

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

**HIDRÁULICA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO
PROCESSO DE EROÇÃO EM SULCOS DE UM ARGISSOLO**

Márcia Aparecida Borges Barbosa

Engenheira Florestal

2015

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

**HIDRÁULICA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO
PROCESSO DE EROÇÃO EM SULCOS DE UM ARGISSOLO**

Márcia Aparecida Borges Barbosa

Orientador: Prof. Dr. Marcílio Vieira Martins Filho

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

2015

Barbosa, Márcia Aparecida Borges
B238h Hidráulica do escoamento superficial no processo de erosão em
sulcos de um Argissolo / Márcia Aparecida Borges Barbosa. --
Jaboticabal, 2015
xi, 45 p. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015
Orientador: Marcílio Vieira Martins Filho
Banca examinadora: Alexandre Barcellos Dalri, Renato Farias do
Valle Junior
Bibliografia

1. Erodibilidade em sulcos. 2. Regimes de escoamento. 3. Tensão
cisalhante crítica. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.459:633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE JABOTICABAL
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: HIDRÁULICA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO PROCESSO DE EROÇÃO EM
SULCOS DE UM ARGISSOLO

AUTORA: MARCIA APARECIDA BORGES BARBOSA

ORIENTADOR: Prof. Dr. MARCILIO VIEIRA MARTINS FILHO

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

Prof. Dr. MARCILIO VIEIRA MARTINS FILHO
Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. ALEXANDRE BARCELLOS DALRI
Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. RENATO FARIAS DO VALLE JUNIOR
Instituto Federal do Triângulo Mineiro / Uberaba/MG

Data da realização: 08 de julho de 2015.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

MÁRCIA APARECIDA BORGES BARBOSA – Filha de Eurípedes Barsanulfo Barbosa e Sandra Aparecida Borges Barbosa. Nasceu no município de Frutal – MG, em 28/11/1986. Bacharel em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), concluído em 2010. Durante o curso de graduação participou de congressos, foi monitora da matéria de Classificação e Conservação do Solo por um período de um ano e meio, sendo bolsista.

*Lá bem no alto do décimo segundo andar do ano
Vive uma louca chamada Esperança
E ela pensa que quando todas as sirenas
Todas as buzinas
Todos os reco-recos tocarem
Atira-se
E, oh delicioso voo!
Ela será encontrada miraculosamente incólume na calçada,
Outra vez criança...
E em torno dela indagará o povo:
Como é o teu nome, meninazinha de olhos verdes?
E ela lhes dirá
(é preciso dizer-lhes tudo de novo!)
E lhes dirá bem devagarinho, para que não esqueçam:
Meu nome é ES-PE-RAN-ÇA...*

Mário Quintana

DEDICO

*Ao maior tesouro da
minha vida: minha família.*

OFEREÇO

*A todos aqueles que se
sentem felizes por mais
uma vitória em minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me abençoar e capacitar diante de todos os passos da minha vida.

À minha família, meu pai Eurípedes, minha mãe Sandra, meu irmão Mauro que sempre estiveram comigo nas jornadas de estudo, perto ou longe sempre me espelho em vocês, meu noivo Marciel, que tive o prazer de conhecer no decorrer do mestrado e hoje é fundamental na minha vida. **Amo vocês!**

Aos meus amigos de Pirajuba, amigos verdadeiros, de uma vida toda, que sempre estiveram e estão do meu lado.

Ao meu querido Professor orientador da Universidade Federal de Mato Grosso, Edgar Alfredo Tizi Tiziboy, que me deu a base primordial didática e fez com que eu me interessasse e me encantasse pela “Ciência do Solo”.

À Universidade Estadual Paulista, UNESP, pelas grandes oportunidades de diálogo entre diversas áreas, conhecimentos, pessoas, que contribuíram para minha formação, não apenas acadêmica, mas como experiência de vida e formação como “ser” humano em todas suas esferas.

Ao Professor Marcílio Vieira Martins Filho, por sua orientação e capacidade de transmitir conhecimento, seja através de suas aulas, palestras e ou até mesmo uma troca de ideias. Foi um prazer ver de perto e trabalhar com uma pessoa tão capacitada.

E a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, agradeço de coração.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Erosão hídrica do solo	3
2.2 Colheita mecanizada	3
2.3 Cobertura do solo	5
2.4 Perdas de solo	6
2.5 Fatores de perda do solo	6
2.5.1 Erodibilidade do solo	6
2.5.2 Coeficientes de erodibilidade	7
2.5.3 Desagregação nos entressulcos	7
2.6 Perfil modal	8
2.7 Métodos geoestatísticos para se estimar a erodibilidade do solo	8
2.8 Tensão crítica cisalhante	9
2.9 Modelos estatísticos de previsão de erosão	9
3 MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Caracterização hidráulica do escoamento nos sulcos formados manualmente	23
3.2 Taxas de desagregação e determinação da erodibilidade do solo em sulcos..	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5 CONCLUSÕES	33
6 REFERÊNCIAS	34

HIDRÁULICA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO PROCESSO DE EROSIÃO EM SULCOS DE UM ARGISSOLO

RESUMO – A erosão do solo pela água é um processo complexo, o qual é reconhecido ser o resultado de uma série de interações entre fatores como clima, propriedades do solo, topografia e os efeitos da vegetação superficial e manejo do solo. Mediante tamanha complexidade, o objetivo do presente trabalho foi determinar características hidráulicas do escoamento superficial, a erodibilidade em sulcos e a tensão cisalhante crítica de um Argissolo considerando-se duas posições distintas da paisagem: a forma convexa e a forma côncava do território. Seis sulcos formados manualmente foram instalados na forma convexa e na forma côncava da pedopaisagem e submetidos a ação de chuva artificial de 78 mm h^{-1} por 60 minutos e, posteriormente, a chuva mais três fluxos adicionais de 19, 36 e 44 L min^{-1} , com duração de 20 minutos. Os resultados obtidos permitiram observar que o regime de escoamento nos sulcos caracterizou-se por ser turbulento supercrítico e altera a geometria da seção transversal dos sulcos. Para o Argissolo Vermelho-Amarelo os valores de erodibilidade em sulcos (K_r) nas posições de forma convexa são inferiores aos de forma côncava de sedimentos, $0,0053 \text{ kg N}^{-1} \text{ s}^{-1}$ e $0,0146 \text{ kg N}^{-1} \text{ s}^{-1}$, respectivamente, enquanto que os valores de tensão cisalhante crítica são de $2,1887 \text{ N m}^{-2}$ no topo e de $2,7260 \text{ N m}^{-2}$ na forma côncava.

Palavras-chave: erodibilidade em sulcos, regimes de escoamento, tensão cisalhante crítica

FLOW HYDRAULICS IN RILL EROSION OF A ALFISOL

ABSTRACT – Soil erosion by water is a complex process, which is recognized to be the result of interactions between a number of factors, such as climate, soil properties, topography, and the effects of surface vegetation and soil management. Upon such complexity, the aim of this study was to determine hydraulic characteristics of runoff, erodibility in grooves and the critical shear stress of a Alfisol considering two distinct positions of the landscape: in the convex and concave. Six pre-formed rills were installed at the top and transport foot action and subjected to artificial rainfall of 78 mm hr^{-1} for 60 minutes and then the rain additional three streams 19, 36 and 44 L min^{-1} , lasting 20 minutes. The Alfisol the erodibility values of rill erodibility (K_r) in the convex positions are lower than the sediment concave position, $0.0053 \text{ kg N}^{-1} \text{ s}^{-1}$ and $0.0146 \text{ kg N}^{-1} \text{ s}^{-1}$ respectively, while the critical shear stress values are 2.1887 N m^{-2} on the convex and 2.7260 N m^{-2} in the concave.

Keywords: rill erodibility, flow regimes, critical shear stress

1 INTRODUÇÃO

A erosão vem sendo um assunto extremamente tratado no meio ambiental e no meio agrário. Existem regiões que sofrem com a incidência dessa desagregação do solo, onde pode-se afirmar que o tipo de erosão hídrica é um dos mais frequentes, citando os mecanismos considerados sub-processos da erosão hídrica: erosão em sulcos e erosão entressulcos. A erosão entressulcos é causada principalmente pelo impacto da gota no solo, onde o escoamento superficial é o importante agente de transporte (YOUNG; WIERSMA, 1973; GILLEY et al., 1985; BRADFORD et al., 1987). A erosão em sulcos tem por característica uma desagregação de solo em fluxo, tornando o impacto da gota não significativo perante tamanho desprendimento (OWOPUTI; STOLTE, 1995).

Existe hoje um conceito das relações entre os fatores que causam as perdas de solo e os que permitem reduzi-las, é de fundamental importância essa compreensão (MORETI et al., 2003). Parâmetros de erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento de diferentes solos são determinados e resultam na avaliação de sua resistência, juntamente com modelos de direcionamento e controle de drenagem. Tudo isso para diminuir os riscos e contabilizar as perdas de solo por desastres erosivos.

Segundo Nogami e Villibor (1995), a erodibilidade do solo é um dos fatores de suma importância para a escolha do projeto mais apropriado a fim de controlar a erosão; outro fator de grande significância para determinação da capacidade resistiva do solo à erosão é a tensão crítica de cisalhamento que pode ser expressa pela máxima tensão a ser aplicada ao solo sem que haja remoção de suas partículas.

Erodibilidade nada mais é do que a inerente suscetibilidade de um solo ao processo de erosão. Segundo Veihe (2002), é complicado conceituar e determinar erodibilidade, uma vez que ela é influenciada por propriedades físicas, hidrológicas, químicas, mineralógicas e biológicas do solo.

Inicialmente o conceito geral sobre erodibilidade, segundo Sheridan et al. (2000), era sobre o comportamento dos solos quando sujeitos a erosão. Mas perante afirmações de Foster e Meyer (1972) e Sheridan et al. (2000) através de

pesquisas científicas, a erodibilidade é a representação da resposta de um solo exposto a um subprocesso erosivo.

Um solo tem sua erodibilidade representada pela sigla (Kr), que compreende na susceptibilidade à desagregação pelo escoamento superficial concentrado. Para Schäfer et al. (2001), um solo pode ser mais ou menos erodível, conforme suas características físicas, químicas e mineralógicas.

A determinação do atributo de tensão crítica de cisalhamento e da erodibilidade de diferentes solos que possibilitem a avaliação de sua resistência, juntamente com os modelos de direcionamento e controle de drenagem, devem fazer parte de estudos que visem combater a erosão e proteger o meio ambiente (OLIVEIRA et al., 2009).

Elliot et al. (1989) foram os responsáveis por uma série de valores de erodibilidade em sulcos (kr) e entressulcos (ki) para muitas séries dos solos americanos. Baseiam-se todos os valores no perfil modal de cada série ou classe de solo.

Com base na literatura há tempos vêm se estudando e aprimorando modelos empíricos como o RUSLE-2 ou apenas RUSLE, que contabilizam a perda de solo, afirma Renard et al. (1991). Existem também outros modelos estatísticos que explicitam melhor as descrições dos processos, são eles CREAMS/GREAMS ou WEPP (mais utilizado), onde tais contabilizam separadamente os diferentes efeitos de cobertura, são estudos de Foster et al. (1980) e Gilley Andweltz (1995).

Entretanto, não se sabe se os índices de erosão e tensão cisalhante crítica são maiores em sulcos ou entressulcos, no Latossolo Vermelho distroférico, sob cultivo de cana-de-açúcar com tráfego intenso devido à colheita mecanizada.

