

RAFAEL CARLOS DOS SANTOS

**PROPOSTA METODOLÓGICA DE ESPAÇAMENTO ENTRE SULCOS
DE MULCHING VERTICAL**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia, para
obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011

RAFAEL CARLOS DOS SANTOS

**PROPOSTA METODOLÓGICA DE ESPAÇAMENTO ENTRE SULCOS
DE MULCHING VERTICAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 17 de fevereiro de 2011.

Prof. Paulo Roberto Cecon
(Coorientador)

Prof. João Luiz Lani
(Coorientador)

Pesq. Marcos Antônio Gomes

Prof. Caetano Marciano de Souza
(Orientador)

Aos meus pais Raimundo e Zelinda, aos meus irmãos Dayane, Danielly, Douglas, Débora, à sobrinha Emanuely e à minha avó Antônia e meu avô Efigênio Lucas (in memoriam), os quais me proporcionaram conhecer o significado de se ter uma família.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de realizar o curso de mestrado;

À FUNARBE pelo apóio ao desenvolvimento deste trabalho;

Ao professor Caetano Marciano de Souza pela orientação e pelo apóio;

Aos professores João Luiz Lani, Paulo Roberto Cecon, Genelício Crusoé Rocha e Marcos Antônio Gomes pelo apóio e orientação;

Aos funcionários da Estação Experimental de Coimbra – MG, pelo auxilio e boa vontade na condução deste trabalho;

Aos funcionários do Laboratório de Física do solo Cláudio, Fábio e Benedito pela valiosa colaboração e prestatividade;

Aos funcionários do Laboratório de Matéria Orgânica José Braz Júlio e Luiz Inácio pela colaboração e prestatividade;

Aos ilustres colegas, ex-colegas e amigos da República Capim-Limão pelo companheirismo, amizade e pelos momentos inesquecíveis como as festas, o futebol de sábado à tarde no gramado da UFV, as grandes partidas de futebol da república, os jogos de truco, as cervejas de sábado à noite nos barzinhos da cidade, entre outros que pra sempre serão guardados;

A todos os amigos que fiz durante essa jornada e aos se encontram distantes mas que de certa forma estiveram torcendo para que mais essa conquista fosse alcançada.

Em especial à minha namorada Bruna Ferreira que me acompanha, incentiva e apóia nesses últimos passos de mais uma jornada, e à minha mãe Zelinda e meu pai Raimundo e meus irmãos Dayane, Danielly, Douglas, Débora que sempre me apoiaram em todos os momentos.

A todos dedico mais uma conquista, pois vocês de alguma forma contribuíram e também fazem parte dela. Muito obrigado!

BIOGRAFIA

Rafael Carlos dos Santos, filho de Zelinda Maria de Jesus e Raimundo Batista dos Santos, nasceu no dia 4 de setembro de 1985 na cidade de Governador Valadares, MG.

Finalizou o ensino médio na Escola Estadual Prof. Nelson de Sena em 2003, ano em também foi aprovado no vestibular para o Curso de Agronomia da Universidade Vale do Rio Doce, onde foi bolsista e obteve graduação em junho de 2008.

Em agosto de 2008 iniciou o curso de mestrado em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa, submetendo a defesa da dissertação em 17 de fevereiro de 2011.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Semeadura direta.....	4
2.2 Mulching vertical.....	6
2.3 Perdas de água, solo e nutrientes por erosão.....	8
3. MATERIAIS E MÉTODOS	12
3.1 Localização, clima e solo.....	12
3.2 Histórico de utilização da área experimental.....	12
3.3 Caracterização química e física do solo.....	13
3.3.1 Análises químicas.....	14
3.3.2 Análises físicas.....	14
3.4 Caracterização das parcelas experimentais.....	14
3.5 Instalação dos tratamentos em campo.....	18
3.6 Determinação da quantidade de sedimento, e concentração de carbono orgânico e nutrientes na água de escoamento.....	20
3.7 Análise estatística.....	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1 Características do solo.....	22
4.2.1 Dados de precipitação pluvial e intensidade máxima de precipitação.....	26
4.2.2 Perdas de água e nutrientes por escoamento superficial.....	28
4.2.3 Perdas de solo e nutrientes por escoamento superficial.....	33
4.2.4 Perdas totais de água, solo e nutrientes.....	37
5. CONCLUSÕES	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
APÊNDICES	50
ANEXOS	56

RESUMO

SANTOS, Rafael Carlos dos, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, Fevereiro de 2011. **Proposta metodológica de espaçamento entre sulcos de mulching vertical.** Orientador: Caetano Marciano de Souza. Coorientadores: João Luiz Lani e Paulo Roberto Cecon.

O presente estudo teve como objetivo propor e testar uma metodologia para o cálculo do espaçamento entre sulcos de mulching vertical, quanto à eficiência na redução das perdas de água, solo e nutrientes por escoamento superficial em condições de campo sob chuva natural em semeadura direta. Foram considerados para o cálculo os parâmetros utilizados para o cálculo do espaçamento entre terraços, fazendo as devidas adaptações. Neste intuito, foi desenvolvido um trabalho entre outubro de 2009 a março de 2010 durante o ciclo da cultura do milho em uma área de semeadura direta consolidada. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com 4 repetições e 6 tratamentos constituídos de sulcos de mulching vertical distribuídos em diferentes distâncias. As parcelas foram separadas lateralmente por chapas de madeira, sendo ao seu final colocados coletores de escoamento. Para quantificar o volume precipitado, foram colocados coletores de precipitação (pluviômetros) dentro dos blocos. A água das chuvas ocorridas no período foi coletada e quantificada, bem como o escoamento superficial proveniente das parcelas. Nas amostras de escoamento, foram analisados os seguintes atributos: volume de água perdido, massa de solo no sedimento, textura do sedimento e os nutrientes presentes no sedimento e na água de escoamento superficial. Para os atributos avaliados, não foram constatadas diferenças significativas para o efeito de tratamentos nas perdas de solo (parciais e totais). De forma geral, o tratamento com 0,9 metros entre sulcos foi o menos eficiente em conter as perdas de água e nutrientes (na água e no sedimento). Entre os nutrientes avaliados, o potássio foi o que apresentou as maiores perdas, tanto na água quanto no sedimento, sendo que o aumento no volume de água e solo escoados afeta a eficiência do mulching vertical em conter as perdas totais de nutrientes.

