

HERONY ULISSES MEHL

**MODELAGEM DA EXPOSIÇÃO DA SUPERFÍCIE DO SOLO DECORRENTE
DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM SISTEMA PLANTIO DIRETO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2003

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

M498m
2003

Mehl, Herony Ulisses, 1974-
Modelagem da exposição da superfície do solo decor-
rente do escoamento superficial em sistema plantio direto /
Henrony Ulisses Mehl. – Viçosa : UFV, 2003.
107p. : il.

Orientador: Fernando Falco Pruski
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa

Viçosa.

1. Plantio direto. 2. Solos - Erosão. 3. Solos - Degradação. 4. Solos - Transporte de resíduos agrícolas. 5. Escoamento superficial. I. Universidade Federal de
II. Título.

CDD 19.ed. 631.5814
CDD 20.ed. 631.5814

HERONY ULISSES MEHL

**EXPOSIÇÃO DA SUPERFÍCIE DO SOLO DEVIDO AO ESCOAMENTO
SUPERFICIAL EM SISTEMA PLANTIO DIRETO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Aprovada em 19 de dezembro de 2003

Prof. Demetrius David da Silva
(Conselheiro)

Prof. Francisco de Assis C. Pinto
(Conselheiro)

Prof. Vicente de Paulo S. de Oliveira

Dr. José Márcio Alves da Silva

Prof. Fernando Falco Pruski
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Orientador Fernando Falco Pruski pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao Professor Francisco de Assis de Carvalho Pinto pelo empréstimo da Câmera Fotográfica Infravermelho a qual foi decisiva para o bom andamento dos trabalhos.

Ao Professor Demetrius David da Silva pela gentil permissão de uso das instalações do Laboratório de Hidráulica.

Ao Professor Ernane Luiz Agnes pela cessão de parte dos resíduos de cultura de milho utilizados neste trabalho.

A Ana Cláudia Albanez extencionista da EMATER-MG pela indicação dos locais de coleta dos resíduos de milho.

Ao Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR, Pólo Regional de Ponta Grossa, na pessoa do Pesquisador Avahy Carlos da Silva pela permissão consedida para a utilização das instalações necessárias à realização de parte deste trabalho; e ao laboratorista Vicente Parabocz pela ajuda na secagem e pesagem do material coletado.

A Antonio Zarebelni, Luiz Miguel Schiebelbeim e Nelson Hayashi pela acolhida em suas casas, sem a qual não seria possível realizar este trabalho.

A Amauri Tavares pela paciente ajuda nos trabalhos de campo.

Ao Produtores Rurais: Orlando Chemin, Marcos Hilgemberg, Wilsom Hilgemberg, João Adalberto Silva, Mário Nadolni, Moisés Gorte, Lademiro Zarebelni, Élio Vantropa e Jorge Kuhn pela permissão de entrada em suas propriedades.

Aos laboratoristas Francisco e Antonio pela inestimada ajuda em todos os momentos.

Ao Doutorando Darly Geraldo de Senna Júnior pela idealização do programa para determinar a percentagem de cobertura do solo.

A Doutoranda Dolores Wolschick pela ajuda na preparação e quantificação dos resíduos de milho utilizados neste trabalho.

Aos amigos Nori Paulo Griebeler, Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Lauri Lourenço Radünz e Fabrizio da Fonseca Barbosa pela inestimável ajuda, amizade e convívio durante o curso.

Aos demais colegas e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, pelo convívio amigável e fraterno, em especial à secretária do curso de Pós Graduação Edna Maria Soares.

BIOGRAFIA

HERONY ULISSES MEHL, filho de Antonina Piasecki Mehl e Cláudio Mehl, nasceu em Prudentópolis, Estado do Paraná, em 08 de setembro de 1974.

Em 1992, concluiu o 2º grau no Colégio Agrícola Estadual Augusto Ribas, diplomando-se em Técnico em Agropecuária.

Em 1993, iniciou o curso superior na Universidade Estadual de Ponta Grossa, diplomando-se, em dezembro de 1997, em Agronomia.

Em março de 1998, iniciou o curso de mestrado em Agronomia, na área de concentração de Biodinâmica de Solos, no Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria, concluindo-o em janeiro de 2000.

Em fevereiro de 2000, iniciou o Curso de Doutorado em Engenharia Agrícola, área de Recursos Hídricos e Ambientais, na Universidade Federal de Viçosa, defendendo tese em dezembro de 2003.

CONTEÚDO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1. Erosão hídrica e seu controle	03
2.2. Plantio direto	07
2.3. Transporte de resíduos pelo escoamento superficial	13
3. METODOLOGIA	16
3.1. Caracterização das condições típicas da superfície do solo em sistemas de plantio direto	16
3.2. Obtenção das equações que permitam estimar, para resíduos da cultura de milho, a percentagem de superfície do solo exposta devido ao escoamento superficial	20
3.2.1. Preparo do canal de solo	20
3.2.2. Distribuição dos resíduos soltos na superfície do canal	24
3.2.3. Realização dos testes	24
3.2.4. Análise da percentagem de superfície exposta	25
3.2.5. Obtenção das equações	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29

4.1. Características da superfície do solo em lavouras manejadas com plantio direto	29
4.1.1. Quantidade de resíduos soltos e fixos	29
4.1.2. Rugosidade de superfície do solo	30
4.2. Obtenção das equações que permitam estimar a variação da porcentagem de superfície do solo exposta	31
4.2.1. Plantio em nível e espaçamento normal (16 cm) entre plantas	31
4.2.2. Plantio em nível e espaçamento duplicado (32 cm) entre plantas	46
4.2.3. Plantio no sentido do declive e espaçamento normal entre plantas	54
5. CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
APÊNDICES	71
APÊNDICE A	72
APÊNDICE B	74
APÊNDICE C	96
APÊNDICE D	106

RESUMO

MEHL, Herony Ulisses, D.S., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2003.
Modelagem da exposição da superfície do solo decorrente do escoamento superficial em sistema plantio direto. Orientador: Fernando Falco Pruski.
Conselheiros: Demetrius David da Silva e Francisco de Assis de Carvalho Pinto.

No sistema plantio direto pode haver a ocorrência do processo erosivo do solo devido a exposição da superfície do solo pelo escoamento superficial. Dentre os fatores que influenciam o transporte dos resíduos pelo escoamento superficial estão a rugosidade e a declividade da superfície do solo, as quantidades de resíduos soltos e fixos presentes nesta e a vazão associada ao escoamento superficial. Para que o plantio direto produza os resultados desejados é recomendada na literatura uma quantidade média de resíduos de milho superior a 6.000 kg ha^{-1} , uma percentagem de cobertura do solo superior a 80 % e que a remoção dos resíduos pelo escoamento superficial não cause um aumento superior a 10 % da superfície do solo. Objetivou-se, com o presente trabalho, caracterizar as condições típicas da superfície do solo em sistema plantio direto e obter equações que permitam estimar, para resíduos de cultura de milho, a percentagem de superfície exposta devido ao escoamento superficial considerando diferentes quantidades de resíduos, condições de plantio, declividades e vazões de escoamento superficial. Foi realizado um levantamento das condições de rugosidade da superfície do solo e da quantidade de resíduos da cultura do milho na região de Ponta

Grossa – PR. A rugosidade representativa destas lavouras foi reproduzida em um canal de solo. Foram utilizadas as declividades de 4, 6, 8, 10 e 12 % e as vazões de escoamento superficial de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹. Utilizou-se três quantidades de resíduos soltos distribuídos uniformemente na superfície do solo correspondentes a 7.500, 3.750 e 1.875 kg ha⁻¹ e três condições de posicionamento dos resíduos fixos. Foram obtidas imagens dos momentos anterior e posterior à aplicação das vazões de escoamento superficial com auxílio de uma câmara de vídeo monocromática, sendo possível assim, determinar a variação da superfície exposta devido à passagem do escoamento superficial. A quantidade média total de resíduos de milho nas lavouras estudadas foi de 11.207 kg ha⁻¹, sendo que 7.530 kg ha⁻¹ foram resíduos soltos. No canal de solo, obteve-se uma superfície total exposta inferior a 20 % quando da utilização de 7.500 kg ha⁻¹ de resíduos. Quando utilizou-se a quantidade de 3.750 kg ha⁻¹ obteve-se uma exposição máxima da superfície do solo de 41,2 %. Com a utilização de quantidade de 1.875 kg ha⁻¹ a exposição máxima da superfície do solo chegou a 80,3 %. Concluiu-se que a vazão de escoamento superficial teve influência mais expressiva na percentagem de exposição da superfície do solo que a declividade. Para a quantidade de 3.750 kg ha⁻¹ obteve-se superfície total exposta maior do que 20 %. Com 1.875 kg ha⁻¹ de resíduos a exposição total da superfície do solo foi maior que 20 % mesmo antes da aplicação do escoamento superficial. Com as equações obtidas neste trabalho torna-se possível estimar a variação da superfície do solo exposta em função da declividade da superfície do solo e da vazão de escoamento superficial.

ABSTRACT

MEHL, Herony Ulisses, D.S., Universidade Federal de Viçosa, December 2003.
Modeling the exposure of the soil surface resulting from runoff in no-till planting system. Adviser: Fernando Falco Pruski. Committee members: Demetrius David da Silva and Francisco de Assis de Carvalho Pinto.

The erosion process of the soil may occur in the no-till planting system due to the exposure of the soil surface by surface flow. Among the factors affecting the transport of the residues by surface flow are the roughness and the slope of the soil surface, the amounts of either free and fixed residues in this surface and the flow rate associated to the surface flow. Recommendations are available in the literature concerning to the attainment of the expected results from a no-till planting, such as: an average amount above 6,000 kg ha⁻¹ of maize residues, a percent soil covering above 80%, and that the removal of the residues by surface flow does not cause an increase above 10% of the soil surface. This study aimed at characterizing the typical conditions of the soil surface in a direct planting system and to obtain equations that would allow to estimate the percent surface exposed by runoff, for maize cropping residues, considering different residue amounts, planting conditions, slopes and flow rates. A survey of the roughness conditions of the soil surface and the amount of the maize cropping

residues was accomplished in Ponta Grossa region - PR. The representative roughness of these crops was reproduced in a soil channel. Slopes of 4, 6, 8, 10 and 12% and flow rates flows of 0.73; 1.07; 1.76; 2.03; 2.33 and 2.51 L s⁻¹ m⁻¹ were used. Three amounts of the free residues uniformly distributed on soil surface, corresponding to 7,500; 3,750 and 1,875 kg ha⁻¹ were used, as well as three conditions for positioning the fixed residues. Images of the previous and subsequent moments to the application of the flow rates were obtained, by using a monochromatic video camera, so turning possible to determine the variation in the exposed surface because the passage of surface runoff . The total average amount of the maize residues in the studied crops were 11,207 kg ha⁻¹, and 7,530 kg ha⁻¹ were free residues. In soil channel, the total exposure of the surface was below 20%, when using an amount of 7,500 kg ha⁻¹ residues. When using a residue amount of 3,750 kg, the maximum exposure of the soil surface was 41.2%. Using the residue amount of 1,875 kg ha⁻¹, the maximum exposure of the soil surface reached 80.3%. According to the results, the following conclusions were drawn: the flow rate had the most influence on the percentage of the soil surface exposure than the slope. For the residue amount of 3,750 kg ha⁻¹, the total exposed surface was higher than 20%. With 1,875 kg ha⁻¹ residues, the total exposure of the soil surface soil was higher than 20% even before the application of the runoff. The equations obtained in this work makes possible to estimate the variation of the exposed soil surface as a function of the roughness of the soil surface slope and the flow rate.

1. INTRODUÇÃO

A erosão geológica ou normal tem papel importante e efeito benéfico no processo de formação do solo. A ação prejudicial decorrente da erosão ocorre quando é rompida a estabilidade adquirida ao longo do tempo entre o solo, a vegetação e os organismos do solo, em geral pela intervenção do homem, passando a ser chamada de erosão acelerada, podendo esta ser hídrica, quando o agente erosivo é a água, ou eólica, quando o agente é o vento. A erosão hídrica causa empobrecimento no meio rural, reduzindo a produtividade das culturas e a qualidade do solo. A degradação dos recursos naturais, como aquela decorrente da erosão hídrica, é relatada como uma das principais causas de declínio de grandes civilizações. A ocorrência da erosão hídrica começou a se acentuar quando o homem deixou de ser nômade e passou a fixar-se em um local e explorar a terra de maneira intensiva. O problema agravou-se com a utilização da motomecanização, da monocultura e do uso para a agricultura de solos sem aptidão agrícola. Atualmente, um dos principais problemas associados à agricultura continua sendo a erosão hídrica, que é agravada, basicamente, devido ao uso e o manejo inadequados do solo. As conseqüências econômicas e ambientais decorrentes da erosão hídrica são muito grandes. Entre elas estão o assoreamento e a poluição de rios e reservatórios d'água, a danificação de estradas e a degradação de áreas agrícolas pela remoção de adubos, sedimentos, matéria orgânica e agrotóxicos.

O sucesso do sistema plantio direto em áreas consideradas nobres para a agricultura estimulou os agricultores a utilizarem este sistema também em solos nos quais a principal limitação ao uso era a susceptibilidade à erosão hídrica em decorrência

de declividade acentuada e pequena profundidade efetiva do perfil de solo. A utilização destes solos para cultivos anuais e a adoção do sistema plantio direto sem associá-lo às demais práticas conservacionistas tem causado, em alguns casos, o aparecimento da erosão. As perdas de solo em uma área manejada com sistema plantio direto podem representar grandes prejuízos, pois é na camada superficial que ocorre a maior concentração de fertilizantes, matéria orgânica e maior atividade dos organismos do solo. Desta forma, mesmo perdas de solo de pequena magnitude podem representar prejuízos consideráveis. A diminuição das perdas de solo no sistema plantio direto em relação ao sistema de cultivo convencional pode criar a falsa idéia de que não há necessidade de se preocupar nesse sistema com o uso de práticas conservacionistas complementares, especialmente aquelas destinadas ao controle do escoamento superficial. Entretanto este pode ser expressivo mesmo em condições de plantio direto.

A cobertura do solo é um fator de grande importância no controle da erosão hídrica. A utilização de resíduos de culturas como cobertura do solo é uma maneira simples, eficaz e econômica de controlar a erosão em terras agrícolas, sendo a eficácia do método dependente de vários fatores, tais como: tipo, quantidade e porcentagem de cobertura do solo, formas de manejo e grau de decomposição. A manutenção de uma porcentagem mínima de cobertura do solo é de primordial importância para dissipar a energia cinética das gotas da chuva, evitando a erosão e garantindo a eficácia do plantio direto.

A existência de um limite máximo recomendável para o comprimento de uma encosta, sem que práticas complementares sejam necessárias para o controle do escoamento superficial (o qual pode ser denominado de comprimento crítico da encosta), está associado ao fato de que o escoamento superficial, além de aumentar a exposição da superfície do solo pela remoção de resíduos, também promove a liberação e o transporte de partículas de solo.

Sabendo da necessidade e importância do conhecimento do processo de transporte pelo escoamento superficial dos resíduos presentes em áreas manejadas com plantio direto realizou-se este trabalho com o objetivo de caracterizar as condições típicas da superfície do solo em sistema plantio direto e obter equações que permitam estimar a porcentagem de superfície exposta devido ao escoamento superficial considerando diferentes quantidades de resíduos, condições de plantio, declividades e vazões de escoamento superficial, para resíduos da cultura de milho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Erosão hídrica e seu controle

No sentido físico, a erosão hídrica significa a realização de um trabalho, pois quando uma força erosiva (decorrente de uma chuva ou do escoamento superficial a ela associado) age contra uma força resistiva (solo) para provocar movimento em um corpo (partículas de solo), diz-se que a força está realizando um trabalho. Assim, o processo de erosão do solo pode ser descrito em termos de energia e trabalho (COGO e BERTOL, 1998). Os dois principais agentes associados à erosão hídrica são a chuva e o escoamento superficial a ela associado. A chuva realiza o trabalho erosivo em função do impacto das gotas diretamente sobre a superfície do solo, sendo, portanto, uma força aplicada perpendicularmente à superfície do solo. O escoamento superficial realiza o trabalho erosivo pela ação de cisalhamento sobre a superfície do solo, sendo, portanto, uma força aplicada tangencialmente à superfície do solo.

A erosão hídrica começa com a incidência das chuvas, podendo ser dividida nas seguintes fases: desagregação, transporte e deposição. A desagregação é a primeira fase do processo erosivo e consiste no despreendimento das partículas de solo (individual ou agregados), da massa que as contém pela ação do impacto das gotas da chuva e, ou, pela ação do escoamento superficial, ou seja, pela energia cinética da água em movimento. Nas áreas agrícolas desprovidas de vegetação ou com pouca cobertura vegetal a maior parte da desagregação ocorre pelo impacto das gotas da chuva.

O transporte é a segunda fase do processo erosivo, consistindo na transferência das partículas de solo desagregadas de seu local de origem para outro local, seja pelo salpicamento decorrente do impacto das gotas da chuva ou pelo escoamento superficial. A maior parte do transporte de solo é realizado pelo escoamento superficial, sendo dependente do volume, turbulência e velocidade do escoamento superficial.

A deposição é a terceira e última fase do processo erosivo, consistindo na deposição do material que foi desagregado e transportado e ocorrendo quando a quantidade de sedimentos contida no escoamento superficial é maior do que sua capacidade de transporte (COGO e BERTOL, 1998).

O escoamento superficial transporta partículas de solo, nutrientes, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas, o que causa prejuízos à produção agropecuária e a poluição dos recursos hídricos. As perdas de solo decorrentes da erosão tendem a elevar os custos de produção agrícola, aumentando a necessidade do uso de corretivos e fertilizantes. A erosão causa também problemas à qualidade e disponibilidade de água, decorrentes da poluição e do assoreamento dos mananciais, favorecendo a ocorrência de enchentes no período chuvoso e aumentando a escassez de água no período de estiagem, elevando os custos de construção de barragens e de dragagem dos cursos e reservatórios d'água, reduzindo o potencial de geração de energia elétrica e causando prejuízos para o crescimento de espécies aquáticas (PRUSKI, 2001).

As perdas de solo e nutrientes, associadas ao assoreamento de rios, lagos e represas, causam prejuízos anuais estimados, para os Estados Unidos, de US\$ 6 bilhões. Estima-se que as áreas afetadas pela erosão acelerada pela influência humana cheguem a 12% na América do Norte, a 18% na América do Sul, a 19% na Oceania, a 26% na Europa, a 27% na África e a 31% na Ásia (LAL, 1994).

O escoamento superficial constitui o principal meio de contaminação dos mananciais de água de superfície, devido ao arraste de sedimentos e produtos químicos. O transporte de produtos químicos pelo escoamento superficial pode ter efeito direto e imediato na deterioração da qualidade da água, ao passo que o transporte de material sólido pode ter impacto a longo prazo sobre os recursos hídricos (OLIVEIRA, 1999).

As práticas de controle da erosão hídrica visam reduzir a energia associada aos agentes erosivos. Os objetivos destas práticas, segundo COGO e BERTOL (1998), são dissipar a energia cinética da chuva e do escoamento superficial e aumentar a resistência

do solo, existindo dois tipos de práticas para o controle da erosão hídrica em terras agrícolas, as práticas mecânicas e as não-mecânicas.

As práticas mecânicas, também denominadas estruturais, envolvem o trabalho de movimento de solo e sistematização do terreno, reduzindo a erosão hídrica pela ação sobre o escoamento superficial, diminuindo a velocidade e o volume do mesmo e, conseqüentemente, a sua energia erosiva. Desta forma, não têm efeito na atenuação da energia associada ao impacto das gotas da chuva. Os exemplos mais comuns deste tipo de práticas são os terraços e o preparo e plantio em contorno.

As práticas não-mecânicas, também denominadas biológicas ou vegetativas, reduzem a erosão hídrica a partir da adequação do sistema de manejo de plantas e animais. Geralmente são mais eficazes na redução da erosão do que as práticas mecânicas, uma vez que agem sobre os dois agentes associados à erosão hídrica, a chuva e o escoamento superficial. Dentre as principais práticas não-mecânicas está o plantio direto.

As práticas mecânicas e não-mecânicas devem ser consideradas complementares e devem estar associadas, embora cada uma delas sirva a um propósito distinto (HUDSON, 1995).

O comprimento e a declividade da encosta são usualmente tratados conjuntamente nos estudos de erosão hídrica do solo, uma vez que ambos interferem diretamente nas condições do escoamento superficial. (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

O escoamento superficial interfere tanto no desprendimento de partículas como no seu transporte. Dependendo do comprimento e da declividade da encosta o escoamento superficial pode adquirir velocidade tal que ele também passe a ser capaz de, por si só, causar o desprendimento do solo. A capacidade de desagregação e transporte associados ao escoamento superficial varia com a segunda e quinta potência de sua velocidade, respectivamente (MEYER e WISCHMEIER, 1969).

Para uma mesma condição de solo e de escoamento superficial, ocorre um decréscimo na velocidade do escoamento com o acréscimo das quantidades de resíduos presentes na superfície, sendo necessária uma maior taxa de escoamento superficial para iniciar a remoção dos resíduos da superfície do solo e iniciar o processo de desprendimento de partículas de solo (FOSTER et al., 1982). A tendência de diminuição da velocidade e da concentração de sedimentos presentes no escoamento superficial

quando o solo é mantido coberto por resíduos culturais também foi encontrada por COGO et al. (1996).

BERTOL et al. (2000) calcularam a distância entre os terraços com base no volume de escoamento superficial máximo armazenado em um canal com secção de 1,5 m² e na constatação de ocorrência de falhas nos resíduos de culturas. Os resíduos de cultura de milho (12.000 kg ha⁻¹) resultaram em 95 e 78 % de cobertura do solo no sistema plantio direto e escarificação, respectivamente. A distância entre terraços ficou em 44 a 60 m e 27 a 43 m para o plantio direto e escarificação, respectivamente, quando da utilização do critério de armazenamento total do escoamento superficial no canal do terraço. Quando foi utilizado o critério da falha do resíduo de cultura a distância entre terraços ficou entre 328 e 483 m e 147 e 209 m para o plantio direto e escarificação, respectivamente.

Van LIEW e SAXTON (1983) verificaram que a presença de resíduos em contato com o escoamento superficial causa redução da tensão cisalhante associada ao escoamento que atua sobre o solo e propicia a formação de locais de deposição de partículas desagregadas.

Nos preparos conservacionistas de solo a presença de resíduos de culturas, a rugosidade e a maior consolidação da superfície modificam o comportamento do escoamento superficial (BERTOL, 1994; BERTOL et al., 1997; BERTOL et al., 2000; SCHÄFER et al., 2001ab). O escoamento superficial depende da infiltração de água no solo e de todos os fatores que a influenciam, sendo ele menos influenciado do que as perdas de solo pelo tipo de preparo (BERTOL, 1994; BERTOL et al., 2000).

PEREIRA (2000), utilizando um canal onde o solo foi compactado até uma densidade próxima à densidade obtida nas condições naturais, obteve influência mais expressiva da declividade nas taxas de perdas de solo do que a decorrente da vazão. MEYER et al. (1983); WATSON e LAFLEN (1986); NEARING (1991) e NEARING et al. (1991) obtiveram resultados semelhantes, constatando que as perdas de solo aumentam com o aumento da declividade e, em menor escala, com o aumento da vazão de escoamento superficial.

2.2. Plantio Direto

O plantio direto tem como principais fundamentos a rotação de culturas, a mobilização do solo exclusivamente na linha de semeadura e a manutenção de resíduos culturais na superfície do solo (DENARDIN, 1998).

No plantio direto normalmente verifica-se que a densidade do solo e a microporosidade aumentam, especialmente na camada de 0-20 cm de profundidade, sendo isso atribuído ao não revolvimento do solo e ao tráfego de máquinas (ABRÃO et al., 1979; DERPSCH et al., 1991; MERTEN e MIELNICZUCK, 1991). Apesar disso, a taxa de infiltração é pouco afetada, tendo em vista o aumento evidenciado na formação de canais biológicos por animais e raízes (DERPSCH et al., 1991).

O elevado teor de matéria orgânica presente no solo em várias fases do processo de decomposição, a alta atividade biológica e a estabilidade dos agregados confere ao solo, em condições de plantio direto, maior estabilidade estrutural, reduzindo a formação de selamento superficial, possibilitando taxas mais elevadas de infiltração de água e, conseqüentemente, maior resistência à erosão (FIORIN, 1999).

O plantio direto consiste, em relação ao sistema de preparo convencional do solo, uma forma diferenciada de praticar agricultura, constituindo em uma tentativa de reproduzir na agricultura o equilíbrio dinâmico natural, propiciando, em geral, segundo ALVARENGA et al. (2001):

- maior proteção da biodiversidade e dos recursos hídricos, maior preservação da produtividade dos solos, com redução ou até eliminação da erosão do solo;
- diminuição da utilização de combustíveis fósseis por unidade de área;
- maior facilidade e flexibilidade operacional para superar as irregularidades climáticas com maior facilidade de cumprimento dos cronogramas de plantio, favorecendo a implantação de um seguro agrícola profissional;
- redução da temperatura no solo em regiões de clima quente, favorecendo a absorção de água e nutrientes pelas plantas;
- redução das perdas de água por evapotranspiração, em função dos resíduos das culturas formarem micro quebra-ventos;
- redimensionamento e realocação do sistema de terraceamento, aumentando a área produtiva, diminuindo custos com as operações de plantio, pulverização e colheita;

- maior facilidade no controle das plantas daninhas devido à presença dos resíduos de culturas sobre o solo;
- aumento da quantidade de matéria orgânica disponível no solo, que é a fonte de energia para os microrganismos, sendo que o aumento da atividade microbiana e da mineralização tornam disponível uma maior quantidade de nutrientes às plantas, induzindo melhoria na produtividade; e
- economia de mão-de-obra na propriedade e aumento da produtividade das culturas.

Os inconvenientes ou desvantagens do sistema plantio direto, segundo BRUM et al. (1998) e CRUZ et al. (2001), são:

- dificulta a incorporação de adubos e corretivos;
- maior uso de herbicidas nos primeiros anos de implantação do sistema, e necessidade de melhor conhecimento de controle de plantas daninhas;
- deficiência na eliminação de focos de pragas e doenças;
- exige semeadoras-adubadoras especiais, uso de picador e distribuidor de palha na colhedora;
- risco de ocorrência de fogo;
- risco de ocorrência de efeitos alelopáticos entre as culturas utilizadas; e
- em regiões de clima frio, pode atrasar a época de semeadura, pois o solo leva mais tempo para se aquecer.

PAULETTI e van der BERG (1999) realizaram análise econômica em experimento conduzido por um período de nove anos na região de Ponta Grossa – PR e constataram que a utilização do plantio direto permitiu um lucro médio anual 4,7 vezes maior que o obtido com sistema convencional (uma aração e duas gradagens).

Em pequenas propriedades com agricultura familiar da região de Irati (PR) a relação benefício/custo foi de 1,1 para o sistema de cultivo convencional e de 2,0 para o plantio direto (RIBEIRO et al., 1996).

Analisando as vantagens e desvantagens da adoção do plantio direto é possível perceber que o plantio direto é técnica e economicamente viável principalmente quando é adotado e mantido por longo prazo, aproveitando melhor os benefícios gerados.

Em um solo com a superfície coberta por resíduos de culturas ocorre uma redução no selamento superficial, pois a energia das gotas de chuva é dissipada pelos resíduos, favorecendo o aumento da infiltração de água no solo e a diminuição da

erosão (LOPES et al., 1987; BARCELOS et al., 1999; ALVES e CABEDA, 1999; SCHÄFER et al., 2001b), sendo a eficiência do plantio direto em reduzir as perdas de solo e água dependente da quantidade de resíduos mantidos na superfície do solo (LOPES et al., 1987; LOMBARDI NETO et al., 1988; AMADO et al., 1989; ALVES et al., 1995).

LOMBARDI NETO et al. (1988) estudaram o efeito de diferentes quantidades de resíduos de milho cortados e espalhados na superfície do solo nas perdas de solo e água durante dez meses. O total precipitado no período foi de 1770,6 mm, sendo que com a utilização de uma quantidade de resíduo de milho de 8.000 kg ha⁻¹ apenas 5,3 % do total precipitado escoou superficialmente. Já quando utilizou-se solo descoberto a perda de água por escoamento superficial foi de 35,5 %. A perda de solo para a condição de solo coberto com 8.000 kg ha⁻¹ foi reduzida em 91,1 % quando comparada com o solo descoberto, passando de 217.960 kg ha⁻¹ para 19.340 kg ha⁻¹.

As perdas de solo e água decrescem exponencialmente com o aumento da cobertura do solo e esta aumenta exponencialmente, dentro de certos limites, com o aumento da quantidade de resíduos de culturas distribuídos na superfície do solo (LOPES et al., 1987). A percentagem de cobertura do solo depende, além da quantidade de resíduos, do tipo de resíduo considerado.

LOPES et al. (1987) estudaram o efeito de resíduos de milho, trigo e soja espalhados na superfície do solo no controle da erosão, utilizando para tanto chuvas simuladas com duração de uma hora e intensidade constante de 64 mm h⁻¹. Os resíduos de soja conferiram a menor porcentagem de cobertura, porém resultaram nas menores perdas de solo quando comparadas com aquelas obtidas em solos cobertos com resíduos de milho e trigo, o que pode ser explicado pelo fato de que os resíduos menores presentes nas condições de cobertura com soja formarem um maior número de barreiras ao escoamento, favorecendo a deposição dos sedimentos.

Em trabalho realizado por ALVES e CABEDA (1999), em que estes utilizaram chuvas simuladas com intensidade de 62,9 mm h⁻¹ e duração de uma hora, o plantio direto proporcionou um menor tempo de início do escoamento (27 minutos) em comparação com o preparo convencional (51 minutos), sendo as taxas de infiltração estáveis de água no solo de 46,6 mm h⁻¹ para o plantio direto e 27,5 mm h⁻¹ para o preparo convencional. Quando utilizaram chuvas simuladas com intensidade de 87,1 mm h⁻¹ o plantio direto proporcionou um tempo de início do escoamento de 10 minutos

e o preparo convencional de 18 minutos, sendo que a taxa estável de infiltração de água no solo foi de 47,2 mm h⁻¹ para o plantio direto e de 17,3 mm h⁻¹ para preparo convencional.

BARCELOS et al. (1999) realizaram testes de infiltração de água no solo mediante a aplicação de chuvas simuladas com intensidade constante de 120 mm h⁻¹ com duração de uma hora e meia em um Latossolo Vermelho Escuro. A cobertura do solo aos 45 dias após a semeadura do milho foi de 25, 62 e 84 % para o preparo convencional, cultivo mínimo e plantio direto, respectivamente, e a taxa estável de infiltração foi de 49, 76 e 56 mm h⁻¹. Após a colheita da cultura do milho, a cobertura do solo passou para 90, 90 e 92 % e a taxa estável de infiltração passou para 71, 92 e 86 mm h⁻¹ para os mesmos tratamentos. Logo após a semeadura da cultura da aveia preta a cobertura do solo foi de 23, 58 e 78 % e a taxa estável de infiltração foi de 57, 62 e 48 mm h⁻¹ para o preparo convencional, cultivo mínimo e plantio direto, respectivamente. O aumento da taxa estável de infiltração no preparo convencional após a colheita do milho é devido à presença dos resíduos de milho na superfície do solo, os quais dissipam a energia cinética das gotas da chuva, diminuindo o selamento superficial. A diminuição da taxa estável de infiltração no plantio direto é devido à consolidação da superfície com o passar do tempo, fato que não ocorre nas situações de preparo convencional e cultivo mínimo, em que a superfície do solo é revolvida antes das operações de plantio.

Estudando a erosão em sulcos em um Argissolo Vermelho-Amarelo, SCHÄFER et al. (2001a) observaram o efeito da cobertura do solo na perda de carga e no número de Froude do escoamento superficial. Para vazões até 0,8 L s⁻¹ m⁻¹ de largura da parcela ocorre uma grande perda de carga, sendo esse fato atribuído à presença de 94 % de cobertura com resíduos de trigo e milho. Para as vazões entre 0,8 e 1,2 L s⁻¹ m⁻¹ os resíduos foram suspensos e transportados para fora da parcela. Apenas na primeira vazão estudada, de 0,4 L s⁻¹ m⁻¹, o escoamento se comportou como subcrítico no plantio direto (número de Froude menor que 1).