Pelo exposto acima, Objetivo deste trabalho foi determinar características hidráulicas do escoamento superficial, a erodibilidade em sulcos e a tensão cisalhante crítica de um Argissolo Vermelho–Amarelo, considerando-se duas formas da paisagem: convexa e côncava.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Erosão hídrica do solo

A erosão vem sendo um assunto extremamente tratado no meio ambiental e no meio agrário. Existem regiões que sofrem com a incidência dessa desagregação do solo, onde se pode afirmar que o tipo de erosão hídrica é um dos mais frequentes, citando os mecanismos considerados sub-processos da erosão hídrica: erosão em sulcos e erosão entressulcos. A erosão entressulcos é causada principalmente pelo impacto da gota no solo, onde o escoamento superficial é o importante agente de transporte, segundo Young e Wiersma (1973), Gilley et al. (1985) e Bradford et al. (1987). A erosão em sulcos tem por característica uma desagregação de solo em fluxo, tornando o impacto da gota não significativo perante tamanho desprendimento, afirma Owoputi e Stolte (1995).

A degradação do solo é vista como um dos mais sérios problemas ambientais. Entre os insucessos causados por ela, a erosão hídrica é a que afeta particularmente a capacidade produtiva dos solos e pode ser iniciada e acelerada por práticas de manejo do solo inadequadas (CARVALHO et al., 2002).

Nas últimas duas décadas houve um aumento de interesse nos estudos sobre a erosão em sulcos, isso se reflete nos inúmeros modelos estatísticos de perdas de solo: CREAM, KNISEL (1980); WEPP, ELLIOT et al. (1989); EUROSEM, MORGAN et al. (1992); EGEM, WOODWARD (1999).

A reconhecida importância de tal erosão levou ao aprimoramento de estudos de avaliação, porque as tecnologias baseadas em RUSLE, amplamente utilizados, já não contam mais para o tipo de erosão em sulcos conforme estudos de USDA-NRCS, 1996.

2.2 Colheita mecanizada

A mudança do sistema de corte manual para a mecanizada, não é apenas a substituição de uma técnica por outra, e sim a decorrente busca da diminuição de

custo, aumento da produção e redução do impacto ambiental (RODRIGUES; SAAB, 2007).

O sucesso da colheita mecanizada da cana-de-açúcar depende de plantio de qualidade, sem falhas no estande, otimizando o rendimento da máquina, paralelismo entre sulcos e suavidade do microrrelevo do solo, proporcionando menores perdas quantitativas no processo. Sendo assim, no plantio de cana-de-açúcar, independentemente do método empregado, semimecanizado ou mecanizado, as necessidades da cultura, tal como o ambiente de implantação deverão ser atendidas.

Considerações se fazem necessárias, visto que as atitudes tomadas na operação de plantio serão determinantes na produtividade e na longevidade do canavial. Novas técnicas promissoras de Geoestatística desenvolvem novos conceitos e/ou tecnologias dentro das relações solo-paisagem para processos como o de erosão. São muitos os trabalhos focando a interpolação de atributos do solo numa paisagem (SOUZA et al., 2003a; SOUZA et al., 2003b; VIEIRA; GONZALEZ, 2003; SOUZA, 2004; IZIDORIO et al., 2005). Contudo, no Brasil, pouca atenção tem sido dada para representar espacialmente o processo de erosão ou de parâmetros que o afetam, como a erodibilidade do solo dentro de uma paisagem. Portanto, a realização de trabalhos que caracterizem o fenômeno de erosão e o padrão espacial de parâmetros que o afetam numa área agrícola, poderão permitir que empresas do setor sucroalcooleiro possam se destacar na implantação das Normas de Qualidade (ISO 9000) e de Gestão Ambiental (ISO 14000), e na geração de tecnologias que permitam que estas empresas possam construir Sistemas de Gestão Ambiental (SGA) bem desenvolvidos.

As perdas quantitativas no campo, as reduções da qualidade da matéria-prima e redução da longevidade do canavial na colheita mecanizada de cana-de-açúcar têm causado preocupações relevantes.

2.3 Cobertura do solo

A cobertura do solo, sua composição e características peculiares nele encontradas, refletem no processo de erosão em sulcos e entressulcos e principalmente na erodibilidade de tal.

Estudos mostram que uma das melhores práticas de remediação da erosão em sulcos é o uso da lavoura de conservação, que é definida como uma lavoura que deixa pelo menos 30% da superfície do solo coberta por alguma cultura. O controle da erosão depende muito de qual sistema de combate usar, incorporar o resíduo da safra anterior é uma técnica bastante difundida. Descobertas recentes mostram que o fluxo da erosão pode ser facilmente modificado pelas diferentes coberturas utilizadas no solo, tendo assim uma velocidade de fluxo menor, principalmente quando tal solo é composto por rochas, vegetação natural ou vegetação resíduo (FOSTER; MEYER, 1975; FOSTER et al., 1982; VAN LIEW; SAXTON, 1983; GILLEY et al., 1987; PROSSER et al., 1995; TAKKEN et al., 1998; GOVERS et al., 2000).

Quando a vegetação resíduo está presente, o fluxo de água no sulco é retardado devido à tensão de corte adicional gerada pelo resíduo. No entanto, vários estudos mostram conclusivamente que o aumento do atrito devido à vegetação, pedras, etc., reduz fortemente a erosividade em sulcos (FOSTER et al., 1982; VAN LIEW; SAXTON, 1983; GOVERS; RAUWS, 1986; GILLEY et al., 1987; TAKKEN et al., 1998).

Áreas inclinadas e sem cobertura vegetal são mais atingidas pela erosão em sulcos, perante pesquisas realizadas por Govers et al. (2007). Na China, que é um país que possui cerca de 20% da população do mundo e apenas 7% de terras aráveis (LARSON, 2013), há 24 milhões de lavouras inclinadas. A inclinação do terreno, o intenso preparo e cultivo do solo e a não cobertura propicia uma maior taxa de erosão em sulcos (QIN et al., 2010).

Com base na literatura, foi analisada a vasta importância da vegetação e/ou cobertura de resíduo no controle da erosão em sulcos. Há tempos vêm se estudando e aprimorando modelos empíricos como o RUSLE-2 ou apenas RUSLE, que contabilizam a perda de solo, afirma Renard et al. (1991). Existem também

outros modelos estatísticos que explicitam melhor as descrições dos processos, são eles CREAMS/GREAMS ou WEPP (mais utilizado), onde tais contabilizam separadamente os diferentes efeitos de cobertura (FOSTER et al., 1980; GILLEY ANDWELTZ, 1995).

2.4 Perdas de solo

Existe hoje um conceito das relações entre os fatores que causam as perdas de solo e os que permitem reduzi-las, sendo de fundamental importância essa compreensão (MORETI et al., 2003). Parâmetros de erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento de diferentes solos são determinados e resultam na avaliação de sua resistência, juntamente com modelos de direcionamento e controle de drenagem. Tudo isso para diminuir os riscos e contabilizar as perdas de solo por desastres erosivos.

Nas últimas duas décadas houve aumento de interesse nos estudos sobre a erosão em sulcos, isso reflete nos inúmeros modelos estatísticos de perdas de solo criados (CREMES, KNISEL, 1980; WEPP et al., 1989; MORGAN et al., 1992; EGEM, WOODWARD, 1999).

A reconhecida importância de tal erosão levou ao aprimoramento de estudos de avaliação, porque as tecnologias baseadas em RUSLE, amplamente utilizados, já não contam mais para o tipo de erosão em sulcos conforme estudos de USDA-NRCS (1996).

2.5 Fatores de perda do solo

2.5.1 Erodibilidade do solo

O conceito geral sobre erodibilidade, segundo Sheridan et al. (2000), foi sobre o comportamento dos solos quando sujeitos a erosão e perante afirmações de Foster e Meyer (1972) e Sheridan et al. (2000) através de pesquisas científicas, a erodibilidade é a representação da resposta de um solo exposto a um subprocesso erosivo.

Um solo tem sua erodibilidade representada pela sigla (K), que compreende na susceptibilidade à desagregação pelo escoamento superficial concentrado

2.5.2 Coeficientes de erodibilidade

São esses os coeficientes de erodibilidade, K, K_i e K_r , onde podem ser mensurados diretamente através de experimentos sob chuva artificial ou natural, ou estimados a partir de equações provenientes de procedimentos de regressão e das propriedades do solo. Segundo Sheridan et al. (2000), pesquisas para a obtenção destes dados são de alto valor e demoradas para gerar os resultados. Contudo, é a partir dessas pesquisas que é possível a predição da erodibilidade em entressulcos e em sulcos utilizando-se de valores médios das propriedades químicas e físicas do solo.

São tidas metodologias tradicionais, encontradas em bibliografias específicas referentes à índices de erosão do solo, de determinação direta no campo ou de estimativas da erodibilidade do solo, à partir de propriedades edáficas, afirma PARYSOW et al., 2003.

Deste modo, o uso de valores de erodibilidade estabelecidos, como comentado anteriormente, a partir de extensiva base de dados ou não, para uma área específica, pode induzir a incertezas. Segundo Wang et al. (2001), inclui-se as incertezas da erodibilidade do solo dentro das várias análises de incertezas de perdas por erosão, para que haja melhora nos métodos de mapeamento destas perdas. A modelagem da incerteza espacial dentro da geoestatística tem ganho significativo de importância em muitas áreas do conhecimento na última década (PARYSOW et al., 2003).

2.5.3 Desagregação nos entressulcos

Bradford e Foster (1996), modelaram a relação entre a taxa de desagregação do solo e a presença de cobertura vegetal, no processo de erosão em entressulcos da seguinte maneira: $D_i = K_i R I S_f C_i$ em que, D_i é a taxa de erosão em entressulcos ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$); R é a taxa de enxurrada (m s^{-1}); I é a intensidade de chuva

(m s^{-1}); K_i é a erodibilidade em entressulcos (kg s m^{-4}); S_f é o fator declividade e, C_i é o coeficiente de cobertura do solo. O coeficiente C_i é o produto de uma combinação de subfatores tal que Foster (1982): $C_i = C_{i1} C_{i2} C_{i3}$ em que, C_{i1} é o subfator relativo à cobertura vegetal em forma de dossel ou copa da planta; C_{i2} é o subfator relativo à cobertura por resíduos vegetais em contato direto com a superfície do solo e, C_{i3} é o subfator que expressa o efeito da incorporação de resíduos vegetais ao solo em função do seu uso e manejo.

2.6 Perfil modal

Perfil modal é o que determina a erodibilidade do solo, no qual assume representar toda aquela classe de solo. Por conseguinte Parysow et al. (2003) diz ser procedimento padrão assumir que o valor médio de erodibilidade do solo, determinado para um local específico com perfil modal, nada mais é que uma área total de uma mesma classe de solo.

Elliot et al. (1989) foram os responsáveis por uma série de valores de erodibilidade em sulcos (k_r) e entressulcos (k_i) para muitas séries dos solos americanos. Baseiam-se todos os valores no perfil modal de cada série ou classe de solo

2.7 Métodos geoestatísticos para se estimar a erodibilidade do solo

A krigagem e a simulação são os métodos geoestatísticos utilizados para se estimar a erodibilidade do solo no espaço e tempo a fim de se obter a predição de valores de propriedades do solo em locais não-amostrados (VIEIRA et al., 1983; ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989; WANG et al., 2001; GERTNER, 2003; SOUZA et al., 2005).

Técnicas geoestatísticas permitem identificar e caracterizar a variedade espacial, estimar a variância dos valores interpolados, realizar uma interpolação racional (LIN et al., 2001). A krigagem é um interpolador linear não-tendencioso e de variância mínima que assegura a melhor estimativa de um atributo (VIEIRA et al., 1983). Esse procedimento geoestatístico é uma técnica recente criada para analisar

a variabilidade espacial de propriedades, fatores e processos de erosão do solo (VIEIRA et al., 1997; VIEIRA et al., 2003; SOUZA et al., 2003a; SOUZA et al., 2003b; BACCHI et al., 2003; CORÁ et al., 2004; SOUZA et al., 2004; IZIDORIO et al., 2005; SOUZA et al., 2005). Esta é a razão pela qual a krigagem tem sido preterida por técnicas geoestatísticas mais avançadas, como a simulação condicional, que tem algumas das vantagens dos métodos de krigagem, mas que garantem, ao mesmo tempo, a reprodução da variabilidade da variável. A krigagem tem, contudo, menor erro de estimação local (VIEIRA, 2000).