ABSTRACT

SANTOS, Rafael Carlos dos, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February 2011. **Methodological proposal for the row spacing of vertical mulching.** Adviser: Caetano Marciano de Souza. CoAdvisers: João Luiz Lani e Paulo Roberto Cecon.

This study aimed to propose and test a methodology for calculating the spacing among the rows of vertical mulching, as the efficiency in reducing water losses, soil, and nutrient by superficial runoff in field conditions under natural rainfall in direct tillage. For calculating, the same parameters used for calculating spacing among terraces were considered with appropriate adjustments. To this end, an experiment was developed between October 2009 and March 2010 during the corn crop cycle in a consolidated area for direct tillage. We used a randomized block design with four replications and six treatments consisting of vertical mulching grooves distributed at different distances. The plots were separated laterally by wood sheets and were placed at the final to the disposal collectors. To quantify the precipitated volume, some collectors were placed (gauges) into blocks. The rainfall during the period was collected and quantified, as well as the superficial runoff from the plots. In the runoff samples, the following attributes were analyzed: “water lost volume, soil weight on the sediment, sediment texture, and the nutrients present in the sediment and the superficial runoff water”. For the evaluated attributes, there were no significant differences for treatment effects on soil losses (partial and total). In general, the treatment with 0.9 meters among the furrows was the least efficient in containing the water and nutrients losses (in water and sediment). Among the nutrients, potassium was the one with the largest losses in the water and sediment. The increase in the water volume that drained along with the soil affects the efficiency of the vertical mulching for containing the total nutrient losses.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura é uma atividade que se destaca por sua importância econômica e social e pelo expressivo potencial para expansão e diversificação. Tal processo de expansão se deve basicamente ao aprimoramento nas tecnologias de produção e ao incremento na área cultivada, que é feito pela derrubada de áreas de vegetação nativa e preparo do solo por sistema convencional, mínimo ou direto (HERBES, 2003; DALLA COSTA, 2004). No sistema convencional de preparo, a aração e gradagem promovem a movimentação e desagregação do solo, potencializando o processo de mineralização da matéria orgânica e reduzindo a cobertura proporcionada pelos resíduos culturais. Esses resíduos orgânicos agem dissipando a energia cinética das gotas de chuva, reduzindo a desagregação e o arraste das partículas de solo, evitando a erosão (COGO et al., 2003; AMARAL, 2008). Atuam também reduzindo o selamento superficial e a velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, a força erosiva da enxurrada (COGO & SCHWARZ, 2003).

No sistema de preparo convencional há, às vezes, a compactação da subsuperfície do solo, promovida pelos implementos utilizados durante as atividades de preparo e cultivo, reduzindo a infiltração da água, havendo, portanto, aumento do escoamento superficial e, conseqüentemente, erosão (BERTOL et al., 1997). Outro importante fator que influencia fortemente nas perdas de água e de solo é o declive do terreno. O aumento no declive representa incremento no volume e na velocidade do escoamento e, conseqüentemente, redução no volume de água infiltrada. Essa água escoada, quando concentrada em sulcos direcionados no sentido do declive, potencializam o poder de cisalhamento, desagregação e transporte das partículas de solo (COGO & SCHWARZ, 2003).

A semeadura direta é um sistema de cultivo que tem como objetivos manter a cobertura permanente do solo, reduzir a movimentação e desestruturação e a erosão causada pela água durante o período das chuvas (GARCIA & RIGLES, 2008). De acordo com Farias (2004), a semeadura direta é a melhor alternativa para reverter a situação de degradação do solo proporcionada pelo cultivo convencional. A eficiência da semeadura direta na

redução das perdas de solo por erosão hídrica observada pelos agricultores e o aumento na operacionalidade das máquinas agrícolas fizeram com as práticas mecânicas de contenção das perdas de água e solo, como, por exemplo, os terraços, fossem abandonadas (GARCIA & RIGLES, 2008). Entretanto, diversos autores, como Vieira et al. (1978), Cogo (1981), Bertol et al. (1989), Alves et al. (1995) e Cogo & Schwarz (2003) afirmam que, de modo geral, as perdas de água têm sido muito variadas e menos influenciadas pela cobertura morta na superfície do solo quando comparadas às perdas de solo, podendo em alguns casos ser semelhante ou até superior.

Nesse contexto, novas práticas conservacionistas, como o mulching vertical, vêm sendo testadas e aplicadas de forma conjunta com vistas a aumentar a infiltração de água e, conseqüentemente, reduzir a erosão. Estudos recentes realizados sobre a técnica (RIGLES et al., 2002; HERBES, 2003; DALLA COSTA, 2004; DENARDIM et al., 2005; GARCIA, 2005; GARCIA & RIGLES, 2008) em diferentes condições de uso a descrevem como eficiente e promissora, relatando que em muitos casos os terraços estão sendo substituídos pelo mulching vertical, que apresenta maior praticidade e facilidade de construção, menor movimentação de solo e custo, além de facilitar o trânsito nas áreas onde são implantados. Segundo Klein et al. (2000), o mulching vertical é em uma alternativa viável para os agricultores, não apresenta os mesmos inconvenientes dos terraços e ainda diminui os efeitos do escoamento superficial pelo aumento da infiltração da água no solo. Ainda segundo Klein et al. (2000), o estudo desta técnica é justificável pela sua operacionalidade de construção e economia advinda da redução nas perdas de calcário e fertilizantes e também pela redução na poluição dos recursos hídricos.

Além da eficiência citada por diversos autores (RIGLES et al., 2002; HERBES, 2003; DALLA COSTA, 2004; DENARDIM et al., 2005; GARCIA, 2005; GARCIA & RIGLES, 2008) na redução das perdas por escoamento superficial, o mulching vertical, em cultivos arbóreos, pode ser implementado com a função de melhorar a exploração de raízes no solo, além de permitir a aplicação de fertilizantes em maiores profundidades com o objetivo de fazer com que os nutrientes cheguem às raízes mais profundas (PARODI, 2003).