ALVES et al. (1995) utilizaram chuvas simuladas com intensidade de 64 mm h⁻¹ e duração de 75 minutos, sendo a chuva simulada realizada logo após a aplicação dos tratamentos sem preparo, gradagem e escarificação, condição em que os 2.200 kg ha⁻¹ de resíduos de soja forneceram coberturas do solo de 68, 50 e 44 %, respectivamente. As velocidades de escoamento após 60 minutos de aplicação da chuva foram de 0,035;

0,090 e 0,150 m s⁻¹ para os tratamentos sem preparo, gradagem e escarificação, respectivamente, as perdas de solo foram de 120, 740 e 1.080 kg ha⁻¹ e as perdas de água de 20, 20 e 24 mm, para os mesmos tratamentos citados anteriormente. Decorridos 327 dias após a colheita, os autores aplicaram uma outra chuva com a mesma intensidade e duração, sendo que a cobertura do solo passou para 12, 8 e 13 %, a velocidade do escoamento superficial ficou em 0,165; 0,178 e 0,217 m s⁻¹, as perdas de solo em 2.330, 3.650 e 6.470 kg ha⁻¹ e as perdas de água passaram para 75, 74 e 72 mm, para os tratamentos supracitados. No mesmo trabalho os autores realizaram estudo semelhante utilizando quantidade de resíduos de milho equivalente a 4.800 kg ha⁻¹ somente para a situação sem preparo da superfície do solo. Aos 90 dias após a colheita do milho a cobertura do solo foi de 76 %, a perda de água foi de 33 mm, a velocidade do escoamento foi de 0,025 m s⁻¹ e a perda de solo foi de 30 kg ha⁻¹. Decorridos 451 dias após a colheita a cobertura do solo passou para 9 %, a perda de água para 57 mm, a velocidade do escoamento para 0,110 m s⁻¹ e a perda de solo para 1.140 kg ha⁻¹. Evidencia-se, portanto, que com o passar do tempo a percentagem de cobertura diminui para os resíduos de milho e soja e para todos os sistemas de preparo estudados, ocorrendo aumento da velocidade de escoamento superficial e das perdas de solo e água.

SCHÄFER et al. (2001b) trabalhando com Argissolo Vermelho Amarelo distrófico arênico com declividade média de 8,5 %, o qual já vinha sendo manejado há oito anos com plantio direto, obtiveram uma taxa máxima de perda de solo entressulcos de 360 kg ha⁻¹ h⁻¹ no sistema plantio direto e 7.920 kg ha⁻¹ h⁻¹ no sistema de preparo convencional após a aplicação de chuva simulada com intensidade constante de 65 mm h⁻¹ e duração de 90 minutos. No momento da realização dos testes com a chuva simulada o solo sob plantio direto estava com 94 % de cobertura com resíduos de milho e trigo. Os autores observaram que a taxa estável de infiltração, ao final do teste, foi de 27,0 mm h⁻¹ no plantio direto e 11,3 mm h⁻¹ no preparo convencional, mostrando que o revolvimento mínimo e a cobertura do solo pelos resíduos de culturas são essenciais à manutenção da porosidade e da continuidade dos poros no perfil do solo.

Mesmo que haja expressivo escoamento superficial no sistema plantio direto a taxa de erosão é mais baixa que nos tratamentos com menor cobertura da superfície do solo, tendo em vista a menor quantidade de partículas desagregadas pelo impacto das gotas de chuva. As pequenas barreiras formadas pelos resíduos vegetais também

favorecem a deposição das partículas liberadas e reduzem a velocidade do escoamento superficial.

LEVIEN e COGO (2001) utilizaram uma seqüência de cinco chuvas simuladas com intensidade constante de 64 mm h^{-1} para avaliar o efeito do plantio direto e do preparo convencional nas perdas de solo durante o desenvolvimento da cultura do milho. O solo no qual foi realizado o experimento foi um Argissolo Vermelho distrófico arênico com 12 % de declividade, sendo que o plantio direto foi instalado um ano antes da realização dos testes. As duas primeiras chuvas tiveram duração de 60 minutos, a terceira e a quarta de 90 minutos e a quinta de 105 minutos. A primeira chuva foi aplicada logo após o plantio da cultura do milho sobre resíduos de culturas de aveia preta, a segunda foi aplicada 24 horas após a primeira, a terceira aos 30 dias após a emergência (DAE), a quarta aos 90 DAE e a quinta logo após a colheita do milho. As perdas de solo após as cinco chuvas foram de $0,5 \text{ t ha}^{-1}$ para o plantio direto e $66,7 \text{ t ha}^{-1}$ para o preparo convencional. Durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura a superfície do solo permaneceu, no plantio direto, totalmente coberta por resíduos de aveia preta e plantas de milho em desenvolvimento.

A presença de uma maior quantidade de resíduos de culturas na superfície do solo, típica de áreas manejadas com plantio direto, impõe ao escoamento superficial maiores obstáculos, ocorrendo perda de energia devido à tortuosidade do escoamento, reduzindo a sua velocidade e, conseqüentemente, a energia capaz de causar erosão.

De MARIA (1999) analisou os resultados de 13 trabalhos publicados no período de 1977 a 1997 na Revista Brasileira de Ciência do Solo os quais compararam o plantio direto com o preparo convencional. Com a utilização do plantio direto foi constatada, em média, uma redução de 75 % nas perdas de solo em relação ao plantio convencional. A infiltração de água no solo e o escoamento superficial, entretanto, não são tão influenciados pelo plantio direto, sendo as perdas de água reduzidas, em média, em 20 % em relação ao plantio convencional. Conforme os resultados dos trabalhos apresentados, o plantio direto é eficiente em controlar a erosão devido à presença de resíduos de culturas na superfície do solo, os quais atuam na redução da energia cinética das gotas de chuva, reduzindo a desagregação do solo e o selamento da sua superfície. Já a quantidade de água que não infiltra no solo e forma o escoamento superficial é expressiva e pode ganhar novamente energia devido a condições de declividade e de

comprimento da encosta, podendo assim transportar os resíduos de cultura que cobrem o solo e causar erosão.

2.3. Transporte de resíduos pelo escoamento superficial

Segundo FOSTER et al. (1982), o transporte de resíduos culturais ocorre quando há um desequilíbrio na relação entre a força associada aos agentes erosivos e a resistência à liberação de resíduos culturais e partículas de solo, podendo este se processar de três formas distintas: a) pela movimentação dos resíduos culturais individualmente, o que ocorre principalmente quando estes estão presentes em baixas quantidades e são submetidos a chuvas de baixa intensidade; b) pela remoção dos resíduos em massa, o que ocorre quando estes estão presentes em grandes quantidades sobre a superfície do solo ou são submetidos a chuvas de alta intensidade. Os resíduos são depositados em posições a jusante, sendo as distâncias associadas ao transporte em massa normalmente curtas; e c) pela formação de sulcos na superfície do solo em decorrência do escoamento superficial formado por baixo dos resíduos, mesmo que os resíduos não sejam removidos por este. Nos dois primeiros casos a força associada ao escoamento superficial tem que ser suficiente para produzir a movimentação dos resíduos, enquanto no terceiro caso a tensão cisalhante do escoamento superficial deve ser maior do que a tensão crítica de cisalhamento do solo.

A quantidade de resíduos culturais transportada pelo escoamento superficial depende do tipo e da quantidade dos resíduos, da porcentagem de cobertura, da inclinação da encosta e da taxa de ocorrência do escoamento superficial (FOSTER et al., 1982; BERTOL et al., 1997).

Para o controle da erosão, no local onde começam ser evidenciadas falhas dos resíduos deverá ser colocado um obstáculo ao escoamento superficial (como os terraços, por exemplo), a fim de reduzir a energia cinética associada a este (BERTOL et al., 2000).

Os resíduos na superfície do solo reduzem a tensão cisalhante do escoamento que atua sobre o solo, pois essa tensão passa a ser dividida entre os resíduos presentes e o próprio solo (FOSTER, 1982; SCHÄFER et al., 2001a), entretanto os resíduos vegetais soltos na superfície do solo são eficientes no controle da erosão em sulcos

somente até o momento em que o escoamento formado conseguir transportá-los, havendo falha dos resíduos decorrente de grandes declividades e, ou, grandes escoamentos de água ou da formação de sulcos sob os resíduos (BERTOL et al., 1997; SCHÄFER et al., 2001a).

A força por unidade de área molhada que atua sobre a superfície do solo é definida como tensão de cisalhamento. A tensão cisalhante associada ao escoamento é dada, conforme CHOW (1959), pela equação:

$$\tau = \gamma R_h S_o \quad (1)$$

em que

τ = tensão cisalhante associada ao escoamento, $N\ m^{-2}$;

γ = peso específico do fluido que escoar, $N\ m^{-3}$;

R_h = raio hidráulico, m; e

S_o = declividade da superfície do solo, $m\ m^{-1}$.

Como a base da seção molhada é normalmente muito maior que a profundidade considera-se que o raio hidráulico é a própria profundidade do escoamento e a tensão cisalhante pode ser expressa, conforme GILLEY et al. (1993), da seguinte forma:

$$\tau = \gamma y S_o \quad (2)$$

em que y é a profundidade do escoamento, m.

O raio hidráulico e a profundidade do escoamento estão diretamente relacionados com a vazão de escoamento superficial. O aumento na vazão ocasiona aumento no raio hidráulico e na profundidade de escoamento, elevando assim a tensão cisalhante associada ao escoamento.

A profundidade de escoamento pode ser obtida utilizando a equação de Manning:

$$y = \left(\frac{Qn}{\sqrt{S_o} B} \right)^{\frac{3}{5}} \quad (3)$$

em que

Q = vazão, m³ s⁻¹;

n = coeficiente de rugosidade do canal, s m^{-1/3}; e

B = base do canal, m.

Considerando situações nas quais é mantida uma mesma vazão de escoamento superficial e a declividade da superfície do solo é duplicada, tem-se que a profundidade do escoamento diminui 19 % e a tensão cisalhante associada ao escoamento aumenta 62 %. Quando utiliza-se uma mesma declividade e duplica-se a vazão, a profundidade do escoamento e a tensão cisalhante aumentam 50 %.

A tensão cisalhante associada ao escoamento, quando existe a presença de resíduos de culturas, não é completamente aplicada ao solo, pois parte dela é dissipada pelo resíduo. O resíduo atua na dissipação da energia do escoamento até o momento em que é suspenso e transportado para fora da área em estudo. A partir deste momento toda a energia do escoamento passa a atuar na superfície do solo (SCHÄFER et al., 2001a; FOSTER, 1982).

3. METODOLOGIA

3.1. Caracterização das condições típicas da superfície do solo em sistemas de plantio direto

Para a caracterização das condições típicas da superfície do solo em diferentes áreas manejadas no sistema plantio direto foram selecionadas sete áreas produtoras de milho da região de Ponta Grossa (PR), as quais já vinham sendo manejadas no sistema plantio direto por um período de seis a 20 anos. A região de Ponta Grossa (PR) situa-se na região dos Campos Gerais no Segundo Planalto Paranaense apresentando relevo suave ondulado, com declividades da ordem de 5 a 10 %, e com predomínio das Ordens de solos Latossolos, Argissolos, Cambissolos e Neossolos (SÁ, 1996). No Quadro 1 são apresentadas as informações relativas ao tempo que cada área adotava o plantio direto e o tempo após a colheita em que foi feita a coleta dos dados.

Para a escolha das lavouras, baseou-se nos critérios de realização de plantio direto em todas as culturas implantadas a pelo menos cinco anos e de que a cultura do milho tenha sido colhida no máximo à 30 dias. Após a escolha, foram selecionadas e demarcadas, em cada uma delas, três áreas amostrais de 0,45 m² (0,50 x 0,90 m) para a determinação das quantidades de resíduos soltos e fixos.

As áreas amostrais tiveram como limites o centro de uma determinada linha de plantio e da linha que lhe é subsequente (Figura 1), o que permitiu uma melhor representação da rugosidade da superfície do solo, a partir da amostragem da linha e da entre linha de plantio da cultura do milho.

Quadro 1. Tempo de adoção do plantio direto em cada propriedade estudada e número de dias compreendido entre a colheita e a coleta de dados realizada em áreas produtoras de milho da região de Ponta Grossa (PR)

Propriedade	Tempo de cultivo com plantio direto (anos)	Realização da coleta (dias após a colheita)
1	18	0
2	7	2
3	15	15
4	20	15
5	20	20
6	15	22
7	6	30



Figura 1. Representação da área para a caracterização das condições típicas da superfície do solo em sistema plantio direto da cultura de milho.

Foram considerados resíduos culturais soltos aqueles recolhidos e triturados pela colhedora no momento da colheita, bem como as folhas e talos que tenham se desprendido do colmo principal da planta antes da colheita. Estes resíduos foram coletados manualmente.

Os resíduos fixos foram considerados como aqueles presos ao solo, representados principalmente pelos colmos das plantas que estavam enraizados e posicionados abaixo da altura de corte da colhedora. Estes resíduos foram coletados cortando-se o colmo principal e as raízes adventícias rente ao solo.

Nas 21 áreas amostradas foram determinados a distância entre linhas de plantio; a distância entre plantas; o diâmetro dos colmos principais; o diâmetro das raízes adventícias; a distância entre o colmo principal e o local onde as raízes adventícias penetravam no solo; e a altura de inserção das raízes adventícias no colmo principal.

Foram coletados todos os resíduos soltos e fixos, sendo estes posteriormente transportados até a sede do Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, Pólo Regional de Ponta Grossa, onde foram secos em estufa a uma temperatura de 65°C por 48 horas, sendo posteriormente pesados.

A rugosidade da superfície do solo foi determinada a cada 10 cm ao longo da área amostrada utilizando-se perfilômetro com espaçamento entre hastes de 2,5 cm. A rugosidade do solo foi registrada em folhas de papel devidamente identificadas (Figura 2).

Determinou-se a declividade média, para cada posição de instalação do perfilômetro em cada área amostrada, unindo o primeiro ao último ponto amostrado na direção do declive (Figura 3). As diferenças entre os valores das cotas reais e das cotas representativas da linha pertinente à declividade média foram consideradas positivas quando a cota real era superior à da linha pertinente à declividade média, e negativas quando a cota real era inferior à mesma.

Para a seleção do perfil mais representativo de rugosidade do solo, aqui designada como condição de referência, utilizou-se o somatório dos quadrados das diferenças entre os valores observados e o valor médio obtido para cada posição de instalação do perfilômetro. A área com menor desvio quadrado em relação à média foi selecionada como a de maior representatividade.



Figura 2. Processo de determinação da rugosidade da superfície do solo com o uso do perfilômetro.

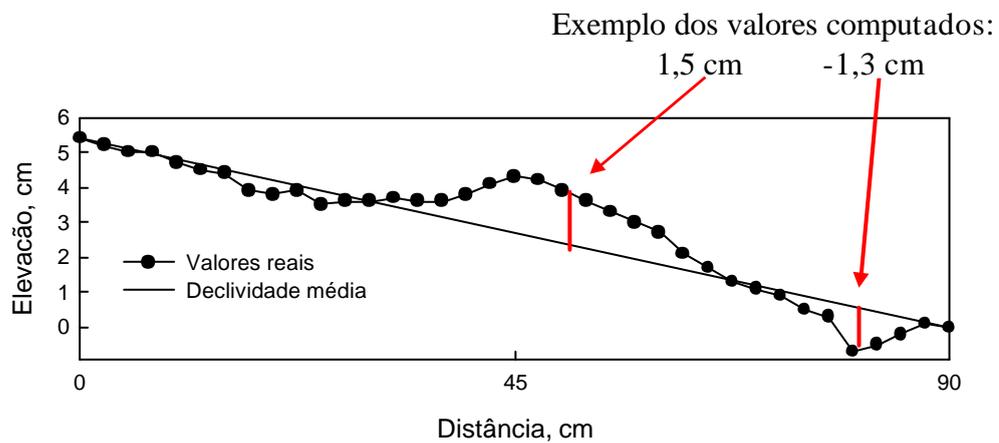


Figura 3. Representação do modo como foi obtida a rugosidade da superfície do solo isolando-se o efeito da declividade média.

3.2. Obtenção das equações para estimar, para resíduos da cultura de milho, a percentagem de superfície do solo exposta devido ao escoamento superficial

3.2.1. Preparo do canal de solo

Para a obtenção das equações que relacionam a percentagem de superfície exposta com a declividade e a vazão de escoamento superficial foram conduzidos experimentos em um canal de solo desenvolvido por PEREIRA (2000). O canal de solo apresenta as seguintes dimensões: 2,00 m de comprimento, 1,00 m de largura e 0,20 m de profundidade (Figura 4). A estrutura de sustentação do canal é equipada com um sistema telescópico para variar a declividade, o que é feito com o auxílio de um macaco hidráulico. O sistema de derivação de água, que permite a aplicação uniforme ao longo de toda a largura do canal, é constituído de uma calha que recebe vazão constante.



Figura 4. Visão geral do canal de solo utilizado no experimento.

Optou-se pela manutenção de uma rugosidade constante da superfície do solo no canal visando a minimização do erro experimental, à medida que as condições da superfície foram mantidas as mesmas para as diferentes declividades e vazões de escoamento superficial utilizadas no experimento.

Para fins de preenchimento do canal, reproduzindo as condições relativas à condição de referência, utilizou-se palitos de madeira, sendo o topo do palito a referência de nível pertinente à superfície do solo. Os palitos foram fixados em bases de madeira distanciadas de 10 cm entre si. A distância entre os palitos foi de 5 cm (Figura 5). Os colmos principais foram confeccionados com hastes de bambu tendo diâmetro semelhante a condição média encontrada a campo sedo fixados em bases de madeira.

O canal foi preenchido com solo até atingir o nível de referência definido pelos palitos, sendo os cinco centímetros mais superficiais preenchidos com solo cimento no traço 1:5, para que a superfície do solo permanecesse a mesma para todos os testes, não havendo, portanto, a pretensão de determinar as perdas de solo. O solo cimento foi compactado até o topo de cada palito, reproduzindo assim a rugosidade da superfície do solo (Figura 6). As raízes adventícias foram cravadas no solo cimento após a compactação e tinham diâmetro e distância do colmo principal o mais próximo possível da condição média das 21 áreas amostradas (Figura 7).

Na Figura 8 tem-se uma visão geral do canal de solo com a reprodução da rugosidade representativa para o caso de plantio em nível e espaçamento normal entre plantas.

Foram consideradas três situações distintas para o posicionamento dos resíduos fixos (linha de plantio): plantio em nível com espaçamento entre plantas de 16 cm; plantio em nível com espaçamento entre plantas de 32 cm; e plantio no sentido do declive. O espaçamento de 16 cm entre plantas é o espaçamento normalmente utilizado nas lavouras cultivadas com milho, tendo este valor sido evidenciado nas 21 áreas estudadas. A utilização de um espaçamento de 32 cm entre plantas teve como objetivo simular uma situação onde já se passou algum tempo após a colheita e ocorreu a decomposição de alguns colmos de plantas, fazendo que o espaçamento entre plantas passasse a ser o dobro do original. Para a obtenção da condição de espaçamento duplicado (32 cm entre plantas) procedeu-se apenas à retirada da metade dos resíduos fixos contida na situação onde utilizou-se o espaçamento de 16 cm entre plantas. O espaçamento entre linhas utilizado foi de 90 cm.

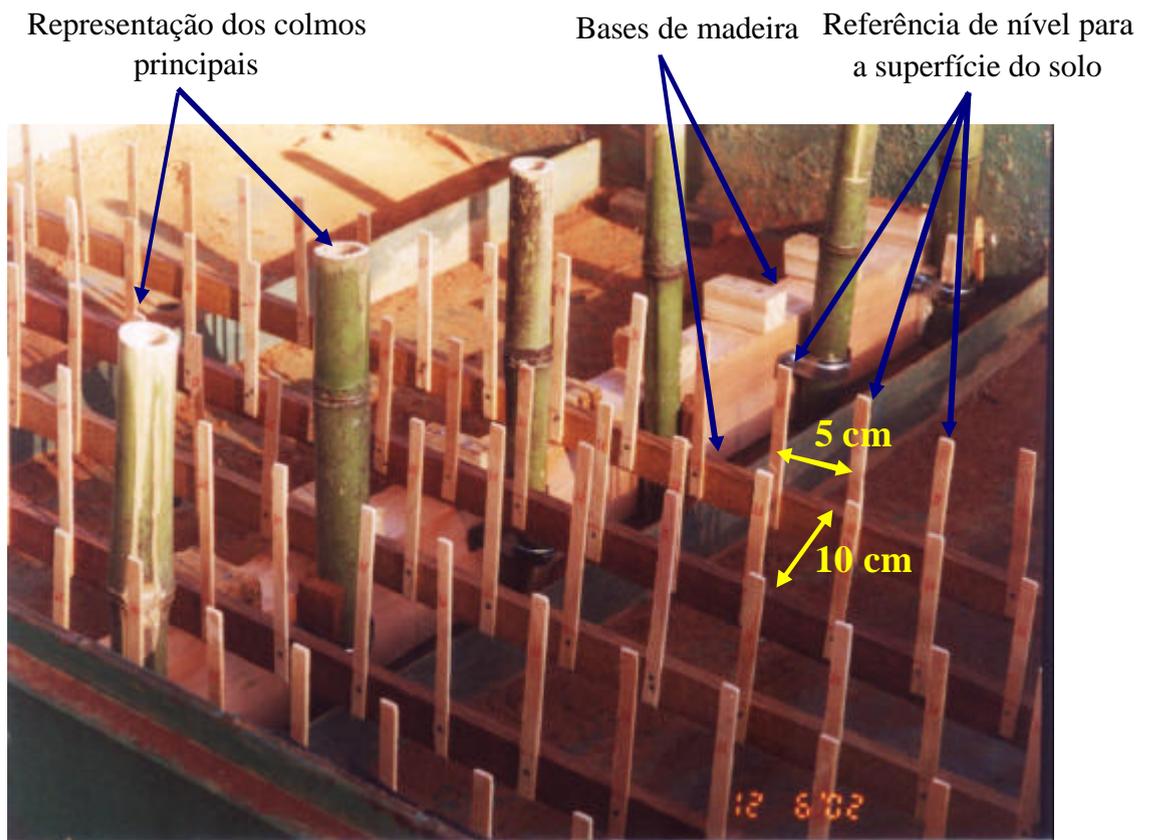


Figura 5. Visualização da base de madeira e palitos utilizados como referência de nível.



Figura 6. Detalhe da colocação do solo cimento até o topo de cada palito de madeira.

Colmos principais e raízes adventícias (resíduos fixos)

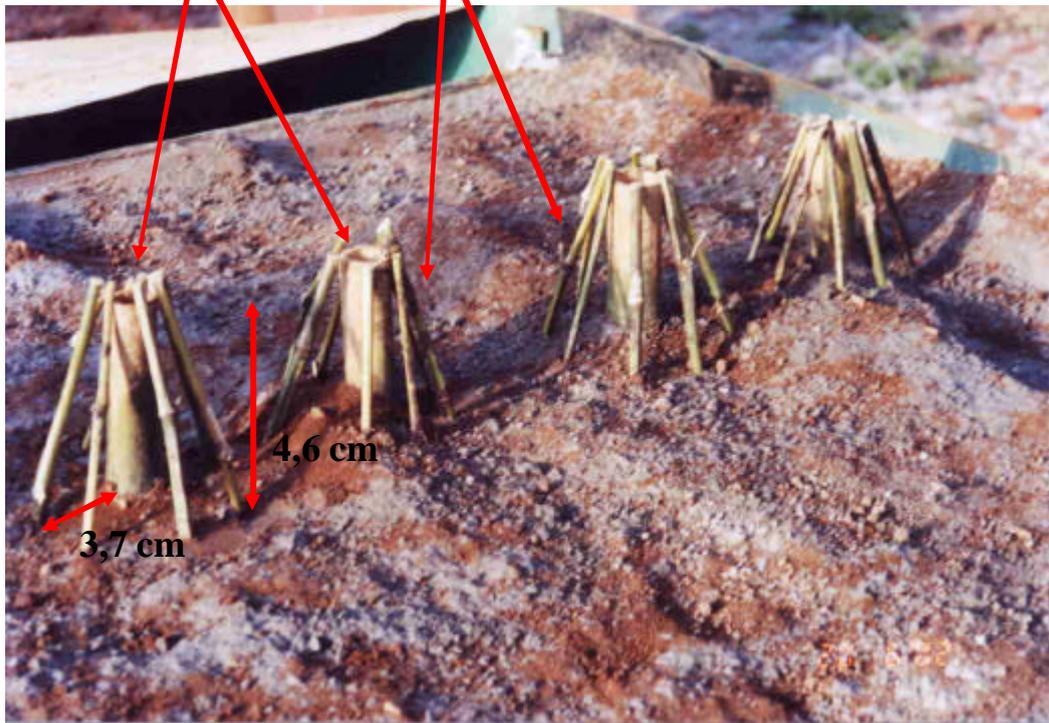


Figura 7. Detalhe mostrando a reprodução das raízes adventícias de cada colmo principal.

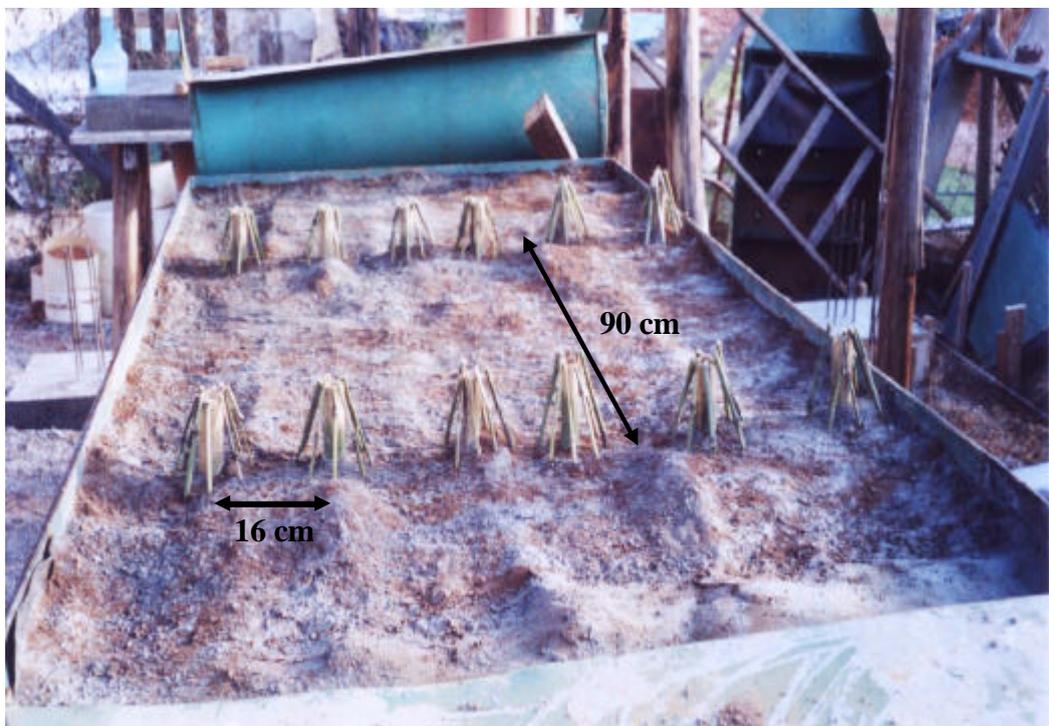


Figura 8. Visualização do canal de solo com a reprodução da rugosidade representativa.

Para a montagem dos resíduos fixos no canal de solo utilizou-se os valores médios dos resíduos fixos obtidos no levantamento realizado nas sete lavouras estudadas. O diâmetro dos colmos principais utilizado foi 2,3 cm, já as raízes adventícias possuíam diâmetro de 0,5 cm com altura de inserção no colmo principal de 4,6 cm e distância de 3,7 cm do colmo principal. Representou-se somente oito raízes adventícias em cada colmo principal pois este número foi o suficiente para causar o efeito da barreira física.

3.2.2. Distribuição dos resíduos soltos na superfície do canal

Os resíduos de milho (colmos, folhas e palha da espiga) foram obtidos na fazenda experimental da Universidade Federal de Viçosa, em Coimbra (MG), e em uma propriedade particular da zona rural de Viçosa (MG). Os resíduos foram secos ao sol, quebrados manualmente com tamanho médio de 10 cm e armazenados no Laboratório de Hidráulica da UFV.

Antes de cada teste os resíduos foram pesados e umedecidos por imersão durante 20 minutos, para então serem distribuídos uniformemente sobre a superfície do canal (Figura 9).

3.2.3. Realização dos testes

Foram utilizadas cinco declividades distintas (4, 6, 8, 10 e 12 %); seis vazões de escoamento superficial (0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹ de largura do canal de solo) com duração de três minutos; três quantidades de resíduos soltos espalhados uniformemente na superfície do canal (equivalentes a 1.875, 3.750 e 7.500 kg ha⁻¹); três disposições das linhas de plantio e duas repetições o que representou, portanto, um total de 540 testes.

As vazões foram estabelecidas de acordo com as diferentes possibilidades que a estrutura de derivação da água permitia. Posteriormente foram realizadas simulações no Software Hidrograma para verificar as vazões obtidas poderiam ocorrer em condições de campo considerando um período de retorno inferior a cinco anos.

Utilizou-se declividades entre 4 e 12 % pois é a faixa de declividade onde se desenvolve a agricultura intensiva com utilização de práticas conservacionistas (LACERDA e ALVARENGA, 2000). A declividade das 21 áreas amostradas variaram de 1,0 a 16,5 % com média de 6,7 %.

A utilização do equivalente a 7.500 kg ha⁻¹ de resíduos soltos baseia-se no valor médio obtido nas 21 áreas amostradas, sendo que 3.750 e 1875 kg ha⁻¹ correspondem a 50 e 25 % da condição média, respectivamente.

3.2.4. Análise da percentagem de superfície exposta

Para fins de avaliação da percentagem de superfície exposta utilizou-se técnica de processamento e análise de imagens. Para a coleta de imagens utilizou-se uma câmera monocromática modelo DMK 3002-IR, com lente de 18 mm de distância focal e filtro que bloqueou os comprimentos de ondas na faixa do visível captando somente as ondas do espectro infravermelho próximo.

A câmera foi conectada a uma placa de aquisição de vídeo analógico fabricada pela ImageNation Vision System Specialist, modelo CX100 instalada em um computador Pentium 75, que digitalizou as imagens com tamanho de 512 (H) x 486 (V) pixels. Estas imagens foram salvas formato RAW que posteriormente foram transformadas para o formato BMP. A câmera foi posicionada a 2,0 m acima da superfície do canal de solo sendo que as imagens corresponderam a uma área de 0,75 x 1,00 m da superfície do canal, abrangendo duas linhas de plantio e toda a entre linha.

O programa computacional utilizado no processamento das imagens divide a área de 0,75 m² em 234 quadrículas, sendo a classificação baseada na predominância de solo ou palha em cada quadrícula.

A partir das imagens originais (Figura 10a) foi feita a transformação para imagem binária (Figura 10b) a qual foi analisada por um algoritmo desenvolvido no MATLAB[®] visando a identificação das quadrículas onde ocorriam a predominância de solo ou de palha (Figura 10c).