2.8 Tensão crítica cisalhante

Segundo Nogami e Villibor (1995), a erodibilidade do solo é um dos fatores de suma importância para a escolha do projeto mais apropriado a fim de controlar a erosão; outro fator de grande significância para determinação da capacidade resistiva do solo à erosão é a tensão crítica de cisalhamento que pode ser expressa pela máxima tensão a ser aplicada ao solo sem que haja remoção de suas partículas.

A determinação do atributo de tensão crítica de cisalhamento e da erodibilidade de diferentes solos que possibilitem a avaliação de sua resistência, juntamente com os modelos de direcionamento e controle de drenagem, devem fazer parte de estudos que visem combater a erosão e proteger o meio ambiente (OLIVEIRA et al., 2009).

2.9 Modelos estatísticos de previsão de erosão

Nos modelos estatísticos que podem prevenir erosão do solo, os procedimentos utilizados são baseados na equação de MANNING, afirma Foster et al. (1980). Onde Franti et al. (1996a, b) propôs abordagens de modelagem que baseiam-se na descrição criteriosa de mudança hidráulica e erosiva em torno dos elementos de resíduos; mas essas abordagens são difíceis de implementar em modelos de erosão, devido a suas elevadas exigências computacionais e a escala do terreno.

Grande quantidade dos modelos de previsão da erosão pela água tendem a dar maior ênfase na representação dos processos físicos que são responsáveis pela ocorrência do fenômeno, com uma explícita representação da área na qual a erosão ocorre. Entretanto, alguns modelos representam o espaço num caminho simplificado. Modelos de predição da erosão, como a USLE (WISCHMEIER; SMITH, 1978), RUSLE (RENARD et al., 1991) e EPIC (WILLIAMS, 1985) são aplicados em princípio considerando-se topografias espacialmente homogêneas, apesar de eles serem utilizados também em topografias mais complexas. Giménez e Govers (2001) afirmam que a aplicação da tensão de cisalhamento em práticas de erodibilidade em sulco é problemática. Já foi dito que o fluxo da água em sulco não é bem descrito pela equação de MANNING: quando a água que ocasiona a erosão percorre livremente seu trajeto a velocidade é independente da inclinação devido a mecanismos de ligação entre a hidráulica do fluxo e a morfologia do sulco. Já no modelo de WEPP, Gilley e Weltz (1995) assumem a postura de que esse modelo obtém um valor constante para o solo descoberto, juntamente com um fator de atrito proposto. Por consequência a velocidade dessa água em sulco depende diretamente da declividade do terreno.

Em 1985, o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos - USDA, iniciou o Water Erosion Prediction Project – WEPP, para uso em solos cultivados, terras nativas e reflorestadas para substituir a Equação Universal de Perdas de Solo – USLE. O modelo WEPP é um complexo programa computacional baseado em processos que influenciam na erosão (NEARING et al., 1989).

WEPP foi um modelo desenvolvido para prever erosão em terrenos agrícolas, florestais e pastagens. Mas mesmo esse modelo estatístico também precisa de melhorias, estimativas de deslocamento, uso de regressão de erodibilidade do sulco, largura e rugosidade da superfície sobre as estimativas de tensão de cisalhamento do solo. As dificuldades associadas com a calibração e validação da distribuição espacial da erosão do solo obtido por modelos, como o WEPP, são, em sua maioria, devido à larga variabilidade espacial e temporal do fenômeno de erosão e, ainda, da incerteza associada aos valores dos parâmetros de entrada aplicados nos modelos computacionais utilizados para prever este processo erosivo do solo (JETTEN et al., 2003). Estas dificuldades não serão, todavia, resolvidas pela elaboração de

modelos mais completos e complexos. Contudo, a situação poderá ser melhorada pelo uso de informações especializadas para a calibração e validação de modelos do que apenas e tão somente a utilização dos dados de saída e de modelos otimizados, que descrevem apenas o processo dominante atuando numa paisagem (JETTEN et al., 2003).

A comparação dessas diferentes abordagens é feita através dos modelos que ligam a taxa de desagregação do solo com simples parâmetros hidráulicos e os modelos estocásticos, que podem ser vistos como segunda e terceira geração de modelos de erosão, após a primeira geração (USLE), os modelos empíricos. A evolução de tais modelos mostra as tentativas contínuas de se ter uma melhor visão sobre a erosão mecânica. Mas para se ter a escolha do melhor modelo, ainda depende das questões de pesquisa e dados de disponibilidade.

O modelo mais preciso e mais utilizados nos cálculos de erosão em sulco e entressulco é o modelo WEPP.

O modelo WEPP trata erosão em sulcos e erosão entressulcos como processos separados (NEARING et al., 1989). Perante isso, Foster (1982), Nearing et al. (1989) e Foster et al. (1995), afirmam que em WEPP a erosão em sulcos é uma função da capacidade de deslocamento de fluxo de água, carga de sedimentos, capacidade de transporte, largura de fluxo e espaçamento. A capacidade de desprendimento do fluxo é modelada como uma função do excesso de tensão de cisalhamento do solo, perante estudos de Foster (1982); Nearing et al. (1989) e Foster et al. (1995). Várias abordagens têm sido utilizadas para estimar a erosão em sulcos no solo, mas os parâmetros “universais” que melhor descrevem essa técnica são: erodibilidade em sulcos e tensão crítica cisalhante.

A modelagem do desprendimento de sedimentos da erosão em sulcos requer parâmetros hidráulicos (velocidade do fluxo e raio hidráulico). Quando se trata do tema erosão do solo, podemos analisar 2 tipos de fluxos de escoamento: escoamento de fluxo laminar (onde a velocidade da água é baixa e não há difusão e mistura entre camadas de solo) e escoamento de fluxo turbulento (onde a velocidade da água é mais elevada e há difusão e mistura entre camadas de solo). Com isso, conclui-se que o deslocamento da partícula é maior no fluxo turbulento do que no laminar (SUGUIO; BIGARELLA, 1990).

Perante formas de relevo diferentes, as velocidades calculadas alcançarão pontos críticos com os fluxos de escoamento superficial. Levando em consideração a pedoforma do ambiente, onde para vertentes longas e pouco declivosas, há a junção dos fluxos superficiais e para vertentes muito declivosas (mesmo curtas), há o aumento da velocidade dos fluxos. A convergência dos fluxos superficiais ocorrem em perfil de encostas convexas com linhas de nível côncavas, ocorre aumentando a declividade do terreno e velocidade dos fluxos respectivamente (BLOOM, 1996). Contudo para o perfil côncavo e linhas de nível côncavas, ocorre redução da declividade com atenuação das velocidades dos fluxos (BLOOM, 1996).

Conforme a ilustração abaixo, fica mais claro de se entender a relação entre a pedoforma e a velocidade de escoamento da água:

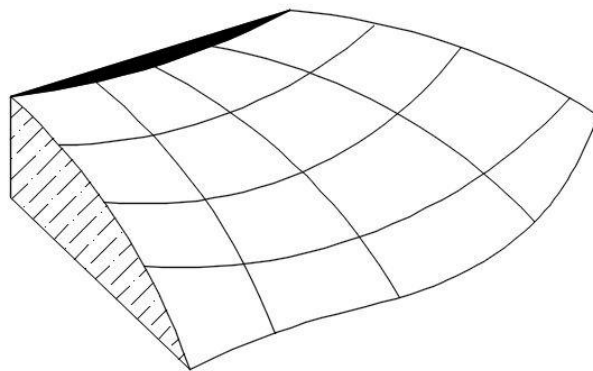


Figura 1. Em perfil de encosta convexa com linhas de nível convexas.

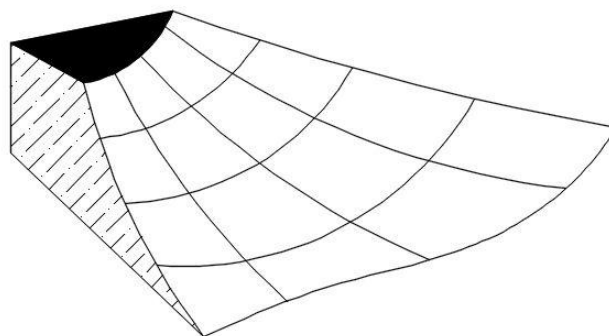


Figura 2. Em perfil de encosta côncava com linhas de nível convexas.

A convergência de fluxo acelera a ruptura entre materiais, neste sentido, a relação entre a forma erosiva e a geometria das encostas serve de subsídio à detecção de áreas mais propícias ao processo erosivo (Silva et al,2003).

Onde uma equação em que a velocidade da água é primordial e a maioria dos modelos de erosão utilizam é a equação de MANNING, tida como uma equação fundamental para a relação entre a velocidade da água num canal (ms-1) e a geometria do canal, segundo a equação 1:

$$v = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n} \quad (1)$$

onde: v é a velocidade média da água, dada em m/s; R é o raio hidráulico, dado em m; S é a declividade do terreno, dada em % e n é o número de Manning que depende da rugosidade da parede do sulco.

Os fluxos de escoamento superficial variam conforme a intensidade de velocidade da água, alcançando assim, velocidades críticas de erosão (dependendo também do relevo do terreno).

O valor de n , normalmente é obtido pela prática de experimentação, onde se pode afirmar que ele é independente às condições do fluxo, segundo Gilley et al. (1992). Existem diferentes componentes de rugosidade hidráulica: rugosidade para o resíduo da superfície (n_r), rugosidade para cascalho (n_g), rugosidade para materiais de calçada (n_f), etc. Existe como se ter um total de rugosidade, como demonstra a equação 2:

$$n_{\text{tot}} = n_g + n_f + n_r \quad (2)$$

A rugosidade hidráulica também pode ser caracterizada pelo coeficiente de DARCY-WEISBACH, onde g é a aceleração da gravidade, dada em m^2/s ; R é o raio hidráulico, dado em m; S é a declividade, dada em % e v é a velocidade, dada em m/s. Como representa a equação 3:

$$f = \frac{8gRS}{v^2} \quad (3)$$

Segundo o modelo de WEPP, (FOSTER et al., 1995) afirma que a largura do sulco é calculada usando uma função de potência simples (w), obtido por Gilley et al. (1990) a partir de um extenso estudo de sulcos desenvolvido em canteiros de dez diferentes tipos de solos, perante a equação 4 abaixo, com Q como vazão, dada em m^3/s :

$$w = 1.13 Q^{0.303} \quad (4)$$

Tensão de cisalhamento ao longo de um valor crítico aplicado por um fluxo concentrado e tido pela sua formulação geral, expressa pela equação 5 que representa K como erodibilidade, T_c como tensão crítica cisalhante, a e b como valores empíricos com valores propostos por autores, segundo Foster et al. (1981), Khanbilvardi e Rogowski (1986), Hirschi e Barfield (1988a, b), Lewis et al. (1994a, b) e Foster et al. (1995):

$$D_c = K(a\tau - \tau_c)^b \quad (5)$$

K , a , b e τ_c têm uma determinação empírica.

Foster et al. (1981) propôs um valor de 1,35 para a e b , baseando-se em considerações teóricas sobre a distribuição da tensão de corte em torno do perímetro úmido do canal. Os parâmetros K e τ_c são obtidos por calibração. T_c em especial é o mais difícil de se avaliar, uma vez que dentre os vários componentes de uma erosão, o estado crítico é o de menos compreensão (OWOPUTI STOLTE, 1995; KNAPEN et al., 2007).