Apesar dos resultados promissores supracitados e dos muitos benefícios, a técnica ainda se encontra em fase de validação, sendo que a

metodologia de cálculo do espaçamento entre os sulcos ainda não está claramente definida para a sua recomendação e aplicação. É importante ressaltar também que os resultados que se tem a respeito do mulching vertical estão restritos às condições de clima, solo e relevo da região sul do país onde a técnica tem sido mais intensamente aplicada.

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo propor e testar uma metodologia para o cálculo do espaçamento entre sulcos de mulching vertical, quanto ao escoamento da água pluvial, perdas de solo e nutrientes em condições de campo, tomando por base os índices considerados para o cálculo de espaçamento entre terraços, com as suas devidas adaptações.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Semeadura direta

As perdas de água, solo e nutrientes por erosão hídrica nas áreas de cultivo onde a adoção de sistemas convencionais de preparo do solo culminou com a redução do potencial produtivo dessas áreas foram e ainda são responsáveis pelo desenvolvimento de inúmeras pesquisas no intuito de desenvolver e disseminar técnicas conservacionistas visando a minimizar esses efeitos negativos. Uma dessas técnicas é o emprego do sistema de semeadura direta, que vem se destacando no emprego dos princípios de conservação do solo e da água (DALLA COSTA, 2004).

A semeadura direta apresenta diferentes definições na literatura, de onde vêm as primeiras definições a respeito do tema às mais recentemente adotadas. Desse modo, para Derpsch (1984), é um sistema de semeadura no qual a semente é colocada diretamente no solo não revolvido, usando-se máquinas especiais, onde somente é aberto um pequeno sulco ou cova de profundidade e largura suficientes para garantir uma boa cobertura e contato da semente com o solo, e não mais de 30 % da superfície do solo é preparada. Para Gassen & Gassen (1996), a expressão semeadura direta é adotada para definir a prática de semeadura ou de cultivo de plantas sem o preparo físico do solo, mantendo a palha da cultura anterior na superfície do solo. Mais recentemente, Muzilli (2006) apresenta uma definição sistêmica e mais abrangente para a semeadura direta como sendo uma interação de práticas biológico-culturais com práticas mecânico-químicas, pressupondo como requisitos básicos o condicionamento e adequação prévia do terreno, revolvimento mínimo do solo, uso diversificado da terra pela rotação de culturas comerciais com plantas de cobertura e adoção de métodos integrados para controle de plantas daninhas, pragas e doenças. Dessa forma, pode-se constatar que tanto o conceito quanto a prática da semeadura direta passaram por aperfeiçoamento e inovações no decorrer das décadas passadas até os dias atuais.

A manutenção da palha no sistema de semeadura direta enfocada por Gassen & Gassen (1996) é de grande importância, pois é responsável por

amortecer e dissipar a energia cinética das gotas de chuva que atingem o solo, diminuindo o desprendimento das partículas e, assim, controlando de forma eficaz a erosão hídrica do solo (DERPSCH et al., 1991; WOLSCHICK, 2000). Para compreender a ação erosiva das gotas de chuva no solo, deve-se considerar a energia cinética da gota de chuva (k_e), que pode ser obtida pela equação $k_e = 0,5 MV^2$, em que M representa a massa e V a velocidade da gota de chuva quando em contato com as partículas de solo, rompendo as forças de adesão e coesão que as unem, provocando desprendimento e lançamento dessas partículas a alturas superiores a um metro (DALLA COSTA, 2004). A lâmina de água resultante depois de excedida a taxa de infiltração básica da água no solo que escorre superficialmente transporta as partículas de solo desprendidas, podendo causar sulcos de erosão e até voçorocas (SOARES, 2004).

Quanto à adoção da semeadura direta como técnica conservacionista do solo nas áreas agrícolas, sobretudo naquelas mais propensas à erosão, Gassen & Gassen (1996) apresentam algumas razões que, segundo os autores, se adaptam à filosofia atual de produção agropecuária, que preconiza reduzir os custos de produção, melhorar a qualidade e a produtividade e, ao mesmo tempo, preservar e recuperar os recursos naturais. Entre tais medidas estão: a) redução do uso de máquinas utilizadas nas operações de preparo do solo e de combustível, baixando o custo de produção e aumentando o tempo disponível para o agricultor desenvolver outras atividades que viabilizem economicamente sua unidade de produção; b) recuperação da estrutura e proteção da superfície do solo contra o impacto das gotas de chuva; e c) menor perda de solo e nutrientes por erosão quando comparado ao sistema convencional de preparo, reduzindo e até dispensando em alguns casos o uso de fertilizantes em determinadas culturas.

Cardoso (2003) também apresenta vantagens que complementam as citadas por Gassen & Gassen (1996), que são: a) facilitar a semeadura e evitar o plantio tardio fora da melhor época; b) favorecer a imobilização do carbono pelo acúmulo do húmus, além da produção de compostos húmicos que neutralizam a toxidez do alumínio; c) reduzir a incidência de plantas daninhas pelo efeito de cobertura da palhada ou pela ação alelopática da cultura anterior; d) favorecer a proliferação de fungos que se associam às raízes das plantas, aumentando a superfície de contato e consequente aproveitamento dos

nutrientes; e e) adaptar um sistema de ciclagem de nutrientes pela decomposição dos resíduos, com liberação gradual do nitrogênio, evitando possíveis perdas e aumentando a resistência das plantas cultivadas ao ataque de pragas e doenças.

Apesar das inúmeras vantagens descritas anteriormente, Freitas (2005) afirma que a viabilização da semeadura direta como sistema de manejo apropriado para as condições tropicais e subtropicais dominantes no Brasil só foi possível pela incorporação de importantes avanços no conhecimento técnico-científico e pela mudança de paradigmas agronômicos que têm a qualidade do solo como objetivo principal.