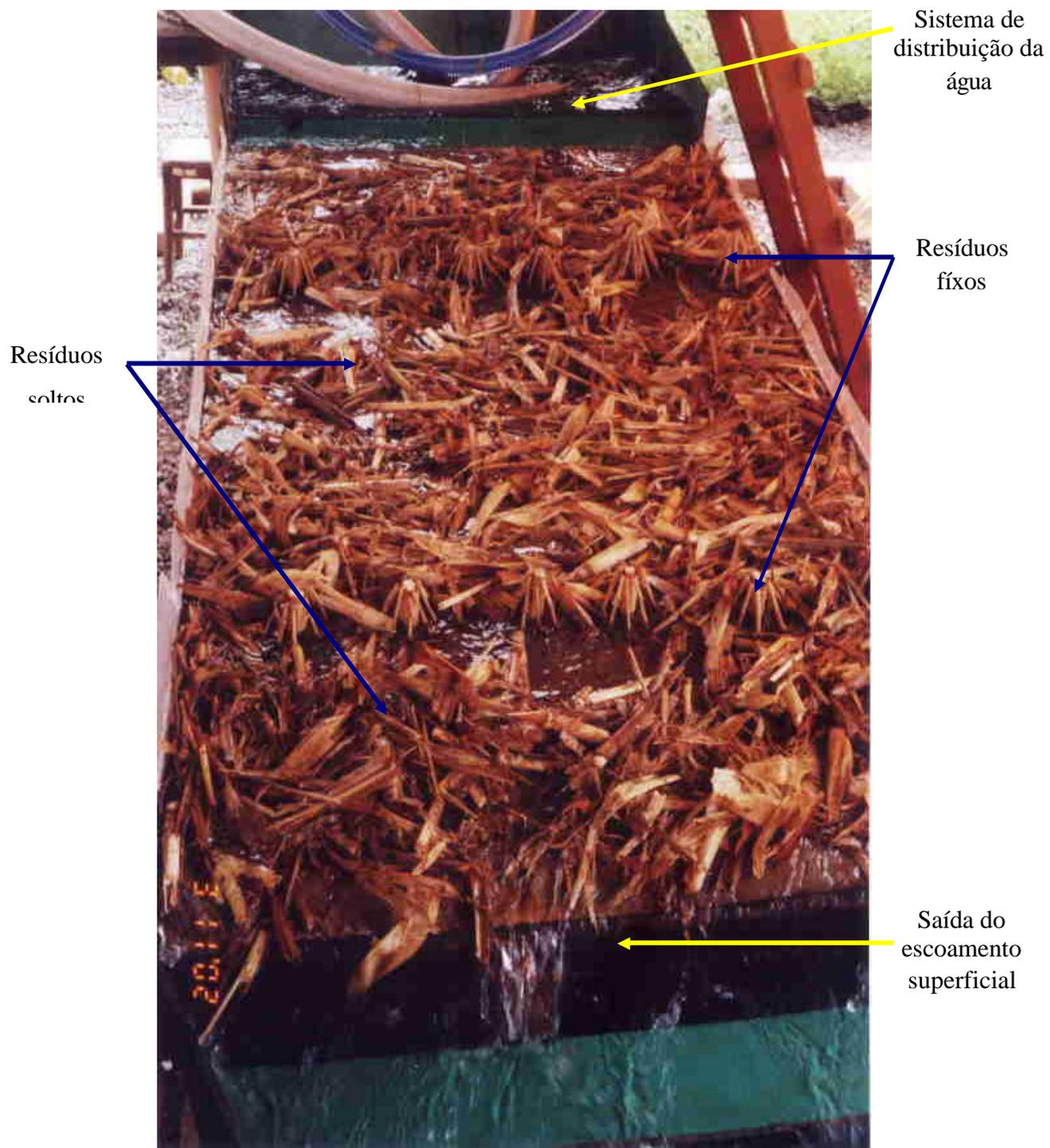


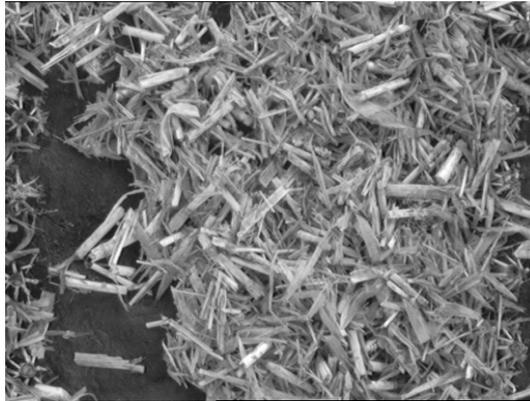
Figura 9. Sistema de distribuição do escoamento superficial e condições de distribuição dos resíduos no canal de solo durante um teste.

Foi realizada uma calibração prévia analisando-se visualmente as imagens de cada quadrícula, observando a predominância de solo ou palha. A porcentagem de superfície exposta devido ao escoamento da água sobre a superfície do canal foi calculada pela diferença entre a porcentagem de exposição antes e após a aplicação do escoamento superficial, obtidas de fotografias tiradas antes do início e após o final do escoamento sobre a superfície do solo.

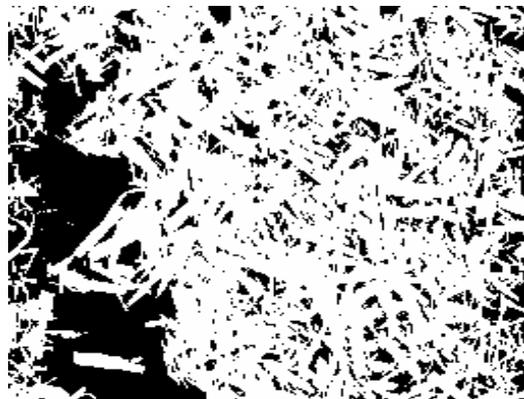
3.2.5. Obtenção das equações

Para analisar os resultados obtidos nos testes realizados no canal de solo foram realizadas análises de regressão usando-se o programa estatístico “SAEG”, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa, com o objetivo de obter equações matemáticas que se ajustassem aos dados obtidos. Nas regressões, considerou-se como variável dependente, a porcentagem de superfície exposta devido ao escoamento superficial, e como variáveis independentes, a declividade e a vazão. O ajuste foi feito para cada condição de disposição das linhas de plantio e quantidade de resíduos soltos presentes na superfície do canal de solo.

(a)



(b)



(c)

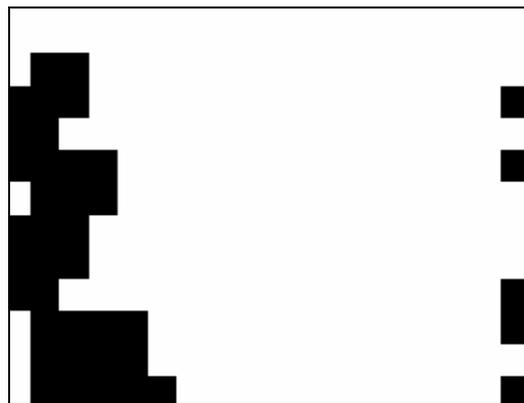


Figura 10. Imagem da superfície do solo após a aplicação do escoamento superficial (a); imagem binária obtida a partir da imagem real (b); e imagem dividida em 234 quadrículas e classificadas em função da predominância de solo ou de palha (c).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características da superfície do solo em lavouras manejadas com plantio direto

4.1.1. Quantidade de resíduos soltos e fixos

No Quadro 2 são apresentadas as quantidades de resíduos de cultura de milho soltos e fixos presentes na superfície do solo após a realização da colheita nas sete áreas estudadas na região de Ponta Grossa (PR). Cada valor apresentado corresponde à média de três amostragens realizadas em cada propriedade. No Apêndice A encontram-se as quantidades de resíduos soltos e fixos obtidos após a colheita em cada amostragem realizada.

A quantidade média de resíduos soltos na superfície do solo para as sete áreas estudadas foi de 7.530,8 kg ha⁻¹, com um desvio padrão de 1.608,3 kg ha⁻¹. Para os resíduos fixos ao solo a média foi de 3.676,3 kg ha⁻¹, com um desvio padrão de 1.438,4 kg ha⁻¹, o que corresponde a uma quantidade total de 11.207,1 kg ha⁻¹, com um desvio padrão de 1.495,9 kg ha⁻¹.

Em todas as áreas estudadas a quantidade de resíduos totais foi superior aos limites apresentados na literatura como o mínimo recomendável para o controle da erosão na cultura do milho, 6.000 kg ha⁻¹ (LOPES et al., 1987) ou 8.000 kg ha⁻¹ (LOMBARDI NETO et al., 1988), o que corresponde a percentagens de cobertura da superfície do solo de 80 a 90 %.

Quadro 2. Quantidades de resíduos de cultura de milho soltos, fixos e totais presentes na superfície do solo após a realização da colheita nas sete áreas estudadas na região de Ponta Grossa (PR)

Propriedade	Resíduos soltos	Resíduos fixos	Resíduos totais
	----- kg ha ⁻¹ -----		
1	7.833,5	6.000,0	13.833,5
2	9.936,3	2.268,1	12.204,4
3	8.915,6	2.825,9	11.741,5
4	6.848,9	2.514,8	9.363,7
5	5.926,7	4.383,7	10.310,4
6	7.863,0	2.779,3	10.642,3
7	5.391,9	4.962,2	10.354,1
Média	7.530,8	3.676,3	11.207,1
Desvio Padrão	1.608,3	1.438,4	1.495,9

4.1.2. Rugosidade da superfície do solo

Na Figura 11 apresenta-se a condição utilizada como base de referência para o estudo, evidenciando-se o predomínio de elevações (valores positivos) ao longo da linha de plantio, sendo que as depressões (valores negativos) tendem a se localizar predominantemente na entre linha de plantio. As demais 20 áreas estudadas apresentaram tendência similar ao comportamento descrito para a Figura 11, sendo os dados apresentados no Apêndice B.

Esta elevação na superfície do solo ao longo da linha de plantio é devida à mobilização do solo durante a operação de plantio e ao crescimento das plantas, que tendem a ocasionar o acúmulo de solo nas linha de plantio, e à compactação do solo pelo tráfego das máquinas nas entrelinhas, formando uma superfície côncava na entre linha e convexa na linha de plantio da cultura do milho. Na área escolhida como referência, a diferença entre o ponto mais alto (situado na linha de plantio) e o mais baixo (situado na entre linha) é de 5,4 cm (-1,8 a 3,6 cm).

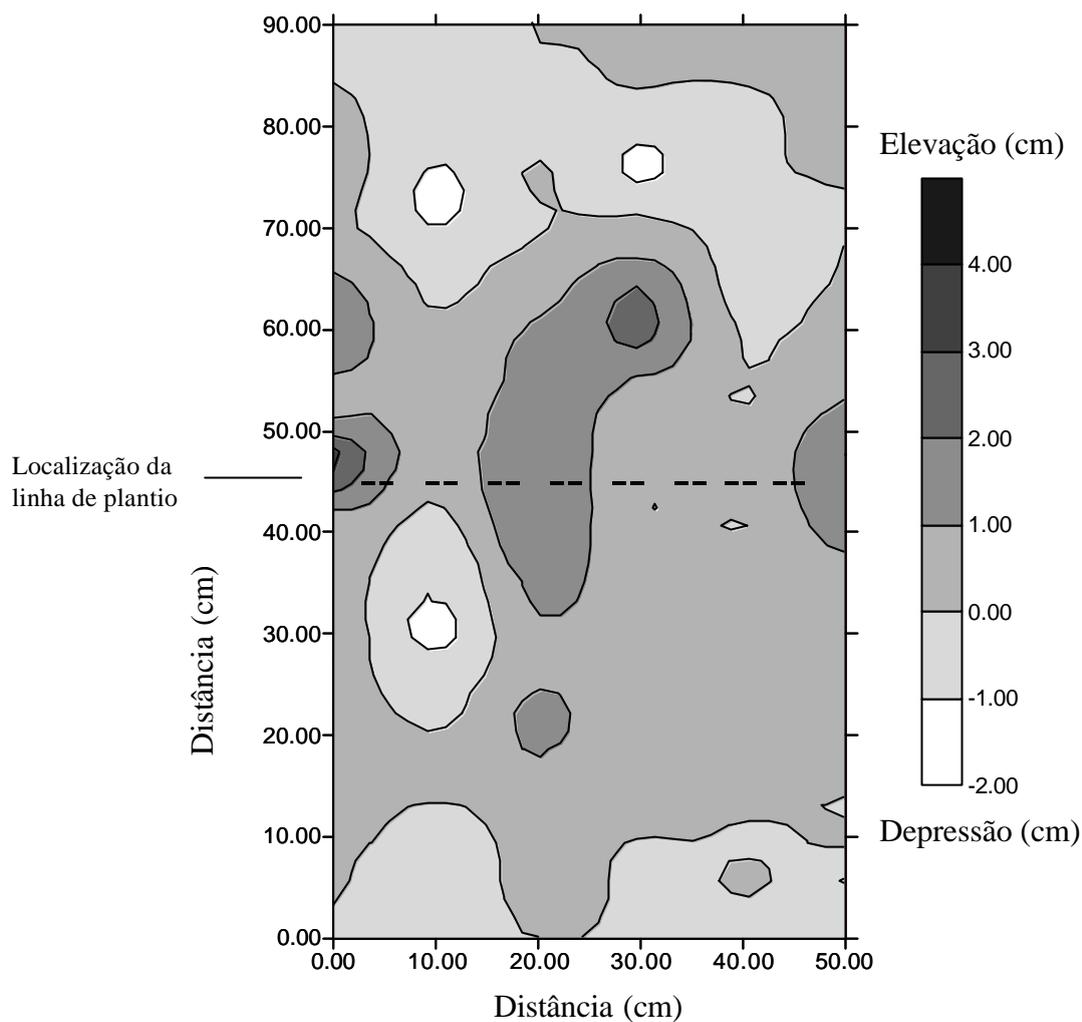


Figura 11. Rugosidade da superfície do solo na área escolhida como base de referência para o estudo.

4.2. Obtenção das equações para a estimativa da variação da percentagem de superfície do solo exposta

4.2.1. Plantio em nível e espaçamento normal (16 cm) entre plantas

Diferentes modelos estatísticos foram testadas para a representação do ajuste da equação que relaciona, para cada declividade, a variação da percentagem de superfície do solo exposta com a vazão de escoamento superficial. A função mais representativa foi a quadrática, conforme representado na Figura 12, para a quantidade de resíduos soltos de 7.500 kg ha^{-1} . Entretanto optou-se pelo uso do ajuste linear (Figura 13), como

também feito por FOSTER et al. (1982); BERTOL et al. (1997) e MORAIS e COGO (2001), tendo em vista o fato dos coeficientes de determinação obtidos com os modelos lineares terem sido considerados altos e também deste ajuste permitir a estimativa da vazão de escoamento para a qual ocorre o início do transporte de resíduos, o que não é possível quando utiliza-se o ajuste quadrático.

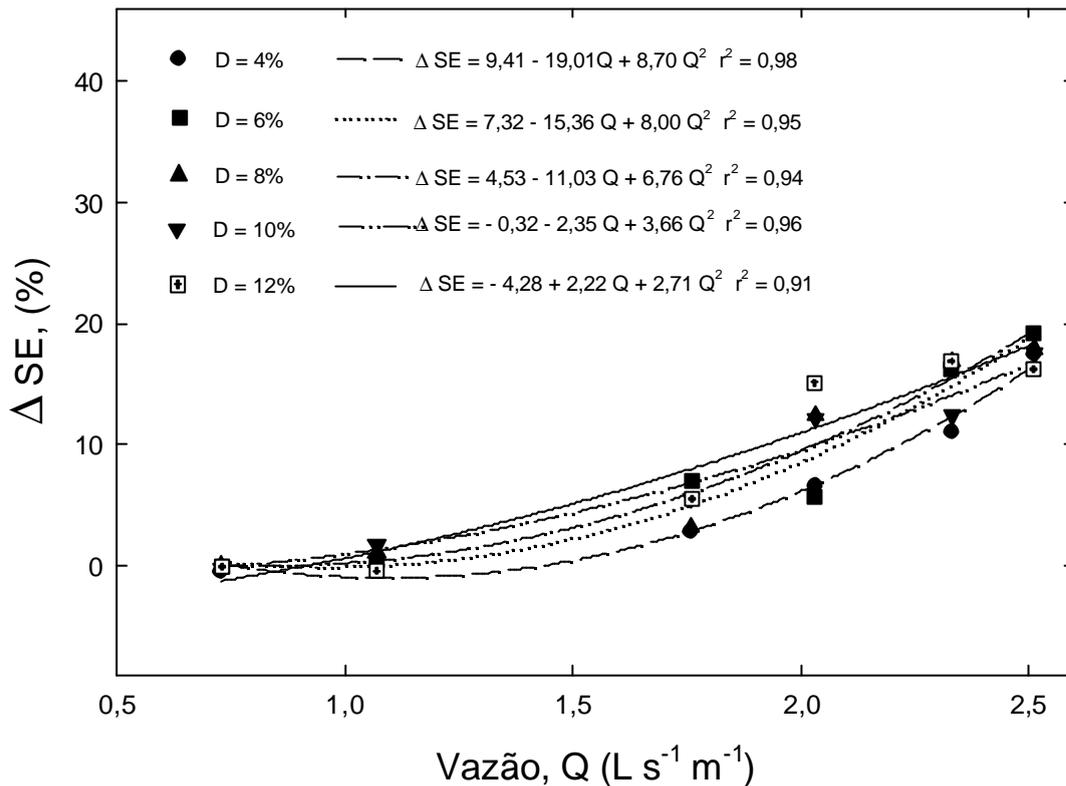


Figura 12. Variação da porcentagem da superfície exposta devido ao escoamento superficial (ΔSE) para ajuste quadrático e quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 7.500 kg ha^{-1} , plantio em nível e espaçamento normal entre plantas.

Na Figura 13 apresenta-se, considerando ajuste linear, a variação da porcentagem da superfície exposta devido ao escoamento superficial (ΔSE) para quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 7.500 kg ha^{-1} . Nesta figura evidencia-se um aumento da ΔSE em função do aumento da vazão de escoamento superficial, comportamento que pode ser atribuído principalmente ao aumento da profundidade do escoamento, o qual afeta diretamente a tensão cisalhante associada a

este (equação 2) e, conseqüentemente, a capacidade de transporte de resíduos pelo escoamento superficial.

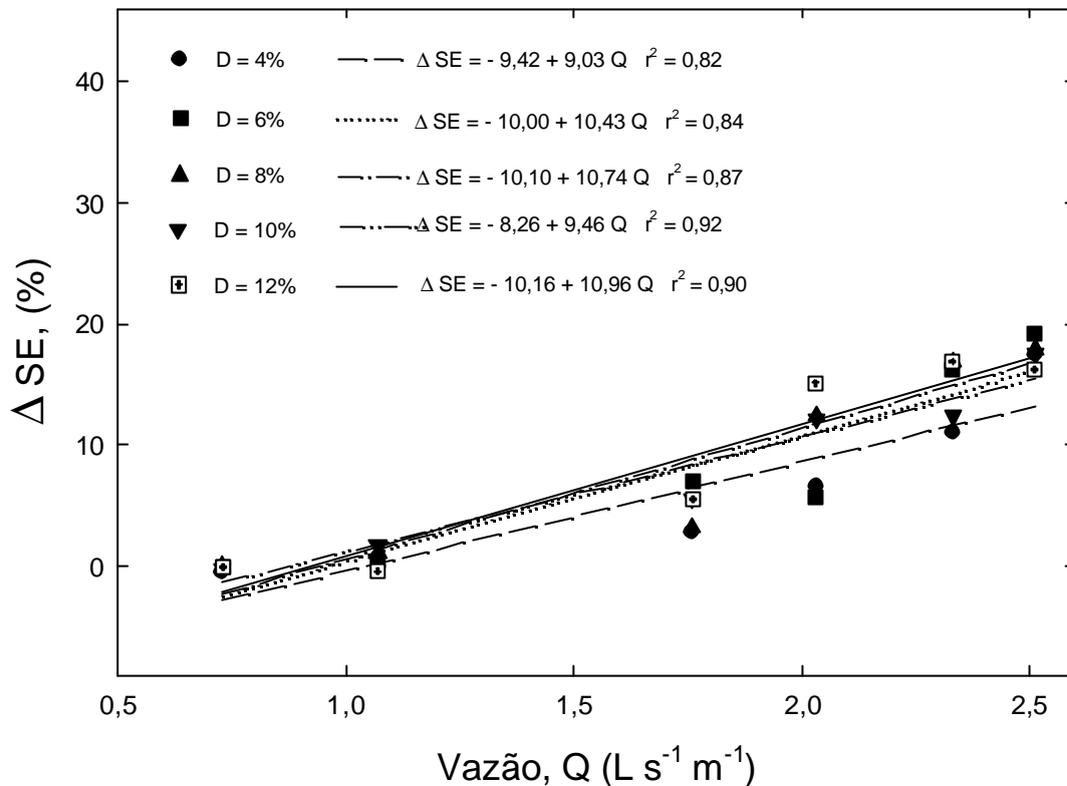


Figura 13. Variação da porcentagem da superfície exposta devido ao escoamento superficial (ΔSE) para ajuste linear e quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 7.500 kg ha^{-1} , plantio em nível e espaçamento normal entre plantas.

Os resíduos soltos da cultura de milho impõem resistência ao transporte quando em contato com o solo. Devido a esse fato, quando utilizou-se as menores vazões a tensão cisalhante associada ao escoamento superficial não foi suficiente para remover os resíduos por arraste, bem como a pouca profundidade do escoamento não foi suficiente para suspender e transportar os resíduos. Somente a partir de uma determinada vazão de escoamento superficial os resíduos passaram a ser transportados. Observa-se que os coeficientes lineares das equações ajustadas foram negativos em todas as declividades estudadas, indicando a existência de uma determinada vazão a partir da qual inicia a exposição da superfície do solo em função da passagem do escoamento superficial (Figura 13). Para a quantidade de resíduos soltos da cultura de milho equivalente a

7.500 kg ha⁻¹ o início da exposição da superfície em decorrência do escoamento superficial ficou entre as vazões de 0,87 L s⁻¹ m⁻¹ (declividade de 10 %) e 1,04 L s⁻¹ m⁻¹ (declividade de 4 %).

Neste trabalho foram considerados para fins de análise, as condições que acarretaram uma ΔSE de 10 % e um total de superfície exposta (percentagem de superfície exposta devido à distribuição inicial dos resíduos soltos na superfície do canal de solo mais a percentagem de superfície exposta devido à passagem do escoamento superficial) de 20 % como valores máximos aceitáveis para o controle da erosão. A utilização do valor máximo de 20 % de exposição total da superfície do solo para o controle da erosão baseou-se no trabalho de LOPES et al. (1987) onde uma quantidade de 6.000 kg ha⁻¹ de resíduos soltos de milho distribuídos uniformemente sobre a superfície do solo correspondeu a uma cobertura da superfície do solo de 80 % conferindo uma perda de solo de 926 kg ha⁻¹ quando da utilização de chuva simulada com uma hora de duração e intensidade de 64 mm h⁻¹. Já o critério da ΔSE de no máximo 10 % foi baseado nos trabalhos de BERTOL et al. (1997) e MORAIS e COGO (2001) onde os autores observaram que as taxas de perda de solo aumentaram quando foi possível determinar visualmente o transporte dos resíduos, ou seja, sem a ocorrência de transporte dos resíduos não ocorreram aumentos das taxas de erosão do solo.

Conforme evidencia-se na Figura 13, a ΔSE superior a 10 % é obtida com a vazão de 2,15 L s⁻¹ m⁻¹ para a declividade de 4 %, com a vazão de 1,84 L s⁻¹ m⁻¹ para a declividade de 12 % e com vazões em torno de 1,90 L s⁻¹ m⁻¹ para as declividades de 6, 8 e 10 %. De posse destes valores é possível propor alternativas para diminuir a vazão de escoamento superficial a fim de evitar que essa não ultrapasse estes limites ao longo de uma encosta. Uma das alternativas, segundo BERTOL et al. (2000), é a locação de terraços, os quais visam seccionar a encosta em vários segmentos menores, a fim de interceptar o escoamento superficial.

Com a utilização das equações lineares ajustadas foram encontrados valores negativos de ΔSE quando do uso de baixas vazões, fato que não foi observado nos dados experimentais.

A ΔSE máxima obtida com a equação linear ajustada foi de 17,3 % para a declividade de 12 % e a vazão de 2,51 L s⁻¹ m⁻¹. Portanto, para estas condições, o limite máximo de 20 % de exposição total da superfície do solo não foi atingido para nenhum dos tratamentos utilizados.

Na Figura 14 apresenta-se as imagens da superfície do solo no momento anterior à aplicação do escoamento superficial e depois da aplicação das vazões de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹, considerando quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 7.500 kg ha⁻¹, plantio em nível, espaçamento normal entre plantas e declividade da superfície de 12 %. Observa-se o aumento da ΔSE com o aumento da vazão e o efeito de contenção que os resíduos fixos impõem ao transporte dos resíduos soltos, formando-se uma barreira para o transporte dos resíduos soltos para fora da área analisada, ocorrendo, conseqüentemente, um acúmulo e entrelaçamento dos resíduos soltos junto a linha de plantio.

A variação na exposição da superfície do solo ocorre predominantemente no início da aplicação do escoamento superficial, sendo que este transporta e acumula os resíduos em pequenas distâncias, tendo em vista o entrelaçamento dos resíduos soltos junto às linhas de plantio. O rearranjo decorrente do escoamento e a barreira imposta pelos resíduos fixos não permitem que os demais resíduos se movimentem além da linha de plantio localizada logo abaixo.

O acúmulo de resíduos tende a causar, portanto, uma retenção do escoamento e o conseqüente aumento da lâmina d'água e da tensão cisalhante associada ao escoamento. No caso do experimento esse aumento não foi capaz de produzir a liberação do solo porque a superfície estava coberta com solo cimento. Em condições reais de campo, entretanto, poderá ocorrer uma tensão cisalhante associada ao escoamento que produza valores suficientes (maiores que a tensão crítica de cisalhamento do solo) para a ocorrência da liberação das partículas de solo, mesmo que os resíduos não tenham sido transportados (FOSTER et al., 1982).

No Quadro 3 são apresentadas as percentagens totais de superfície exposta antes e depois da aplicação das vazões de escoamento superficial de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹ associadas às declividades de 4, 6, 8, 10 e 12 %, para a quantidade de resíduos de milho soltos na superfície do solo equivalente a 7.500 kg ha⁻¹, plantio em nível e espaçamento normal (16 cm) entre plantas. Os valores obtidos nas duas repetições realizadas neste trabalho são apresentadas no Apêndice C.

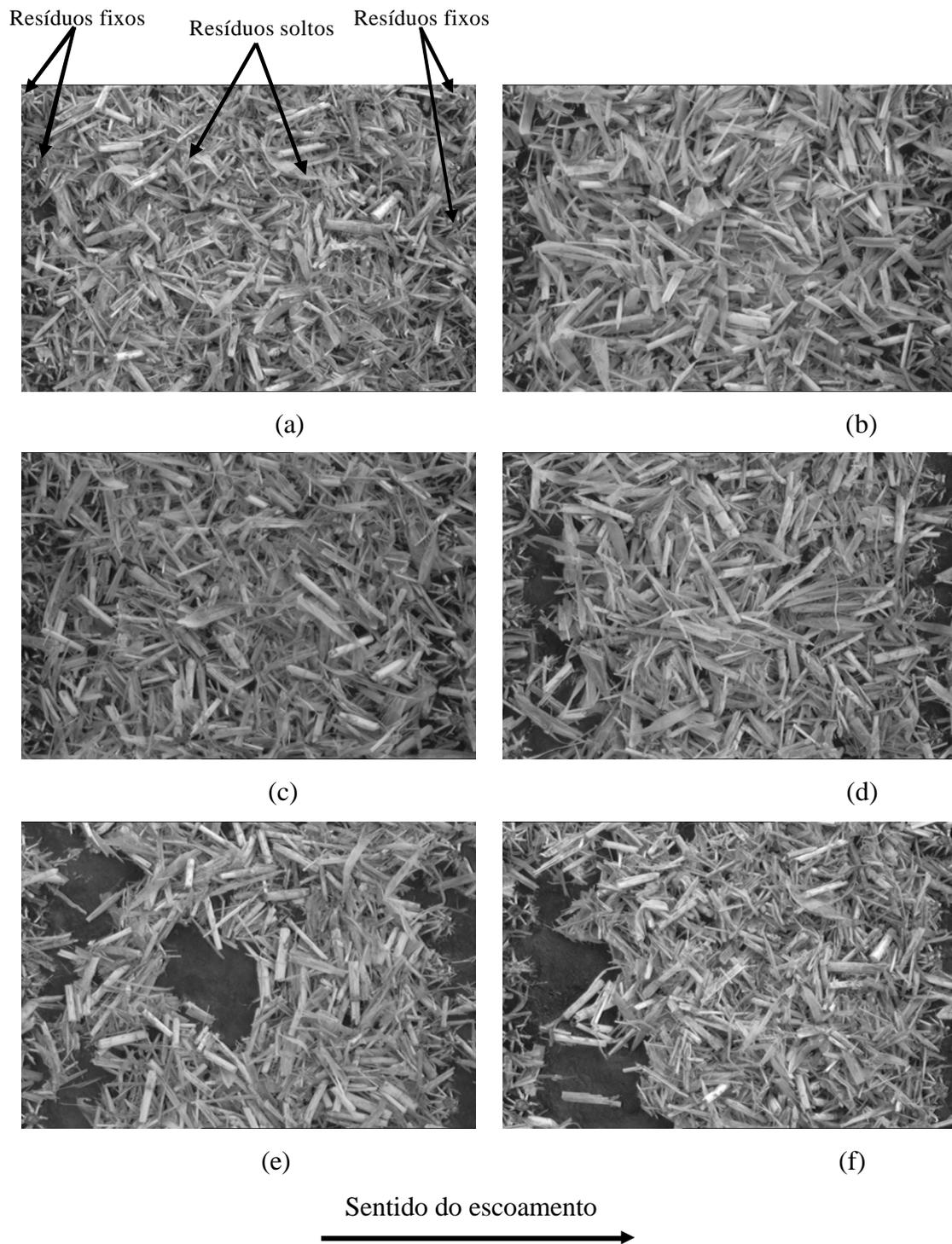


Figura 14. Imagens da superfície do solo no momento anterior à aplicação do escoamento superficial (a) e depois da aplicação das vazões de 0,73 (b); 1,07 (c); 1,76 (d); 2,03 (e) e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹ (f) para quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 7.500 kg ha⁻¹, plantio em nível, espaçamento normal entre plantas e declividade da superfície de 12 %.

Quadro 3. Percentagem total de superfície exposta antes e depois da aplicação do escoamento superficial de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹ utilizando-se as declividades de 4, 6, 8, 10 e 12 %, para a quantidade de resíduos de milho soltos na superfície do solo equivalente a 7.500 kg ha⁻¹, plantio em nível e espaçamento normal entre plantas (16 cm)

Declividade	Antes	Depois					
		Vazões, L s ⁻¹ m ⁻¹					
		0,73	1,07	1,76	2,03	2,33	2,51
----- % -----	-----Total de superfície exposta, % -----						
4	0,2	0,2	0,0	2,7	7,0	11,1	17,7
6	0,0	0,0	0,4	7,0	5,7	16,4	19,2
8	0,0	0,0	1,0	3,2	12,4	16,8	17,9
10	0,0	0,0	1,7	5,5	12,1	12,5	17,5
12	0,5	0,0	0,0	5,7	15,3	19,1	16,1

Os valores de superfície total exposta antes da aplicação do escoamento correspondem à uma média de 12 repetições, ou seja, a superfície total exposta antes da aplicação do escoamento para os testes realizados com as vazões de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹. Os demais valores de superfície total exposta correspondem à média de duas repetições.

Com a utilização de 7.500 kg ha⁻¹ de resíduos soltos de milho, conseguiu-se uma percentagem de superfície exposta inferior a 0,6 % em todas as condições anteriores à realização do experimento, tendo em vista o fato de que devido à grande quantidade de resíduos soltos ocorre não somente a completa cobertura do solo como também a sobreposição dos resíduos.

Após a aplicação das vazões de escoamento superficial a superfície total exposta ficou sempre abaixo dos 20 % (valor máximo aceitável), porém os valores de ΔSE ficaram acima de 10 % para vazão de 2,03 L s⁻¹ m⁻¹ e declividade de 8, 10 e 12 %, e vazões de 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹ para todas as declividades estudadas. Há portanto, nesses casos, a necessidade de intervenção para reduzir os riscos de ocorrência de erosão.

Na Figura 15 apresenta-se as imagens da superfície do solo no momento anterior à aplicação do escoamento superficial e depois da aplicação da vazão de 2,33 L s⁻¹ m⁻¹ nas declividades de 4, 6, 8, 10 e 12 %, para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 7.500 kg ha⁻¹, plantio em nível e espaçamento normal entre plantas.

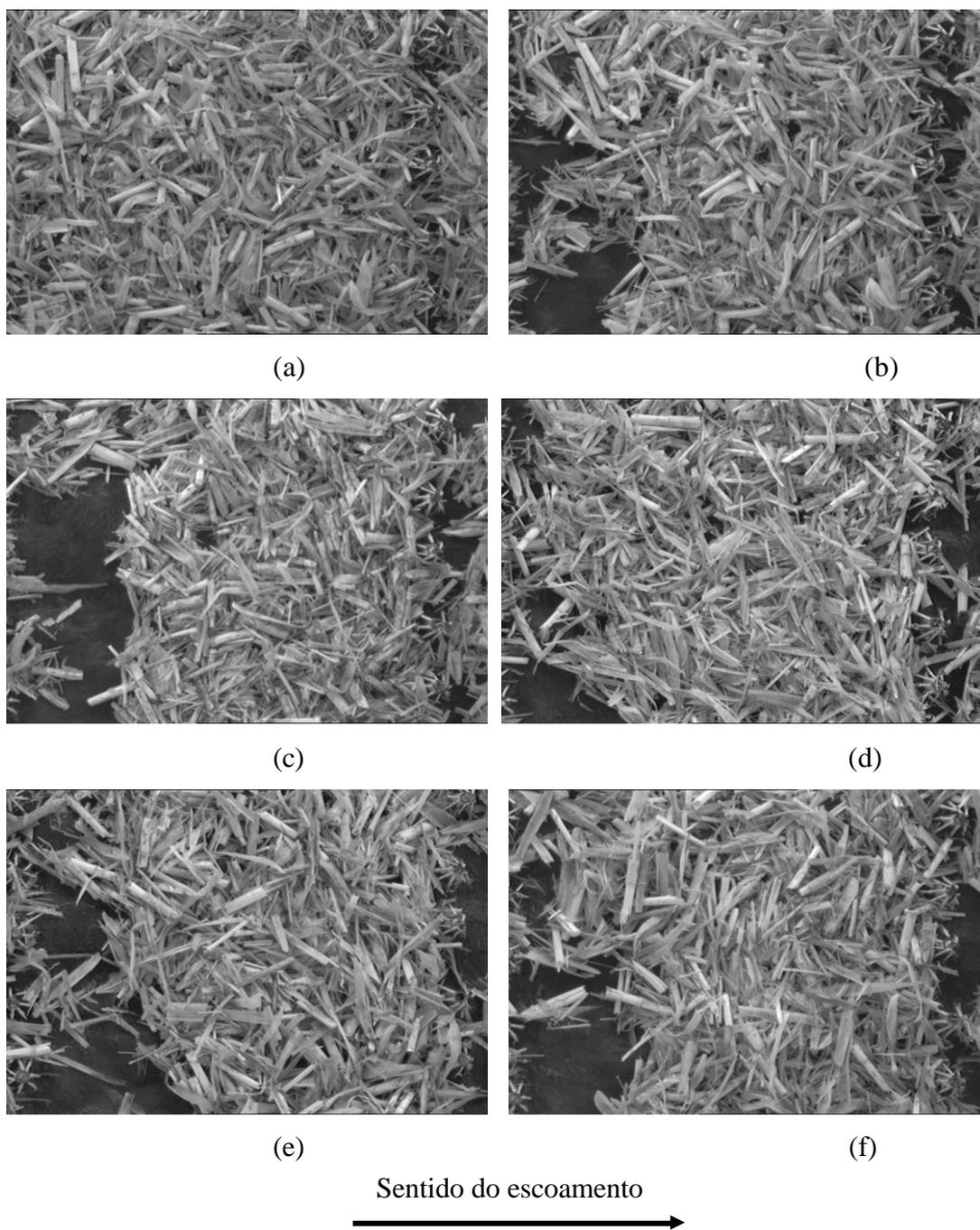


Figura 15. Imagens da superfície do solo no momento anterior à aplicação do escoamento superficial (a), e depois da aplicação da vazão de $2,33 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ nas declividades de 4 (b), 6 (c), 8 (d), 10 (e) e 12 % (f), para quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 7.500 kg ha^{-1} , plantio em nível e espaçamento normal entre plantas.