Em alguns casos de aplicações, T_c assume valor de zero (FOSTER, 1982). A equação 5 pode ser utilizada de forma prática para prever uma erosão, desde que

se faça o bom uso das constantes (FOSTER et al., 1982) seguindo o modelo de WEPP.

Segundo o modelo seguido por Wicks e Bathurst (1996) (modelo SHESED), usa-se uma equação um tanto diferente, como é demonstrado abaixo pela equação 6:

$$D_f = K_f \left(\frac{\tau}{\tau_c} - 1 \right) \quad \text{for } \tau > \tau_c \quad (6)$$

onde: k_f ($\text{kg m}^{-2} \text{ S}^{-1}$) é o coeficiente de erodibilidade do escoamento superficial do solo e τ_c (Nm^{-2}) é a tensão crítica de cisalhamento a partir da curva de Shields também usada por Mantz (1977) citado por Wicks e Bathurst (1996).

Também são utilizados outros parâmetros hidráulicos que não seja a tensão de cisalhamento. Elliot e Laflen (1993) desenvolveram empiricamente uma equação para redução de erosão com base na potência de escoamento, demonstrado pela equação 7:

$$D_c = K(\omega - \omega_c) \quad (7)$$

onde: segue expresso pela equação 8:

$$\omega = \tau \cdot v \quad (8)$$

v = velocidade de fluxo, w = potência do escoamento e w_c = potência do escoamento crítico. Descobriram que a Equação 7 foi o melhor preceptor de erosão em sulco como um todo. Os modelos acima mencionados afirmam que o desprendimento do solo é uma fase separada da erosão do solo.

Foster e Meyer (1972) afirmaram que a taxa de desprendimento do solo é proporcional às equações 9 e 10:

$$D_r = \frac{\partial qs}{\partial x} = \alpha(T_c - qs) \quad (9)$$

$$D_r = D_c \left(1 - \frac{qs}{T_c} \right) \quad (10)$$

onde: α = taxa constante de controle, x = distância, $D_c = \alpha T_c$ = capacidade de deslocamento, ou seja, a taxa de desagregação quando nenhuma carga de sedimentos está presente.

Segundo modelo de EUROSEN (MORGAN et al., 1998) e LISEM (De ROO et al., 1996) seguem modelos que estimam a taxa de erosão em termos de velocidade de sedimentação das partículas, V_s , e concentração de sedimentos na capacidade de transporte, T_c .

Estes modelos são calculados usando Govers (1990), relação empírica baseada na potência do escoamento da unidade e a taxa de desapego do solo é calculada como uma função da capacidade de transportar, calculado pela equação 11:

$$D_r = \beta w v_s (T_c - C) \quad (11)$$

β é um coeficiente de eficiência de erosão, w é a largura do fluxo, C é o sedimento real concentrado. Blau et al. (1988) apresentou outro déficit de capacidade de transporte para estimar a relação entre sulco e erosão, que foi incorporada no modelo KINEROS, estimado pela equação 12:

$$D_r = K_r \left[\left(\frac{B}{k} \right) q - cq \right] \quad (12)$$

onde: K_r = razão das constantes da área das partículas do solo e as relações de volume, B = um parâmetro de transporte de sedimentos, k = um parâmetro de resistência a inclinação, q =descarga por unidade de largura ($m^3 s^{-1} m^{-1}$), c = concentração de sedimentos ($g m^{-1}$). D_r é estimado como sendo linearmente dependente na diferença entre a concentração de equilíbrio e a concentração de sedimentos de corrente, demonstrado pela equação 13:

$$D_r = [(1 - H)w + 2d] \left[\frac{F(\omega - \omega_c)}{IJ} \right] \quad (13)$$

Demonstra que em condições onde a blindagem e redeposição de sedimentos pode ser negligenciada, a desagregação de sedimentos é proporcional à transmissão de energia. Tanto a blindagem e redeposição podem causar um deslocamento líquido muito menor. Modelo apresentado por Van Oost et al. (2004).

Hessel et al. (2003) segue um modelo que utiliza a equação de MANNING ou de DARCY-WEISBACH para prever a erosão em sulcos, independente da velocidade do fluxo que pode aumentar perante a declividade, afirma também Hessel et al. (2003).

Alternativamente, uma simples equação de potência pode ser utilizada, decorrente da velocidade do fluxo de córrego diretamente para descarregar ($m^3 s^{-1}$), em que a e b são valores propostos por Govers (1992a) e Giménez e Govers (2001), como expressa a equação 14:

$$v = aQ^b \quad (14)$$

A desagregação de sedimentos não pode simplesmente ser descrita como uma função de déficit de capacidade de transporte de sedimentos, como é proposto no modelo original de Foster e Meyer. Portanto, Giménez e Govers propuseram uma equação para interação a desapego-transporte, demonstrada no texto pela equação

15, onde DL é a desagregação de sedimentos, dada em ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$); a é uma constante e Γ é o comprimento da força de cisalhamento, dado em (kg s^{-2}):

$$D_L = a\Gamma \left(1 - \frac{q_s}{T_c} \right) \quad (15)$$

Assumindo que desagregação do solo por unidade de superfície é controlada por tensão de corte e negligenciando tensões de cisalhamento críticos, erosão do solo por unidade de comprimento de sulcos pode ser previsto pelas equações 16 e 17, em que a é a constante dependente da erodibilidade do solo, b é constante, ρ é a densidade do fluido e g é a aceleração da gravidade:

$$D_L = a\Gamma \quad (16)$$

$$\Gamma = \rho gRS W_p = \rho gAS \quad (17)$$

A fim de utilizar este modelo, necessita-se de ser estimada uma função de descarga e inclinação, isto se dá através das equações 18 e 19:

$$A = 0.34 Q^{0.732} \text{ (Govers, 1992a) } r^2 = 0.93 \quad (18)$$

$$\Gamma = \rho g(0.34 Q^{0.732})S \quad (19)$$

A equação 19 só pode ser usada quando o desprendimento em sulcos em desenvolvimento é considerado, sem efeito de resíduos ou fragmentos de rocha capa, caso isso não aconteça, usa-se a equação 20:

$$D_L \propto L^{0.732} S \quad (20)$$

A equação 21 descreve a dependência topográfica do córrego em caso de geração de escoamento uniforme, delimitando condições e uma tensão de cisalhamento crítica negligenciável ou força de cisalhamento por unidade de comprimento a fim de saber até que ponto esse resultado de tal equação está de acordo com as observações de campo. Tendo-se A_E como taxa de erosão local, e m e n como expoentes tabelados de comprimento de declive.

$$A_E \propto L^m S^n \quad (21)$$

A taxa de erosão foi então relacionada com o comprimento de declive do terreno, obtendo um gradiente usando a equação 22, onde β na maioria das vezes assume valor de 1:

$$Q \propto A^\beta \quad (22)$$

A principal vantagem de se utilizar a tensão de cisalhamento ou a força de cisalhamento como um preceptor é que é possível diretamente explicar variações na geometria. O sulco pode também permitir boas previsões, mas uma calibração separada para diferentes geometrias de sulcos.

É correto afirmar que os estudos de campo não fornecem indicações no que diz respeito a uma carga de sedimentos existentes no fluxo de água da erosão. Isso acontece quando a evolução da capacidade de transporte com declive e descarga é analisada. Govers (1992b) constatou que o T_c , poderia ser linearmente relacionado com o fluxo de unidade, observados na equação 23:

$$T_c = k(Sv - (Sv)_{cr})Q \quad (23)$$

onde: K é uma constante empírica, podendo se reescrever, obtendo uma nova equação, a equação 24:

$$T_c = kSQaQ^b = kaSQ^{1+b} \quad (24)$$

Na utilização de modelos consistentes como dados experimentais não irá necessariamente melhorar a previsão de erosão, no entanto, isso pode conduzir a modelos que são de aplicação mais geral e também produzir resultados significativos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área de 200 ha, na Fazenda Boa Vista, cultivada a mais de 20 anos com cana-de-açúcar, localizada no município de Tabapuã - SP. As coordenadas geográficas são: Latitude 21° 57' 51" S e Longitude 49° 01' 54" S. O solo estudado foi classificado como um Argissolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2013), da província geomórfica do Planalto Ocidental Paulista tendo como material de origem as unidades geológicas pertencentes às rochas sedimentares do grupo Bauru, representadas pela formação Adamantina.

Para que o simulador pudesse agir em condições reais no campo, foi analisado um sistema de fluxo aplicado mais água da chuva artificial, onde os fluxos são resultados da chuva sobre uma área mais escoamento excedente de área em posições mais elevadas na paisagem, ou seja, a parte côncava recebe também o material que foi erodido vindo da forma convexa. Perante esta realidade de relevo, foi planejado o seguinte cenário em duas posições na pedopaisagem:

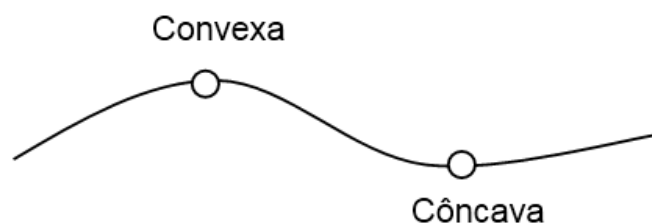


Figura 3. Esquema das formas de curvaturas do relevo.

O cenário experimental adotado foi o delineamento em blocos completamente casualizados. Doze sulcos pré-formados foram dispostos em dois blocos de seis sulcos. Os sulcos foram formados manualmente com 0,35 m de largura, 9,00 m de comprimento e 0,20 m de profundidade na porção central. Os blocos foram montados em duas posições topográficas: convexa e côncava.

Para fins de avaliação do processo de erosão em sulcos em solo recém-preparado, seis sulcos ou canais com geometria retangular com 0,25 m de largura, 9 m de comprimento e 0,20 m de profundidade na porção central, foram formados manualmente com ajuda de um enxadão.

As laterais destes sulcos foram delimitadas por pequenos amontoados de terras, originados a partir da formação dos mesmos. No limite inferior de cada sulco foi instalada uma calha coletora convergente para uma saída de aproximadamente 0,10 m de diâmetro, facilitando a coleta de amostras de enxurrada e as avaliações de vazões. Na cabeceira de cada um dos seis sulcos existiam também, saídas individuais em tubo PVC de 0,10 m de diâmetro, para fornecimento de fluxos adicionais de água.

Para as simulações de chuvas, com conseqüente produção de sedimentos erodidos, foi utilizado um simulador de chuvas de hastes rotativas, tipo Swanson, com bicos “veejet” 80100, previamente calibrado e nivelado no terreno, como proposto por Martins Filho et al. (2009). As intensidades de chuvas foram determinadas dispondo-se 36 pluviômetros radialmente no sentido do declive.

Uma chuva de 60 mm h⁻¹ foi aplicada 24 horas antes dos testes experimentais para uniformizar a umidade do solo próximo das suas capacidades de campo. Para evitar danos ao solo foram utilizadas telas plásticas para dissipar a energia das

gotas da água da chuva nas parcelas. Após este procedimento as parcelas foram cobertas com lona plástica, para se evitar perdas de água por evaporação e, ainda, danos devido a eventual ocorrência de precipitações naturais.

No dia seguinte, nas parcelas em sulcos, foi aplicada uma chuva de intensidade de 78 mm h^{-1} (C) durante 60 minutos, e aos 5, 35 e 55 minutos de chuva foram realizadas avaliações do cisalhamento hidráulico nos sulcos medindo-se os raios hidráulicos utilizando-se de um perfilômetro, o qual foi fotografado utilizando-se de uma máquina digital. Essas avaliações foram executadas em duas posições dos sulcos: a 2 m da cabeceira e a 2 m antes do final dos canais. O perfilômetro foi constituído de 100 hastes metálicas espaçadas de 5 mm e acopladas em estrutura retangular de acrílico com 1,80 m de comprimento e 1,50 m de altura. As fotografias foram digitalizadas e os dados processados, analisados em planilha Excel para que as variáveis hidráulicas como o perímetro molhado (P_m), a área de secção transversal ocupada pelo fluxo (a) e o raio hidráulico (R_h) fossem determinados.

