by surface runoff row low-angle slopes **Journal of Hydrology** 233:19-36.

Wei W, Chen D, Wang L, Daryanto S, Chen L, Yu Y, Lu Y, Sun G, Feng T, (2016) Global synthesis of the classifications, distributions, benefits and issues of terracing **Earth Science Reviews** 159:388–403.

Weill MAM, Sparovek G (2008) Estudo da erosão na microbacia do ceveiro (Piracicaba, SP). I - Estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos fatores do modelo EUPS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 32:801-814.

Wischmeier WH, Smith DD (1958) Rainfall energy and its relationships to soil loss **Transactions of the American Geophysical Union**, Washington, 39: 285-291.

Wischmeier WH (1975) Estimating the soil loss equations cover and management factor for undisturbed areas In: *Present and prospective Technology for predicting sediment yields and sources* Washington: Agricultural Research, 118-124 (ARS-S-40).

Wischmeier WH, Smith D (1978) Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning Agricultural Handbook No 537 Washington DC, USA: US Department of Agriculture.

Xin Y, Liu G, Xie Y, Gao Y, Liu B, Shen Bo (2019) Effects of soil conservation practices on soil losses from slope farmland in northeastern China using runoff plot data. **Cantena** 174:417-424.

Xiong M, Sun R, Chen L, (2018) Effects of Soil Conservation Techniques on Water Erosion Control: A Global Analysis. **Science of the Total Environment Science** 645: 753-760.

Xu, X., Tan, Y., Yang, G., 2013. Environmental impact assessments of the three gorges project in China: issues and interventions. **Earth. Rev** 124:115–125.

Zhang WA, Xu DD, Liu YY, Xiao HJ, Yan XC, He CW, Wei XP (2001) Effect of *Vetivera zizanioides* and *Amorpha fruticosa* on soil and water conservation in yellow skoping upland areas of middle Guizhou. **Agricultural Sciences** 29: 41–42.