Observa-se um pequeno aumento da ΔSE em função do aumento da declividade, o que pode ser explicado pelo fato de que, com o aumento da declividade aumenta a tensão cisalhante associada ao escoamento (equação 2). Entretanto o aumento da declividade implica também em aumento da velocidade do escoamento superficial e diminuição da sua profundidade, o que possibilita, em alguns casos, que a água esco sob os resíduos sem transportá-los. No presente trabalho este aumento da tensão cisalhante associada ao escoamento superficial não acarretou perdas de solo, entretanto, em condições naturais o aumento da tensão de cisalhamento associada ao escoamento superficial implica em um aumento da liberação de partículas de solo.

Devido ao fato dos resíduos serem menos densos que a água, o aumento da profundidade do escoamento superficial pode promover a flutuação destes resíduos, sendo que no momento em que os resíduos flutuam perdem o contato com o solo e passam a ser facilmente transportados pelo escoamento superficial. Conseqüentemente a vazão, que promove um aumento tanto da tensão cisalhante como da profundidade do escoamento, tem maior influência no transporte dos resíduos de culturas do que a declividade, que causa um aumento na tensão cisalhante mas provoca uma redução na profundidade do escoamento.

A fim de analisar o efeito conjunto da vazão e da declividade na variação da superfície exposta pelo escoamento superficial procedeu-se ao ajuste da equação apresentada a seguir:

$$\Delta SE = 0,697 D^{0,165} Q^{3,182} \quad r^2 = 0,922 \quad (4)$$

em que:

ΔSE = variação da superfície exposta devido ao escoamento superficial, %;

D = declividade da rampa, %; e

Q = vazão de escoamento superficial, $L s^{-1} m^{-1}$.

Os valores da significância e da probabilidade dos coeficientes dos termos da equação 4 são apresentados no Apêndice D.

Conforme pode-se evidenciar na equação 4, o efeito decorrente da vazão de escoamento superficial foi mais expressivo do que o efeito da declividade, sendo que o expoente para a vazão foi de 3,182 e para a declividade foi de 0,165. Em estudo

realizado por PEREIRA (2000) para a estimativa da liberação e transporte de partículas de solo no mesmo canal utilizado neste trabalho foi obtida uma maior influência da declividade do que da vazão de escoamento superficial, mostrando, portanto uma tendência oposta à evidenciada neste trabalho. Outros trabalhos realizados por MEYER et al. (1983); WATSON e LAFLEN (1986); NEARING (1991) e NEARING et al. (1991) também evidenciaram que a liberação e transporte de partículas de solo são mais influenciadas pela declividade do que pela vazão de escoamento superficial. Ressalta-se que todos os trabalhos citados utilizaram solo descoberto enfocando a liberação e transporte de partículas de solo.

Na Figura 16 apresenta-se a variação da percentagem da superfície exposta devido ao escoamento superficial para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 3.750 kg ha^{-1} . Observa-se, tal como na condição com 7.500 kg ha^{-1} , a clara tendência de aumento da ΔSE com o aumento da vazão. A variação da exposição da superfície do solo devida ao aumento da vazão foi maior que o dobro daquela encontrada quando utilizou-se uma quantidade de 7.500 kg ha^{-1} de resíduos soltos. Para a quantidade de 3.750 kg ha^{-1} a ΔSE chegou a 41,2 % com a utilização da declividade de 12 % e vazão de escoamento superficial de $2,51 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$, enquanto que no ensaio com quantidade de resíduos soltos equivalente a 7.500 kg ha^{-1} a ΔSE foi, no máximo, de 17,3 % para a mesma declividade e vazão.

Neste caso ocorreram valores negativos da variação da percentagem de superfície exposta devido ao escoamento, pois com o equivalente a 3.750 kg ha^{-1} de resíduos soltos de cultura de milho não ocorreu a cobertura total da superfície. Para as vazões de escoamento superficial de $0,73$ e $1,07 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$, ocorreu um deslocamento dos resíduos de milho para locais que estavam descobertos antes da aplicação do escoamento.

Da mesma forma que no caso da utilização de uma quantidade de resíduos soltos equivalente a 7.500 kg ha^{-1} também não foi observada tendência clara de aumento da percentagem de superfície exposta devido ao aumento da declividade na faixa de 4 a 10 %. Este comportamento foi observado apenas para a declividade de 12 %, condição em que a reta ajustada acarretou valores de ΔSE superiores aos evidenciados para as demais declividades.

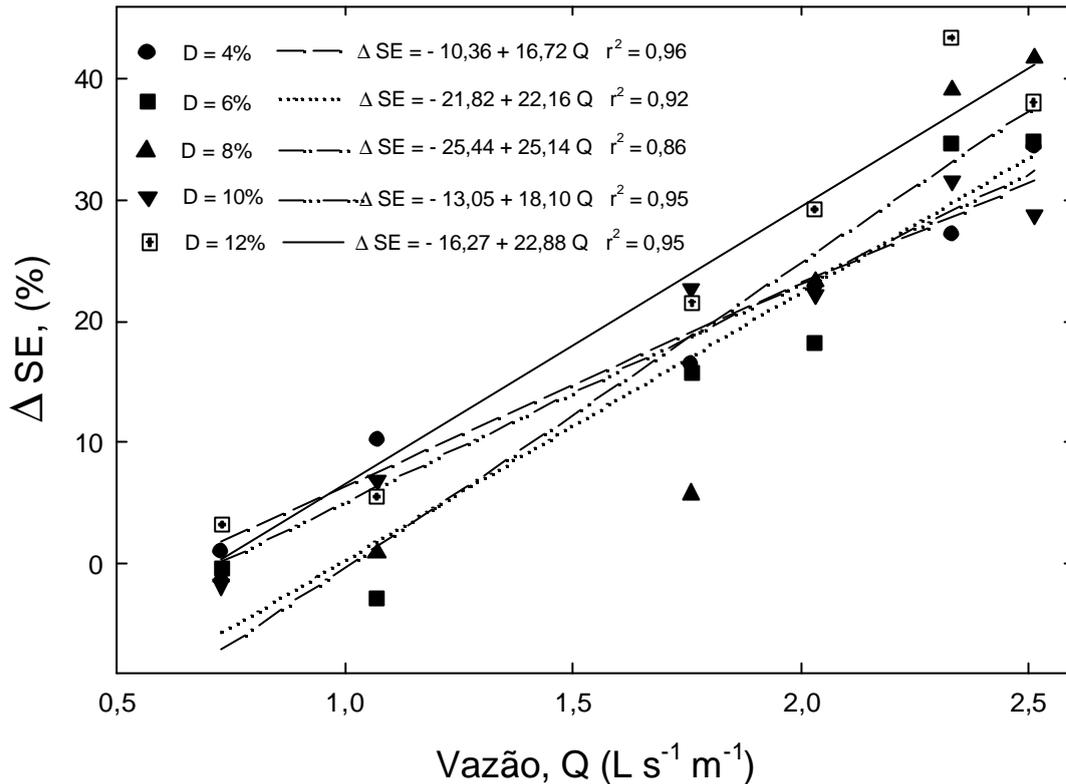


Figura 16. Variação da porcentagem da superfície exposta devido ao escoamento superficial para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 3.750 kg ha⁻¹, plantio em nível e espaçamento normal entre plantas.

Com o auxílio das equações ajustadas pode-se dizer que a remoção dos resíduos de milho para as declividades de 4, 10 e 12 % iniciou entre as vazões de 0,62 a 0,72 L s⁻¹ m⁻¹, enquanto que para as declividades de 6 e 8 % a remoção iniciou com a vazão de aproximadamente 1,00 L s⁻¹ m⁻¹. A vazão de escoamento superficial que produziu uma ΔSE de 10 % foi de 1,44 L s⁻¹ m⁻¹, para a declividade de 6 %, a 1,15 L s⁻¹, para a declividade de 12 %.

No Quadro 4 são apresentadas as porcentagens totais de superfície exposta antes e depois da aplicação do escoamento superficial de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹ utilizando-se as declividades de 4, 6, 8, 10 e 12 %, para quantidade de resíduos de milho soltos na superfície do solo equivalente a 3.750 kg ha⁻¹, plantio em nível e espaçamento normal (16 cm) entre plantas.

Quadro 4. Percentagem total de superfície exposta antes e depois da aplicação do escoamento superficial de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹ utilizando-se as declividades de 4, 6, 8, 10 e 12 %, para quantidade de resíduos de milho soltos na superfície do solo equivalente a 3.750 kg ha⁻¹, plantio em nível e espaçamento normal entre plantas (16 cm)

Declividade	Antes	Depois					
		Vazões, L s ⁻¹ m ⁻¹					
		0,73	1,07	1,76	2,03	2,33	2,51
----- % -----	-----Total de superfície exposta, % -----						
4	7,6	7,5	16,6	25,4	31,8	30,1	46,3
6	8,9	8,5	11,5	21,3	27,5	40,0	45,0
8	7,5	4,4	10,0	14,5	29,6	45,3	50,8
10	7,1	4,7	13,9	28,6	30,5	37,1	38,2
12	8,2	9,8	13,6	35,2	35,4	52,3	43,5

Os valores de superfície total exposta antes da aplicação do escoamento correspondem à uma média de 12 repetições, ou seja, a superfície total exposta antes da aplicação do escoamento para os testes realizados com as vazões de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹. Os demais valores de superfície total exposta corresponde à média de duas repetições.

Observa-se no Quadro 4 que para a vazão de 1,76 L s⁻¹ m⁻¹ nas declividades de 4, 6, 10 e 12 % e para as vazões de 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹ em todas as declividades estudadas, o total de superfície exposta foi superior ao limite máximo de 20 %. Isto sugere que, se estas situações vierem a ocorrer em condições de campo, existe a necessidade de implementação de práticas de conservação de solo para evitar o início da erosão hídrica acelerada.

Na Figura 17 apresenta-se as imagens da superfície do solo no momento anterior à aplicação do escoamento superficial e depois da aplicação, para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 3.750 kg ha⁻¹, plantio em nível, espaçamento normal entre plantas, declividade da superfície de 12 % e vazão de escoamento superficial de 2,51 L s⁻¹ m⁻¹. Com uma quantidade de resíduos soltos de cultura de milho equivalente a 3.750 kg ha⁻¹, espalhados uniformemente na superfície do canal de solo, obteve-se uma fina camada de resíduos sendo que estes são mais facilmente transportados quando comparado com a utilização de 7.500 kg ha⁻¹, expondo assim maior área da superfície do solo.

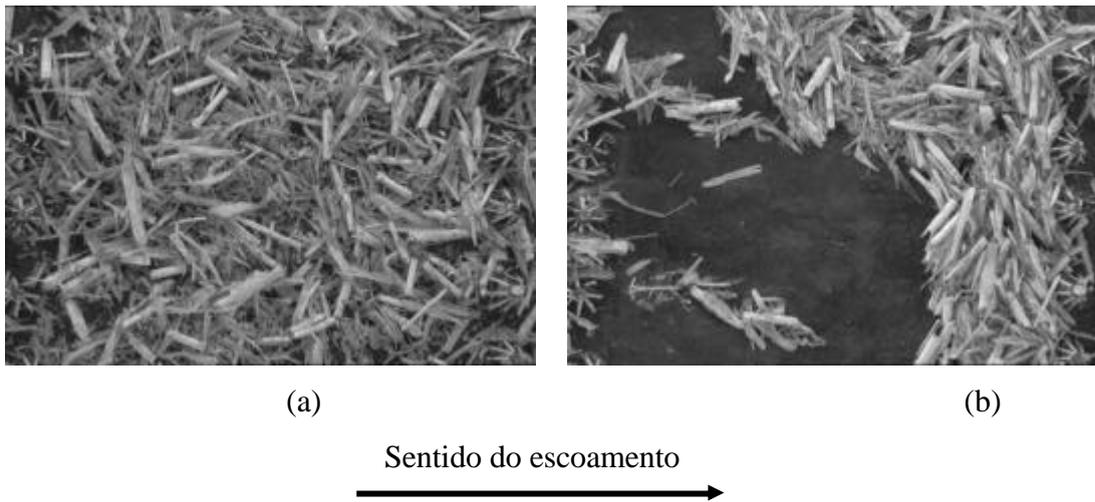


Figura 17. Imagem do momento anterior à aplicação do escoamento superficial para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 3.750 kg ha^{-1} , plantio em nível, espaçamento normal entre plantas, declividade da superfície de 12 % (a) e após a aplicação da vazão de escoamento superficial de $2,51 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ (b).

Para a quantidade de resíduos soltos de cultura de milho equivalente a 3.750 kg ha^{-1} , considerando o efeito conjunto da declividade e da vazão de escoamento superficial na ΔSE ajustou-se a equação apresentada a seguir:

$$\Delta\text{SE} = 3,008 D^{0,180} Q^{2,363} \quad r^2 = 0,899 \quad (5)$$

O expoente da declividade da equação 5 foi de 0,180 e, portanto, um pouco superior ao da equação 4, que foi de 0,165. Já o expoente da vazão passa de 3,182 (equação 4) para 2,363 (equação 5), indicando que a vazão passa a ter uma menor influência na ΔSE em relação à declividade para resíduos soltos equivalente a 3.750 kg ha^{-1} em relação àquela observada para resíduos soltos de 7.500 kg ha^{-1} .

A Figura 18 representa a variação da percentagem da superfície exposta devido ao escoamento superficial para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 1.875 kg ha^{-1} .

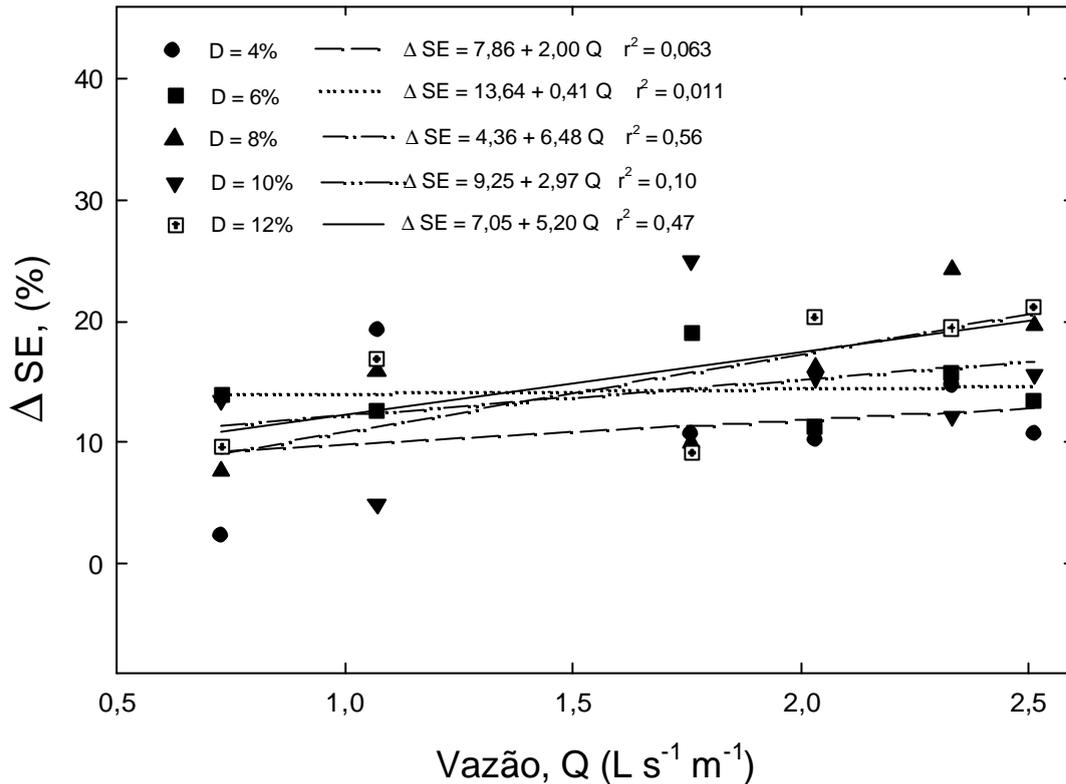


Figura 18. Variação da porcentagem da superfície exposta devido ao escoamento superficial considerando uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 1.875 kg ha⁻¹, plantio em nível e espaçamento normal entre plantas.

A tendência do aumento da exposição do solo com o aumento da vazão não apresentou a mesma magnitude dos incrementos observados nos dois casos apresentados anteriormente. Com a utilização de pequenas quantidades de resíduos de cultura o fator que mais interfere na porcentagem total de superfície exposta é a falta de resíduos para cobrir a superfície do solo antes da aplicação do escoamento superficial, exercendo, desta forma, um efeito mais expressivo que a vazão de escoamento superficial e a declividade

No Quadro 5 são apresentadas as porcentagens totais de superfície exposta antes e depois da aplicação do escoamento superficial de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹ utilizando-se as declividades de 4, 6, 8, 10 e 12 %, com quantidade de resíduos de milho soltos na superfície do solo equivalentes a 1.875 kg ha⁻¹, considerando plantio em nível e espaçamento normal (16 cm) entre plantas. Os valores de porcentagem total de superfície exposta evidenciam que, mesmo antes da aplicação das vazões, as

percentagens de superfície exposta já são superiores a 20 % em todas as situações, atingindo valores que variam de 45,1 a 67,3 % após a aplicação do escoamento.

Neste caso, é necessário a implementação de práticas de cultivo para aumentar a produção de material vegetal para cobrir a superfície do solo no mínimo 80 %.

Quadro 5. Percentagem total de superfície exposta antes e depois da aplicação do escoamento superficial de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹ utilizando-se as declividades de 4, 6, 8, 10 e 12 %, com quantidade de resíduos de milho soltos na superfície do solo equivalentes a 1.875 kg ha⁻¹ considerando plantio em nível e espaçamento normal entre plantas (16 cm)

Declividade	Antes	Depois					
		Vazões, L s ⁻¹ m ⁻¹					
		0,73	1,07	1,76	2,03	2,33	2,51
----- % -----	-----Total de superfície exposta, % -----						
4	43,1	49,1	54,2	56,0	52,3	55,1	60,0
6	42,0	49,1	53,2	60,7	54,1	61,1	60,3
8	42,0	55,1	53,4	57,0	52,3	63,0	65,2
10	41,2	54,5	45,1	65,4	50,2	51,2	67,3
12	42,0	54,3	50,4	55,7	59,8	66,4	62,4

Os valores de superfície total exposta antes da aplicação do escoamento correspondem à uma média de 12 repetições, ou seja, a superfície total exposta antes da aplicação do escoamento para os testes realizados com as vazões de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹. Os demais valores de superfície total exposta corresponde à média de duas repetições.

Na Figura 19 apresenta-se as imagens da superfície do solo no momento anterior à aplicação do escoamento superficial e depois da aplicação, para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 1.875 kg ha⁻¹, plantio em nível, espaçamento normal entre plantas, declividade da superfície de 4 % e vazão de escoamento superficial de 1,76 L s⁻¹ m⁻¹.

Observa-se, na Figura 19, a elevada exposição da superfície do solo antes da aplicação do escoamento superficial e o acúmulo dos resíduos soltos nas proximidades da linha de plantio após a passagem do escoamento superficial. Algumas elevações na superfície do solo também favoreceram a retenção dos resíduos soltos. Os resíduos fixos

atuam, como nos outros casos, como uma barreira física que dificulta o transporte dos resíduos soltos para fora da área em estudo.

Para a quantidade de resíduos soltos de cultura de milho equivalente a 1.875 kg ha^{-1} , considerando o efeito conjunto da declividade e da vazão de escoamento superficial na ΔSE não se obteve ajuste.



Figura 19. Imagem do momento anterior à aplicação do escoamento superficial para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 1.875 kg ha^{-1} , plantio em nível, espaçamento normal entre plantas, declividade da superfície de 4 % (a) e após a aplicação da vazão de escoamento superficial de $1,76 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ (b).

4.2.2. Plantio em nível e espaçamento duplicado (32 cm) entre plantas

Na Figura 20 apresenta-se a variação da percentagem da superfície exposta devido ao escoamento superficial para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 7.500 kg ha^{-1} , plantio em nível e espaçamento de 32 cm entre plantas. Observa-se que ocorre aumento da ΔSE com o aumento da vazão de escoamento superficial, porém o incremento é menor quando se compara com a situação onde utilizou-se uma quantidade de resíduos soltos na superfície do solo equivalente a 7.500 kg ha^{-1} e espaçamento de 16 cm entre os resíduos fixos. Os valores de ΔSE simulados utilizando-se as equações lineares foram de 9,9 % para a declividade de 4 % e 6,3 %

para a declividade de 12 %, quando utilizou-se vazão de escoamento superficial de 2,51 L s⁻¹ m⁻¹.

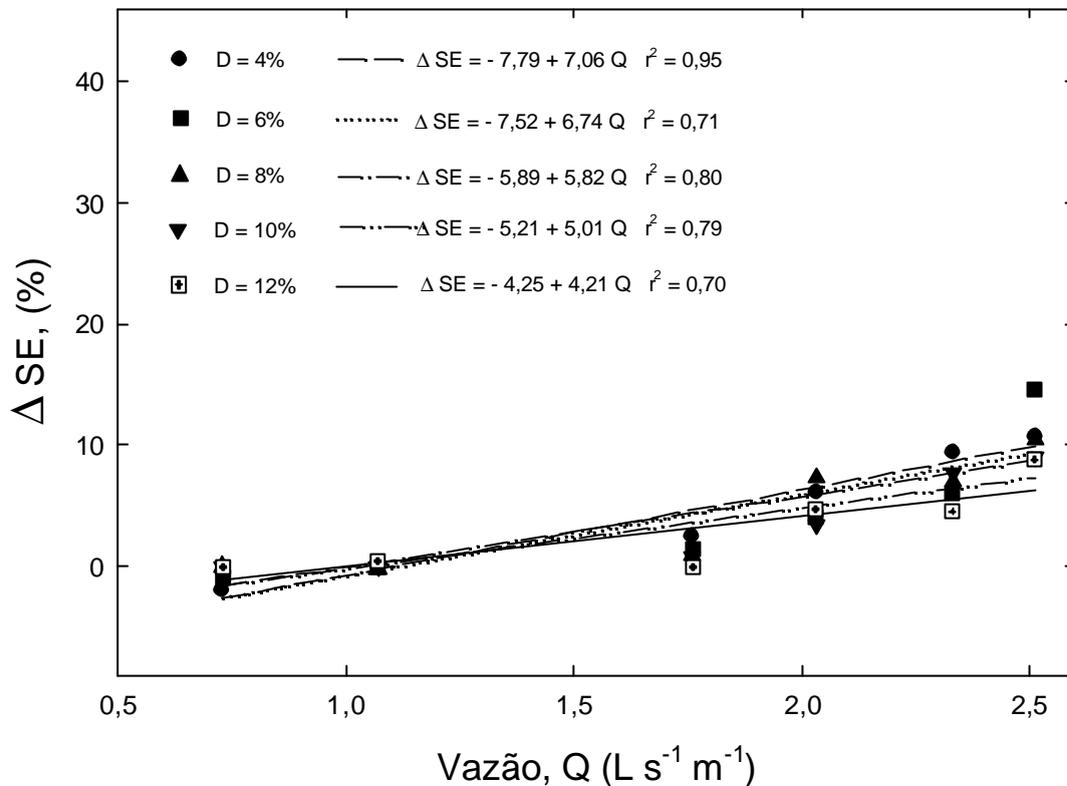


Figura 20. Variação da porcentagem da superfície exposta devido ao escoamento superficial para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 7.500 kg ha⁻¹, plantio em nível e espaçamento duplicado entre plantas.

No caso da utilização de espaçamento duplicado entre os resíduos fixos, esperava-se um incremento maior na ΔSE pela maior facilidade da saída dos resíduos soltos para fora da área em estudo. Porém, este fato não ocorreu, havendo somente a facilitação da passagem da água sob e por entre os resíduos soltos e fixos presentes na superfície do canal. A retirada dos resíduos fixos, aumentando o espaçamento entre eles, em conjunto com as elevações e depressões da superfície do solo, favoreceram a formação de caminhos preferenciais para o escoamento superficial, transportando resíduos somente nestas áreas onde ocorreu a concentração do escoamento.

Segundo a equação 2, o aumento da declividade acarreta um aumento na tensão cisalhante do escoamento superficial porém, nesse caso, o aumento da tensão cisalhante não implicou em aumento da ΔSE , ocorrendo justamente o contrário, quanto maior a

declividade menor foi o incremento na ΔSE . Isso ocorreu provavelmente devido ao fato do escoamento superficial não encontrar resistência ao seu movimento por entre os resíduos fixos, alcançando uma maior velocidade e, conseqüentemente, uma menor profundidade de escoamento.

O início da exposição da superfície é verificada com vazões acima de $1.00 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ (Figura 20). Utilizando-se as equações lineares ajustadas, a ΔSE de 10 % foi obtida com a vazão de $2,52 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ para a declividade de 4 % e $3,38 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ para a declividade de 12 %.

Para a quantidade de resíduos de cultura de milho soltos na superfície do canal equivalente a 7.500 kg ha^{-1} e espaçamento duplicado entre os resíduos fixos, considerando o efeito conjunto da declividade e da vazão de escoamento superficial, na ΔSE , ajustou-se a equação apresentada a seguir:

$$\Delta SE = 0,147 D^{0,00045} Q^{4,645} \quad r^2 = 0,881 \quad (6)$$

Na equação 6 observa-se a pouca influência da declividade devido ao baixo expoente, sendo que a ΔSE é quase totalmente uma função da vazão de escoamento superficial devido ao alto valor do expoente. Para a condição com espaçamento de 16 cm entre resíduos fixos (equação 4), o expoente da declividade foi de 0,165 e da vazão foi de 3,184 sendo que o expoente da vazão da equação 6 foi 4,645 e o da declividade de 0,00045. A vazão teve maior influência na ΔSE quando utilizou-se espaçamento duplicado entre resíduos fixos e a declividade teve maior influência quando utilizou-se espaçamento normal entre resíduos fixos.

No Quadro 6 são apresentadas as percentagens totais de superfície exposta antes e depois da aplicação do escoamento superficial de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 $\text{L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ utilizando-se as declividades de 4, 6, 8, 10 e 12 %, com quantidade de resíduos de milho soltos na superfície do solo equivalentes a 7.500 kg ha^{-1} , plantio em nível e espaçamento duplicado (32 cm) entre plantas. Observa-se que a percentagem total de superfície exposta não foi superior a 20 % porém, a ΔSE foi superior a 10 % para as condições onde utilizou-se a vazão de $2,51 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ e as declividades de 4, 6 e 8 %, indicando a necessidade de práticas complementares de controle da erosão além da manutenção de uma quantidade 7.500 kg ha^{-1} de resíduos soltos de milho na superfície do solo.

Quadro 6. Percentagem total de superfície exposta antes e depois da aplicação do escoamento superficial de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹ utilizando-se as declividades de 4, 6, 8, 10 e 12 %, para quantidade de resíduos de milho soltos na superfície do solo equivalentes a 7.500 kg ha⁻¹, plantio em nível e espaçamento duplicado entre plantas (32 cm)

Declividade	Antes	Depois					
		Vazões, L s ⁻¹ m ⁻¹					
		0,73	1,07	1,76	2,03	2,33	2,51
----- % -----	-----Total de superfície exposta, % -----						
4	0,4	0,0	0,0	2,5	6,2	9,8	10,7
6	0,3	0,2	0,4	1,7	4,1	6,0	14,7
8	0,0	0,0	0,0	0,8	7,2	7,0	10,7
10	0,0	0,0	0,2	0,8	3,4	7,6	9,2
12	0,2	0,0	1,0	0,0	5,1	4,9	8,7

Os valores de superfície total exposta antes da aplicação do escoamento correspondem à uma média de 12 repetições, ou seja, a superfície total exposta antes da aplicação do escoamento para os testes realizados com as vazões de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹. Os demais valores de superfície total exposta corresponde à média de duas repetições.

Na Figura 21 apresenta-se a variação da percentagem da superfície exposta devido ao escoamento superficial para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 3.750 kg ha⁻¹, plantio em nível e espaçamento duplicado entre plantas. Observa-se a tendência de aumento da ΔSE com o aumento da vazão de escoamento superficial. O início da exposição da superfície para a declividade de 4 % ocorre com uma vazão de escoamento superficial de 0,60 L s⁻¹ m⁻¹ e para a declividade de 12 % ocorre com a vazão de 0,96 L s⁻¹ m⁻¹. Para obter-se uma ΔSE de 10 % é necessário uma vazão de 1,36 L s⁻¹ m⁻¹ para a declividade de 4 % e 1,52 L s⁻¹ m⁻¹ para a declividade de 12 %.

A ΔSE máxima observada na situação onde utilizou-se espaçamento de 16 cm entre resíduos fixos foi de 41,2 % e de 29,4 % quando utilizou-se espaçamento de 32 cm. Esta diminuição foi devido ao fato da água escoar com maior facilidade sob os resíduos soltos e por entre os resíduos fixos.

Não houve tendência clara de aumento da ΔSE com aumento da declividade.

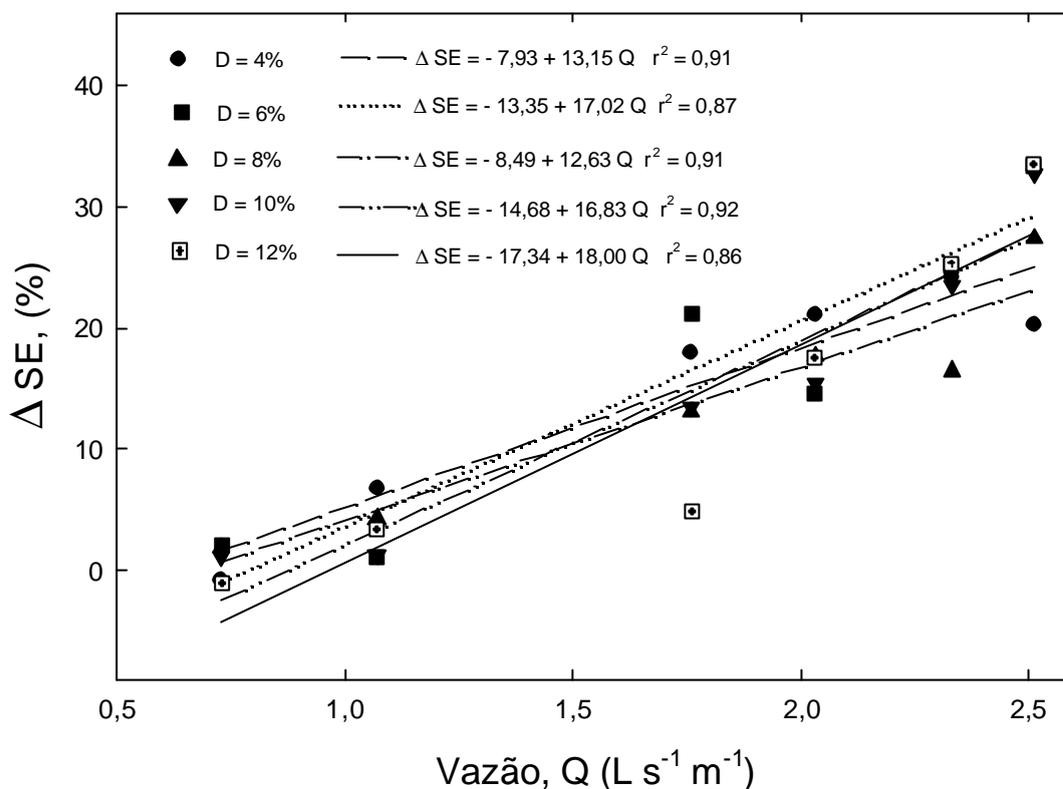


Figura 21. Variação da porcentagem da superfície exposta devido ao escoamento superficial para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 3.750 kg ha^{-1} , plantio em nível e espaçamento duplicado entre plantas.