A velocidade superficial da água também foi avaliada nos três instantes da chuva, citados no parágrafo anterior, utilizando-se como corante o azul de metileno, cronometrando-se o tempo necessário para que este percorresse os 5 m centrais do comprimento total de cada sulco. Esses valores de velocidade superficial medidos foram multiplicados por um fator de correção, $a = 0,6$, para se obter a velocidade média do escoamento, tendo-se em vista a distribuição do perfil de velocidade nos sulcos.

Foi aplicada nos sulcos a chuva (C), chuva mais fluxos adicionais ($C + F_n$, para $n=1, 2$ e 3) e apenas fluxos extras de água limpa (F_n , para $n=1, 2$ e 3); os fluxos tinham as seguintes vazões: $F_1 = 19 \text{ L min}^{-1}$; $F_2 = 36 \text{ L min}^{-1}$ e $F_3 = 44 \text{ L min}^{-1}$. A tensão cisalhante, o raio hidráulico e a velocidade superficial do fluxo nos sulcos foram avaliados aos 5, 35 e 55 minutos para a chuva e aos 5, 10 e 15 minutos quando da aplicação dos fluxos adicionais (F_n) ou chuva + fluxos ($C + F_n$).

Durante a última amostragem da enxurrada uma graduação nos recipientes de coleta foi o indicador do equilíbrio atingido durante a chuva (C). Como o tempo de amostragem foi cronometrado, até o volume de enxurrada atingir a graduação dos recipientes de coleta, facilmente pode ser estimada a vazão de enxurrada nos minutos finais da chuva (C), caracterizando uma condição de equilíbrio. A partir

deste momento três diferentes vazões (F_1 , F_2 e F_3) foram aplicadas diretamente nas cabeceiras dos sulcos, através de um sistema de fornecimento de fluxos adicionais acoplado a uma moto-bomba. As combinações $C + F_1$, $C + F_2$ e $C + F_3$ tiveram a duração de 20 minutos cada.

Amostragens para medidas de vazões dos escoamentos superficiais e das concentrações de sedimentos, quando da aplicação da chuva e/ou dos fluxos adicionais, foram realizadas a cada 5 minutos após o início da enxurrada, numa calha coletora localizada na parte inferior de cada sulco. Amostras foram coletadas em recipientes, com capacidade para 1L, cronometrando-se o tempo de coleta.

Logo após as coletas, os recipientes foram fechados e conduzidos ao laboratório, pesados e posteriormente mantidos em repouso por 24 horas, quando foi sifonado o máximo possível de água. Posteriormente, os recipientes foram levados para uma estufa a uma temperatura de 65 °C, e ali foram mantidos até peso constante, para serem novamente pesados, o que possibilitou quantificar a concentração de sedimentos, o volume da solução e, conseqüentemente, determinar as taxas de perdas de solo e água.

3.1 Caracterização hidráulica do escoamento nos sulcos formados manualmente

Foi determinado o raio hidráulico (R_h , m) dos sulcos pela seguinte relação, tida pela equação 25:

$$R_h = \frac{A_m}{P_m} \quad (25)$$

em que: A_m - área da secção transversal (m^2); P_m - perímetro molhado da secção transversal (m).

A declividade dos sulcos foi determinada com nível de precisão, pela variação de altura entre dois pontos de distância determinada nos sulcos (a dois metros da cabeceira e a dois metros antes do final), e expressa em $m \ m^{-1}$. As taxas de descarga (q , $m^3 \ s^{-1}$) foram determinadas pela medição do volume de enxurrada

coletada durante um tempo cronometrado e dividida pelo perímetro molhado (P_m , m) dos sulcos.

O número de Reynolds (R_e) foi determinado pela relação, tida pela equação 26:

$$R_e = \frac{v R_h}{\nu} \quad (26)$$

em que: v - velocidade média do escoamento ($m\ s^{-1}$); R_h - raio hidráulico (m); ν - viscosidade cinemática da água ($m^2\ s^{-1}$).

Como a viscosidade cinemática (ν , $m^2\ s^{-1}$) da água varia conforme a temperatura, esta foi determinada em $^{\circ}C$ a cada evento. A viscosidade (ν) foi determinada conforme a equação 5 dada por Julien (1995):

$$\nu = [1,14 - 0,031 (T - 15) + 0,00068 (T - 15)^2] \times 10^{-6} \quad (27)$$

em que: T - temperatura da água ($^{\circ}C$).

A temperatura da água nos testes de campo foi de $25\ ^{\circ}C$, por conseguinte, a viscosidade cinemática (ν) foi tomada como uma constante de $8,98 \times 10^{-7}\ m^2\ s^{-1}$. O número de Froude (F_r) foi obtido pela equação 28:

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{g R_h}} \quad (28)$$

em que: v - velocidade média do escoamento ($m\ s^{-1}$); g - aceleração da gravidade ($m\ s^{-2}$); R_h - raio hidráulico (m).

A velocidade de cisalhamento (U^* , $m\ s^{-1}$) foi determinada pela equação 29:

$$U^* = \sqrt{g S R_h} \quad (29)$$

em que: g - aceleração da gravidade ($m\ s^{-2}$); S - declive do fundo do sulco ($m\ m^{-1}$); R_h - raio hidráulico (m).

No caso do trabalho realizado, admite-se que a declividade do fundo do sulco seja igual à declividade da linha de água. A rugosidade dos sulcos foi medida pelo coeficiente de rugosidade de Manning (n), obtido a partir da equação 30:

$$n = \frac{R_h^{2/3} S^{1/2}}{v} \quad (30)$$

em que: R_h - raio hidráulico (m); S - declive do sulco ($m\ m^{-1}$); v - velocidade média do escoamento ($m\ s^{-1}$).

3.2 Taxas de desagregação e determinação da erodibilidade do solo em sulcos

A contribuição de sedimentos destacados das áreas em entressulcos para os sulcos (E , $kg\ m^{-2}\ s^{-1}$) foi determinada utilizando-se equação 9 proposta por Elliot et al. (1989):

$$E = D_i [(ES - L_r) / L_r] \quad (31)$$

em que: D_i - taxa de erosão entressulcos ($kg\ m^{-2}\ s^{-1}$); ES - espaço entre os sulcos (m); L_r - largura dos sulcos (m).

A partir da massa de solo seco e da duração das coletas, determinaram-se as taxas de descarga sólida em $kg\ s^{-1}$. Por fim, as taxas de desagregação de solo nos sulcos (D_r , $kg\ m^{-2}\ s^{-1}$) foram obtidas pela seguinte relação, tida pela equação 32:

$$D_r = \frac{Q C}{L P_m} - E \quad (32)$$

em que: Q - descarga líquida ($L\ s^{-1}$); C - concentração de sólidos no escoamento ($kg\ L^{-1}$); L - comprimento do sulco (m); P_m - perímetro molhado (m); E - contribuição entressulcos para os sulcos ($kg\ m^{-2}\ s^{-1}$).

A capacidade de transporte de sedimentos do fluxo (T_c , $kg\ m^{-1}\ s^{-1}$) foi determinada utilizando-se metodologia proposta por Cerquetani & Martins Filho

(2006).

A carga média de sedimentos do fluxo (G , $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$) em sulco foi calculada de acordo com Braida (1994), pela equação 33:

$$G = \frac{PS}{P_m t} \quad (33)$$

em que: PS - perda total de solo (kg); P_m - perímetro molhado médio da secção transversal do fluxo (m); t – tempo de duração do teste (s).

A erodibilidade do solo em sulcos (K_r) e a tensão cisalhante crítica (τ_c) foram determinadas pela análise de regressão entre os valores médios da tensão de cisalhamento (τ) e da desagregação do solo (D_r) obtidos para cada vazão aplicada. A tensão cisalhante média do escoamento (τ) foi obtida com a Equação 2. Portanto, a erodibilidade em sulcos (K_r) consistiu-se no coeficiente angular (b) da reta que relaciona as taxas de desagregação (D_r) com a tensão cisalhante do fluxo (τ). A tensão crítica de cisalhamento do solo (τ_c) correspondeu ao valor do intercepto de τ , quando $D_r = 0$, ou a partir da relação dos coeficientes da reta: $\tau_c = -a/b$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de área, perímetro molhado e raio hidráulico da seção transversal do escoamento, para cada fluxo aplicado, são apresentados na Tabela 1. Verifica-se que estas características dos sulcos variaram significativamente com o aumento da vazão aplicada nos sulcos, o que confirma pesquisas voltadas para tais análises.

Através de estudos e práticas aplicadas no decorrer de pesquisas, foi possível afirmar que o aumento dos fluxos aplicados causam danos às paredes laterais dos sulcos, o que conseqüentemente aumenta o perímetro molhado provocando maior transporte de sedimentos, segundo Cantalice et al. (2005) e Bezerra et al. (2010). Tanto a área, o perímetro molhado e o raio hidráulico se comportaram de forma

semelhante perante a prática, onde, eles variaram de forma gradativa, obtendo valores maiores na forma convexa em relação à forma côncava.

Tabela 1. Geometria da seção transversal dos sulcos em função dos fluxos aplicados em um Argissolo Vermelho-Amarelo.

Variável	Posição (bloco)	Fluxos aplicados, L min ⁻¹			
		7 (C)	26 (C+F ₁)	43 (C+F ₂)	51 (C+F ₃)
A (m ²)	Forma convexa	1.2980 Ac	5.4192 Ab	5.3443 Ab	6.8013 Aa
	Forma côncava	1.6602 Ac	4.3459 Ab	4.8975 Ab	7.7251 Aa
P _m (m)	Forma convexa	0.1216 Ac	0.2425 Bb	0.2416 Bb	0.2763 Ba
	Forma côncava	0.0912 Ab	0.1515 Aa	0.1648 Aa	0.2170 Aa
R _h × 10 ⁻³ (m)	Forma convexa	1.0429 Bb	2.2357 Ba	2.2137 Ba	2.4576 Ba
	Forma côncava	1.8476 Ac	2.9125 Ab	2.9907 Ab	3.5676 Aa

C = chuva simulada de 78 mm h⁻¹; Fluxos adicionais aplicados nos sulcos: F₁ = 19 L min⁻¹; F₂ = 36 L min⁻¹ e F₃ = 44 L min⁻¹; A = área de seção transversal do sulco; P_m = perímetro molhado; R_h = raio hidráulico. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste Duncan a 5%.

Na Tabela 2 é possível verificar que em relação às características hidráulicas do escoamento nos sulcos, as razões de inclinação (S) não apresentaram variações significativas entre os fluxos aplicados e para locais de forma convexa ou côncava do território. Contudo, o gradiente hidráulico, neste texto representado por S, foi significativamente superior na forma côncava.

Tabela 2. Características hidráulicas do escoamento em sulcos.