2.2 Mulching vertical

É uma das técnicas conservacionistas de solo que consiste na abertura de uma trincheira no solo (valeta em curva de nível) preenchida com materiais orgânicos que podem propiciar o aumento da infiltração de água no solo, manutenção da estrutura das paredes da valeta, promovendo, também, aumento da incorporação de material orgânico no solo (PARR, 1959; RIGLES et al., 2002; HERBES, 2003; DALLA COSTA, 2004; DENARDIM et al., 2005; GARCIA, 2005; GARCIA & RIGLES, 2008).

O mulching vertical também é descrito por Saxton et al. (1981) e Ricles et al. (2002) como a substituição de parte do solo por material mais poroso, constituído por sulcos transversais à declividade do terreno, tendo atuação fundamental no aumento da taxa de infiltração de água no solo e, consequentemente, na redução do escoamento superficial.

Para a implantação do mulching vertical, podem ser utilizadas, de acordo com Pires & Souza (2006), as valetadoras rotativas (Figura 1), que são equipamentos motomecanizados, equipados apenas com dispositivo para a abertura de sulcos, devendo o preenchimento ser feito manualmente.



Figura 1 – Valetadeira rotativa empregada na implantação do mulching vertical.

Estes mesmos autores relatam que o mulching vertical apresenta como grande vantagem em relação a outras práticas mecânicas conservacionistas o fato de os sulcos que são abertos apresentarem largura reduzida, acarretando menor remoção de solo, além de não interferirem nas operações motomecanizadas requeridas para a condução da lavoura e no caso de pastagens não apresentarem riscos ao trânsito dos animais. Garcia (2005) apresenta outras vantagens advindas dos efeitos indiretos do uso da técnica: incorporação de matéria orgânica em maior profundidade; ultrapassagem da camada compactada (pé de arado) que limita a infiltração; aumento da carga hidráulica devido ao maior fluxo de água para dentro do solo; redução das perdas de nutrientes e do transporte de defensivos agrícolas que podem contaminar mananciais; e incorporação de calcário em maior profundidade nos solos ácidos, contribuindo para o aumento da exploração radicular.

Ao se verificar os efeitos do mulching vertical associado a diferentes sistemas de cultivos, alguns trabalhos mostram a eficiência da técnica, principalmente em relação à infiltração de água no solo e redução do escoamento superficial. Trabalhos realizados por Nishijima & Rigles (1987), ao avaliar a eficiência do mulching vertical no manejo da enxurrada, em Argissolo Vermelho-Amarelo em Santa Maria, RS, concluíram que a adoção desta técnica reduziu em 52% a enxurrada. Dotto & Rigles (1989) constataram que a presença do mulching vertical contribuiu para reduzir em 77% as perdas

médias de matéria orgânica no sedimento carregado pela enxurrada. Resultados promissores também foram encontrados por Garcia & Rigles (2005), que, ao avaliarem o escoamento superficial no solo na cultura do trigo em Passo Fundo, RS, utilizando tratamentos com mulching vertical espaçados a cada 5 m e 10 m e testemunha sem mulching vertical, com chuva simulada de 70 mm h^{-1} , observaram que o controle do escoamento superficial do tratamento com mulching vertical a cada 5 e 10 m em relação à testemunha foi de 54% e 48,66%, respectivamente.

Ao se considerar o estágio de degradação pela erosão hídricas nas terras agricultáveis do país e o abandono das práticas conservacionistas de manejo do escoamento superficial, o mulching vertical poderá vir a ser uma tecnologia eficaz e viável no controle da erosão. Entretanto, segundo Denardin et al. (2005), em decorrência do atual estágio do estudo, a indicação do mulching vertical está sendo limitada a solos bem drenados e a áreas específicas de lavouras manejadas sob sistema de semeadura direta com declives propensos à concentração de enxurrada e/ou com problemas evidentes de erosão. Evidencia-se, portanto, a necessidade de mais estudos a respeito da técnica para que ela possa ser mais difundida, contribuindo para uma agricultura menos degradante para o meio ambiente e mais sustentável em uma perspectiva de longo prazo.

2.3 Perdas de água, solo e nutrientes por erosão

O escoamento superficial e seus efeitos na superfície do solo são um dos principais problemas que comprometem a conservação do solo nas áreas agrícolas. Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990), a erosão decorrente do escoamento superficial é causada por diversos fatores: fatores climáticos, relacionados às características da chuva; fatores topográficos do terreno, como por exemplo, a declividade e o comprimento do declive; e os fatores relacionados às características físicas do solo, como a capacidade de infiltração da água, e as forças passivas que dizem respeito à resistência que o solo exerce sobre ação erosiva da água e a densidade de cobertura vegetal.

Entre os fatores climáticos, destacam-se três características de grande importância no processo erosivo: intensidade, duração e frequência das chuvas

(BERTONI & LOMBARDI Neto, 1990; PIRES & SOUZA, 2006). A intensidade, definida por Pires & Souza (2006) como a quantidade de chuva que cai em um determinado espaço de tempo, é o fator pluviométrico mais importante, pois quanto maior a intensidade de uma chuva mais rapidamente a taxa de infiltração de água no solo é superada, provocando, assim, um excesso de água que escorre superficialmente (DALLA COSTA, 2004). A duração da chuva é o complemento da intensidade, e a combinação dos dois fatores determina a chuva total. A frequência das chuvas é outro fator importante que influencia nas perdas de solo, uma vez que determina o teor de umidade do solo, que interfere diretamente na taxa de infiltração, determinando o volume e o tempo de formação da enxurrada (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990; PIRES & SOUZA, 2006).

O conjunto de todos esses fatores combinados com problemas de manejo acarretam aumento nas perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica nas áreas agrícolas (HERBES, 2003). De modo que, além da redução do potencial produtivo da área pela remoção da camada fértil do solo, esses materiais transportados pela enxurrada podem ser depositados em lagos, lagoas, represas e outras coleções hídricas, causando, entre outros distúrbios, o assoreamento, tornando difícil a captação de água destinada ao abastecimento e à irrigação (SILVEIRA, 1998).

No intuito de reduzir os problemas causados pela erosão hídrica, os sistemas de cultivo do solo de caráter conservacionista foram amplamente difundidos pelo país, principalmente a partir da década de 1980 (GARCIA & RIGLES, 2008), tendo grande ênfase na Região Sul, onde foram e ainda são desenvolvidos inúmeros estudos a respeito. Nesses sistemas de cultivo, em que a semeadura direta apresenta grande destaque, a operação de semeadura é feita sem o prévio preparo do solo, resultando em menor mobilização e, conseqüentemente, na maior quantidade de resíduos deixados na superfície do solo (AMARAL et al., 2008).