No Quadro 7 são apresentadas as porcentagens totais de superfície exposta antes e depois da aplicação do escoamento superficial de $0,73$; $1,07$; $1,76$; $2,03$; $2,33$ e $2,51 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ utilizando-se as declividades de 4, 6, 8, 10 e 12 %, para quantidade de resíduos de milho soltos na superfície do solo equivalentes a 3.750 kg ha^{-1} , plantio em nível e espaçamento duplicado (32 cm) entre plantas. Observa-se que com a utilização da vazão de $1,76 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ e declividades de 4, 6 e 10 %, bem como com as vazões de $2,03$; $2,33$ e $2,51 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ em todas as declividades estudadas, o total de superfície exposta ficou acima dos 20 % que é o limite máximo de exposição da superfície do solo para o controle da erosão, sendo necessário então, se estas condições ocorrerem em nível de campo, a implementação de práticas de conservação de solo para evitar que estas vazões de escoamento superficial ocorram.

A equação ajustada considerando o efeito conjunto da vazão e da declividade na variação da superfície exposta pelo escoamento superficial para a quantidade de resíduos soltos de cultura de milho equivalente a 3.750 kg ha⁻¹ é apresentada a seguir:

$$\Delta SE = 3,060 D^{0,039} Q^{2,351} \quad r^2 = 0,880 \quad (7)$$

O expoente da vazão da equação 7 foi semelhante ao expoente da equação 5 que foi a situação onde utilizou-se espaçamento de 16 cm entre resíduos fixos e foi obtido o valor de 2,363. Já o expoente da declividade passou de 0,180 na equação 5 para 0,039 na equação 7, evidenciando uma menor influência da declividade para espaçamento de 32 cm entre resíduos fixos.

Quadro 7. Percentagem total de superfície exposta antes e depois da aplicação do escoamento superficial de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹ utilizando-se as declividades de 4, 6, 8, 10 e 12 %, para quantidade de resíduos de milho soltos na superfície do solo equivalentes a 3.750 kg ha⁻¹, plantio em nível e espaçamento duplicado entre plantas (32 cm)

Declividade	Antes	Depois					
		Vazões, L s ⁻¹ m ⁻¹					
		0,73	1,07	1,76	2,03	2,33	2,51
----- % -----	-----Total de superfície exposta, % -----						
4	12,9	10,4	19,4	28,6	33,5	34,8	34,0
6	11,0	12,6	14,1	33,1	32,9	29,9	45,9
8	10,5	10,5	16,6	14,8	29,7	28,6	36,3
10	9,7	13,9	15,4	22,9	25,0	41,9	42,9
12	8,9	10,7	15,8	10,5	22,4	28,2	42,5

Os valores de superfície total exposta antes da aplicação do escoamento correspondem à uma média de 12 repetições, ou seja, a superfície total exposta antes da aplicação do escoamento para os testes realizados com as vazões de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹. Os demais valores de superfície total exposta corresponde à média de duas repetições.

Na Figura 22 apresenta-se a variação da percentagem da superfície exposta devido ao escoamento superficial para uma quantidade de resíduos soltos de milho

equivalente a 1.875 kg ha^{-1} , plantio em nível e espaçamento duplicado entre plantas. Para as declividades de 6 % o início da exposição da superfície ocorreu com a vazão de $0,74 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$. Já para as demais declividades utilizadas não houve ajuste.

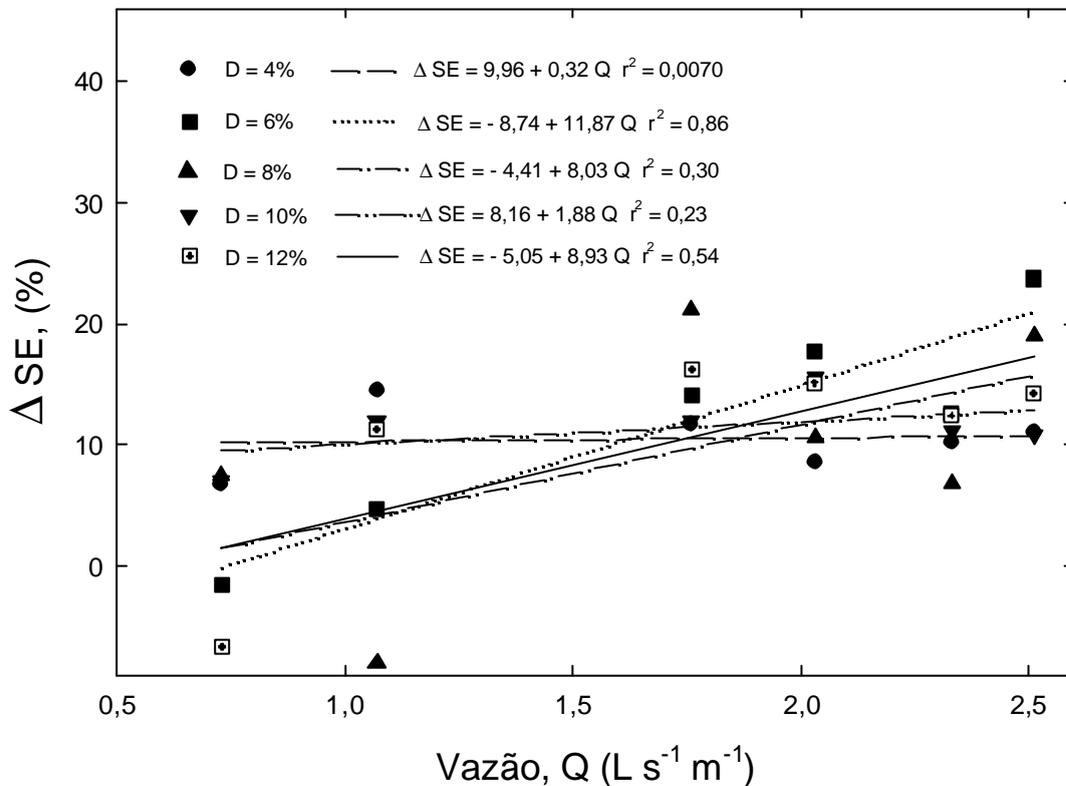


Figura 22. Variação da porcentagem da superfície exposta devido ao escoamento superficial para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 1.875 kg ha^{-1} , plantio em nível e espaçamento duplicado entre plantas.

No Quadro 8 são apresentadas as porcentagens totais de superfície exposta antes e depois da aplicação do escoamento superficial de $0,73$; $1,07$; $1,76$; $2,03$; $2,33$ e $2,51 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ utilizando-se as declividades de 4, 6, 8, 10 e 12 %, para quantidade de resíduos de milho soltos na superfície do solo equivalente a 1.875 kg ha^{-1} , plantio em nível e espaçamento duplicado entre plantas. Observa-se que para todas as declividades obteve-se uma exposição total da superfície do solo maior que 20 % no momento anterior ao escoamento superficial, evidenciando que com a utilização do equivalente a 1.875 kg ha^{-1} de resíduos soltos de milho espalhados uniformemente na superfície do solo não foi possível obter uma cobertura do solo maior que 80 %, sendo necessário implementação de ações para aumentar a produção de material vegetal para cobrir adequadamente a

superfície do solo. A ocorrência do escoamento superficial favorece um aumento da superfície exposta aumentando ainda mais os riscos de ocorrência de erosão.

Quadro 8. Percentagem total de superfície exposta antes e depois da aplicação do escoamento superficial de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹ utilizando-se as declividades de 4, 6, 8, 10 e 12 %, para quantidade de resíduos de milho soltos na superfície do solo equivalente a 1.875 kg ha⁻¹, considerando plantio em nível e espaçamento duplicado entre plantas (32 cm)

Declividade	Antes	Depois					
		Vazões, L s ⁻¹ m ⁻¹					
		0,73	1,07	1,76	2,03	2,33	2,51
----- % -----	-----Total de superfície exposta, % -----						
4	45,6	43,4	53,6	58,3	58,7	54,7	67,7
6	46,0	45,7	50,4	60,9	58,3	59,6	72,2
8	42,2	38,4	39,5	57,4	54,3	58,7	61,7
10	43,7	41,4	65,8	47,9	55,1	59,6	60,7
12	43,3	43,3	58,5	53,4	51,3	60,4	55,5

Os valores de superfície total exposta antes da aplicação do escoamento correspondem à uma média de 12 repetições, ou seja, a superfície total exposta antes da aplicação do escoamento para os testes realizados com as vazões de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹. Os demais valores de superfície total exposta corresponde à média de duas repetições.

Não obteve-se ajuste para a quantidade de resíduos soltos de cultura de milho equivalente a 1.875 kg ha⁻¹ considerando o efeito conjunto da declividade e da vazão de escoamento superficial.

Para as três quantidades de resíduos soltos estudadas, utilizando-se espaçamento duplicado entre resíduos fixos (32 cm), foram observadas menores ΔSE quando comparados com a situação de espaçamento de 16 cm entre resíduos fixos. Isto se deve a facilidade de escoamento que a água encontrou ao longo do canal de solo, resultado conjunto da rugosidade da superfície do solo e da retirada dos resíduos fixos para aumentar o espaçamento entre os resíduos fixos.

4.2.3. Plantio no sentido do declive e espaçamento normal entre plantas

Na Figura 23 apresenta-se a variação da percentagem da superfície exposta devido ao escoamento superficial para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 7.500 kg ha^{-1} , plantio no sentido do declive e espaçamento normal entre plantas.

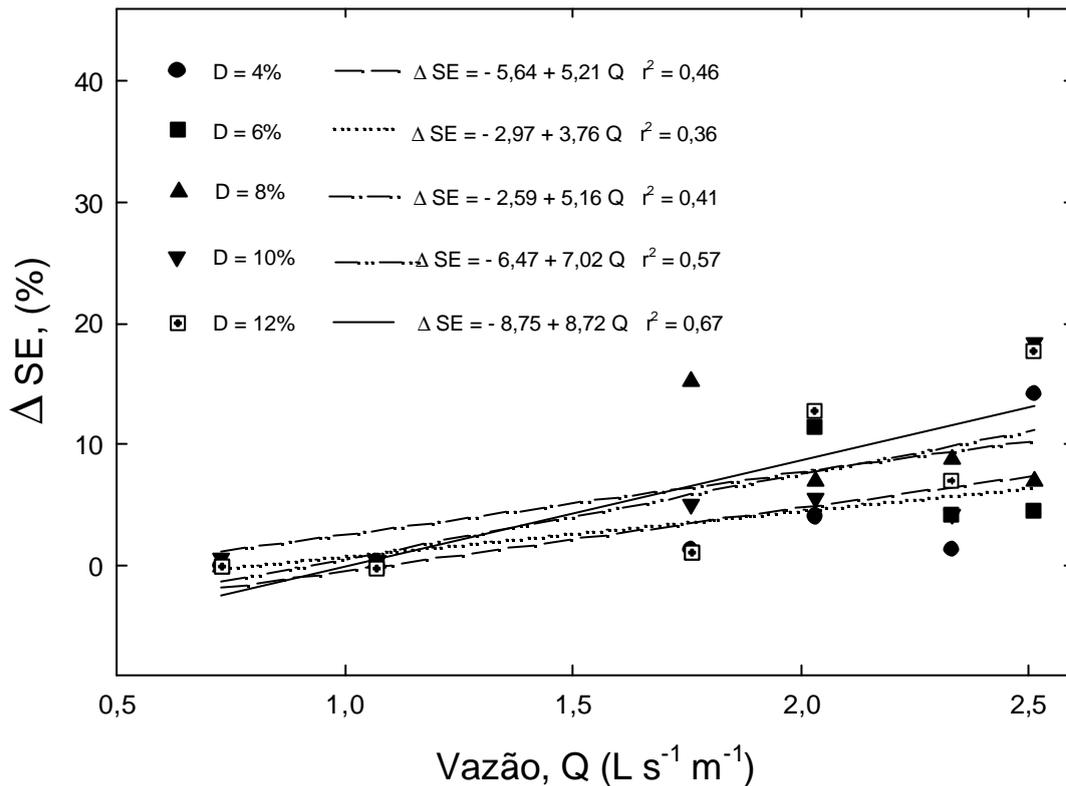


Figura 23. Variação da percentagem da superfície exposta devido ao escoamento superficial para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 7.500 kg ha^{-1} , plantio no sentido do declive e espaçamento normal entre plantas.

O início da exposição da superfície pelo escoamento superficial se dá com a utilização de vazões acima de $1,00 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ para as declividades de 4 e 12 %. Para a declividade de 8 % o início da exposição se dá com a aplicação de uma vazão de $0,50 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$. Já a ΔSE igual a 10 % é obtida com a vazão de $3,45 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ para declividade de 6 % e $2,15 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ para a declividade de 12 %.

Neste experimento a ΔSE chegou a um valor máximo de 18,4 %, obtida para a declividade de 10 % com a vazão de escoamento superficial de $2,51 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$.

Em condições de campo, BERTOL et al. (1997) encontraram remoção dos resíduos com vazão superior a $1,3 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ para um solo coberto com $12.000 \text{ kg ha}^{-1}$ de resíduos de milho não ancorados com declividade média da superfície de 6,6 %, sendo que as linhas de plantio eram no sentido do declive.

Para uma quantidade de resíduos de milho de 6.200 kg ha^{-1} semidecompostos e semiancorados (150 dias após a colheita), linhas de plantio no sentido do declive e declividade média da superfície de 10,5 %, o início da remoção dos resíduos foi com a aplicação de $1,4$ a $1,5 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$. Quando a quantidade de resíduos passou para 7.600 kg ha^{-1} o início da remoção dos resíduos foi verificado com a aplicação de vazões entre $1,6$ a $1,8 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ (MORAIS e COGO, 2001).

Na Figura 24 apresenta-se as imagens da superfície do solo no momento anterior à aplicação do escoamento superficial e depois da aplicação para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 7.500 kg ha^{-1} , plantio no sentido do declive e espaçamento normal entre plantas, declividade da superfície de 12 % e vazão de escoamento superficial de $2,51 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$.

Utilizando-se plantio no sentido do declive, onde os resíduos fixos não favorecem um barramento dos resíduos soltos e aliado à concavidade da superfície do solo na entre linha de plantio, a água escoar por caminhos preferenciais, transportando os resíduos somente nesta porção da área em estudo, expondo uma menor área da superfície em comparação com as situações onde foram utilizadas linhas de plantio em nível. A diminuição da restrição ao movimento da água causa um aumento de sua velocidade, reduzindo assim a profundidade do escoamento. Em condições de campo a concentração do escoamento superficial pode dar início a liberação e transporte de partículas de solo.

As variações na rugosidade da superfície do solo e o posicionamento das linhas de plantio das culturas podem favorecer ou dificultar a concentração do escoamento superficial ao longo de uma encosta. Espera-se uma maior concentração do escoamento superficial quando utiliza-se as linhas de plantio no sentido do declive onde os resíduos fixos não atuam como barreiras aos resíduos soltos e ao escoamento superficial.

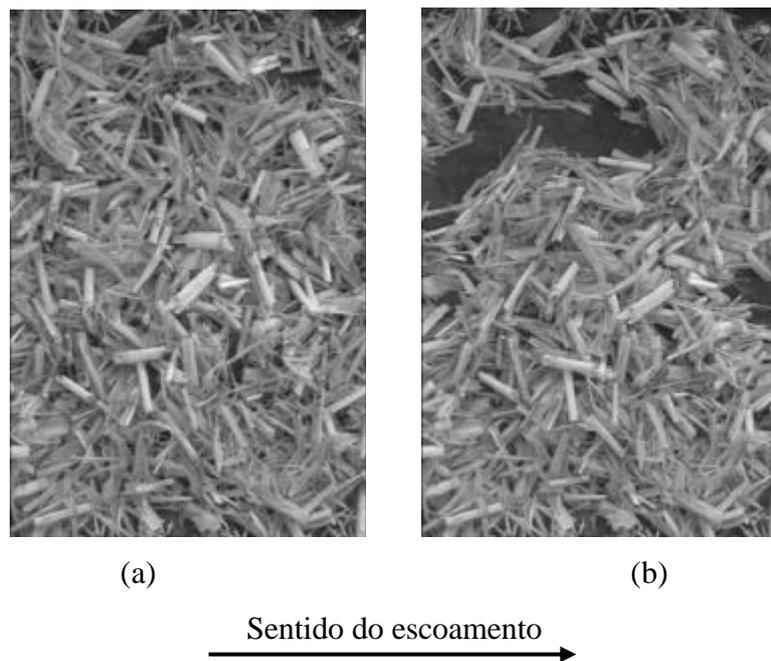


Figura 24. Imagem do momento anterior à aplicação do escoamento superficial para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 7.500 kg ha^{-1} , plantio no sentido do declive, espaçamento normal entre plantas, declividade da superfície de 12 % (a) e após a aplicação da vazão de escoamento superficial de $2,51 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ (b).

No Quadro 9 são apresentadas as porcentagens totais de superfície exposta antes e depois da aplicação do escoamento superficial de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e $2,51 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ utilizando-se as declividades de 4, 6, 8, 10 e 12 %, para quantidade de resíduos de milho soltos na superfície do solo equivalentes a 7.500 kg ha^{-1} , plantio no sentido do declive e espaçamento normal entre plantas. Observa-se que a porcentagem total de superfície exposta não ultrapassou o limite de 20 %, porém, a ΔSE ficou acima de 10 % para a vazão de $1,76 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ e declividade de 8 %, para vazão de $2,03 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ e declividades de 6 e 12 % e para a vazão de $2,51 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ nas declividades de 4, 10 e 12 %, evidenciando a necessidade de práticas para a interceptação do escoamento superficial caso esta situação ocorra a campo.

Quadro 9. Percentagem total de superfície exposta antes e depois da aplicação do escoamento superficial de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹ utilizando-se as declividades de 4, 6, 8, 10 e 12 %, para quantidade de resíduos de milho soltos na superfície do solo equivalentes a 7.500 kg ha⁻¹, plantio no sentido do declive e espaçamento normal entre plantas

Declividade	Antes	Depois					
		Vazões, L s ⁻¹ m ⁻¹					
		0,73	1,07	1,76	2,03	2,33	2,51
----- % -----	-----Total de superfície exposta, % -----						
4	0,6	0,0	0,4	1,2	4,7	2,7	15,2
6	0,6	0,0	0,6	1,0	12,2	6,0	4,9
8	0,5	0,0	0,6	16,0	7,0	9,8	7,7
10	0,4	0,8	1,0	5,1	5,7	5,3	18,8
12	0,5	0,0	0,4	1,5	13,9	8,1	17,9

Os valores de superfície total exposta antes da aplicação do escoamento correspondem à uma média de 12 repetições, ou seja, a superfície total exposta antes da aplicação do escoamento para os testes realizados com as vazões de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹. Os demais valores de superfície total exposta correspondem à média de duas repetições.

A equação ajustada para a quantidade de resíduos soltos de cultura de milho equivalente a 7.500 kg ha⁻¹, plantio no sentido do declive e espaçamento normal entre plantas, considerando o efeito conjunto da declividade e da vazão de escoamento superficial, é apresentada a seguir:

$$\Delta SE = 0,236 D^{0,660} Q^{2,665} \quad r^2 = 0,542 \quad (8)$$

O coeficiente de determinação da equação 8 foi menor do que nas situações onde utilizou-se quantidade de resíduos de milho soltos na superfície do solo equivalente a 7.500 kg ha⁻¹ para plantio em nível em ambos espaçamentos de 16 cm (equação 4) e de 32 cm entre resíduos fixos (equação 6).

O expoente da declividade foi maior que nos casos onde utilizou-se uma quantidade de resíduos de milho soltos na superfície do solo de 7.500 kg ha⁻¹, plantio em nível e espaçamento de 16 cm entre resíduos fixos (equação 4) e espaçamento de 32

cm entre resíduos fixos (equação 6). Já a vazão de escoamento superficial teve menor influência na ΔSE pois o seu expoente foi menor que o expoente obtido da equação 4 e na equação 6.

Na Figura 25 apresenta-se a variação da porcentagem da superfície exposta devido ao escoamento superficial para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 3.750 kg ha^{-1} , plantio no sentido do declive e espaçamento normal entre plantas. Neste caso o início da exposição se dá com a aplicação de uma vazão de $0,12 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ para a declividade de 8 % e $0,82 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ para a declividade de 6 %. Para se obter uma ΔSE de 10 % as vazões de escoamento superficial foram de $0,91 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ para a declividade de 8 % e $1,45 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ para a declividade de 6 %.

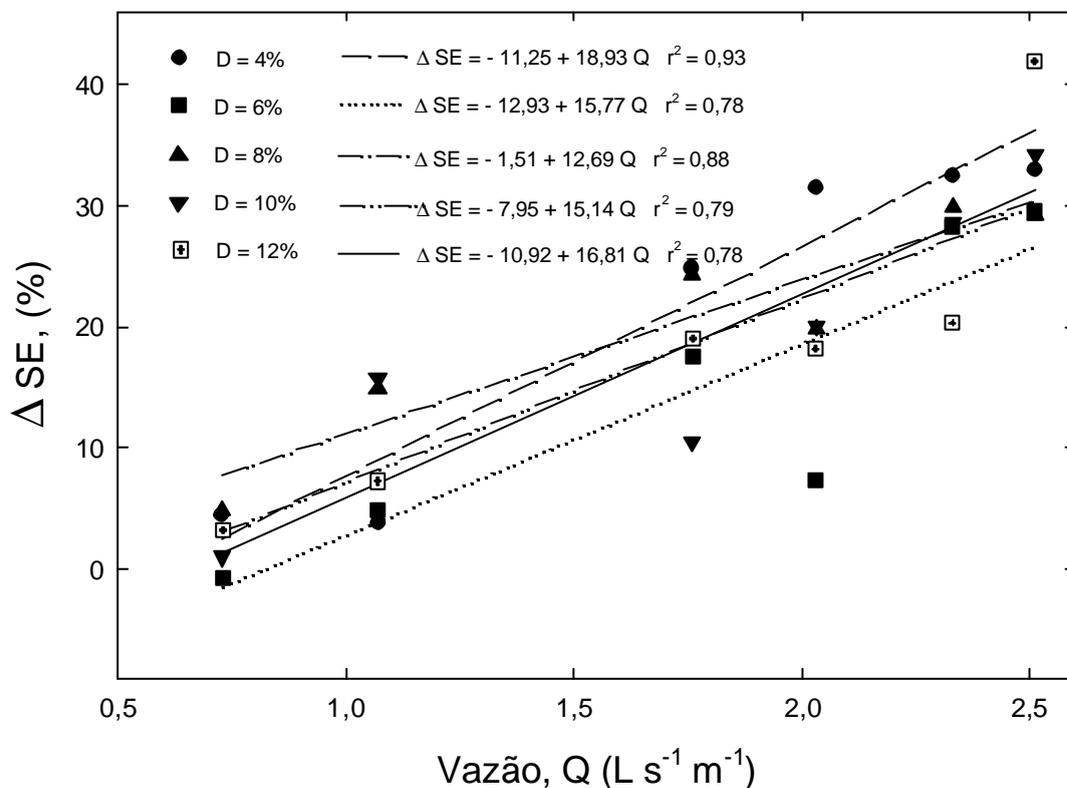


Figura 25. Variação da porcentagem da superfície exposta devido ao escoamento superficial considerando uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 3.750 kg ha^{-1} , plantio no sentido do declive e espaçamento normal entre plantas.

A ΔSE máxima chegou a 36,3 % para declividade de 4 % e vazão de escoamento superficial de $2,51 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$. Este valor ficou abaixo daquele quando utilizou-se a

mesma quantidade de resíduos e plantio em nível e espaçamento de 16 cm entre os resíduos fixos (41,2 %) e foi maior quando o plantio foi em nível com espaçamento de 32 cm entre resíduos fixos (29,4 %).

Na Figura 26 apresenta-se as imagens da superfície do solo no momento anterior à aplicação do escoamento superficial e depois da aplicação para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 3.750 kg ha^{-1} , plantio no sentido do declive, espaçamento normal entre plantas, declividade da superfície de 4 % e vazão de escoamento superficial de $2,51 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$. Observa-se a ocorrência da concentração do escoamento superficial no centro da entre linha de plantio e, como a quantidade de resíduos soltos equivalente a 3.750 kg ha^{-1} forma uma fina camada, o escoamento superficial consegue expor uma área maior comparada com a situação onde a quantidade de resíduos soltos era equivalente a 7.500 kg ha^{-1} .

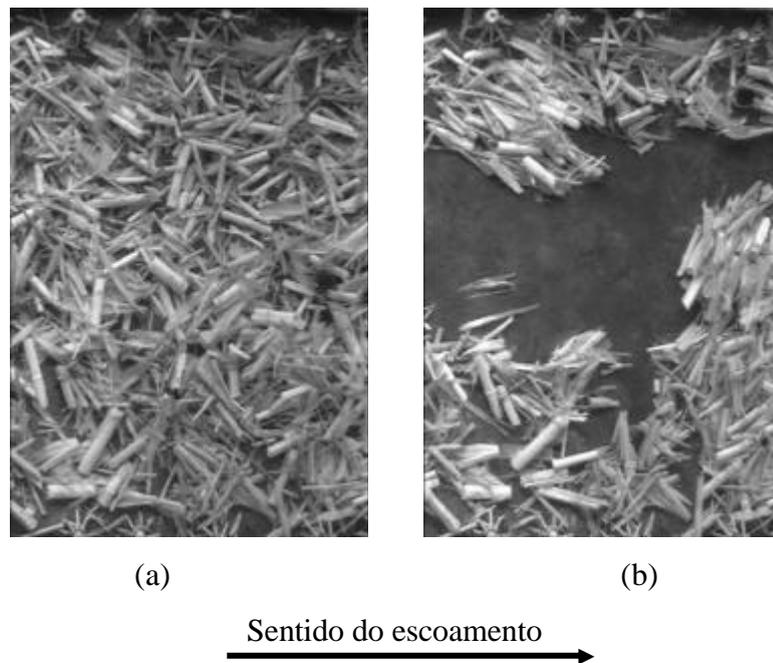


Figura 26. Imagem do momento anterior à aplicação do escoamento superficial para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 3.750 kg ha^{-1} , plantio no sentido do declive, espaçamento normal entre plantas, declividade da superfície de 4 % (a) e após a aplicação da vazão de escoamento superficial de $2,51 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ (b).

No Quadro 10 são apresentadas as percentagens totais de superfície exposta antes e depois da aplicação do escoamento superficial de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹ utilizando-se as declividades de 4, 6, 8, 10 e 12 %, para quantidade de resíduos de milho soltos na superfície do solo equivalente a 3.750 kg ha⁻¹, plantio no sentido do declive e espaçamento normal entre plantas. Observa-se que a exposição total da superfície do solo foi superior a 20 % quando utilizou-se a vazão de 0,73 L s⁻¹ m⁻¹ e declividades de 4 e 8 %, vazão de 1,07 L s⁻¹ m⁻¹ e declividades de 8 e 10 % e vazões de 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹ em todas as declividades estudadas, existindo então, a necessidade de prever práticas de controle de erosão caso estas situação venham a ocorrer em nível de campo.

Quadro 10. Percentagem total de superfície exposta antes e depois da aplicação do escoamento superficial de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹ utilizando-se as declividades de 4, 6, 8, 10 e 12 %, para quantidade de resíduos de milho soltos na superfície do solo equivalente a 3.750 kg ha⁻¹, plantio no sentido do declive e espaçamento normal entre plantas

Declividade	Antes	Depois					
		Vazões, L s ⁻¹ m ⁻¹					
		0,73	1,07	1,76	2,03	2,33	2,51
----- % -----	-----Total de superfície exposta, % -----						
4	12,2	22,6	18,4	30,5	46,1	38,6	46,8
6	15,7	14,1	19,0	30,8	24,7	44,7	47,6
8	15,4	21,6	27,6	32,9	38,2	48,0	47,2
10	13,9	12,6	24,1	22,8	35,0	47,6	51,7
12	12,6	16,5	16,8	34,4	33,1	30,7	54,1

Os valores de superfície total exposta antes da aplicação do escoamento correspondem à uma média de 12 repetições, ou seja, a superfície total exposta antes da aplicação do escoamento para os testes realizados com as vazões de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹. Os demais valores de superfície total exposta correspondem à média de duas repetições.

A equação ajustada para a quantidade de resíduos soltos de cultura de milho equivalente a 3.750 kg ha⁻¹, plantio no sentido do declive e espaçamento normal entre plantas considerando o efeito conjunto da declividade e da vazão de escoamento superficial, é apresentada a seguir:

$$\Delta SE = 6,713 D^{0,00055} Q^{1,702} \quad r^2 = 0,786 \quad (9)$$

Observa-se que os expoentes da declividade e da vazão são menores que os obtidos para as situações onde utilizou-se plantio em nível e espaçamento de 16 e 32 cm entre resíduos fixos (equações 5 e 7, respectivamente) que foram de 0,180 para a declividade e 2,363 para a vazão na equação 5 e 0,0039 para a declividade e 2,351 para a vazão na equação 8. O coeficiente de determinação da equação 9 foi menor que os obtidos para as equações 5 (0,899) e 7 (0,880).

Na Figura 27 apresenta-se a variação da percentagem da superfície exposta devido ao escoamento superficial para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 1.875 kg ha⁻¹, plantio no sentido do declive e espaçamento normal entre plantas.

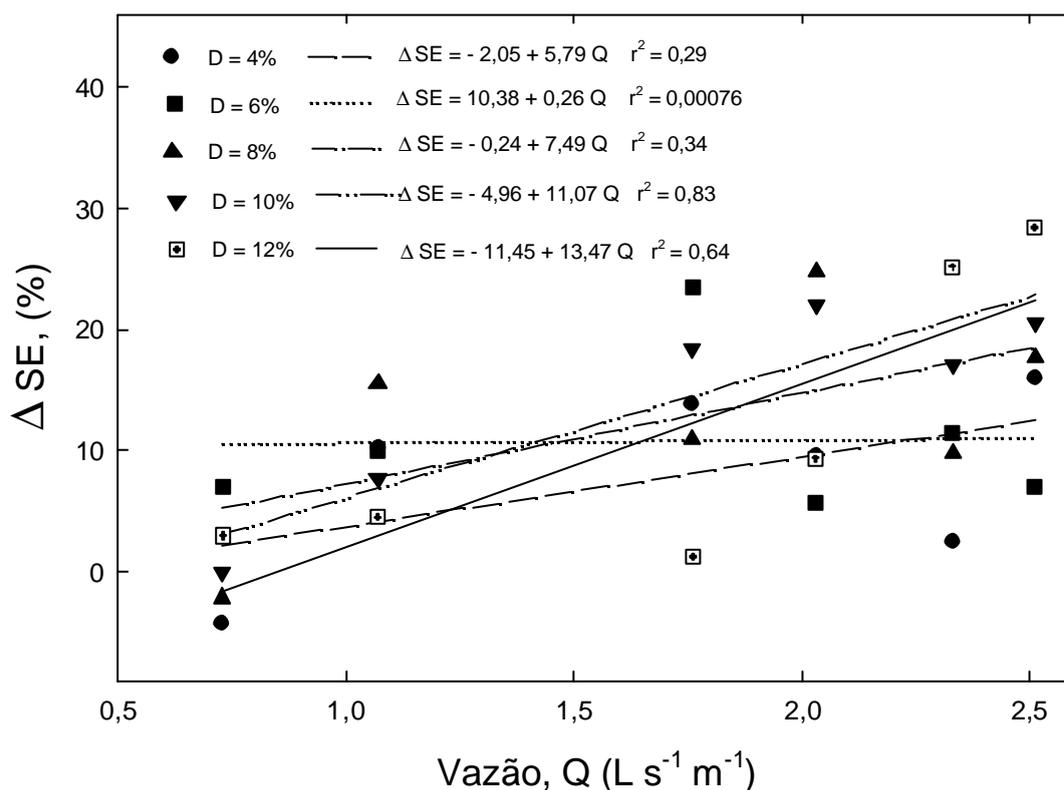


Figura 27. Variação da percentagem da superfície exposta devido ao escoamento superficial para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 1.875 kg ha⁻¹, plantio no sentido do declive e espaçamento normal entre plantas.