Variável hidráulica	Posição (Bloco)	Fluxos aplicados, L min ⁻¹			
		7 (C)	26 (C+F ₁)	43 (C+F ₂)	51 (C+F ₃)
S (m m ⁻¹)	Forma convexa	0.0334 Ba	0.0336 Ba	0.0336 Ba	0.0336 Ba
	Forma côncava	0.0566 Aa	0.0566 Aa	0.0566 Aa	0.0569 Aa
Q (L s ⁻¹)	Forma convexa	0.0878 Ac	0.4155 Ab	0.4230 Ab	0.6008 Ba
	Forma côncava	0.1105 Ac	0.4491 Ab	0.4640 Ab	0.7797 Aa
v (m s ⁻¹)	Forma convexa	0.4401 Aa	0.4598 Ba	0.4754 Ba	0.5300 Ba
	Forma côncava	0.4053 Ab	0.6240 Aa	0.5733 Aa	0.6269 Aa
R _e	Forma convexa	779 Ac	3225 Ab	3460 Bb	4934 Ba
	Forma côncava	1029 Ac	3743 Ab	4608 Ab	7418 Aa
F _r	Forma convexa	3.0 Aa	1.5 Bb	1.5 Ab	1.5 Ab
	Forma côncava	2.3 Ba	2.2 Aa	1.8 Aab	1.6 Ab
n (s m ^{-1/3})	Forma convexa	0.0030 Ba	0.0041 Aa	0.0039 Aa	0.0038 Ba
	Forma côncava	0.0054 Aa	0.0047 Aa	0.0052 Aa	0.0056 Aa
G (kg m ⁻¹ s ⁻¹)	Forma convexa	0.0004 Aa	0.0008 Ba	0.0008 Ba	0.0011 Ba
	Forma côncava	0.0005 Ac	0.0035 Ab	0.0044 Ab	0.0065 Aa
T (kg m ⁻¹ s ⁻¹)	Forma convexa	0.3858 Aa	0.3542 Ba	0.3464 Ba	0.4145 Ba
	Forma côncava	0.3202 Ac	0.6803 Ab	0.7315 Ab	0.9576 Aa
G/T	Forma convexa	0.0011 Aa	0.0022 Ba	0.0024 Ba	0.0026 Ba
	Forma côncava	0.0016 Ab	0.0053 Aa	0.0062 Aa	0.0067 Aa
U* (m s ⁻¹)	Forma convexa	0.0678 Aa	0.0660 Ba	0.0657 Ba	0.0692 Ba
	Forma côncava	0.0637 Ac	0.0804 Ab	0.0814 Ab	0.0887 Aa
τ (N m ⁻²)	Forma convexa	4.5909 Aa	4.3529 Ba	4.3097 Ba	4.7856 Ba
	Forma côncava	4.0935 Ac	6.4624 Ab	6.6290 Ab	7.9061 Aa
D _r (kg m ⁻² s ⁻¹)	Forma convexa	0.0121 Aa	0.0114 Ba	0.0121 Ba	0.0141 Ba
	Forma côncava	0.0138 Ab	0.0571 Aa	0.0667 Aa	0.0697 Aa

C = chuva simulada de 78 mm h⁻¹; Fluxos adicionais aplicados nos sulcos: F₁ = 19 L min⁻¹; F₂ = 36 L min⁻¹ e F₃ = 44 L min⁻¹; S = declividade; Q = descarga líquida; R_e = número de Reynolds; F_r = número de Froude; n = coeficiente de rugosidade de Manning; v = velocidade média do escoamento; G = carga de sedimento no escoamento; T = capacidade de transporte de sedimentos do escoamento; G/T = razão; U* = velocidade cisalhante; τ = tensão cisalhante do escoamento; D_r = taxa de desagregação em sulcos. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste Duncan a 5%.

A descarga líquida (Q), é a somatória da água da chuva artificial mais os fluxos de água aplicados, variou significativamente nas duas posições da paisagem (forma convexa e forma côncava, Tabela 2). Também foi verificado que a velocidade média do escoamento (v) seguiu variando significativamente com os fluxos aplicados nos sulcos, o que já era esperado. Deste modo, relações entre v e Q, nas posições de forma convexa (Eq. 34) e forma côncava (Eq. 35), foram obtidas com um modelo potencial, tal que:

$$v = 0,6897 Q^{0,2241} \quad R^2 = 0,90^{**} \quad (34)$$

$$v = 0,5198 Q^{0,0761} \quad R^2 = 0,60^{**} \quad (35)$$

em que: v = velocidade média do escoamento ($m s^{-1}$) e Q = descarga líquida nos sulcos ($L s^{-1}$).

Os aumentos da velocidade média nas duas posições da paisagem com o aumento dos fluxos aplicados nos sulcos proporcionou, provavelmente, a quebra dos agregados grandes que são formados durante a fase de preparo do solo, o que implica em conseqüente transporte de partículas individualizadas (BEZERRA et al., 2010).

A diferença significativa entre os valores dos números de Reynolds (R_e) e Froude (F_r) permitiram classificar o regime do escoamento superficial como sendo transicional-turbulento supercrítico, quando $R_e < 2000$ e $F_r > 1,0$ (topo), e nos demais casos dos fluxos de enxurrada como turbulentos supercríticos, visto que $R_e > 2000$ e $F_r > 1$. Cantalice et al. (2005) obtiveram resultados semelhantes para sulcos formados manualmente em Argissolo Franco-Argilo-Arenoso. Como relataram Bezerra et al. (2010) valores de F_r superiores a 1,2 evidenciam a formação de sulcos, o que corrobora os resultados da Tabela 2. Logo, os regimes dos fluxos de enxurrada nos canais de erosão foram típicos do processo de erosão em sulcos.

O coeficiente de rugosidade de Manning (n) não apresentou variação significativa com os fluxos aplicados (Tabela 2). A rugosidade hidráulica dos sulcos representa a soma da rugosidade das partículas (n') e da rugosidade da forma dos sulcos (n''). Valores de n da ordem de 10^{-3} , caso dos valores da Tabela 2,

demonstram a mínima presença de agregados em superfície e caracterizam baixos valores de rugosidade hidráulica.

Verificou-se que a carga de sedimento presente no escoamento (G) foi significativamente maior para os tratamentos com chuva e fluxos adicionais de escoamento ($C + F_n$) na forma convexa em relação à forma côncava.

A capacidade de transporte de sedimentos (T) foi significativamente maior para os tratamentos com chuva e fluxos adicionais de escoamento ($C + F_n$) na forma convexa em relação à forma côncava. Não se observou diferença significativa para T só com o fluxo produzido pela chuva (C). Apenas na forma côncava ocorreram diferenças significativas para T entre os fluxos aplicados (Tabela 2).

A relação entre carga de sedimento e capacidade de transporte do escoamento nos sulcos (G/T) foi significativamente maior na forma côncava em relação à forma convexa. Tal aspecto demonstra que a carga de sedimentos na forma côncava ocupou maior fração da capacidade de transporte que na forma convexa, o que é justificável pelo menor gradiente hidráulico (S) do topo em relação à forma côncava (Tabela 2).

Quanto a velocidade cisalhante (U^*) foi observado que esta foi significativamente menor na forma convexa em relação à forma côncava. Apenas na forma côncava verificou-se aumento significativo de U com os fluxos do escoamento (C e $C + F_n$). Esta velocidade está relacionada com o desenvolvimento inicial dos sulcos, a qual é variável com os atributos do solo (BRYAN, 2000). Os valores observados variaram de 0,0637 a 0,0887 $m s^{-1}$. Cantalice et al. (2005) determinaram valores de 0,081 a 0,125 $m s^{-1}$ para um Argissolo Vermelho distrófico típico, enquanto que Bezerra et al. (2010) observaram valores de 0,035 a 0,040 $m s^{-1}$ em um Cambissolo Háplico de textura média. Para Rauws (1987) a velocidade cisalhante acima de 0,032 $m s^{-1}$ estabelece a ocorrência de eventos em regime supercrítico.

Considerando-se as variações significativas da tensão cisalhante e taxa de desagregação em sulcos expressas na Tabela 2, estabeleceu-se a relação entre as duas variáveis para as posições nas formas convexas e formas côncavas apresentadas na Figura 2.

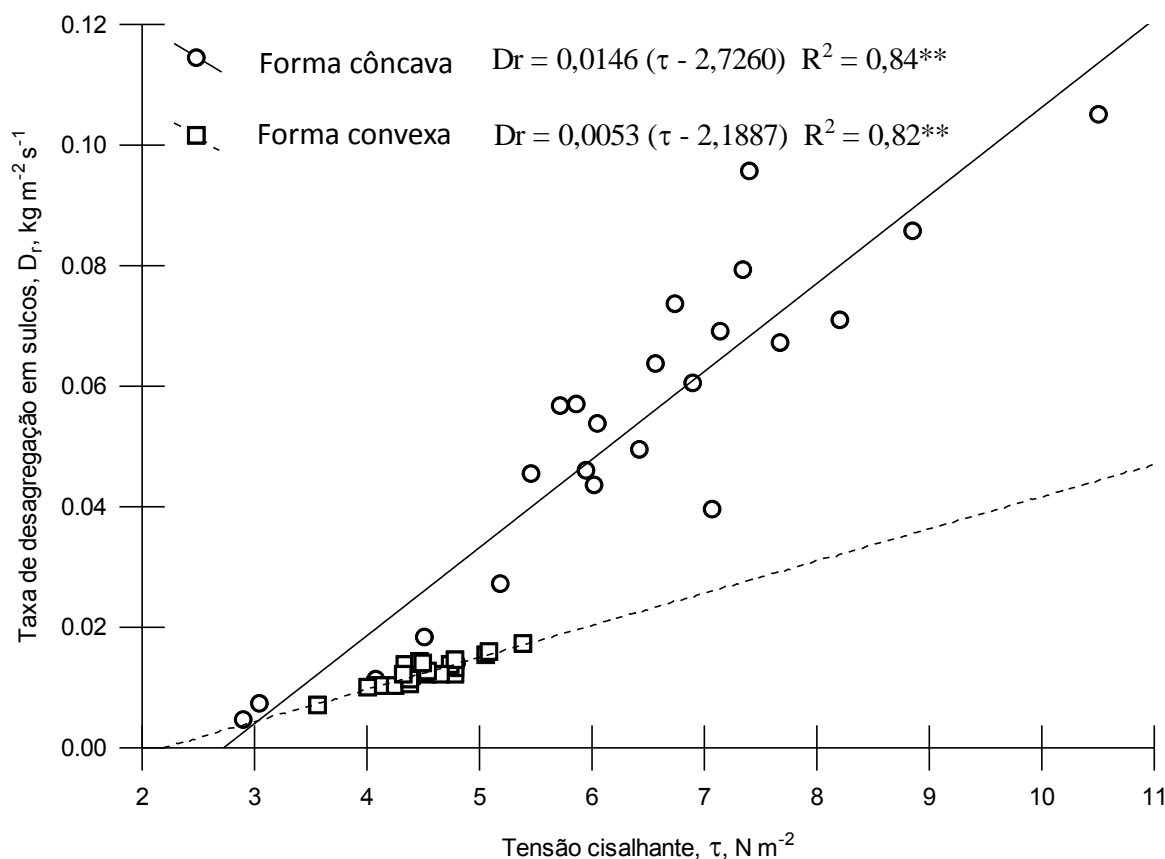


Figura 2. Desagregação em sulcos em função da tensão cisalhante resultante dos fluxos aplicados em um Argissolo Vermelho-Amarelo.

As erodibilidades em sulcos (K_r) nas posições de forma convexa e forma côncava de sedimentos determinadas foram de $0,0053 \text{ kg N}^{-1} \text{ s}^{-1}$ e $0,0146 \text{ kg N}^{-1} \text{ s}^{-1}$, respectivamente. Já os valores de tensão cisalhante crítica foram de $2,1887 \text{ N m}^{-2}$ na posição convexa e de $2,7260 \text{ N m}^{-2}$ na côncava. Considerando-se os valores de K_r e τ_c , para as formas convexa e côncava, é possível afirmar que o processo de erosão em sulcos tende a se iniciar primeiro na forma convexa. Isto irá ocorrer devido ao menor valor de tensão cisalhante crítica do solo na região de topo (Figura 2), mesmo o solo apresentando nesta posição da paisagem um menor valor de K_r . Tal resultado é corroborado pelos menores valores de velocidade cisalhante observados na forma convexa, em relação à forma côncava.