Em decorrência da proteção contínua que a manutenção dos resíduos culturais promove na superfície do solo, estudos realizados por diversos autores (CARVALHO et al., 1990; HERNAMI et al., 1997; KLEIN et al., 2000; SCHICK et al., 2000; MORAIS & COGO, 2001; COGO et al., 2003) com diferentes culturas comprovam a eficiência da semeadura direta na redução das perdas de solo quando comparado a outros sistemas de cultivo. Entretanto,

esses mesmo autores e outros como Brady (1989), Bertol (1995), Barcelos (1999) não constatarem a mesma eficiência desses sistemas conservacionistas na redução das perdas de água por escoamento superficial (enxurrada). Segundo Kohnke (1968), a explicação para tal acontecimento está no fato de todos os solos possuírem um limite de capacidade de absorção e armazenamento de água, ultrapassado esse limite, o excesso de água proveniente das chuvas escoar superficialmente sobre o terreno. Nesta situação, o efeito dos diferentes sistemas de cultivo no controle da perda de água por erosão hídrica é igualado.

Na erosão hídrica, além da água e do solo transportados pela enxurrada, também são removidos nutrientes e carbono orgânico, que trazem como consequências, além da redução de potencial produtivo, o assoreamento e a eutrofização das águas onde o material é depositado, comprometendo a qualidade dos recursos hídricos (POTE et al., 1996; BERTOL et al., 2004a). De acordo com Bertol (2005), o transporte de nutrientes por escoamento superficial pode ser influenciado por diversos fatores como: a concentração de nutrientes no perfil do solo e na superfície dele, o tipo de adubo utilizado e o manejo adotado nas adubações, o tipo e a forma do nutriente no meio de transporte, o intervalo de ocorrência de chuvas após as adubações, condições físicas do solo e o sistema de cultivo adotado.

Entre os fatores mencionados, Hernani et al. (1999), avaliando perdas de nutrientes e matéria orgânica em diferentes sistemas de manejo do solo, afirmam que as concentrações de nutrientes e matéria orgânica foram significativamente influenciadas pelos sistemas de cultivo do solo, sendo que as concentrações de Ca^{2+} , de P e de matéria orgânica no sedimento, e a de K^+ na solução, foram significativamente mais elevadas na semeadura direta, quando comparadas às do sistema convencional de preparo de solo, sem cobertura vegetal. Outros autores, como Soileau et al. (1994) e Bertol et al. (2004a), avaliando diferentes sistemas de preparo do solo, também constatarem que a semeadura direta proporcionou maior concentração de nutrientes na enxurrada. Esse comportamento observado nos preparos conservacionistas em relação à maior perda de nutrientes na água de escoamento é justificado por Bertol et al. (2004a) em razão do transporte pela enxurrada de camadas superficiais do solo mais ricas em nutrientes, já que a quase ausência de revolvimento do solo nesses sistemas favorece a

manutenção dos resíduos culturais e, conseqüentemente, maior concentração de nutrientes provenientes da sua decomposição na camada superficial do solo.

Os nutrientes e a matéria orgânica transportados no processo de escoamento superficial são levados pela enxurrada para as coleções hídricas, onde juntamente com as partículas coloidais do solo são depositados, podendo causar, além de assoreamento, o processo de eutrofização, resultando em alto crescimento da microbiota aquática (BERTOL, 2005). Hernani et al. (1999) explicam que, com a elevação da quantidade de nutrientes no reservatório, ocorre uma rápida multiplicação de fitoplâncton (algas verde-azuis) e zooplâncton, que bloqueiam a entrada de luz, acarretando a morte das plantas submersas e das próprias algas, que, ao serem decompostas, removem o oxigênio da água, prejudicando sua qualidade, podendo causar a morte de toda a fauna vertebrada nesses ambientes. Ainda segundo o autor, essas águas podem se transformar em fonte de inóculo de doenças.

Os efeitos da eutrofização nas coleções hídricas também se refletem diretamente no ser humano, afetando a saúde através da qualidade das águas que são consumidas, sendo que alguns autores (SHARPLEY et al., 1994; SHARPLEY et al., 2001) afirmam ainda que, em condições de água eutrofizada, certas algas azuis geram toxinas que, além do mau odor que interfere no tratamento das águas, podem formar produtos cancerígenos e causar problemas neurológicos. Ainda em relação à saúde humana, Bertol (2005) afirma que a concentração de nutrientes na água de consumo deve ser controlada, pois nutrientes como o nitrato, por exemplo, pode causar uma doença conhecida como meta-hemoglobinemia, ou síndrome do bebê azul.

Além dos problemas que podem ser causados à saúde humana, outros aspectos também podem ser afetados, como, por exemplo, o lazer e atividades econômicas (piscicultura, recreação e indústria) que são restringidos pelo crescimento de plantas aquáticas indesejáveis, criando um sério impacto na economia local e regional (SHARPLEY et al., 1994).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização, clima e solo

O trabalho foi realizado na estação experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, em Coimbra, Minas Gerais (Figura 2). A área experimental encontra-se no terço inferior de uma encosta e o solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, fase Floresta Tropical Subperenifólia, argiloso/argiloso relevo suave ondulado, caulínítico (PVAd) (EMBRAPA, 2006). O clima é o tropical de altitude (Cwb segundo Köppen), com precipitação média de 1.300 a 1.400 mm (concentrada nos meses de outubro a março) e temperatura média anual de 19 °C.