Obeve-se ajuste ($r^2 > 0,50$) somente para as declividades de 10 e 12 %. O início da exposição do solo é obtido com uma vazão de $0,45 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ para a declividade de 10 % e $0,85 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ para a declividade de 12 % (Figura 27). Para obter uma ΔSE de 10 % é necessário uma vazão de $1,35 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ para a declividade de 10 % e $1,67 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ para a declividade de 12 %.

Na Figura 28 apresenta-se as imagens da superfície do solo no momento anterior à aplicação do escoamento superficial e depois da aplicação para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 1.875 kg ha^{-1} , plantio no sentido do declive, espaçamento normal entre plantas, declividade da superfície de 12 % e vazão de escoamento superficial de $2,51 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$. Observa-se que com a utilização do equivalente a 1.875 kg ha^{-1} de resíduos soltos o escoamento consegue remover os resíduos de quase toda a superfície e não somente em uma pequena área no centro da entre linha de plantio como nos casos onde utilizou-se 7.500 e 3.750 kg ha^{-1} de resíduos soltos de milho.

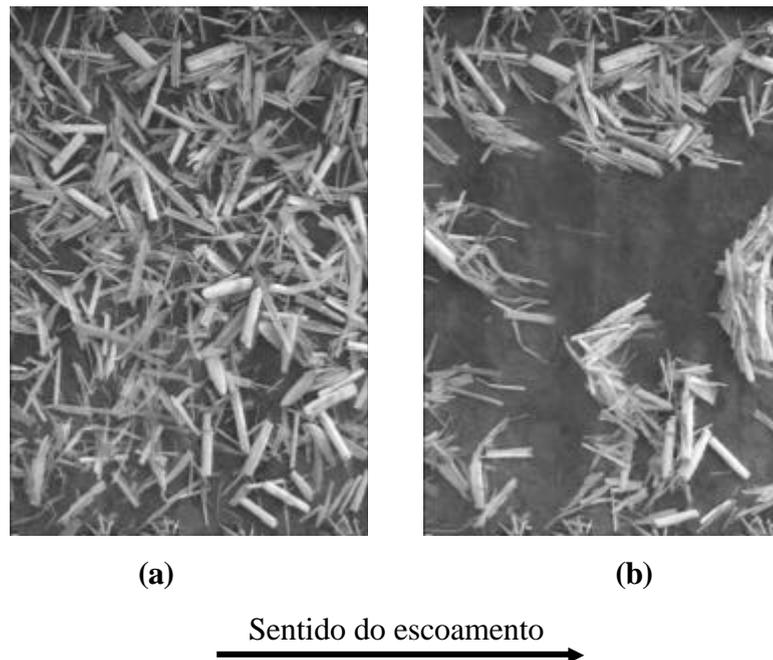


Figura 28. Imagem do momento anterior a aplicação do escoamento superficial considerando uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 1.875 kg ha^{-1} , plantio no sentido do declive e espaçamento normal entre plantas, declividade da superfície de 12 % (a) e após a aplicação da vazão de escoamento superficial de $2,51 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ (b).

No Quadro 11 são apresentadas as percentagens totais de superfície exposta antes e depois da aplicação do escoamento superficial de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹ utilizando-se as declividades de 4, 6, 8, 10 e 12 %, para quantidade de resíduos de milho soltos na superfície do solo equivalentes a 1.875 kg ha⁻¹, plantio no sentido do declive e espaçamento normal entre plantas. Observa-se que a exposição total da superfície do solo foi superior a 20 % para todas as declividades estudadas, mesmo antes da aplicação do escoamento superficial, evidenciando a necessidade de implementação de práticas para a produção de material vegetal e, ou, resíduos de culturas para cobrir, no mínimo, 80 % do solo.

Não obteve-se ajuste para condição onde utilizou-se a quantidade de resíduos soltos de cultura de milho equivalente a 1.875 kg ha⁻¹ considerando o efeito conjunto da declividade e da vazão de escoamento superficial.

Quadro 11. Percentagem total de superfície exposta antes e depois da aplicação do escoamento superficial de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹ utilizando-se as declividades de 4, 6, 8, 10 e 12 %, para quantidade de resíduos de milho soltos na superfície do solo equivalentes a 1.875 kg ha⁻¹, plantio no sentido do declive e espaçamento normal entre plantas

Declividade	Antes	Depois					
		Vazões, L s ⁻¹ m ⁻¹					
		0,73	1,07	1,76	2,03	2,33	2,51
----- % -----	-----Total de superfície exposta, % -----						
4	54,5	42,1	61,1	64,1	56,2	71,3	80,3
6	49,4	50,0	50,4	67,5	64,3	62,0	67,1
8	48,8	44,2	60,0	62,2	65,0	66,4	71,5
10	48,6	53,8	55,3	58,3	61,3	75,8	72,4
12	49,0	48,3	58,1	56,2	58,7	74,3	69,8

Os valores de superfície total exposta antes da aplicação do escoamento correspondem à uma média de 12 repetições, ou seja, a superfície total exposta antes da aplicação do escoamento para os testes realizados com as vazões de 0,73; 1,07; 1,76; 2,03; 2,33 e 2,51 L s⁻¹ m⁻¹. Os demais valores de superfície total exposta correspondem à média de duas repetições.

Existe, portanto, a necessidade de implementação de práticas de controle da erosão mesmo quando utiliza-se o sistema plantio direto como sistema de manejo do

solo, pois as áreas agrícolas estão sujeitas a ocorrência de escoamento superficial em eventos chuvosos de grande intensidade. A utilização conjunta de práticas conservacionistas para a diminuição dos riscos de incidência da erosão hídrica no sistema plantio direto, principalmente o uso de terraceamento, tem sido recomendado por diversos pesquisadores (BERTOL e COGO, 1996; COGO e BERTOL, 1998; BERTOL, et al., 2000).

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram as seguintes conclusões:

- em todas as lavouras estudadas a quantidade média de resíduos de cultura de milho esteve acima da quantidade recomendada para um efetivo controle da erosão;
- as áreas amostradas possuíam uma conformação da superfície do solo convexa nas proximidades da linha de plantio e côncava na entrelinha da cultura do milho;
- com a utilização de uma quantidade de resíduos soltos na superfície do solo equivalente a 7.500 kg ha^{-1} obteve-se, para todas as condições de disposição das linhas de plantio, superfície total exposta inferior a 20 % tanto antes como após a aplicação do escoamento superficial, sendo que a vazão que acarretou variação da superfície exposta devido ao escoamento superficial maior que 10 % variou em função da declividade da superfície e da disposição das linhas de plantio;
- com a utilização de quantidade de resíduos soltos na superfície do solo equivalente a 3.750 kg ha^{-1} obteve-se cobertura satisfatória da superfície do solo antes da aplicação do escoamento superficial. Entretanto, obteve-se superfície total exposta maior que 20 % com a utilização de vazões em geral superiores a $1,0 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-1}$;
- a utilização de quantidade de resíduos soltos na superfície do solo do equivalente a 1.875 kg ha^{-1} não atende ao critério da exposição total da superfície do solo menor que 20 %;
- as vazões de escoamento superficial que dão início ao transporte dos resíduos variam em função da declividade da superfície e da disposição das linhas de plantio;

- a vazão de escoamento superficial teve influência mais expressiva na percentagem de exposição da superfície do solo do que a declividade em todas as equações para a estimativa da variação da superfície exposta em decorrência do escoamento superficial;
- com as equações obtidas neste trabalho torna-se possível estimar a variação da superfície do solo exposta em função da declividade da superfície do solo e da vazão de escoamento superficial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÃO, P.U.R.; GOEFERT, C.F.; GUERRA, M.; ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A. Efeitos de sistemas de preparos do solo sobre características de um Latossolo Roxo distrófico. **R. Bras. Ci. Solo**, v.3, p.169-172, 1979.

ALVARENGA, R.C.; CABEZAS, W.A.L.; CRUZ, J.C.; SANTANA, D.P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, v.22, p.25-36, 2001.

ALVES, A.G.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Relações da erosão do solo com a persistência da cobertura vegetal morta. **R. Bras. Ci. Solo**, v.19, p.127-132, 1995.

ALVES, M.C.; CABEDA, M.S.V. Infiltração de água em um Podzólico Vermelho Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. **R. Bras. Ci. Solo**, v.23, p.753-761, 1999.

AMADO, T.J.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa do manejo do resíduo cultural de soja na redução das perdas de solo por erosão hídrica. **R. Bras. Ci. Solo**, v.13, p.251-257, 1989.

BARCELOS, A.A.; CASSOL, E.A.; DENARDIN, J.E. Infiltração de água em um Latossolo Vermelho Escuro sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.23, p.35-43, 1999.

BERTOL, I. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico distrófico sob diferentes preparos de solo e rotação de culturas. **R. Bras. Ci. Solo**, v.18, p.267-271, 1994.

BERTOL, I.; COGO, N.P. **Terraceamento em sistemas de preparo conservacionista de solo: um novo conceito**. Lages, NRS-SBCS, 1996. 41p. (Boletim técnico, 2).

BERTOL, I.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Comprimento crítico de declive em sistemas de preparos conservacionistas de solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.21, p.139-148, 1997.

BERTOL, I.; COGO, N.P.; CASSOL, E.A. Distância entre terraços usando o comprimento crítico de rampa em dois preparos conservacionistas de solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.24, p.417-425, 2000.

BRUM, A.C.R.; ELTZ, F.L.F.; AMADO, T.J.C. **Uso, manejo e conservação do solo**. Santa Maria: UFSM, 1998, 95p. Notas de Aula.

CHOW, V. T. **Open channel hydraulics**. 2.ed. New York, McGraw-Hill, 1959. 680p.

COGO, N.P.; FOSTER, G.R.; MOLDENHAUER, W.C. Flow rates-soil erosion relationships as affected by wheat residue cover: an attempt to define slope length limits for conservation tillage. **R. Bras. Ci. Solo**, v.20, p.475-483, 1996.

COGO, N.P.; BERTOL, I. O papel das práticas mecânicas e não-mecânicas no controle da erosão hídrica do solo: conceitos e princípios. In: NUERNBERG, N.J., ed.: **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages, SC: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 1998. Cap. 4, p.53-75.

CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A.; ALVARENGA, R.C.; SANTANA, D.P. Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola. **Informe Agropecuário**, v.22, p.13-24, 2001.

DE MARIA, I.C. Erosão e terraços em plantio direto. **Boletim Informativo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v.24. n.3 Jun-Set. 1999.

DENARDIN, J.E. Enfoque sistêmico em sistema plantio direto: fundamentos e implicações do plantio direto nos sistemas de produção agropecuária. In: NUERNBERG, N.J., ed.: **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages, SC: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 1998. Cap. 1, p.7-14.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Londrina, IAPAR/GTZ, 1991. 272p.

FIORIN, J.E. Plantas recuperadoras da fertilidade do solo. In: **CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO EM PLANTIO DIRETO**, 3., 1999, Cruz Alta. Fertilidade do solo em plantio direto. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1999. 110p.

FOSTER, G.R. Modeling the erosion process. In: HAAN, C.T. et al., eds., **HIDROLOGICAL MODELING OF SMALL WATERSHEDS** (ASAE Monogr., 5). Am. Soc. Agr. Eng., St. Joseph, 1982. 321p.

FOSTER, G.R.; JOHNSON, C.B.; MOLDENHAUER, W.C. Critical slope lengths for unanchored cornstalk and wheat straw residue. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.25, p.935-939, 1982.

- GILLEY, J.E.; ELLIOT, W.J.; LAFLEN, J.M.; SIMANTON, J.R. Critical shear stress and critical flow rates for initiation of rilling. **Journal of Hydrology**, v.142, p.251-271, 1993.
- HUDSON, N.W. **Soil conservation**. 3 ed. Iowa State University Press. 1995. 391p.
- LACERDA, M.P.C.; ALVARENGA, M.I.N. Recursos naturais da microbacia. **Informe Agropecuário**, v.21, p.21-32, 2000.
- LAL, R. **Soil erosion – research methods**. Delray Beach – Flórida – USA: Soil and Water Conservation Society and St. Lucie Press, 1994. 340p
- LEVIEN, R.; COGO, N.P. Erosão na cultura do milho em sucessão à aveia preta e pousio descoberto, em preparo convencional e plantio direto, com tração animal e tratorizada. **R. Bras. Ci. Solo**, v.25, p.683-692, 2001.
- LOMBARDI NETO, F.; DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; DECHEN, S.C.F.; VIEIRA, S.R. Efeito da quantidade de resíduos culturais de milho nas perdas de solo e água. **R. Bras. Ci. Solo**, v.12, p.71-75, 1988.
- LOPES, P.R.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. **R. Bras. Ci. Solo**, v.11, p.71-75, 1987.
- MEYER, L.D.; WISCHMEIER, W.H. Mathematical simulation of the process of soil erosion by water. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.12, p.754-758, 762, 1969.
- MEYER, L.D.; ZUHDI, B.A.; COLEMAN, N.L.; PRASAD, S.D. Transport of sand-size sediment along crop-row furrows. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.26, p.106-111, 1983.
- MERTEN, G.H.; MIELNICZUK, J. Distribuição do sistema radicular e dos nutrientes em Latossolo Roxo sob dois sistemas de preparo de solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.15, p.369-374, 1991.
- MORAIS, L.F.B.; COGO, N.P. Comprimento crítico de rampa para diferentes manejos de resíduos culturais em sistema de semeadura direta em um Argissolo vermelho da Depressão Central (RS). **R. Bras. Ci. Solo**, v.25, p.1041-1051, 2001.
- NEARING, M.A. A probabilistic model of soil detachment by shallow turbulent flow. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.34, p.81-85, 1991.
- NEARING, M.A.; BRADFORD, J.M.; PARKER, S.C. Soil detachment by shallow flow at low slope. **Soil. Sci. Soc. Am. J.**, v.55, p.339-344, 1991.
- OLIVEIRA, L.F.C. **Modelo para transporte de solutos no solo e no escoamento superficial**. Viçosa, MG: UFV, 171p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.

PAULETTI, V.; van der BERG, H. Devo manter o plantio direto? **Revista Plantio Direto**, edição 51, Mai-Jun, 1999.

PEREIRA, S.B. **Desprendimento e arraste do solo em decorrência do escoamento superficial**. Viçosa, MG: UFV, 81p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.

PRUSKI, F.F. A engenharia de conservação de solo e água aplicada à realidade brasileira. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, Foz do Iguaçu. 2001. (em CD ROOM).

RIBEIRO, M.F.S.; DAROT, M.R.; BENASSI, D.A.; MULLER, J.; PEROTTI, L. O plantio direto na região de mata araucária. In: ALVAREZ, V.H.; FONTES, L.E.; FONTES, M.P.F. Ed. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p.201-216.

SÁ, M.F.M. Caracterização do meio físico da região dos Campos Gerais do Paraná. **Revista Plantio Direto**, edição especial, Mar, 1996.

SCHÄFER, M.J.; REICHERT, J.M.; CASSOL, E.A.; ELTZ, F.L.F.; REINERT, D.J. Erosão em sulcos em diferentes preparos e estados de consolidação do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.25, p.419-430, 2001a.

SCHÄFER, M.J.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; CASSOL, E.A. Erosão em entressulcos em diferentes preparos e estados de consolidação do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.25, p.431-441, 2001b.

Van LIEW, M.W.; SAXTON, K.E. Slope steepness and incorporated residue effects on rill erosion. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.26, p.1738-1743, 1983.

WATSON, D.A.; LAFLEN, J.M. Soil strength, slope, and rainfall intensity effects on interrill erosion. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.29, p.98-102, 1986.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning**. Washington, USDA, 1978. 58p. (Agricultural Handbook, 537).

APÊNDICES

APÊNDICE A

Quantidades de resíduos de milho soltos, fixos e totais presentes na superfície do solo em cada amostragem realizada nas sete propriedades estudadas na região de Ponta Grossa (PR).

APÊNDICE A

Quadro 1A - Quantidades de resíduos de milho, soltos, fixos e totais presentes na superfície do solo em cada amostragem realizada nas sete propriedades estudadas na região de Ponta Grossa (PR)

Propriedade	Amostragem	Resíduos soltos	Resíduos fixos	Totais
		-----kg ha ⁻¹ -----		
1	1	5.123,3	6.251,2	11.374,5
	2	8.648,9	8.546,7	17.195,6
	3	9.728,3	3.202,2	12.930,5
	média	7.833,5	6.000,0	13.833,5
2	1	12.515,6	2.037,8	14.553,3
	2	10.124,4	2.197,8	12.322,2
	3	7.168,9	2.568,9	9.737,8
	média	9.936,3	2.268,1	12.204,4
3	1	12.497,8	3.168,9	15.666,7
	2	5.824,4	2.677,8	8.502,2
	3	8.424,4	2.631,1	11.055,6
	média	8.915,6	2.825,9	11.741,5
4	1	6.511,1	2.724,4	9.235,6
	2	10.868,9	2.768,9	13.637,8
	3	3.166,7	2.051,1	5.217,8
	média	6.848,9	2.514,8	9.363,7
5	1	3.420,0	3.733,3	7.153,3
	2	3.013,3	5.535,6	8.548,9
	3	11.346,7	3.882,2	15.228,9
	média	5.926,7	4.383,7	10.310,4
6	1	5.588,9	2.962,2	8.551,1
	2	10.702,2	3.933,3	14.635,6
	3	7.297,8	1.442,2	8.740,0
	média	7.863,0	2.779,3	10.642,2
7	1	7.191,1	5.197,8	12.388,9
	2	6.113,3	4.951,1	11.064,4
	3	2.871,1	4.737,8	7.608,9
	média	5.391,9	4.962,2	10.354,1

APÊNDICE B

Valores da diferença de nível entre os valores observados e a linha da declividade média nas diferentes posições de instalação do perfilômetro para as amostragens realizadas nas sete propriedades estudadas.

APÊNDICE B

Quadro 1B – Valores da diferença de nível entre os valores observados e a linha da declividade média nas diferentes posições de instalação do perfilômetro para a primeira amostragem na propriedade número 1

Distância entre hastes (cm)	Posições de instalação do perfilômetro (cm)					
	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
----- cm -----						
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,5	0,2	0,2	0,3	0,4	-0,3	-0,6
5,0	0,2	0,5	0,6	0,9	-0,3	-0,6
7,5	0,4	0,6	0,8	1,1	1,1	-0,3
10,0	0,3	0,7	1,0	1,4	0,6	-0,4
12,5	0,1	0,4	0,9	1,8	1,0	-0,9
15,0	0,7	0,4	1,1	1,8	1,5	-0,4
17,5	0,0	0,7	0,7	2,6	1,1	-0,7
20,0	-0,3	0,7	1,2	2,8	0,1	-1,6
22,5	-0,4	0,1	-0,1	2,7	-0,4	-2,5
25,0	-0,4	-0,5	-0,3	0,2	-0,8	-2,5
27,5	-0,5	-0,9	-0,6	-0,2	-1,1	-2,6
30,0	-0,4	-0,7	-0,4	0,0	-1,0	-2,5
32,5	-0,5	-1,1	-0,2	1,2	-0,9	-2,3
35,0	-0,4	-0,7	0,3	1,3	-1,3	-1,6
37,5	0,0	-0,5	0,9	2,2	-1,3	-1,2
40,0	0,7	-0,4	1,7	-0,8	-1,9	1,8
42,5	-0,5	0,4	2,9	0,0	-1,3	2,4
45,0	-0,6	0,5	3,3	2,7	-2,0	2,6
47,5	1,0	1,1	3,0	0,2	-3,4	2,3
50,0	1,7	1,9	2,1	1,7	3,4	3,4
52,5	-0,2	1,1	0,5	2,1	3,6	2,6
55,0	0,8	0,8	0,5	1,9	2,7	2,0
57,5	0,9	0,2	0,2	1,5	0,6	0,2
60,0	-0,1	-0,4	0,0	0,4	0,0	-0,2
62,5	-0,9	0,0	0,1	0,3	-0,3	-1,2
65,0	-0,8	-0,8	-0,4	-0,2	-0,5	-1,9
67,5	-0,4	-0,9	-1,2	-1,0	-1,0	-2,3
70,0	-0,9	-0,8	-1,4	-1,1	-1,5	-2,3
72,5	-0,7	-0,6	-1,7	-1,0	-1,4	-2,2
75,0	-1,1	-0,4	-1,7	-1,0	-1,4	-1,8
77,5	-1,3	-0,5	-1,3	-0,9	-1,1	-1,6
80,0	-0,9	-0,3	-0,4	-0,7	-0,8	-1,3
82,5	-0,8	0,2	-0,5	-0,5	-0,4	-0,9
85,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
87,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
90,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quadro 2B - Valores da diferença de nível entre os valores observados e a linha da declividade média nas diferentes posições de instalação do perfilômetro para a segunda amostragem na propriedade número 1

Distância entre hastes (cm)	Posições de instalação do perfilômetro (cm)					
	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,5	-0,4	0,0	0,5	-0,5	0,1	-1,3
5,0	-0,3	0,2	0,0	-0,4	0,5	-1,0
7,5	-0,4	0,2	-0,9	-0,2	0,0	-1,4
10,0	-0,6	-0,4	-0,7	-0,6	-0,5	-1,3
12,5	-1,5	-1,1	-0,8	-0,2	-1,1	-1,5
15,0	-1,5	-1,1	-0,8	-0,5	-0,6	-1,5
17,5	-1,8	-1,1	-0,9	-0,5	-0,8	-1,6
20,0	-1,7	-1,2	-0,5	-0,4	-0,5	-1,2
22,5	-1,3	-1,1	-0,3	0,0	-0,5	-0,2
25,0	-1,2	-1,2	0,0	0,0	-0,3	-0,2
27,5	-1,2	-0,7	0,3	0,4	0,2	0,6
30,0	-0,8	-0,4	0,8	1,1	0,1	1,0
32,5	0,1	-0,4	0,6	0,4	0,2	1,1
35,0	1,0	0,5	0,4	0,5	0,5	0,9
37,5	1,2	0,8	0,3	0,7	0,7	3,4
40,0	1,4	0,8	0,1	1,0	0,3	4,0
42,5	1,7	1,6	0,5	1,1	0,5	2,0
45,0	1,0	2,0	1,0	1,7	1,0	1,7
47,5	1,4	1,6	1,2	1,8	1,2	1,6
50,0	0,3	1,3	1,5	1,8	1,4	1,1
52,5	0,2	1,0	1,3	1,8	0,6	1,0
55,0	0,3	0,9	1,6	2,4	0,8	1,2
57,5	0,5	1,5	1,8	2,5	0,9	1,3
60,0	0,5	1,8	2,0	2,3	1,0	1,4
62,5	0,7	2,2	2,3	2,6	1,5	1,4
65,0	1,3	2,5	2,2	2,8	1,5	1,5
67,5	1,8	1,7	1,6	2,5	0,4	0,6
70,0	2,0	1,3	1,3	0,9	0,1	0,0
72,5	1,0	0,7	1,5	0,7	-0,5	-0,3
75,0	0,3	0,5	1,0	0,3	-0,5	-0,4
77,5	0,0	0,5	0,9	0,4	-1,0	-0,5
80,0	0,0	0,4	0,8	0,7	-0,9	-0,4
82,5	-0,3	0,0	0,4	0,5	-1,1	-0,3
85,0	-0,2	0,1	0,0	0,3	-0,6	0,1
87,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
90,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quadro 3B - Valores da diferença de nível entre os valores observados e a linha da declividade média nas diferentes posições de instalação do perfilômetro para a terceira amostragem na propriedade número 1

Distância entre hastes (cm)	Posições de instalação do perfilômetro (cm)					
	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,5	-0,4	-0,1	-0,1	0,6	0,3	-0,4
5,0	-0,1	0,2	0,4	0,6	0,2	-0,1
7,5	0,1	0,1	1,3	0,6	0,0	0,3
10,0	0,4	0,2	1,2	1,6	1,3	0,6
12,5	0,3	0,2	0,8	1,4	1,5	0,8
15,0	0,5	-0,4	0,2	1,2	1,3	1,2
17,5	0,5	-0,3	0,1	1,1	0,9	1,9
20,0	-0,2	-0,4	-0,5	0,9	1,0	1,5
22,5	-0,8	-1,3	-1,2	0,0	0,6	0,7
25,0	-1,1	-1,5	-2,0	-0,3	0,3	0,7
27,5	-0,4	-1,2	-2,0	0,4	0,9	1,6
30,0	-1,0	-2,0	-1,8	0,1	0,9	0,9
32,5	-1,8	-1,7	-2,4	-0,9	-1,1	-0,5
35,0	-2,5	-1,7	-3,4	-1,6	-1,0	0,2
37,5	-3,4	-2,4	-3,9	-2,0	-1,2	0,2
40,0	-3,3	-2,0	-3,6	-1,2	-1,7	-0,2
42,5	-1,5	-0,6	-0,5	-1,8	-1,8	-0,4
45,0	-0,5	-1,1	-1,5	-2,7	-2,7	0,6
47,5	-0,4	-1,0	-2,1	-1,0	-0,8	0,5
50,0	-0,8	-0,5	-0,7	-1,2	-0,3	0,6
52,5	0,4	-2,0	-0,5	-1,8	0,7	-0,2
55,0	-0,2	-1,7	-1,7	-2,1	0,5	-0,5
57,5	-1,5	-2,0	-1,6	-1,5	0,3	-0,8
60,0	-1,2	-1,6	-1,3	-0,5	0,4	-0,8
62,5	-0,9	-0,8	-1,7	-0,9	-0,5	-0,3
65,0	-0,4	-0,3	-2,4	-0,9	-1,2	0,2
67,5	-2,4	-0,6	-3,1	-0,9	-1,1	0,1
70,0	-3,2	-0,5	-3,5	-0,8	-1,6	-0,1
72,5	-3,3	-0,9	-3,4	-0,8	-0,5	0,4
75,0	-3,4	-0,8	-3,0	-1,0	0,8	-0,5
77,5	-2,9	-0,7	-1,9	-1,0	1,2	-0,5
80,0	-1,8	0,1	-1,2	-0,4	1,2	-0,3
82,5	-2,0	-0,2	-0,8	-0,4	1,5	-2,4
85,0	-1,5	-0,1	0,1	0,1	1,0	-2,2
87,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
90,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quadro 4B - Valores da diferença de nível entre os valores observados e a linha da declividade média nas diferentes posições de instalação do perfilômetro para a primeira amostragem na propriedade número 2

Distância entre hastes (cm)	Posições de instalação do perfilômetro (cm)					
	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,5	-0,2	0,2	-0,5	-0,5	0,0	0,0
5,0	-0,8	-0,2	-0,6	0,0	0,2	-0,4
7,5	-1,0	-0,6	0,0	-0,8	-0,2	-1,7
10,0	-1,6	-0,9	-0,3	-0,7	-0,6	-1,7
12,5	-1,6	-0,8	-0,1	-0,8	-0,5	-0,6
15,0	-1,5	-0,7	0,0	-0,5	0,2	0,3
17,5	-1,4	-1,2	-0,3	-0,4	-0,1	0,0
20,0	-1,2	-0,9	0,5	0,3	0,3	0,0
22,5	-0,4	-0,6	0,7	-0,2	0,9	0,4
25,0	-0,3	-0,6	1,2	0,0	0,8	0,3
27,5	-0,8	-0,4	1,1	0,0	0,4	0,6
30,0	-0,3	0,1	1,1	0,7	0,5	0,9
32,5	-0,5	0,2	0,8	0,0	0,4	0,7
35,0	-0,2	0,3	0,5	0,0	0,7	0,5
37,5	0,2	0,9	0,4	-0,2	1,0	-0,9
40,0	0,8	1,0	0,4	-0,2	0,8	-1,8
42,5	0,8	1,1	0,9	-0,1	-0,1	-0,6
45,0	1,2	1,3	0,5	0,2	0,3	-0,6
47,5	1,4	1,0	0,7	-0,4	1,2	-0,9
50,0	1,1	1,2	0,8	-0,5	1,5	-1,0
52,5	0,6	2,1	-0,4	-1,1	2,0	-1,1
55,0	-0,5	3,3	-0,3	-1,0	2,2	-1,2
57,5	0,2	1,5	-0,7	-0,9	0,3	-1,2
60,0	0,0	0,5	-0,3	-0,1	0,3	-0,6
62,5	-0,1	-0,2	-0,8	0,2	0,4	-0,3
65,0	0,4	0,2	-0,4	-0,1	0,1	0,4
67,5	0,8	0,2	0,2	-0,2	-0,1	0,7
70,0	-0,2	0,6	0,0	0,1	0,0	0,0
72,5	-0,3	0,4	0,1	0,4	0,2	-0,3
75,0	-0,2	0,5	-0,5	-0,4	0,0	-0,4
77,5	-0,5	0,5	-0,4	-0,9	0,4	-0,2
80,0	-0,2	0,1	-0,2	-1,1	0,5	0,1
82,5	0,1	0,2	-0,2	-0,5	0,3	0,0
85,0	0,0	0,4	-0,3	-0,3	0,5	0,0
87,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
90,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quadro 5B – Valores da diferença de nível entre os valores observados e a linha da declividade média nas diferentes posições de instalação do perfilômetro para a segunda amostragem na propriedade número 2

Distância entre hastes (cm)	Posições de instalação do perfilômetro (cm)					
	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,5	-0,4	-0,2	-0,5	0,2	0,0	-0,9
5,0	0,0	0,0	-0,3	0,6	-0,3	-0,4
7,5	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,7	-0,8
10,0	-0,2	0,0	-0,2	-0,7	-0,7	-1,0
12,5	-0,4	0,3	-0,3	-0,8	-0,5	-1,2
15,0	0,0	-0,1	-1,1	-1,1	-0,5	-1,4
17,5	-0,2	-0,2	-1,2	-1,1	-0,7	-1,5
20,0	-0,5	-0,4	-1,2	-0,8	-1,2	-1,2
22,5	-0,1	-0,5	-1,5	-1,0	-0,6	-0,4
25,0	-0,5	-0,7	-1,3	-1,1	-0,4	-0,3
27,5	-0,4	-0,7	-1,0	-1,0	-0,3	-0,7
30,0	-0,3	-0,5	-1,1	-0,9	-0,4	-0,4
32,5	-0,2	-0,6	-0,6	-0,6	-1,0	-0,7
35,0	0,0	-0,3	-0,6	-0,3	-0,2	-1,0
37,5	0,2	-0,1	-0,6	-0,3	0,3	-0,8
40,0	0,0	-0,4	-0,5	-0,4	-0,4	-0,7
42,5	0,0	-0,4	0,7	0,4	-0,3	-0,8
45,0	-1,1	0,1	0,5	0,5	-1,3	-1,1
47,5	-1,5	0,4	0,4	-1,8	-0,7	-0,8
50,0	-1,6	1,7	0,0	2,0	0,1	-0,5
52,5	-0,3	1,6	-0,7	1,1	-0,6	-0,9
55,0	0,0	0,5	-1,1	0,9	-0,5	-0,9
57,5	0,1	-0,1	-0,4	1,2	-0,4	-1,1
60,0	-0,7	-0,4	-1,0	0,3	-1,2	-1,1
62,5	0,1	-0,3	-1,1	-0,4	-1,0	-1,0
65,0	-1,2	-0,8	-1,5	-0,5	-0,5	-0,8
67,5	-1,6	-0,6	-1,2	-0,1	-0,5	-0,6
70,0	-1,7	-1,0	-1,0	-0,2	-0,2	-0,3
72,5	-1,4	-1,4	-1,1	-0,5	0,3	-0,1
75,0	-1,8	-1,5	-1,1	-0,6	0,0	0,1
77,5	-1,6	-1,4	-1,2	-0,3	-0,1	0,0
80,0	-1,3	-0,9	-1,1	-0,2	-0,4	-0,2
82,5	-1,4	-0,6	-1,2	-0,4	-0,4	-0,2
85,0	-0,9	-0,4	-0,5	-0,1	-0,2	0,3
87,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
90,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quadro 6B – Valores da diferença de nível entre os valores observados e a linha da declividade média nas diferentes posições de instalação do perfilômetro para a terceira amostragem na propriedade número 2