Cantalice et al. (2005) determinou um valor de K_r igual a $0,0024 \text{ kg N}^{-1} \text{ s}^{-1}$ para um Argissolo Vermelho distrófico típico. Giasson e Cassol (1996), para o mesmo Argissolo avaliado por Cantalice et al. (2005), determinaram valores de K_r

igual $0,0077 \text{ kg N}^{-1} \text{ s}^{-1}$ e de tensão cisalhante crítica de $1,13 \text{ N m}^{-2}$. Esta diferença de valores foi justificada por Cantalice et al. (2005) pela manutenção do solo descoberto por 10 meses, no experimento de Giasson e Cassol (1996), o que contribuiu para o comprometimento da estrutura do solo e redução do conteúdo de matéria orgânica.

Schäfer et al. (2001) determinaram valores de K_r de $0,012 \text{ kg N}^{-1} \text{ s}^{-1}$ e de τ_c igual a $2,65 \text{ N m}^{-2}$, os quais são valores mais próximos aos obtidos na forma côncava para o presente trabalho. Estas variações de valores de K_r e τ_c para solos no Brasil devem estar relacionadas com os seus atributos físicos, químicos e biológicos (porosidade, resistência a penetração, quantidade de matéria orgânica, dentre outros). Tal entendimento dos fatores que determinam, para Argissolos, as diferenças entre atributos do solo como K_r e τ_c , ainda, necessitarão da execução de um maior número de determinações destas variáveis no território brasileiro.

É possível observar que os valores de K_r e τ_c são variáveis e, no Brasil, a maior parte das informações disponíveis é para solos do Rio Grande do Sul. Schäfer et al. (2001) e Cantalice et al. (2005) apontam que tais informações ainda são insuficientes para conclusões sobre a relação destes dois parâmetros de erosão do solo com as suas propriedades. Entretanto, o presente trabalho pode representar uma contribuição no sentido de relacionar compactação do solo com K_r e τ_c .

Em uma avaliação da mineralogia de Argissolos em curvaturas do relevo, na mesma área deste presente trabalho, Camargo (2009) concluiu que os maiores teores de hematita e goethita foram encontrados na área convexa e que há predominância da hematita em ambas as áreas. Na área convexa a hematita apresentou o menor diâmetro médio do cristal. Foi verificado haver predominância de caulinita na área côncava. A presença de caulinita implica no desenvolvimento de macroestrutura do tipo em blocos, como observado por Ferreira et al. (1999), devendo originar solo com maior densidade, maior proporção de poros pequenos e menor permeabilidade. Logo, a erodibilidade deverá ser maior em solos caulínicos.

Na mesma área do presente estudo, caracterizaram a variabilidade espacial dos atributos físicos de Argissolos desenvolvidos de arenito e cultivados com cana-de-açúcar, bem como a relação desses com as curvaturas do relevo. A área convexa (topo) apresentou, os maiores valores de diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico, agregados $> 2 \text{ mm}$, agregados de $2-1 \text{ mm}$, volume total

de poros e umidade e os menores valores de densidade do solo e resistência à penetração nas duas profundidades estudadas (0,00 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m), em relação à área côncava. Tais resultados são coerentes com os menores valores de K_r e t_c na forma convexa em relação à forma côncava (Figura 2).

5 CONCLUSÕES

O regime de escoamento nos sulcos caracterizou-se por ser turbulento supercrítico e altera a geometria da seção transversal dos sulcos.

Para o Argissolo Vermelho-Amarelo os valores de erodibilidade em sulcos (K_r) nas posições de forma convexa são inferiores aos da forma côncava de sedimentos, $0,0053 \text{ kg N}^{-1} \text{ s}^{-1}$ e $0,0146 \text{ kg N}^{-1} \text{ s}^{-1}$, respectivamente, enquanto que os valores de tensão cisalhante crítica são de $2,1887 \text{ N m}^{-2}$ na forma convexa e de $2,7260 \text{ N m}^{-2}$ na forma côncava; perante tais dados, conclui-se que a forma mais propícia à erosão é a forma convexa.

Através de tais dados encontrados e analisados no estudo, se pode ter a prática de tomada de decisão de qual melhor método de previsão e combate a uma futura erosão instalada naquele local.

6 REFERÊNCIAS

AZEVEDO, A. C.; BONUMÁ, A. S. Partículas coloidais, dispersão e agregação em Latossolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 609-617, 2004.

BACCHI, O. O. S.; REICHARDT, K.; SPAROVEK, G. Sediment spatial distribution evaluated by methods and its relation to some soil properties. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 69, n. 1, p. 117-125, 2003.

BARBOSA, J. A. **Efeito do tráfego de rodados pneumáticos em propriedades mecânicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo**. 2002. 119 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B.; CUNHA FILHO, M.; SOUZA, W. L. S. Características hidráulicas da erosão em sulcos em um Cambissolo do semiárido do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1325-1332, 2010.

BLAU, J. B.; WOOLHISER, D. A.; LANE, L. J. Identification of erosion model parameters. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 31, n. 3, p. 839–845, 1988.

BLOOM, A. **Superfície da terra**. São Paulo: Edgard Blücher, 1996.

BRADFORD, J. M.; FERRIS, J. E.; REMLEY, P. E. Interrill soil erosion processes: I. Effect of surface sealing on infiltration, runoff, and soil splash detachment. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 51, n. 6, p. 1566–1571, 1987.

BRAIDA, J. A. **Relações da erosão entressulcos, com resíduos vegetais em cobertura e erosão em sulcos em solo Podzólico Vermelho-Escuro**. 1994. 151 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

BRYAN, R. B. Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 32, n. 3-4, p. 385-415, 2000.

BUOL, S. W.; SOUTHARD, R. J.; GRAHAM, R. C.; McDANIEL, P. A. **Soil Genesis and classification**. Iowa: Iowa State University, 1997. 527 p.

CAMARGO, L. A. **Mineralogia da argila e atributos físicos de um argissolo em curvaturas de relevo**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) -Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2009.

CANTALICE, J. R. B.; CASSOL, E. A.; REICHERT, J. M.; BORGES, A. L. O. Hidráulica do escoamento e transporte de sedimentos em sulcos em solo Franco-Argilo-Arenoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 4, p. 597-607, 2005.

CARVALHO, D. F.; MONTEBELLER, C. A.; CRUZ, E. S.; CEDDIA, M. B.; LANA, A. M. Q. Perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho-Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 385-389, 2002.

CERQUETANY, G. E.; MARTINS FILHO, M. V. Rotina computacional e equação simplificada para modelar o transporte de sedimentos num Latossolo Vermelho distrófico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 617-626, 2006.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.

CURI, N.; FRANZMEIER, D. P. Toposequence of Oxisols from the central plateau of Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, n. 2, p. 341-346, 1984.

ELLIOT, W. J.; LIEBENOW, A. M.; LAFLEN, J. M.; KHOL, K. D. **A compendium of erodibility data from WEPP cropland soil field erodibility experiments 1987/88**. Ohio: Ohio State University, USDA - Agricultural Research Service, 1989. 316 p. (Report, 3).

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. ampl. Brasília, DF, 2013.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 3, p. 515-524, 1999a.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 3, p. 507-514, 1999b.

FLANAGAN, D. C.; ASCOUGH II, J. C.; NICKS, A. D.; NEARING, M. A.; LAFLEN, J. M. **USDA-Water Erosion Prediction Project Hillslope Profile and Watershed Model**. Indiana: Documentation NSERL, 1995. 320 p. (Report 10).

FOSTER, G. R.; FLANAGAN, D. C.; NEARING, M. A.; LANE, L. J.; RISSE, M.; FINKNER, S. C. 1995. Hillslope erosion component. In: FLANAGAN, D. C.; NEARING, M. A. (Ed.). **USDA - Water Erosion Prediction Project**. West Lafayette: USADA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, jul. 1995. (NSERL Report, 10).

FOSTER, G. R.; LANE, L. J.; NOWLIN, J. D.; LAFLEN, J. M.; YOUNG, R. A. A model to estimate sediment from field-sized areas. In: KNISEL, W. G. J. (Ed.). **CREAMS: a field scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems**. [S.l.]: USDA, 1980. Chap. 3, v. 1. n. 26, p. 36-64.

FOSTER, G. R.; MEYER, L. D. A closed-form soil erosion equation for upland areas. In: SHEN, H. W. (Ed.). **Sedimentation**. Fort Collins: Colorado State University, 1972. p. 12-19.

FOSTER, G. R.; MEYER, L. D. Mathematical simulation of upland erosion by fundamental erosion mechanics. In: **PRESENT AND PROSPECTIVE TECHNOLOGY FOR PREDICTING SEDIMENT YIELD AND SOURCES**, 1., 1972, Oxford. **Proceeings...** Oxoford, UDSA, Agricultural Research Service, 1975. p. 190-207.

FOSTER, G. R.; MEYER, L. D. Transport of soil particles by shallow flow. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 15, n. 1, p. 99-102, 1972.

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

FRANTI, T. G.; FOSTER, G. R.; MONKE, E. J. Modeling the effects of incorporated residue on rill erosion Part I. Model development and sensitivity analysis. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 39, n. 2, p. 535–542, 1996a.

FRANTI, T. G.; FOSTER, G. R.; MONKE, E. J. Modeling the effects of incorporated residue on rill erosion Part II. Experimental results and model validation. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 39, n. 2, p. 5435–550, 1996b.

GERTNER, G. Assessment of computationally intensive spatial statistical methods for generating inputs for spatially explicit error budgets. **Forest Biometry, Modelling an Information Sciences**, Greenwich, v. 1, p. 27-34, 2003. Disponível em: <http://www.fbmis.info/A/3_1_GertnerG_1>. Acesso em: 29 nov. 2006.

GHIDIN, A. A.; MELO, V. F.; LIMA, V. C.; LIMA, J. M. J. C. Topossequência de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná. I – Mineralogia da fração argila. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 293-306, 2006a.

GHIDIN, A. A.; MELO, V. F.; LIMA, V. C.; LIMA, J. M. J. C. Topossequência de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná. II: relação entre mineralogia da fração argila e propriedades físicas dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 109-115, 2006b.

GIASSON, E.; CASSOL, E. A. Relações de erosão em sulcos com vazões aplicadas e doses de resíduos de trigo incorporados a um Plintossolo franco-argilo arenoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 20, n. 1, p. 117-125, 1996.

GILLEY, J. E.; FINKNER, S. C.; SPOMER, R. G.; MIELKE, L. N. Size distribution of particles transported in rill and interrill flow. **ASAE**, St. Joseph, 1985. Paper 85–2536.

GILLEY, J. E.; FINKNER, S. C.; VARVEL, G. E. Size distribution of sediment as affected by surface residue and slope length. **American Society of Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 30, n.2, p. 1419-1424. 1987.

GILLEY, J. E.; FLANAGAN, D.; KOTTWITZ, E. R.; WELTZ, M. A. Darcy-Weisbach roughness coefficients for overland flow. In: PARSONS, A.; ABRAHAMMS, A. D. (Ed.). **Overland flow**: hydraulics and erosion mechanics. London: UCL Press, 1992. p. 25-52.

GILLEY, J. E.; KOTTWITZ, E. R.; SIMANTON, J. R. Hydraulic characteristics of rills. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 33, p. 1900–1906, 1990.

GILLEY, J. E.; WELTZ, M. A. Hydraulics of overland flow. In: FLANAGAN, D. C.; NEARING, M. A. (Ed.). **USDA - Water Erosion Prediction Project**. West Lafayette: USADA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, jul. 1995. (NSERL Report, 10). p. 10.1-10.7.

GIMÉNEZ, R.; GOVERS, G. Interaction between bed roughness and flow hydraulics in eroding rills. **Water Resources Research**, Hoboken, v. 37, n. 3, p. 791–799, 2001.

GOVERS, G. Evaluation of transport capacity formulae for overland flow. In: PARSONS, A.; ABRAHAMS, A. D. (Ed.). **Overland flow: hydraulics and erosion mechanics**. London: UCL Press, 1992b. p. 243–273.