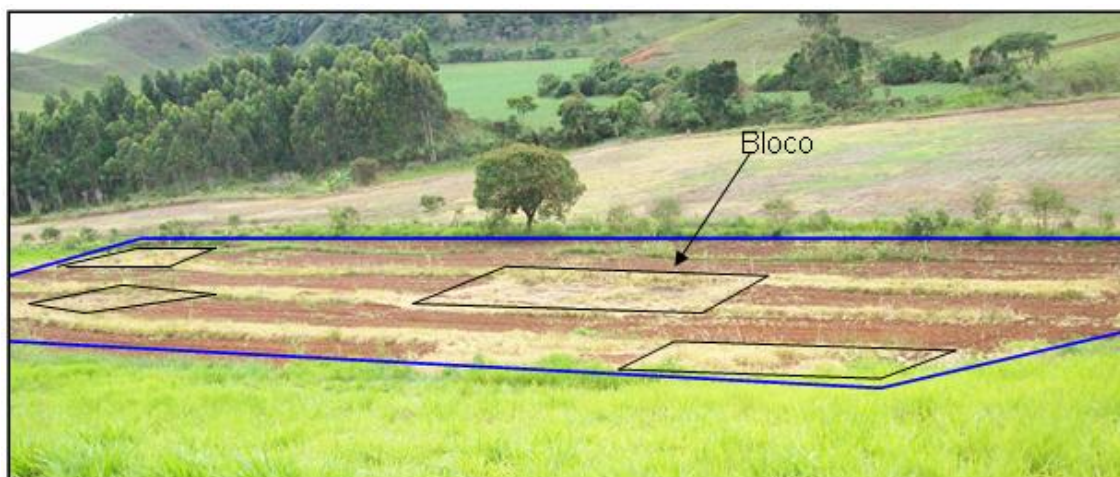


Figura 2 – Vista geral do local onde foi instalado o experimento (Área experimental de Coimbra, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais).

3.2 Histórico de utilização da área experimental

A área onde foi desenvolvido o estudo se constitui de um experimento instalado para o trabalho de Sampaio (1987). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições, perfazendo um total de 24 unidades experimentais. Cada parcela ocupou uma área de 112 m² (14m x 8 m), com ruas de 3 m separando as parcelas entre si e de 5 m separando os blocos. Os tratamentos empregados

foram constituídos dos seguintes sistemas de preparo: semeadura direta (SD); arado de discos (AD); arado de aivecas (AA); grade pesada (GP); grade pesada + arado de discos (GP + AD); grade pesada + arado de aivecas (GP + AA).

De acordo com Falleiro et al. (2003), a partir do trabalho desenvolvido por Sampaio (1987), esse experimento foi repetido sequencialmente ano após ano, sendo utilizado para os trabalhos de Siqueira (1989), Siqueira (1995) e Vallejos, (1998). Em todos os trabalhos citados, todos os tratamentos, exceto a semeadura direta (SD), foram realizados duas gradagens com grade niveladora para uniformizar o terreno após a aração, e o plantio foi realizado com máquinas apropriadas para a semeadura direta.

Ao longo da condução do experimento, foi adotada a seguinte sequência de culturas: 1985/86 - consórcio milho/feijão da “seca”; 1986/87 - feijão das “águas” e da “seca”; 1987/88 - milho; 1988/89 - milho; 1989/90 - feijão das “águas” e da “seca”; 1990/95 - milho; 1995/96 - milho e trigo; 1996/98 - soja e trigo; 1998/99 - feijão; 1999/02 – milho (FALLEIRO et al., 2003); e de 2002 a 2009 foi mantida a rotação milho/feijão da “seca”. Nos intervalos entre as culturas, a área experimental foi mantida em pousio, sendo dessecada a vegetação nela desenvolvida para as operações de cultivo.

A adubação adotada bem como os adubos foram os seguintes: milho: 400 kg ha⁻¹ de fertilizante NPK 4-14-8, na semeadura, e 40 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia, em cobertura; feijão: 350 kg ha⁻¹ de fertilizante NPK 4-14-8, na semeadura, e 20 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia, em cobertura; trigo: 350 kg ha⁻¹ de fertilizante NPK 4-14-8, na semeadura, e 20 kg ha⁻¹ de N, na forma de sulfato de amônio, em cobertura; e soja: 350 kg ha⁻¹ da mistura de 300 kg de superfosfato simples e 50 kg de cloreto de potássio, na semeadura (FALLEIRO et al., 2003).

3.3 Caracterização física e química do solo

Após a cultura do feijão foi realizada a descrição morfológica do perfil do solo, sendo aberta trincheira de aproximadamente 2,25 m² (1,5 x 1,5 m) de área e 1,5 metros de profundidade, onde foram separados e classificados os horizontes do solo. Após a separação e descrição morfológica dos horizontes

do solo, foram coletadas amostras deformadas para análise química de rotina e para determinação das frações texturais e da densidade de partículas. Também foram coletas amostras indeformadas com anel volumétrico para determinação das demais características físicas.

3.3.1 Análises químicas

Para a caracterização química das amostras de solos, foram analisados os seguintes atributos: pH em água e em KCl; P, K disponível (extrator Mehlich 1); Ca, Mg, Al (Extrator KCl 1 mol L⁻¹); H + Al (extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0); Soma de Bases Trocáveis (SB); Capacidade de Troca Catiônica Efetiva – CTC (t); Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0 – CTC (T); índice de Saturação de Bases (V); Índice de Saturação de Alumínio (m); Matéria Orgânica (MO) – Walkley-Black; e fósforo remanescente (Prem) (EMBRAPA, 1997).

3.3.2 Análises físicas

Entre as análises que compreendem a caracterização física do solo, foi feita a análise granulométrica, em que foram determinadas as quantidades de areia grossa (Ag), areia fina (Af), silte (s) argila (r), segundo Embrapa (1997), modificada por Ruiz (2005). Nas análises da parte física do solo, também foram determinadas a densidade e a porosidade do solo (microporosidade, macroporosidade e porosidade total), utilizando-se o método do anel volumétrico, curva de retenção de água no solo (Apêndice A), estabilidade e distribuição do tamanho de agregados e a condutividade hidráulica em meio saturado (EMBRAPA, 1997).

3.4 Caracterização das parcelas experimentais

O experimento foi instalado em uma área de semeadura direta (descrita anteriormente), sendo constituído por seis tratamentos e quatro blocos

casualizados. Os tratamentos adotados foram constituídos de sulcos de mulching vertical em diferentes distâncias dispostos em sentido transversal ao declive, totalizando vinte e quatro parcelas experimentais.