Distância entre hastes (cm)	Posições de instalação do perfilômetro (cm)					
	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,5	0,3	-0,2	0,2	-0,3	0,0	0,3
5,0	0,0	-0,4	0,7	0,1	0,2	0,0
7,5	0,0	-0,4	1,2	0,1	-0,4	-0,3
10,0	0,4	-0,5	1,5	0,3	-0,6	-0,7
12,5	0,0	-0,5	1,2	-0,3	-0,7	-0,6
15,0	0,1	-0,1	0,5	-0,8	-0,7	-0,7
17,5	0,6	-0,3	0,2	-1,0	-1,1	-1,1
20,0	1,5	-0,5	-0,3	-1,0	-1,0	-1,6
22,5	-0,1	0,0	-0,6	-0,5	-0,7	-1,5
25,0	-0,3	0,0	0,0	-0,3	-0,6	-1,2
27,5	-0,4	-0,5	-0,2	-0,4	-0,8	-1,2
30,0	-0,3	-0,3	-0,1	-0,2	-1,0	-0,8
32,5	-0,3	-0,6	0,2	-1,0	-1,4	-1,7
35,0	0,6	0,0	1,3	-1,0	-1,2	-2,0
37,5	0,5	0,0	-0,4	-0,6	-1,7	-1,8
40,0	0,7	-0,8	-0,3	-0,9	-1,5	-1,4
42,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-1,0	-0,8
45,0	-0,5	-0,5	-0,6	-0,5	-1,0	-0,9
47,5	-0,5	-0,9	-1,0	-0,7	-1,0	-0,7
50,0	-0,6	-1,6	-1,8	-0,6	-1,2	-0,7
52,5	-0,4	-2,2	-1,3	-0,9	-1,4	-0,3
55,0	-0,3	-2,4	-1,5	-1,1	-1,2	-0,3
57,5	-0,5	-2,2	-1,3	-1,3	-1,1	-0,5
60,0	-0,4	-1,8	-0,6	-0,4	-1,0	-0,4
62,5	-0,3	-1,6	-0,8	0,7	-0,9	-0,4
65,0	-0,6	-1,4	-0,7	0,2	-0,6	-0,2
67,5	-0,5	-0,8	0,0	-0,4	-0,3	-0,4
70,0	0,1	-0,5	0,0	-0,5	-0,2	-0,6
72,5	0,6	-1,1	0,1	-0,3	0,0	-0,6
75,0	0,3	-1,2	0,8	0,0	0,0	-0,4
77,5	0,3	-0,8	0,8	-0,1	-0,4	-0,5
80,0	0,6	-0,1	0,6	0,0	-0,4	-0,3
82,5	0,3	0,2	0,3	-0,7	-0,2	-0,3
85,0	0,0	0,5	0,0	-0,4	0,0	0,0
87,5	-0,2	0,3	0,1	-0,2	-0,1	0,0
90,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quadro 7B – Valores da diferença de nível entre os valores observados e a linha da declividade média nas diferentes posições de instalação do perfilômetro para a primeira amostragem na propriedade número 3

Distância entre hastes (cm)	Posições de instalação do perfilômetro (cm)					
	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,5	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3
5,0	0,2	0,5	-0,1	0,0	-0,1	0,2
7,5	0,6	0,4	0,0	-0,3	-0,1	0,3
10,0	0,9	0,6	0,2	0,0	0,0	0,3
12,5	0,7	0,5	0,3	0,3	0,4	0,4
15,0	1,2	0,5	0,6	0,5	0,5	1,0
17,5	1,3	1,1	1,2	0,8	0,9	1,1
20,0	1,2	0,8	0,9	0,9	0,8	1,2
22,5	1,9	0,2	1,2	1,6	1,3	1,8
25,0	1,3	0,3	1,6	2,1	1,5	2,3
27,5	1,1	1,0	1,8	2,8	1,8	3,1
30,0	1,2	0,5	1,5	1,3	1,7	2,2
32,5	1,5	0,4	1,2	1,5	0,7	2,5
35,0	1,5	0,4	1,0	0,9	1,1	1,4
37,5	1,8	0,8	1,3	1,8	0,8	1,6
40,0	1,7	1,4	0,5	2,3	0,0	2,0
42,5	1,6	1,3	0,3	3,8	0,6	2,0
45,0	1,6	1,9	0,7	3,2	0,6	3,9
47,5	2,2	1,5	1,4	1,9	1,1	1,6
50,0	2,2	1,5	1,7	1,8	1,1	1,6
52,5	1,6	0,9	1,3	0,0	1,0	0,8
55,0	2,1	1,1	1,1	0,6	0,9	0,7
57,5	1,1	0,4	0,6	0,2	0,6	0,6
60,0	1,2	0,6	0,4	0,8	0,5	0,4
62,5	0,9	0,4	0,4	0,3	0,8	0,3
65,0	1,2	0,6	0,3	1,0	0,3	0,4
67,5	1,0	0,8	0,6	0,7	0,3	0,6
70,0	1,1	0,8	0,4	0,7	-0,2	0,6
72,5	0,9	0,4	0,2	0,4	-0,5	0,0
75,0	1,1	0,6	-0,2	0,4	-0,6	-0,3
77,5	0,3	0,4	-0,3	0,8	0,0	-0,6
80,0	0,3	0,2	-0,2	1,2	-0,2	-0,5
82,5	0,5	-0,1	-0,3	0,1	-0,1	-0,5
85,0	0,5	-0,2	-0,5	-0,1	-0,4	-0,8
87,5	0,7	0,4	-0,2	0,0	-0,2	-0,5
90,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quadro 8B – Valores da diferença de nível entre os valores observados e a linha da declividade média nas diferentes posições de instalação do perfilômetro para a segunda amostragem na propriedade número 3

Distância entre hastes (cm)	Posições de instalação do perfilômetro (cm)					
	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,5	0,4	0,1	-0,2	0,4	0,1	0,4
5,0	-0,2	0,8	0,7	0,6	0,6	0,8
7,5	-0,1	1,1	0,9	0,3	0,8	0,7
10,0	0,5	1,2	1,1	0,4	1,0	1,0
12,5	0,7	1,1	1,0	1,6	1,1	1,2
15,0	1,0	1,1	1,1	1,4	1,1	1,3
17,5	1,3	1,5	1,2	1,9	1,4	1,4
20,0	1,5	1,4	1,0	1,4	1,7	0,9
22,5	1,5	2,1	1,8	1,5	2,3	1,2
25,0	2,2	2,1	1,5	1,3	2,1	1,1
27,5	2,3	2,1	2,0	4,4	1,8	1,1
30,0	4,9	2,1	1,7	4,4	1,8	1,1
32,5	5,4	1,5	2,1	2,6	2,2	1,7
35,0	2,4	1,1	2,7	2,4	2,4	0,8
37,5	1,5	1,0	1,1	1,3	2,0	1,4
40,0	1,7	1,0	0,8	0,5	2,6	1,3
42,5	1,7	1,0	1,1	0,6	1,9	1,6
45,0	1,5	0,5	1,2	0,4	2,0	1,4
47,5	1,5	0,3	1,5	1,2	1,4	1,2
50,0	2,2	0,4	1,4	1,0	1,3	1,0
52,5	1,0	0,5	1,5	0,5	0,3	0,5
55,0	0,7	0,2	1,2	1,5	0,0	0,4
57,5	1,1	0,3	1,3	1,1	0,0	0,0
60,0	0,1	0,8	0,9	1,6	0,0	-0,5
62,5	0,2	0,4	0,3	0,8	0,3	-0,6
65,0	0,3	0,4	0,1	0,3	-0,3	-0,6
67,5	0,6	-0,2	-0,2	0,5	0,0	-0,5
70,0	0,4	-0,2	-0,3	0,2	-0,3	-0,7
72,5	0,1	-0,6	-0,7	-0,3	-0,2	-0,7
75,0	0,3	-0,9	-0,8	-0,2	-0,5	-0,9
77,5	-0,3	-1,0	-0,5	-0,2	0,2	-0,7
80,0	-0,3	-0,7	-0,7	-0,5	0,0	-0,6
82,5	0,0	-0,7	-0,4	0,7	0,4	-0,9
85,0	-0,1	-0,3	-0,5	0,0	-0,5	-1,2
87,5	-0,1	-0,3	-0,4	0,2	0,2	-1,2
90,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quadro 9B – Valores da diferença de nível entre os valores observados e a linha da declividade média nas diferentes posições de instalação do perfilômetro para a terceira amostragem na propriedade número 3

Distância entre hastes (cm)	Posições de instalação do perfilômetro (cm)					
	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,5	0,2	0,2	0,1	0,4	-0,1	0,0
5,0	1,0	0,5	2,2	1,2	0,4	0,7
7,5	0,9	1,0	1,1	1,2	0,7	0,3
10,0	0,8	0,5	1,2	1,3	1,0	0,1
12,5	1,1	0,9	1,3	1,4	0,6	0,2
15,0	1,6	1,0	0,6	1,6	0,8	0,7
17,5	1,0	1,3	0,6	1,3	0,9	0,5
20,0	0,4	0,8	1,2	1,4	0,8	0,8
22,5	1,7	1,5	2,0	1,1	1,5	0,9
25,0	1,9	0,6	2,0	1,5	1,7	0,7
27,5	1,5	1,1	2,0	2,2	2,1	1,0
30,0	1,7	1,0	1,6	2,7	1,9	0,8
32,5	1,3	1,3	1,9	2,5	2,3	0,7
35,0	1,1	0,9	1,4	2,8	2,8	0,5
37,5	1,6	0,6	1,5	2,1	2,6	0,4
40,0	1,9	1,2	1,7	2,0	2,9	1,2
42,5	1,8	2,0	1,7	2,6	2,3	1,4
45,0	1,8	2,2	2,0	2,3	2,4	2,0
47,5	2,0	3,3	2,0	2,8	3,5	1,7
50,0	1,9	3,5	2,2	2,5	3,3	1,8
52,5	1,8	1,5	2,4	2,1	2,4	1,4
55,0	1,6	1,4	1,9	2,2	2,9	1,7
57,5	1,0	1,5	0,9	2,3	2,5	1,3
60,0	1,1	1,6	1,5	2,0	2,1	1,3
62,5	2,1	2,1	1,6	2,1	2,0	1,3
65,0	1,2	2,6	1,6	2,0	1,6	1,7
67,5	1,6	1,7	1,2	2,2	1,2	1,5
70,0	0,8	1,4	0,6	1,2	0,6	0,7
72,5	0,9	0,8	0,0	1,0	0,5	0,3
75,0	0,3	-0,1	0,3	0,7	0,2	-0,2
77,5	0,3	0,0	0,2	1,0	0,2	0,2
80,0	0,0	-0,2	1,4	0,4	0,0	0,4
82,5	-0,2	-0,1	0,2	0,2	0,1	0,2
85,0	-0,2	-0,3	0,3	0,2	0,2	-0,1
87,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
90,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quadro 10B – Valores da diferença de nível entre os valores observados e a linha da declividade média nas diferentes posições de instalação do perfilômetro para a primeira amostragem na propriedade número 4

Distância entre hastes (cm)	Posições de instalação do perfilômetro (cm)					
	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,5	-0,2	0,1	-0,3	0,2	0,3	0,0
5,0	0,6	-0,2	-0,6	0,1	0,1	0,0
7,5	-0,3	-0,6	-1,1	-0,4	-0,8	-1,0
10,0	-0,1	-0,3	-0,5	-0,3	-0,7	-1,2
12,5	1,1	0,6	0,0	0,0	0,0	-1,0
15,0	1,7	0,7	0,5	0,1	0,7	-0,9
17,5	1,8	0,2	0,8	0,5	0,4	-0,5
20,0	1,7	-0,5	1,3	0,6	0,4	-0,2
22,5	1,9	-0,1	2,0	0,9	0,2	0,6
25,0	2,5	0,1	2,4	1,0	0,3	0,6
27,5	2,9	1,6	3,1	2,3	0,1	1,1
30,0	2,4	1,7	2,8	3,3	0,9	1,3
32,5	1,5	2,1	2,2	2,0	1,1	1,1
35,0	1,7	2,2	1,7	0,2	1,3	0,1
37,5	0,9	1,3	1,1	0,4	1,0	-0,7
40,0	0,3	1,0	0,2	0,2	-0,2	-0,8
42,5	0,2	1,5	0,1	0,4	-0,2	0,1
45,0	0,4	2,7	0,0	0,5	0,2	0,4
47,5	0,7	3,3	0,3	0,8	0,5	0,7
50,0	1,5	3,4	0,6	1,1	0,9	0,9
52,5	2,1	3,0	0,8	1,6	1,6	0,8
55,0	2,6	2,1	1,7	2,0	2,0	0,4
57,5	3,1	2,7	1,5	2,8	1,4	0,0
60,0	2,7	4,0	1,6	2,0	0,0	0,3
62,5	2,0	3,2	0,6	1,8	-0,7	0,5
65,0	1,1	2,8	0,3	2,4	0,0	0,9
67,5	1,0	0,9	-0,1	0,7	-0,2	0,5
70,0	1,1	1,2	-0,3	0,6	-0,4	-0,3
72,5	0,4	0,5	-0,4	0,2	-0,8	-0,3
75,0	0,0	0,2	-1,1	0,1	-0,9	-0,7
77,5	0,1	0,2	-1,1	0,4	-0,6	-0,6
80,0	-0,2	0,0	-1,0	0,2	-0,4	-0,5
82,5	-0,4	0,2	-0,7	0,2	-0,2	-0,1
85,0	0,0	0,4	-0,3	0,2	-0,1	-0,2
87,5	-0,1	0,5	-0,1	0,3	0,0	-0,3
90,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quadro 11B – Valores da diferença de nível entre os valores observados e a linha da declividade média nas diferentes posições de instalação do perfilômetro para a segunda amostragem na propriedade número 4

Distância entre hastes (cm)	Posições de instalação do perfilômetro (cm)					
	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,5	-0,1	-0,9	0,1	-0,1	-0,1	-0,3
5,0	0,2	-0,5	0,5	-0,1	0,1	0,1
7,5	0,1	-0,5	0,3	-0,3	0,0	-0,3
10,0	0,5	-1,2	0,4	0,0	-0,1	0,3
12,5	0,8	-0,4	0,4	0,5	0,1	-0,2
15,0	0,9	1,0	0,9	0,4	0,1	0,2
17,5	0,9	0,8	1,0	0,4	0,2	0,2
20,0	0,8	0,0	1,1	0,3	0,3	0,4
22,5	0,5	-0,5	1,4	0,4	0,3	0,6
25,0	0,2	-0,4	0,8	0,2	0,2	0,5
27,5	0,6	-0,6	0,6	0,6	0,7	0,5
30,0	0,8	-1,8	0,7	0,4	0,4	0,5
32,5	0,5	-1,0	1,2	0,4	0,0	0,9
35,0	0,6	-1,0	1,1	0,4	0,5	0,8
37,5	0,9	-0,8	1,9	0,5	0,6	0,8
40,0	0,3	-0,4	1,7	0,1	-0,2	1,5
42,5	1,2	-0,1	1,9	0,0	0,2	1,5
45,0	2,7	0,3	2,1	0,1	0,4	1,6
47,5	3,6	0,6	1,8	0,4	0,4	2,1
50,0	1,4	0,9	1,6	0,4	0,3	1,3
52,5	0,5	-0,2	1,3	0,6	-0,2	1,1
55,0	0,9	0,3	1,3	0,8	0,1	0,6
57,5	1,5	0,3	1,3	1,9	-0,1	0,3
60,0	1,8	0,4	1,3	2,6	0,0	0,3
62,5	1,7	-0,2	0,5	2,2	-0,4	0,2
65,0	1,1	-0,2	0,6	1,9	-0,5	0,0
67,5	0,6	-0,3	0,1	0,5	-0,3	0,1
70,0	0,0	-1,1	-0,1	0,5	-0,4	-0,4
72,5	0,4	-1,4	0,0	-0,5	-0,2	-0,2
75,0	0,6	-1,1	0,2	-1,3	-0,1	0,2
77,5	0,8	-0,9	-0,1	-1,2	-0,5	0,6
80,0	0,3	-0,7	-0,1	-0,6	-0,8	0,9
82,5	0,2	-0,5	-0,2	-0,2	-0,3	0,8
85,0	-0,1	-0,6	-0,2	0,3	0,2	0,2
87,5	0,0	-0,3	0,0	0,2	0,9	0,3
90,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quadro 12B – Valores da diferença de nível entre os valores observados e a linha da declividade média nas diferentes posições de instalação do perfilômetro para a terceira amostragem na propriedade número 4

Distância entre hastes (cm)	Posições de instalação do perfilômetro (cm)					
	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,5	0,3	0,2	0,1	-0,1	0,3	0,5
5,0	0,8	0,4	0,9	0,0	0,5	1,3
7,5	0,9	0,4	0,5	-0,2	0,4	1,7
10,0	1,1	0,5	0,3	0,7	0,0	1,9
12,5	0,5	0,3	0,4	1,3	0,2	1,5
15,0	0,4	0,5	0,8	1,4	0,4	1,7
17,5	0,4	0,6	1,0	1,4	0,6	1,5
20,0	0,6	0,3	1,1	0,9	0,9	1,8
22,5	0,7	0,7	1,0	0,7	1,5	2,0
25,0	0,9	0,5	1,5	0,5	1,1	2,1
27,5	1,7	0,9	1,6	0,6	0,6	2,4
30,0	1,6	1,3	1,8	0,5	0,4	2,4
32,5	2,0	1,1	1,9	0,8	0,3	2,1
35,0	1,9	1,9	1,7	0,8	0,1	0,9
37,5	0,9	0,9	1,3	0,0	-0,3	-0,2
40,0	0,9	1,4	1,1	-0,4	-1,2	0,0
42,5	0,8	1,4	1,2	-0,6	-1,5	-0,7
45,0	0,8	1,6	1,1	-0,2	-1,4	-0,4
47,5	1,3	1,4	1,2	-0,3	-1,1	-0,1
50,0	1,5	1,4	0,8	-0,7	-1,2	0,1
52,5	0,0	1,0	0,7	-0,4	-0,1	1,6
55,0	1,3	1,6	1,3	0,2	0,7	2,0
57,5	0,8	1,6	1,8	0,5	0,9	1,4
60,0	0,5	2,3	2,2	0,8	1,2	1,5
62,5	0,6	2,0	1,9	1,0	1,0	1,6
65,0	1,2	2,5	2,1	1,2	-0,2	1,5
67,5	1,1	2,6	1,7	0,9	0,3	1,0
70,0	1,4	2,4	1,3	1,0	0,1	0,8
72,5	1,2	2,2	1,4	0,2	0,1	0,7
75,0	0,2	2,6	1,0	0,1	0,4	0,4
77,5	0,7	1,0	1,1	-0,1	0,7	0,7
80,0	0,3	1,1	1,0	-0,1	0,6	0,0
82,5	0,5	0,7	-0,2	-0,1	0,5	0,0
85,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
87,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
90,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quadro 13B – Valores da diferença de nível entre os valores observados e a linha da declividade média nas diferentes posições de instalação do perfilômetro para a primeira amostragem na propriedade número 5

Distância entre hastes (cm)	Posições de instalação do perfilômetro (cm)					
	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,5	0,1	-0,3	0,3	-0,3	0,0	0,2
5,0	0,4	-0,7	0,4	-0,2	0,1	0,4
7,5	0,6	-0,7	0,1	-0,2	0,5	0,5
10,0	0,7	-0,8	-0,3	-0,1	0,9	0,6
12,5	0,5	-0,2	0,3	-0,1	1,3	1,2
15,0	1,0	-0,2	0,8	0,5	1,9	2,0
17,5	1,5	0,5	1,0	1,5	3,0	2,4
20,0	1,3	0,7	1,3	1,7	3,1	2,7
22,5	1,4	0,6	1,3	2,0	3,0	3,4
25,0	1,3	0,9	1,3	1,7	2,6	3,5
27,5	1,6	1,2	1,9	1,9	3,0	3,6
30,0	2,0	1,7	2,2	1,9	3,0	3,3
32,5	2,0	2,1	2,7	2,0	3,0	3,2
35,0	1,8	1,9	2,9	1,9	2,6	2,5
37,5	1,8	1,9	3,3	1,5	2,9	2,4
40,0	1,7	1,6	3,2	0,9	2,1	2,1
42,5	2,0	1,4	2,4	1,1	1,8	2,4
45,0	2,3	1,7	2,1	0,9	2,1	2,3
47,5	2,5	1,4	3,1	0,6	1,8	2,6
50,0	2,9	1,4	2,8	0,4	1,9	2,3
52,5	2,7	1,4	3,2	0,7	1,5	2,5
55,0	2,8	1,3	4,1	2,2	2,1	2,8
57,5	2,5	1,6	3,0	2,0	2,2	3,1
60,0	3,2	2,0	2,5	1,8	2,4	2,9
62,5	3,8	3,0	1,3	1,2	1,9	2,1
65,0	3,1	2,3	0,5	0,8	1,6	2,1
67,5	2,8	1,7	1,3	1,0	1,7	2,4
70,0	1,7	1,7	2,1	1,6	1,3	1,8
72,5	1,0	1,1	2,0	2,2	1,4	1,4
75,0	1,1	1,0	1,1	1,3	1,5	1,0
77,5	1,2	0,4	1,2	0,9	1,6	0,7
80,0	1,0	0,0	0,8	0,1	1,6	0,4
82,5	0,5	-0,3	0,8	0,3	0,4	-0,1
85,0	-0,2	0,0	0,5	-0,1	0,1	-0,1
87,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
90,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quadro 14B – Valores da diferença de nível entre os valores observados e a linha da declividade média nas diferentes posições de instalação do perfilômetro para a segunda amostragem na propriedade número 5

Distância entre hastes (cm)	Posições de instalação do perfilômetro (cm)					
	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,5	0,6	0,4	0,3	0,2	-0,1	-0,1
5,0	-0,2	0,4	0,7	0,4	-0,2	-0,2
7,5	-0,9	-0,2	0,4	0,0	-0,2	-0,3
10,0	-0,9	-0,7	0,3	-0,2	-0,4	-0,5
12,5	-1,0	-0,7	-0,3	-0,1	-0,4	-1,2
15,0	-0,8	-0,9	-0,6	-0,4	-0,3	-0,2
17,5	-0,5	-0,5	-0,1	-0,1	0,4	-0,5
20,0	-0,4	-0,1	-0,5	-0,3	0,2	-0,2
22,5	-0,3	0,0	-0,5	-0,1	0,1	0,0
25,0	-0,1	0,0	-0,6	-0,3	0,1	0,4
27,5	0,4	0,2	-0,6	-0,5	0,1	-0,2
30,0	0,0	-0,2	-0,7	-0,4	0,2	-0,4
32,5	0,0	-0,5	-0,3	-0,4	0,5	-0,4
35,0	0,2	-0,3	-0,8	-0,2	0,1	-0,3
37,5	0,2	0,0	-0,5	0,0	0,2	0,0
40,0	0,9	0,7	-0,4	0,8	0,2	-0,3
42,5	1,4	1,3	-0,1	2,1	1,3	-0,1
45,0	1,8	1,8	0,5	0,2	0,2	0,1
47,5	1,8	2,0	1,0	0,4	0,4	0,1
50,0	1,3	1,3	1,2	0,0	0,1	-0,1
52,5	1,4	0,4	0,3	0,5	-1,1	-0,8
55,0	1,7	0,9	0,4	1,5	-0,3	-0,3
57,5	1,7	1,1	0,4	1,2	0,1	-0,1
60,0	2,4	1,6	2,0	1,4	1,3	0,5
62,5	2,1	0,0	0,9	1,0	1,0	0,1
65,0	1,9	1,3	1,2	1,5	1,8	0,3
67,5	1,8	1,4	1,3	1,8	1,6	0,0
70,0	1,5	0,8	1,5	1,8	1,9	-0,2
72,5	1,0	0,3	0,9	1,3	1,2	-0,9
75,0	0,3	0,2	-0,4	0,8	0,5	-1,7
77,5	-0,1	-0,2	-0,5	0,7	0,2	-1,8
80,0	-0,3	-0,4	-0,2	0,6	-0,6	-1,1
82,5	-0,3	-0,4	-0,3	-0,2	-0,7	-1,0
85,0	-0,6	-0,1	0,0	-0,4	-0,7	-1,2
87,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
90,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quadro 15B – Valores da diferença de nível entre os valores observados e a linha da declividade média nas diferentes posições de instalação do perfilômetro para a terceira amostragem na propriedade número 5

Distância entre hastes (cm)	Posições de instalação do perfilômetro (cm)					
	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,5	0,4	-0,1	0,0	-0,2	-0,1	0,8
5,0	-0,1	0,4	0,0	0,1	0,0	1,2
7,5	-0,2	0,2	0,2	-0,5	-0,2	0,7
10,0	0,0	0,3	0,2	-1,1	-0,1	0,1
12,5	0,0	-0,1	-0,6	-1,7	-0,2	-0,3
15,0	-0,3	-0,3	-1,0	-2,0	-0,4	-0,1
17,5	0,4	-0,5	-1,1	-1,5	-0,3	0,7
20,0	-0,1	-0,1	-0,7	-1,3	-0,1	0,4
22,5	0,0	0,3	-0,8	-1,2	0,0	0,6
25,0	-0,2	-0,2	0,0	-0,9	0,0	0,5
27,5	-0,4	-0,1	0,3	-0,7	-0,4	0,1
30,0	-0,6	-0,5	-0,4	-0,2	-0,8	-0,2
32,5	-1,0	-0,5	-0,1	-0,3	-0,5	-0,4
35,0	-0,4	-0,6	0,6	-0,4	-0,6	-0,4
37,5	0,2	0,9	1,1	-0,2	-0,1	-0,3
40,0	0,5	1,0	1,2	-0,6	0,5	-0,7
42,5	0,7	1,1	0,5	-0,1	0,3	-1,4
45,0	0,5	1,5	1,0	0,5	0,3	-1,6
47,5	0,6	0,6	1,2	0,3	0,2	-0,7
50,0	0,5	0,8	0,2	0,0	0,0	-0,9
52,5	0,4	-0,4	0,2	-0,4	-0,9	-0,4
55,0	0,4	0,0	0,1	0,1	0,0	0,2
57,5	0,3	0,1	0,8	0,0	0,1	0,1
60,0	0,3	0,4	0,2	0,3	0,8	1,1
62,5	0,0	0,3	0,2	0,6	0,9	2,2
65,0	0,3	0,9	0,3	0,8	0,8	1,6
67,5	0,5	1,4	0,7	0,7	1,0	1,5
70,0	0,1	1,1	0,9	0,3	0,5	1,1
72,5	-1,3	0,5	0,6	-0,2	0,0	0,8
75,0	-0,6	0,2	0,6	0,0	0,1	-0,1
77,5	-0,5	0,6	0,2	0,0	0,6	-0,8
80,0	-0,2	0,5	-0,1	0,3	0,5	-0,8
82,5	0,1	0,6	-0,2	0,0	0,4	-0,3
85,0	0,4	-0,2	-0,4	-0,2	0,4	-0,4
87,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
90,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quadro 16B – Valores da diferença de nível entre os valores observados e a linha da declividade média nas diferentes posições de instalação do perfilômetro para a primeira amostragem na propriedade número 6

Distância entre hastes (cm)	Posições de instalação do perfilômetro (cm)					
	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,5	-0,1	-0,4	0,3	0,2	0,3	-0,5
5,0	-0,1	-0,1	0,0	0,2	0,8	-0,5
7,5	-0,1	0,4	0,0	-0,1	0,8	-0,6
10,0	-0,5	0,2	0,2	0,0	0,5	-0,4
12,5	-0,9	0,0	-0,2	0,7	-0,5	-0,2
15,0	-0,7	-0,9	-0,1	1,4	-0,4	0,2
17,5	0,3	0,4	0,4	1,3	0,0	0,4
20,0	-0,2	1,1	0,3	1,5	0,5	0,4
22,5	-0,3	1,9	1,4	1,4	0,7	0,4
25,0	0,4	3,0	2,0	1,1	1,2	-0,4
27,5	1,3	3,6	2,8	0,8	1,2	-0,3
30,0	2,0	1,9	3,2	0,9	1,2	-0,2
32,5	3,8	1,9	2,6	0,6	0,1	0,5
35,0	2,2	1,6	3,5	0,5	0,5	-0,4
37,5	2,6	2,3	3,6	-0,8	1,4	-1,6
40,0	2,4	3,2	2,5	-0,1	1,6	-1,7
42,5	2,9	2,5	3,3	0,4	0,2	-0,9
45,0	2,0	2,2	2,8	0,6	0,6	-0,7
47,5	2,3	2,0	2,8	1,0	-0,4	-0,6
50,0	2,3	2,6	1,2	1,1	-0,5	-0,8
52,5	1,0	1,6	1,4	0,2	-0,4	-0,6
55,0	0,9	1,7	1,6	-0,3	-0,3	-0,7
57,5	0,1	1,0	1,4	-0,1	-0,2	-0,8
60,0	-0,5	1,4	0,6	0,3	-0,4	-0,6
62,5	-0,8	1,3	0,5	-0,1	-0,9	-0,4
65,0	-1,2	1,1	0,1	-0,4	-1,0	-0,7
67,5	-0,9	0,5	0,1	-0,5	-0,9	-0,7
70,0	-0,5	0,2	0,2	-0,6	-1,0	-0,9
72,5	-0,3	0,2	0,2	-0,5	-1,2	-0,6
75,0	-0,2	0,1	0,3	-0,4	-0,9	-0,5
77,5	-0,3	-0,1	0,5	0,2	-1,0	0,0
80,0	-0,1	0,1	0,5	-0,1	-2,0	-0,1
82,5	0,8	0,0	0,9	0,0	-1,4	-0,1
85,0	1,5	-0,1	0,9	0,1	-0,4	0,1
87,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
90,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quadro 17B – Valores da diferença de nível entre os valores observados e a linha da declividade média nas diferentes posições de instalação do perfilômetro para a segunda amostragem na propriedade número 6

Distância entre hastes (cm)	Posições de instalação do perfilômetro (cm)					
	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,5	-0,3	0,0	-0,6	-0,2	-0,3	-0,3
5,0	-0,1	0,3	-1,1	0,1	0,0	-0,2
7,5	0,3	-0,2	-1,4	0,2	0,0	-0,4
10,0	0,7	-0,8	-1,3	0,3	0,0	-0,5
12,5	0,6	-0,6	-0,6	0,3	0,0	-0,8
15,0	0,6	-0,6	-0,5	0,0	0,1	-0,7
17,5	0,5	-0,3	-0,7	0,0	0,4	-0,6
20,0	0,5	-0,4	-0,8	-0,2	0,2	-0,8
22,5	0,6	-0,3	-0,8	-0,3	0,1	-0,3
25,0	0,4	0,2	-0,9	0,6	0,2	-0,1
27,5	0,4	0,3	-0,8	0,4	0,6	0,3
30,0	0,4	0,5	-0,6	0,7	0,8	0,6
32,5	0,4	0,6	-0,2	0,9	1,6	1,0
35,0	0,4	0,2	0,0	0,8	2,1	0,6
37,5	0,5	0,5	0,3	0,5	2,3	0,9
40,0	0,1	0,6	0,2	0,9	2,4	0,8
42,5	0,6	1,0	1,3	1,0	2,5	1,0
45,0	0,7	1,4	1,2	1,3	2,3	0,9
47,5	1,2	1,3	1,7	1,9	3,4	0,5
50,0	0,9	0,5	1,7	2,0	3,0	1,6
52,5	0,0	0,7	1,6	1,3	2,1	0,4
55,0	0,8	1,9	1,4	1,8	2,0	0,9
57,5	-0,2	1,1	1,2	2,2	1,9	0,8
60,0	-0,8	0,3	0,4	0,6	1,1	0,5
62,5	-1,0	-0,2	-0,1	0,0	0,6	0,0
65,0	-0,4	0,5	0,2	0,4	1,5	0,6
67,5	0,0	0,3	0,4	0,6	1,6	0,7
70,0	-0,1	0,2	0,8	0,6	1,6	0,4
72,5	-0,4	0,0	1,0	1,0	1,4	0,7
75,0	-0,4	0,3	1,0	1,3	1,8	1,1
77,5	-0,3	0,5	1,1	1,1	1,9	0,9
80,0	0,2	0,4	1,7	0,4	2,0	0,6
82,5	0,3	0,2	1,9	0,6	2,4	0,6
85,0	-0,8	-0,3	0,5	0,4	1,2	0,4
87,5	-0,8	-1,0	0,3	0,0	-0,2	0,7
90,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quadro 18B – Valores da diferença de nível entre os valores observados e a linha da declividade média nas diferentes posições de instalação do perfilômetro para a terceira amostragem na propriedade número 6