GOVERS, G.; EVERAERT, W.; POESEN, J.; RAUWS, G.; DE PLOEY, J.; LAUTRIDOU, J. P. A long flume study of the dynamic factors affecting the resistance of a loamy soil to concentrated flow erosion. **Earth Surface Processes and Landforms**, Chichester, v. 15, n. 4, p. 313–328, 1990.

GOVERS, G.; GIMENEZ, R.; OOST, K. V. Rill erosion: exploring the relationship between experiments, modeling and field observation. **Earth-Science Reviews**, Amsterdam, v. 84, p. 87–102, 2007.

GOVERS, G.; RAUWS, G. Transporting capacity of overland flow on plane and on irregular beds. **Earth Surface Processes and Landforms**, Chichester, v. 11, n. 5, p. 515–524, 1986.

GOVERS, G.; TAKKEN, I.; HELMING, K. Soil roughness and overland flow. **Agronomie**, Paris, v. 20, n.1, p. 131–146, 2000.

HANSON, G. J. Surface erodibility of earthen channels at high stresses part II – developing an in situ testing device. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 33, n. 1, p. 132-137, 1990.

HESEL, R.; JETTEN, V.; ZHANG, G. H. Estimating Manning's n for steep slopes. **Catena**, Amsterdam, v. 54, n. 1–2, p. 77–91, 2003.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

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

JETTEN, V.; GOVERS, G.; HESSEL, R. Erosion models: quality of spatial predictions. **Hydrological Processes**, Chichester, v. 17, n. 5, p. 887–900, 2003.

JULIEN, P. Y. **Erosion and sedimentation**. Cambridge: Cambridge University Press, 1988. 280 p.

KNISEL, W. **CREAMS: A field-scale models for chemicals, runoff and erosion from agricultural management systems**. [S.l.]: U.S. Department of Agriculture, 1980. (Report, 26).

LAFLEN, J. M.; THOMAS, A. W. Cropland experiments for the WEPP project. In: INTERNATIONAL WINTER MEETING OF THE AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 42., 1987, San Joseph. **Papers...** San Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1987. 14 p.

LARSON, C. Losing Arable Land, China faces stark choice: adapt or go hungry. **Science**, Washington, v. 339, n. 6120, p. 644-645, 2013.

LEI, T.; NEARING, M. A.; HAGHIGHI, K.; BRALTS, V. F. Rill erosion and morphological evolution: a simulation model. **Water Resources Research**, Hoboken, v. 34, n. 11, p. 3157-3168, 1998.

MARQUES JÚNIOR, J.; LEPSCH, I. F. Depósitos superficiais neocenozóicos, superfícies geomórficas e solos em Monte Alto, SP. **Geociência**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 265-281, 2000.

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

McNEAL, B. L.; LAYFIEL, D. A.; NORVELL, W. A.; RHOADES, J. D. Factors influencing hydraulic conductivity of soils in the presence of mixed salt solution. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 32, p. 187-190, 1968.

MESQUITA FILHO, M. V.; TORRENT, J. Phosphate sorption as related to mineralogy of a hydrosequence of soils from the Cerrado region (Brazil). **Geoderma**, Amsterdam, v. 58, p. 107-123, 1993.

MILLINGTON, A. C. **Reconnaissance scale soil erosion mapping using a simple geographic information system in the humid tropics**. [Wageningen: ILRI Publication, 1986. p. 64-81. (ILRI Publication, 40)]. Disponível em: <<http://www2.alterra.wur.nl/Internet/webdocs/ilri-publicaties/publicaties/Pub40/pub40-h5.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2014.

MORETI, D.; CARVALHO, M. P.; MANNIGE, A. R.; MEDEIROS, L. R. Importantes características de chuva para a conservação de solo e da água no Município de São Manuel (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 1, n. 1, p. 713-726, 2003.

MORGAN, R. P. C.; QUINTON, J. N.; SMITH, R. E.; GOVERS, G.; POESEN, J. W. A.; AUERSWALD, K.; CHISCI, G.; TORRI, D.; STYCZEN, M. E. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): a dynamic approach or predicting sediment transport from fields and small catchments. **Earth Surface Processes and Landforms**, Chichester, v. 23, n. 6, p. 527-544, 1998.

MORGAN, R. The European Soil Erosion Model: an update on its structure and research base. In: RICKSON, R. **Conserving soil resources: european perspectives**. Cambridge, UK: CAB International, 1994. p. 286-299.

NEARING, M. A.; FOSTER, G. R.; LANE, L. J.; FINKNER, S. C. A process-based soil erosion model for USDA-Water erosion prediction project technology. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 32, n. 5, p. 1587-1593, 1989.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos**. São Paulo: Villibor, 1995. 240 p.

OLIVEIRA, J. F.; GRIEBELER, N. P.; CORRECHEL, V.; SILVA, V. C. Erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento em solos de estradas não pavimentadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 955-960, 2009. Suplemento.

OWOPUTI, L. O.; STOLTE, W. J. Soil detachment in the physically based soil erosion process: a review. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 38, n. 4, p. 1099–1110, 1995.

PARYSOW, P.; GUANGXING, W.; GERTNER, G.; ANDERSON, A. B. Spatial uncertainty analysis for mapping soil erodibility based on joint sequential simulation. **Catena**, Amsterdam, v. 53, n. 1, p. 65-78, 2003.

PEDROTTI, A. **Relação entre os atributos físicos e alumínio no solo**. 2000. 60 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

PROSSER, I. P.; DIETRICH, W. E.; STEVENSON, J. Flow resistance and sediment transport by concentrated overland flow in a grassland valley, **Geomorphology**, Irland, v. 13, n. 1-4, p. 71-86, 1995.

QIN, S.; HU, C.; HE, X.; DONG, W.; CUI, J.; WANG, Y. Soil organic carbon, nutrients and relevant enzyme activities in particle-size fractions under conservational versus traditional agricultural management. **Applied Soil Ecology**, v. 45, n.3, p. 152-159, 2010.

RAUWS, G. Hydraulics and soil mechanical aspects of rill generation on agricultural soils. **European Journal of Soil Science**, Chichester, v. 39, n. 1, p. 111-124, 1987.

RAUWS, G. Hydraulics and soil mechanical aspects of rill generation on agricultural soils. **Catena**, Amaterdam, v. 8, p. 1-15, 1987.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; PORTER, J. P. RUSLE: revised universal soil loss equation. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 46, n. 1, p. 30–33, 1991.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. Viçosa, MG: NEPUT, 1997. 367 p.

ROO, A.; WESSELING, C.; JETTEN, V.; RITSEMA, C. LISEM: a physically-based hydrological and soil erosion model incorporated in a GIS. In: HYDROGIS 96: APPLICATION OF GEOGRAFIC INFORMATION SYSTEMS IN HYDROLOGY AND WATER RESOURCES MANAGEMENT 1996, Vienna. **Proceedings...IAHS Publ.**, 1996 n. 235, p.96-101.

SCHÄFER, M. J.; REICHERT, J. M.; CASSOL, E. A.; ELTZ, F. L. F.; REINERTM, D. J. Erosão em sulcos em diferentes preparos e estados de consolidação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 2, p. 419-430, 2001.

SCHÄFER, M. J.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; CASSOL, E. A. Erosão em entressulcos em diferentes preparos e estados de consolidação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 2, p. 431-441, 2001.

SCHWERTMANN, U.; KÄMPF, N. Properties of goethite and hematite in kaolinitic soils of Southern and Central Brazil. **Soil Science**, Baltimore, v. 139, p. 344-350, 1985.

SHERIDAN, G. J.; SO, H. B.; LOCH, R. J.; WALKER, C. M. Estimation of erosion model erodibility parameters from media properties. **Australian Journal of Soil Science**, Collingwood, v. 38, n. 2, p. 129-136, 2000.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; CARVALHO F. G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 579- 585, 2006.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: Rima, 2003.

SOUZA, C. K.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; PEREIRA, G. T. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um latossolo em Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 1067-1074, 2003a.

SOUZA, C. K.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; PEREIRA, G. T. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um latossolo em Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 1075-1086, 2003b.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BENTO, M. J. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 51-58, 2004.

SOUZA, Z. M.; MARTINS FILHO, M. V.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade de fatores de erosão em Latossolo Vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 105-114, 2005.

SOUZA, Z. M. **Variabilidade espacial e atributos de um latossolo sob diferentes formas do relevo**. 2004. 141 f. Tese. (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2004.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambientes fluviais**. 2. ed. Florianópolis: Ed da UFSC, 1990.

TAKKEN, I.; GOVERS, G.; CIESIOLKA, C. A. A.; SILBURN, D. M.; LOCH, R. J. Factors influencing the velocity-discharge relationship in rills. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MODELLING SOIL EROSION, SEDIMENT TRANSPORT AND CLOSELY RELATED HYDROLOGICAL PROCESSES, 249., 1998, Vienna. **Proceedings...** Vienna: [s.n.], 1998. p. 63–70.

TROEH, F. R. Landform equations fitted to contour maps. **American Journal of Science**, New Haven, v. 263, n. 3, p. 616-627, 1965.

VAN LIEW, M. W.; SAXTON, K. E. Slope steepness and incorporated residue effects on rills erosion. Trans. **ASAE**, v. 26, p. 1738–1743, 1983.

VAN OOST, K.; BEUSELINCK, L.; HAIRSINE, P. B.; GOVERS, G. Spatial evaluation of a multi-class sediment transport and deposition model. **Earth Surface Processes and Landforms**, Chichester, v. 29, n. 5, p. 1027–1044, 2004.

VEIHE, A. The spatial variability of erodibility and its relation to soil types: a study from northern Ghana. **Geoderma**, Amsterdam, v. 106, n. 1, p. 101-120, 2002.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 1-53.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R., BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Oakland, v. 51, n. 1, p. 1-75, 1983.

VIEIRA, S. R.; PAZ GONZALEZ, A. Analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 2, p. 127-138, 2003.

VITORINO, A. C. T.; FERREIRA, M. M.; CURI, N.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; MOTTA, P. E. F. Mineralogia, química e estabilidade de agregados do tamanho de silte de solos da região Sudeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 1, p. 133- 141, 2003.

WANG, G.; GERTNER, G.; LIU, X.; ANDERSON, A. Uncertainty assessment of soil erodibility factor for revised universal soil loss equation. **Catena**, Amsterdam, v. 46, n. 1, p. 1-14, 2001.

WANG, G.; GERTNER, G.; SINGH, V.; SHINKAREVA, S.; PARYSOW, P.; ANDERSON, A. Spatial and temporal prediction and uncertainty of soil loss using the revised universal soil loss equation: a case study of the rainfall – runoff erosivity R factor. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 152, n. 3, p. 143-155, 2002b.

WICKS, J. M.; BATHURST, J. C. SHESED: a physically based, distributed erosion and sediment component for the SHE hydrological modeling system. **Journal of Hydrology**, Sl. v. 175, n. 1-4, p. 213-238, 1996.

WILLIAMS, J. R. The physical components of the EPIC model. In: EL-SWAFY, S. A.; MOLDENHAUER, W. C.; LO, A. (Ed.). **Soil erosion and conservation**. Ankeny: SCSA, 1985. p. 272-284.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses**. [S.l.]: Agriculture Handbook, USDA: Department of Agriculture, 1978. v. 537.

WOODWARD, S. J. R. 1999: Validating a model that predicts daily growth and feed quality of New Zealand dairy pastures. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON MODELLING AND SIMULATION (MODSIM), 1999, SI. **Proceedings...** Hamilton, New Zealand: Waikato Management School, The University of Waikato, 1999. v. 3. p. 777-782.

YOUNG, R. A.; WIERSMA, J. L. The role of rainfall impact in soil detachment and transport. **Water Resources Research**, Washington, v. 9, n. 6, p. 1629-1636, 1973.