As diferentes distâncias entre sulcos utilizadas para distribuição da técnica em campo foram calculadas tomando-se por base o princípio adotado para dimensionamento dos terraços. Neste caso, o espaçamento entre um terraço e outro, considerando o sentido do declive, é dimensionado visando a receber e infiltrar (para o caso dos terraços de infiltração) o volume de água proveniente do escoamento relativo à área limitada pelo que foi construído na parte superior do terreno. Em função do volume útil de cada sulco de mulching vertical, da área útil de cada parcela e do volume de água a ser infiltrado em um dado volume de precipitação, que neste caso foi adotada uma intensidade máxima de 100 mm h^{-1} de chuva, foi calculada a distância em que cada sulco deveria ser aberto para receber e infiltrar a água escoada.

Dessa forma, calculou-se o volume útil do sulco pela diferença entre o volume total (V_t) e o volume da palha de preenchimento (V_p), pela seguinte fórmula:

$$V_t = r L C$$

Em que:

V_t = Volume total do sulco (m^3); r = Raio do disco de corte da valetadeira, representando a profundidade do sulco (0,4 m); L = Largura do disco de corte e, conseqüentemente, do sulco (0,13 m); e C = Comprimento do sulco em cada parcela (2 m).

Aplicando-se a formula ter-se-á um volume total de sulco de $0,104 \text{ m}^3$ por parcela. O volume ocupado pela palha de trigo foi estimado em 37%. A partir do volume ocupado pela palha de trigo, encontrou-se o volume útil do sulco de $0,06552 \text{ m}^3$. A área de cada parcela foi calculada multiplicando-se as dimensões largura (2 m) x comprimento (8 m), obtendo-se uma área de 16 m^2 . Após a determinação desses dados, foi calculada a vazão máxima para cada parcela pela equação de Manning (PIRES & SOUZA, 2006):

$$Q = \frac{C I A}{360}$$

Em que:

Q = vazão do escoamento superficial ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$);

C= coeficiente de escoamento (adimensional);

I= intensidade da precipitação pluviométrica (mm h^{-1}); e

A= área de contribuição (ha).

O coeficiente de escoamento é influenciado por diferentes fatores como a topografia e declividade do terreno, textura do solo e pela cobertura vegetal, sendo os valores apresentados no Anexo A.

O próximo parâmetro da equação é a intensidade máxima de chuva (I), fator que interfere diretamente na produção de enxurrada. Para obtenção desse parâmetro, o ideal seria utilizar valores de série histórica, no entanto, nem sempre o acesso a esse tipo de dado é possível, nesse caso, utiliza-se a probabilidade de o evento ocorrer em intervalos de 5, 10, 25 anos. Entretanto, para obter a intensidade máxima de uma chuva, é preciso primeiro calcular o tempo de concentração da bacia, que se refere ao tempo gasto para que toda a área contribua para o escoamento simultaneamente, ou seja, a movimentação da água do ponto mais distante até a saída da área de contribuição (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1993). Com isso, obtém-se o volume máximo de enxurrada possível para uma determinada área. Neste caso, tanto o tempo de concentração quanto a intensidade máxima de chuva são apresentados nos Anexos A e B.

Para este trabalho, o coeficiente de escoamento utilizado foi de 0,54, considerando o solo de textura argilosa; o tipo de cobertura do solo como cultura perene, uma vez que o quadro não apresenta distinção entre o sistema de preparo do solo (semeadura direta para este caso) onde a cobertura do solo é mantida; e a topografia como ondulada, com declividade média de 10 %. Considerando que no local onde foi conduzido o experimento a precipitação média anual é de 1.300 a 1.400 mm, concentrada, principalmente, nos meses de outubro a março, adotou-se um valor de intensidade máxima de chuva de 100 mm h^{-1} , com uma frequência de 25 anos (Anexo B), obtendo-se um tempo de concentração de 40 minutos.

Substituindo os valores na equação de Manning, tem-se:

$$Q = (0,0016 \text{ ha} \times 100 \text{ mm h}^{-1} \times 0,54) 360^{-1}$$

$$Q = 0,00024 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

Aplicando os valores encontrados à equação de Manning, encontrou-se a vazão de $0,00024 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, e a partir desta vazão, encontrou-se o volume de enxurrada produzido durante uma chuva dessa intensidade:

Em que:

$$\begin{aligned} V_t &= Q T_c \\ V_t &= 0,00024 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \times 2400 \text{ s} \\ V_t &= 0,576 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Em que:

V_t = Volume total de enxurrada produzida durante a chuva;

Q = vazão do escoamento superficial ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$); e

T_c = Tempo de concentração (s).

A partir dos dados de volume total de enxurrada produzida por parcela e do volume útil de cada sulco, calculou-se o número de sulcos que seriam necessários em cada parcela para receber o volume de enxurrada produzido:

$$\begin{aligned} N_s &= V_t V_u^{-1} \\ N_s &= 0,576 \text{ m}^3 \times 0,06552 \text{ m}^{-3} \\ N_s &= 8,79 \end{aligned}$$

Em que:

N_s = Número de sulcos de mulching vertical por parcela;

V_t = Volume total de enxurrada produzida durante a chuva; e

V_u = Volume útil de cada sulco.

Finalmente, o espaçamento entre os sulcos de mulching vertical em campo foi calculado dividindo-se o comprimento da parcela pelo número de sulcos calculados:

$$\begin{aligned} EMV &= C N_s^{-1} \\ EMV &= 8 \text{ m} \times 8,79^{-1} \\ EMV &= 0,91 \text{ m} \end{aligned}$$

Em que:

EMV = Espaçamento entre sulcos de mulching vertical;

C = Comprimento da parcela (m); e

N_s = Número de sulcos de mulching vertical por parcela.

Para facilitar a aplicação no campo, a distância calculada de 0,91 m foi arredondada para 0,9 m. Depois de calculada a distância entre sulcos,

estabeleceram-se os múltiplos, compreendidos entre zero e oito, constituindo os tratamentos em campo (Figura 5), da seguinte forma:

- Tratamento 1 – zero EMV (testemunha sem mulching vertical);
- Tratamento 2 – 1x EMV (9 sulcos por parcela);
- Tratamento 3 – 2x EMV (4,5 sulcos por parcela);
- Tratamento 4 – 4x EMV (2 sulcos por parcela);
- Tratamento 5 – 6x EMV (1,5 sulcos por parcela); e
- Tratamento 6 – 8x EMV (1 sulco por parcela).