Distância entre hastes (cm)	Posições de instalação do perfilômetro (cm)					
	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,5	0,2	0,0	-0,1	-0,1	0,3	0,0
5,0	0,8	-0,1	0,0	0,0	-1,1	0,4
7,5	0,6	0,0	0,1	-0,8	-1,7	0,2
10,0	0,3	-0,6	0,0	-1,3	-1,5	0,2
12,5	-0,2	-1,2	0,2	-1,5	-1,2	-0,1
15,0	-0,2	-0,8	0,3	-1,8	-0,8	-0,3
17,5	0,0	-0,2	0,5	-1,4	-0,4	-0,1
20,0	-0,6	-0,4	0,4	-1,1	-0,6	-0,2
22,5	-0,5	-0,1	0,4	-0,3	-0,6	-0,4
25,0	-0,4	-1,0	0,3	-0,4	-0,9	-0,4
27,5	-0,4	-1,2	0,6	-1,0	-1,0	-0,2
30,0	-0,4	-0,8	0,5	-1,0	-1,2	-0,5
32,5	0,4	-0,3	0,7	-0,6	-1,0	-0,7
35,0	0,1	0,0	0,6	0,1	-1,1	-0,9
37,5	0,7	1,3	1,0	0,5	-0,6	-0,7
40,0	1,4	1,3	1,2	0,1	-0,2	-0,2
42,5	1,4	0,9	1,1	0,0	-0,6	0,0
45,0	1,5	0,2	0,7	0,7	-0,5	0,3
47,5	1,9	0,5	0,7	0,6	0,8	0,5
50,0	2,1	0,3	0,4	0,2	1,0	0,8
52,5	1,7	-0,5	0,0	-0,4	-0,3	0,7
55,0	1,5	-0,2	0,2	-0,5	-0,6	-0,1
57,5	1,5	0,0	0,5	1,8	-1,2	-1,7
60,0	1,4	0,1	0,5	2,6	-1,0	0,0
62,5	0,5	0,3	0,5	2,3	-0,6	0,6
65,0	0,1	0,1	0,5	0,4	0,4	0,4
67,5	-0,1	-0,2	0,7	0,1	0,8	0,5
70,0	-0,7	-0,8	0,5	-0,2	-0,2	0,5
72,5	-0,2	-0,5	0,0	-1,6	-0,3	1,0
75,0	-0,3	0,0	0,0	-0,8	0,1	0,8
77,5	-0,4	0,2	0,5	-0,8	0,0	0,6
80,0	-0,4	0,2	0,6	-0,9	-0,4	0,8
82,5	-0,2	0,3	0,9	-0,5	-0,6	0,7
85,0	-0,4	-0,7	0,7	-0,2	-0,6	0,1
87,5	-0,5	0,0	0,6	-0,9	0,0	0,0
90,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quadro 19B – Valores da diferença de nível entre os valores observados e a linha da declividade média nas diferentes posições de instalação do perfilômetro para a primeira amostragem na propriedade número 7

Distância entre hastes (cm)	Posições de instalação do perfilômetro (cm)					
	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,5	0,7	0,4	0,4	0,9	0,4	0,6
5,0	0,7	0,6	0,6	1,4	0,3	0,7
7,5	0,8	1,0	0,0	1,5	0,3	0,7
10,0	0,2	1,1	0,2	0,6	0,2	0,3
12,5	0,0	1,3	0,6	0,3	0,6	-0,1
15,0	-0,1	1,3	0,4	0,7	0,5	0,0
17,5	-0,1	1,1	0,6	0,5	0,7	0,0
20,0	0,0	0,3	0,6	0,4	0,6	0,0
22,5	0,0	-0,1	1,0	0,0	0,3	0,5
25,0	0,0	-0,3	-0,4	-0,4	0,2	0,2
27,5	0,4	-0,6	0,0	-0,2	-0,6	-0,4
30,0	0,0	0,6	-0,5	-0,3	-0,5	-0,3
32,5	0,0	-0,2	-0,5	-0,2	-0,5	-0,7
35,0	-0,2	1,2	0,5	0,0	0,0	-0,4
37,5	-0,1	2,3	0,9	0,4	1,0	0,2
40,0	0,6	3,3	2,0	1,1	2,3	0,6
42,5	1,3	3,6	2,9	2,0	3,7	1,8
45,0	3,2	3,0	3,9	2,1	4,0	1,8
47,5	4,3	3,9	3,5	2,7	5,0	2,3
50,0	3,0	5,2	4,4	3,2	5,5	2,4
52,5	2,1	3,3	4,5	2,4	5,2	2,0
55,0	1,9	4,1	4,8	2,3	4,2	2,6
57,5	1,3	2,8	4,0	1,4	4,0	2,9
60,0	0,8	2,3	2,5	0,5	2,6	2,2
62,5	2,0	1,9	2,3	0,6	4,0	3,2
65,0	2,0	1,8	2,0	0,6	3,6	2,6
67,5	2,0	2,0	2,4	0,6	3,7	3,4
70,0	1,0	2,4	2,1	0,4	2,8	3,0
72,5	0,3	1,6	2,6	0,7	2,1	2,5
75,0	0,1	2,2	2,4	0,1	1,5	1,7
77,5	0,1	2,1	1,6	-0,3	1,1	3,0
80,0	0,1	1,6	2,8	-0,7	1,3	1,6
82,5	1,1	0,0	1,8	-0,2	0,0	1,1
85,0	-0,1	-0,2	0,2	-0,9	0,0	0,2
87,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
90,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quadro 20B – Valores da diferença de nível entre os valores observados e a linha da declividade média nas diferentes posições de instalação do perfilômetro para a segunda amostragem na propriedade número 7

Distância entre hastes (cm)	Posições de instalação do perfilômetro (cm)					
	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,5	-0,5	0,0	-0,2	0,6	0,0	-0,1
5,0	0,0	1,2	-0,2	0,5	0,4	0,0
7,5	-0,1	1,0	0,3	1,6	1,5	0,8
10,0	0,2	1,5	0,9	1,6	2,0	1,3
12,5	0,8	3,1	1,2	2,2	2,6	2,0
15,0	1,2	3,0	1,7	2,8	3,2	3,0
17,5	1,4	2,6	2,3	2,9	3,1	2,5
20,0	1,8	3,1	2,0	2,8	3,1	2,2
22,5	1,9	2,7	2,4	3,0	2,7	2,4
25,0	2,1	2,2	1,9	2,7	2,2	2,2
27,5	2,3	2,4	1,5	2,2	2,3	2,0
30,0	3,3	2,1	0,9	2,4	1,9	1,9
32,5	2,0	2,5	0,6	2,1	2,0	2,0
35,0	1,8	2,5	1,3	2,8	2,5	2,4
37,5	1,8	2,9	1,7	2,4	4,0	2,3
40,0	2,2	4,0	2,3	2,6	3,9	2,4
42,5	2,4	5,0	2,7	3,0	4,4	2,7
45,0	2,5	4,7	3,8	2,5	4,8	2,4
47,5	2,3	4,5	1,5	3,7	3,7	3,0
50,0	1,9	3,2	2,0	2,3	2,9	2,6
52,5	1,8	1,2	0,5	2,7	2,6	2,6
55,0	2,0	1,6	0,6	2,4	2,8	3,0
57,5	1,7	1,2	0,5	2,4	2,0	2,3
60,0	1,3	1,5	0,6	2,0	1,6	2,0
62,5	2,5	2,0	0,7	2,1	1,8	2,0
65,0	2,6	1,5	1,0	2,3	1,7	1,6
67,5	1,9	1,6	0,9	2,3	2,0	1,5
70,0	2,0	1,2	1,0	1,8	1,7	1,5
72,5	1,6	0,9	1,1	2,0	1,5	1,0
75,0	1,0	0,8	0,6	0,8	1,7	1,2
77,5	1,0	1,5	0,3	1,0	1,4	1,1
80,0	0,5	1,3	0,4	1,0	0,9	0,9
82,5	0,3	0,6	0,1	0,5	0,4	0,2
85,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	1,3
87,5	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
90,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quadro 21B – Valores da diferença de nível entre os valores observados e a linha da declividade média nas diferentes posições de instalação do perfilômetro para a terceira amostragem na propriedade número 7

Distância entre hastes (cm)	Posições de instalação do perfilômetro (cm)					
	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,5	-0,1	0,4	-0,1	0,1	0,2	-0,2
5,0	0,1	0,4	0,5	0,3	0,3	-0,2
7,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	-0,3
10,0	0,3	0,2	-0,3	0,3	-0,1	-0,4
12,5	0,6	0,8	-0,2	0,0	0,2	-0,7
15,0	0,4	1,2	-0,2	0,6	0,5	-0,4
17,5	0,3	1,2	-0,1	0,2	1,0	-0,5
20,0	0,6	1,0	0,4	0,3	0,4	-0,4
22,5	0,6	0,9	0,7	0,1	0,5	-0,1
25,0	0,6	1,3	1,0	0,6	0,8	0,0
27,5	0,8	2,0	1,2	0,8	0,8	0,1
30,0	1,7	1,3	1,0	1,4	0,8	0,8
32,5	2,1	1,1	1,2	2,1	1,4	0,7
35,0	2,3	2,2	2,0	2,2	1,5	0,8
37,5	2,7	2,1	2,1	3,6	2,4	1,8
40,0	3,0	2,8	1,8	2,8	1,8	0,9
42,5	2,7	2,8	2,8	3,7	1,9	1,0
45,0	3,3	4,0	2,7	3,6	2,6	0,7
47,5	3,2	4,5	2,5	4,1	2,1	1,1
50,0	3,5	3,3	2,3	3,8	2,4	1,9
52,5	2,3	3,2	1,4	2,9	1,7	0,7
55,0	2,0	3,4	2,3	2,9	1,1	1,3
57,5	1,4	2,3	2,6	2,1	1,5	0,5
60,0	0,9	2,1	1,5	1,1	0,6	-0,7
62,5	0,9	1,7	1,9	1,3	1,4	-0,5
65,0	0,8	1,3	1,2	0,3	1,2	-0,3
67,5	0,9	1,1	0,7	1,1	0,5	0,5
70,0	0,4	1,3	1,5	0,0	0,5	-0,2
72,5	1,0	1,3	1,7	1,0	0,5	-0,4
75,0	0,6	0,4	1,5	0,4	1,1	0,1
77,5	0,0	0,9	1,2	0,3	0,7	0,3
80,0	0,0	0,6	1,8	0,3	0,5	-0,1
82,5	-1,0	0,2	0,7	-0,5	-0,4	0,4
85,0	-0,2	0,4	0,1	-0,4	0,1	0,0
87,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
90,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

APÊNDICE C

Valores da superfície exposta antes e após a realização dos ensaios para as diferentes vazões de escoamento superficial, declividades, posicionamentos dos resíduos fíxos e quantidade de resíduos de milho soltos presentes na superfície do canal de solo.

APÊNDICE C

Quadro 1C - Superfície exposta, para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 7.500 kg ha⁻¹, antes e após a realização do ensaio e variação da superfície exposta para as duas repetições consideradas para plantio em nível e espaçamento normal entre plantas.

Decliv.	Vazão	Repetição 1			Repetição 2		
		Inicial	Final	Variação	Inicial	Final	Variação
%	L s ⁻¹	----- % -----					
4	0,73	0,0	0,0	0,0	1,2	0,4	-0,8
4	1,07	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	1,76	0,0	1,7	1,7	0,0	3,8	3,8
4	2,03	0,8	9,4	8,6	0,0	4,7	4,7
4	2,33	0,0	10,7	10,7	0,0	11,5	11,5
4	2,51	0,4	11,5	11,1	0,0	23,9	23,9
6	0,73	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	1,07	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,8
6	1,76	0,0	2,6	2,6	0,0	11,5	11,5
6	2,03	0,0	7,7	7,7	0,0	3,8	3,8
6	2,33	0,0	14,1	14,1	0,4	18,8	18,4
6	2,51	0,0	17,9	17,9	0,0	20,5	20,5
8	0,73	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	1,07	0,0	0,4	0,4	0,0	1,7	1,7
8	1,76	0,0	1,7	1,7	0,0	4,7	4,7
8	2,03	0,0	18,4	18,4	0,0	6,4	6,4
8	2,33	0,0	25,6	25,6	0,0	8,1	8,1
8	2,51	0,0	13,2	13,2	0,0	22,6	22,6
10	0,73	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	-0,4
10	1,07	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	3,4
10	1,76	0,0	3,8	3,8	0,0	7,2	7,2
10	2,03	0,0	8,1	8,1	0,0	16,2	16,2
10	2,33	0,0	6,8	6,8	0,4	18,3	17,9
10	2,51	0,0	14,1	14,1	0,0	20,9	20,9
12	0,73	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	1,07	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	-0,8
12	1,76	0,4	4,2	3,8	0,0	7,2	7,2
12	2,03	0,4	7,2	6,8	0,0	23,5	23,5
12	2,33	0,0	21,3	21,3	4,7	17,0	12,3
12	2,51	0,0	15,3	15,3	0,0	17,0	17,0

Quadro 2C - Superfície exposta, para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 3.750 kg ha⁻¹, antes e após a realização do ensaio e variação da superfície exposta para as duas repetições consideradas para plantio em nível e espaçamento normal entre plantas

Decliv.	Vazão	Repetição 1			Repetição 2		
		Inicial	Final	Variação	Inicial	Final	Variação
%	L s ⁻¹	----- % -----					
4	0,73	4,7	6,4	1,7	8,1	8,6	0,5
4	1,07	5,9	14,9	9,0	6,8	18,4	11,6
4	1,76	2,5	22,2	19,7	15,4	28,6	13,2
4	2,03	5,5	35,9	30,4	12,4	27,8	15,4
4	2,33	1,2	32,0	30,8	4,7	28,2	23,5
4	2,51	13,2	48,7	35,5	10,7	44,0	33,3
6	0,73	11,5	11,9	0,4	6,4	5,1	-1,3
6	1,07	11,5	3,8	-7,7	17,1	19,2	2,1
6	1,76	4,2	22,6	18,4	6,8	20,1	13,3
6	2,03	6,4	26,5	20,1	12,4	28,6	16,2
6	2,33	3,4	32,0	28,6	7,3	47,9	40,6
6	2,51	4,7	47,4	42,7	15,8	42,7	26,9
8	0,73	2,9	5,9	3,0	8,1	3,0	-5,1
8	1,07	14,5	11,1	-3,4	3,8	9,0	5,2
8	1,76	5,9	8,9	3,0	11,5	20,1	8,6
8	2,03	3,8	27,7	23,9	9,0	31,6	22,6
8	2,33	8,5	50,4	41,9	3,8	40,2	36,4
8	2,51	7,2	57,6	50,4	11,1	44,0	32,9
10	0,73	10,7	6,4	-4,3	2,1	3,0	0,9
10	1,07	8,9	12,8	3,9	5,1	15,0	9,9
10	1,76	3,8	26,9	23,1	8,1	30,3	22,2
10	2,03	4,7	27,7	23,0	12,0	33,3	21,3
10	2,33	5,5	32,4	26,9	5,6	41,9	36,3
10	2,51	9,4	44,0	34,6	9,4	32,5	23,1
12	0,73	9,4	12,3	2,9	3,8	7,3	3,5
12	1,07	8,9	15,8	6,9	7,3	11,5	4,2
12	1,76	18,8	32,4	13,6	8,6	38,0	29,4
12	2,03	4,7	38,0	33,3	7,7	32,9	25,2
12	2,33	12,3	55,5	43,2	5,6	49,2	43,6
12	2,51	2,1	37,1	35,0	9,0	50,0	41,0

Quadro 3C - Superfície exposta, para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 1.875 kg ha⁻¹, antes e após a realização do ensaio e variação da superfície exposta para as duas repetições consideradas para plantio em nível e espaçamento normal entre plantas

Decliv.	Vazão	Repetição 1			Repetição 2		
		Inicial	Final	Variação	Inicial	Final	Variação
%	L s ⁻¹	----- % -----					
4	0,73	48,7	60,7	12,0	44,9	37,6	-7,3
4	1,07	29,5	62,8	33,3	40,6	45,7	5,1
4	1,76	35,9	54,7	18,8	54,7	57,3	2,6
4	2,03	42,3	52,6	10,3	41,9	52,1	10,2
4	2,33	33,3	54,7	21,4	47,4	55,6	8,2
4	2,51	60,3	69,2	8,9	38,5	50,9	12,4
6	0,73	34,2	45,7	11,5	36,3	52,6	16,3
6	1,07	49,2	67,5	18,3	32,1	38,9	6,8
6	1,76	42,3	62,0	19,7	41,0	59,4	18,4
6	2,03	44,4	54,3	9,9	41,0	53,9	12,9
6	2,33	44,9	59,0	14,1	45,7	63,3	17,6
6	2,51	42,3	52,6	10,3	51,3	68,0	16,7
8	0,73	58,6	63,7	5,1	36,3	46,6	10,3
8	1,07	32,1	59,8	27,7	43,2	47,0	3,8
8	1,76	50,9	61,1	10,2	43,2	53,0	9,8
8	2,03	43,6	48,3	4,7	28,6	56,4	27,8
8	2,33	37,3	59,8	22,5	40,2	66,2	26,0
8	2,51	53,0	71,4	18,4	38,0	59,0	21,9
10	0,73	33,8	58,6	24,8	48,3	50,4	2,1
10	1,07	49,2	50,9	1,7	31,2	39,3	8,1
10	1,76	40,6	67,5	26,9	40,2	63,3	23,1
10	2,03	32,9	52,1	19,2	36,8	48,3	11,5
10	2,33	32,1	52,1	20,0	46,2	50,4	4,2
10	2,51	56,4	74,8	18,4	47,0	59,8	12,8
12	0,73	30,8	57,7	26,9	58,6	50,9	-7,7
12	1,07	20,5	47,0	26,5	46,6	53,9	7,3
12	1,76	54,3	56,8	2,5	38,9	54,7	15,8
12	2,03	50,4	61,5	11,1	28,6	58,1	29,5
12	2,33	49,6	69,2	19,6	44,4	63,7	19,3
12	2,51	44,4	65,0	20,6	38,0	59,8	21,8

Quadro 4C - Superfície exposta, para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 7.500 kg ha⁻¹, antes e após a realização do ensaio e variação da superfície exposta para as duas repetições consideradas para plantio em nível e espaçamento duplicado entre plantas

Decliv.	Vazão	Repetição 1			Repetição 2		
		Inicial	Final	Variação	Inicial	Final	Variação
%	L s ⁻¹	----- % -----					
4	0,73	3,8	0,0	-3,8	0,0	0,0	0,0
4	1,07	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	1,76	0,0	0,8	0,8	0,0	4,3	4,3
4	2,03	0,0	7,7	7,7	0,0	4,7	4,7
4	2,33	0,0	11,1	11,1	0,8	8,6	7,8
4	2,51	0,0	9,4	9,4	0,0	12,0	12,0
6	0,73	1,7	0,0	-1,7	0,4	0,4	0,0
6	1,07	0,0	0,4	0,4	0,8	0,4	-0,4
6	1,76	0,0	0,4	0,4	0,4	3,0	2,6
6	2,03	0,0	2,6	2,6	0,0	5,6	5,6
6	2,33	0,0	7,7	7,7	0,0	4,3	4,3
6	2,51	0,4	15,4	15,0	0,0	14,1	14,1
8	0,73	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	1,07	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	-0,4
8	1,76	0,0	0,8	0,8	0,0	0,8	0,8
8	2,03	0,0	9,4	9,4	0,0	5,1	5,1
8	2,33	0,0	9,0	9,0	0,0	5,1	5,1
8	2,51	0,4	12,4	12,0	0,0	9,0	9,0
10	0,73	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	1,07	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,0
10	1,76	0,0	0,8	0,8	0,0	0,8	0,8
10	2,03	0,0	4,3	4,3	0,0	2,6	2,6
10	2,33	0,0	14,5	14,5	0,0	0,8	0,8
10	2,51	0,4	13,3	12,9	0,0	5,1	5,1
12	0,73	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	1,07	0,0	0,0	0,0	1,3	2,1	0,8
12	1,76	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	2,03	0,8	9,0	8,2	0,0	1,3	1,3
12	2,33	0,0	7,7	7,7	0,8	2,1	1,3
12	2,51	0,0	9,8	9,8	0,0	7,7	7,7

Quadro 5C - Superfície exposta, para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 3.750 kg ha⁻¹, antes e após a realização do ensaio e variação da superfície exposta para as duas repetições consideradas para plantio em nível e espaçamento duplicado entre plantas

Decliv.	Vazão	Repetição 1			Repetição 2		
		Inicial	Final	Variação	Inicial	Final	Variação
%	L s ⁻¹	----- % -----					
4	0,73	15,4	9,8	-5,6	7,3	11,1	3,8
4	1,07	12,0	18,8	6,8	13,3	20,1	6,8
4	1,76	13,3	33,3	20,0	8,1	23,9	15,8
4	2,03	10,3	29,9	19,6	13,3	37,2	23,9
4	2,33	11,1	28,2	17,1	10,3	41,5	31,2
4	2,51	13,3	30,8	17,5	27,4	37,2	9,8
6	0,73	13,3	12,0	-1,3	7,7	13,3	5,6
6	1,07	12,8	11,1	-1,7	13,3	17,1	3,8
6	1,76	10,3	30,3	20,0	6,8	35,9	29,1
6	2,03	7,3	20,5	13,2	12,0	45,3	33,3
6	2,33	18,4	34,6	16,2	4,7	25,2	20,5
6	2,51	10,3	46,6	36,3	15,0	45,3	30,3
8	0,73	7,3	7,3	0,0	9,8	13,7	3,9
8	1,07	9,8	18,8	9,0	15,0	14,5	-0,5
8	1,76	9,8	23,9	14,1	8,6	20,5	11,9
8	2,03	14,5	31,2	16,7	9,4	28,2	18,8
8	2,33	10,7	22,7	12,0	13,7	34,6	20,9
8	2,51	5,6	30,3	24,7	12,4	42,3	29,9
10	0,73	7,3	5,1	-2,2	9,4	22,7	13,3
10	1,07	11,5	13,3	1,8	16,7	17,5	0,8
10	1,76	9,8	27,8	18,0	9,0	18,0	9,0
10	2,03	8,6	20,5	11,9	4,7	29,5	24,8
10	2,33	8,1	38,5	30,4	10,3	45,3	35,0
10	2,51	5,6	42,7	37,1	15,0	43,2	28,2
12	0,73	9,8	8,6	-1,2	13,7	12,8	-0,9
12	1,07	8,6	8,6	0,0	16,2	23,1	6,9
12	1,76	5,6	12,4	6,8	5,6	8,6	3,0
12	2,03	3,8	21,4	17,6	6,0	23,5	17,5
12	2,33	9,1	29,5	20,4	11,1	26,9	15,8
12	2,51	6,8	28,6	21,8	11,1	56,4	45,3

Quadro 6C - Superfície exposta, para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 1.875 kg ha⁻¹, antes e após a realização do ensaio e variação da superfície exposta para as duas repetições consideradas para plantio em nível e espaçamento duplicado entre plantas

Decliv.	Vazão	Repetição 1			Repetição 2		
		Inicial	Final	Variação	Inicial	Final	Variação
%	L s ⁻¹	----- % -----					
4	0,73	33,3	34,2	0,9	39,7	52,6	12,9
4	1,07	47,0	57,7	10,7	31,2	49,6	18,4
4	1,76	41,5	53,9	12,4	51,7	62,8	11,1
4	2,03	45,3	59,8	14,5	55,1	57,7	2,6
4	2,33	47,4	63,7	16,3	41,5	45,7	4,2
4	2,51	61,1	68,8	7,7	52,1	66,7	14,6
6	0,73	35,0	34,2	-0,8	59,4	57,3	-2,1
6	1,07	45,7	47,9	2,2	45,7	53,0	7,3
6	1,76	48,7	64,1	15,4	44,9	57,7	12,8
6	2,03	42,3	66,7	24,4	38,9	50,0	11,1
6	2,33	44,4	60,3	15,9	49,6	59,0	9,4
6	2,51	47,9	84,6	36,7	49,2	59,8	10,6
8	0,73	31,6	45,7	14,1	30,3	31,2	0,9
8	1,07	54,3	46,6	-7,7	40,6	32,5	-8,1
8	1,76	36,3	55,1	18,8	36,3	59,8	23,5
8	2,03	37,6	49,6	12,0	49,6	59,0	9,4
8	2,33	46,6	59,4	12,8	57,3	58,1	0,8
8	2,51	51,3	68,8	17,5	34,2	54,7	20,5
10	0,73	28,2	30,8	2,6	40,6	52,1	11,5
10	1,07	44,4	58,1	13,7	63,3	73,5	10,2
10	1,76	34,2	46,6	12,4	37,6	49,2	11,6
10	2,03	45,3	53,4	8,1	33,8	56,8	23,0
10	2,33	47,4	69,7	22,3	49,6	49,6	0,0
10	2,51	56,4	58,1	1,7	43,2	63,3	20,1
12	0,73	41,5	40,2	-1,3	58,1	46,2	-11,9
12	1,07	44,9	66,2	21,3	49,6	50,9	1,3
12	1,76	42,3	54,7	12,4	32,1	52,1	20,0
12	2,03	41,0	60,7	19,7	31,2	41,9	10,7
12	2,33	32,1	54,7	22,6	64,1	66,2	2,1
12	2,51	28,6	56,8	28,2	53,9	54,3	0,4

Quadro 7C - Superfície exposta, para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 7.500 kg ha⁻¹, antes e após a realização do ensaio e variação da superfície exposta para as duas repetições consideradas para plantio no sentido do declive

Decliv.	Vazão	Repetição 1			Repetição 2		
		Inicial	Final	Variação	Inicial	Final	Variação
%	L s ⁻¹	----- % -----			----- % -----		
4	0,73	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	1,07	0,4	0,0	-0,4	0,8	0,8	0,0
4	1,76	0,0	2,1	2,1	0,0	0,4	0,4
4	2,03	0,4	4,3	3,9	0,8	5,1	4,3
4	2,33	1,3	3,4	2,1	1,7	2,1	0,4
4	2,51	0,8	19,7	18,9	1,3	10,7	9,4
6	0,73	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	1,07	0,0	0,4	0,4	1,3	0,8	-0,5
6	1,76	0,0	1,3	1,3	0,0	0,8	0,8
6	2,03	0,4	3,0	2,6	0,8	21,4	20,6
6	2,33	1,7	9,0	7,3	1,7	3,0	1,3
6	2,51	0,4	6,0	5,6	0,4	3,8	3,4
8	0,73	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	1,07	0,8	1,3	0,5	0,0	0,0	0,0
8	1,76	0,4	20,1	19,7	1,3	12,0	10,7
8	2,03	0,0	2,1	2,1	0,0	12,0	12,0
8	2,33	0,8	6,4	5,6	1,3	13,3	12,0
8	2,51	1,3	12,4	11,1	0,0	3,0	3,0
10	0,73	0,0	0,0	0,0	0,4	1,7	1,3
10	1,07	0,4	0,4	0,0	0,8	1,7	0,9
10	1,76	0,0	2,6	2,6	0,0	7,7	7,7
10	2,03	0,0	7,7	7,7	0,4	3,8	3,4
10	2,33	1,3	6,8	5,5	0,8	3,8	3,0
10	2,51	0,4	18,4	18,0	0,4	19,2	18,8
12	0,73	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	1,07	0,8	0,4	-0,4	0,4	0,4	0,0
12	1,76	0,4	1,3	0,9	0,4	1,7	1,3
12	2,03	0,4	10,3	9,9	1,7	17,5	15,8
12	2,33	1,7	6,0	4,3	0,4	10,3	9,9
12	2,51	0,0	25,6	25,6	0,4	10,3	9,9

Quadro 8C - Superfície exposta, para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 3.750 kg ha⁻¹, antes e após a realização do ensaio e variação da superfície exposta para as duas repetições consideradas para plantio no sentido do declive

Decliv.	Vazão	Repetição 1			Repetição 2		
		Inicial	Final	Variação	Inicial	Final	Variação
%	L s ⁻¹	----- % -----					
4	0,73	18,0	23,9	5,9	18,4	21,4	3,0
4	1,07	10,7	26,1	15,4	18,4	10,7	-7,7
4	1,76	3,8	20,1	16,3	7,7	41,0	33,3
4	2,03	13,7	54,3	40,6	15,8	38,0	22,2
4	2,33	7,7	42,7	35,0	4,7	34,6	29,9
4	2,51	15,0	47,4	32,4	12,8	46,2	33,3
6	0,73	14,1	16,7	2,6	15,4	11,5	-3,9
6	1,07	16,2	21,8	5,6	12,0	16,2	4,3
6	1,76	11,5	29,5	18,0	15,0	32,1	17,1
6	2,03	15,0	41,5	26,5	19,7	8,0	-11,7
6	2,33	18,0	47,9	29,9	15,0	41,5	26,5
6	2,51	18,8	42,7	23,9	17,5	52,6	35,1
8	0,73	21,8	27,4	5,6	11,5	15,8	4,3
8	1,07	16,2	27,4	11,2	9,0	27,8	18,8
8	1,76	7,7	32,1	24,4	9,4	33,8	24,4
8	2,03	12,8	35,0	22,2	23,9	41,5	17,6
8	2,33	18,4	51,7	33,3	18,0	44,4	26,4
8	2,51	20,9	51,3	30,4	15,0	43,2	28,2
10	0,73	15,0	15,8	0,8	8,1	9,4	1,3
10	1,07	6,8	21,4	14,6	9,8	26,9	17,1
10	1,76	14,5	21,8	7,3	10,3	23,9	13,6
10	2,03	16,7	30,8	14,1	13,3	39,3	26,0
10	2,33	11,5	40,2	28,7	26,5	55,1	28,6
10	2,51	14,1	56,9	42,8	20,9	46,6	25,7
12	0,73	14,1	15,0	0,9	12,4	18,0	5,6
12	1,07	11,1	19,2	8,1	8,1	14,5	6,4
12	1,76	19,7	32,1	12,4	11,1	36,8	25,7
12	2,03	12,0	24,8	12,8	18,0	41,5	23,5
12	2,33	13,3	35,9	22,6	7,7	25,6	17,9
12	2,51	12,8	60,3	47,5	11,5	47,9	36,4

Quadro 9C - Superfície exposta, para uma quantidade de resíduos soltos de milho equivalente a 1.875 kg ha⁻¹, antes e após a realização do ensaio e variação da superfície exposta para as duas repetições consideradas para plantio no sentido do declive

Decliv.	Vazão	Repetição 1			Repetição 2		
		Inicial	Final	Variação	Inicial	Final	Variação
%	L s ⁻¹	----- % -----					
4	0,73	41,9	47,4	5,5	50,9	36,8	-14,1
4	1,07	51,3	62,8	11,5	50,4	59,4	9,0
4	1,76	55,6	64,5	8,9	44,9	63,7	18,8
4	2,03	37,6	55,1	17,5	55,6	57,3	1,7
4	2,33	69,7	78,2	8,5	68,0	64,5	-3,5
4	2,51	64,5	81,2	16,7	64,1	79,5	15,4
6	0,73	34,2	52,1	17,9	51,7	47,9	-3,8
6	1,07	41,0	50,0	9,0	39,7	50,9	11,2
6	1,76	40,2	70,9	30,7	47,9	64,1	16,2
6	2,03	60,7	61,1	0,4	56,4	67,5	11,1
6	2,33	50,4	72,7	22,3	50,4	51,3	0,9
6	2,51	55,6	62,8	7,2	64,5	71,4	6,9
8	0,73	51,3	46,2	-5,1	41,5	42,3	0,8
8	1,07	45,3	57,3	12,0	43,6	62,8	19,2
8	1,76	60,3	63,3	3,0	42,3	61,1	18,8
8	2,03	36,3	65,0	28,7	44,0	65,0	21,0
8	2,33	45,7	65,8	20,1	67,5	67,1	-0,4
8	2,51	52,6	66,2	13,6	55,1	76,9	21,8
10	0,73	48,3	60,3	12,0	59,4	47,4	-12,0
10	1,07	44,9	51,3	6,4	50,4	59,4	9,0
10	1,76	43,6	55,1	11,5	36,3	61,5	25,2
10	2,03	32,5	50,4	17,9	46,2	72,2	26,0
10	2,33	52,1	78,6	26,5	65,4	73,1	7,7
10	2,51	54,3	77,8	23,5	49,6	67,1	17,5
12	0,73	36,3	51,3	15,0	54,3	45,3	-9,0
12	1,07	60,3	61,1	0,8	47,0	55,1	8,1
12	1,76	68,8	65,0	-3,8	41,0	47,4	6,4
12	2,03	55,1	62,4	7,3	43,6	55,1	11,5
12	2,33	49,2	73,5	24,3	49,2	75,2	26,0
12	2,51	38,9	61,1	22,2	44,0	78,6	34,6

APÊNDICE D

Valores da significância e da probabilidade dos coeficientes dos termos das equações 4, 5, 6, 7, 8 e 9 cuja forma é: b_0 x declividade b_1 x vazão b_2 .

APÊNDICE D

Quadro 1D - Valores da significância e da probabilidade dos coeficientes dos termos das equações 4, 5, 6, 7, 8 e 9 cuja forma é: $b_0 \times \text{declividade}^{b_1} \times \text{vazão}^{b_2}$.

Equação	Coeficientes					
	b0		b1		b2	
	Signific.	Prob. (%)	Signific.	Prob. (%)	Signific.	Prob. (%)
4	0,00495	99,50	0,05136	94,86	0,00000	100,00
5	0,00186	99,81	0,04310	95,69	0,00000	100,00
6	0,04774	95,23	0,50000	50,00	0,00000	100,00
7	0,00266	99,73	0,35623	64,38	0,00000	100,00
8	0,18224	81,78	0,03286	96,71	0,00388	99,61
9	0,00047	99,95	0,50000	50,00	0,00000	100,00