3.5 Instalação dos tratamentos em campo

Os tratamentos foram instalados em outubro de 2009. Utilizou-se uma valetadeira rotativa desenvolvida para drenagem em solos de várzea. Os sulcos foram abertos em sentido transversal ao declive com dimensões de 2 m de comprimento x 0,13 m de largura x 0,4 m de profundidade. O solo proveniente da operação foi redistribuído dentro das parcelas, permanecendo sobre a superfície. Após a abertura, os sulcos foram preenchidos manualmente com palha de trigo que foi compactada visando a proporcionar estabilidade às paredes dos sulcos, evitando desmoronamentos (Figura 3).

Após a abertura dos sulcos, as parcelas experimentais foram delimitadas lateralmente com chapas de madeira enterradas no solo a 0,1 m de profundidade, visando a evitar que a água de uma parcela escoasse para a parcela vizinha. Ao final de cada parcela, foram instalados coletores de escoamento e dentro de cada bloco foram colocados coletores de precipitação (pluviômetros), totalizando cinco coletores por bloco (Figura 4).

O experimento foi conduzido tendo o milho, Cultivar Dekalb (DKB 747), como cultura, semeado no início de novembro de 2009 com uma população de 55 mil plantas por hectare. Anteriormente à semeadura, foi feita a dessecação da vegetação nas parcelas experimentais, utilizando a mistura dos herbicidas Glyphosate e 2,4-D. Durante a condução da cultura, o controle das plantas daninhas foi feito utilizando os herbicidas Atrazine e Nicossulfuron. Na adubação de plantio, foram utilizados 400 kg ha⁻¹ da fórmula 8-28-16 (NPK).



Figura 3 – Abertura dos sulcos de mulching vertical com valetadeira rotativa acoplada à tomada de força do trator em uma das parcelas experimentais. Coimbra – MG, 2009.



Figura 4 – Coletores de precipitação e escoamento superficial instalados nas parcelas experimentais. Coimbra – MG, 2009.

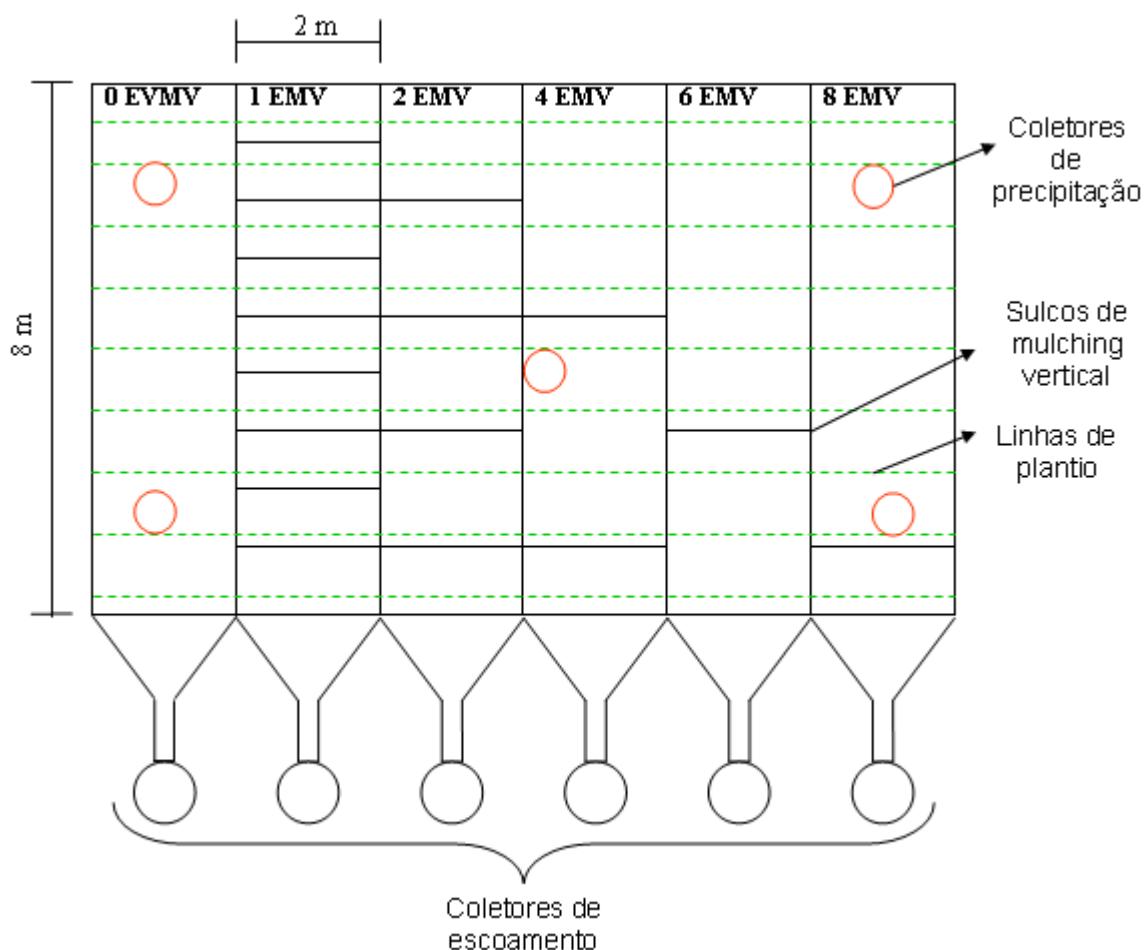


Figura 5 – Esquema representativo das parcelas experimentais em campo.

Durante a condução do experimento, as precipitações pluviométricas foram quantificadas, bem como o escoamento proveniente de cada parcela. Considerou-se todo o volume de chuva ocorrido em um período de vinte e quatro horas. O volume de água escoada foi calculado pela diferença entre o volume total nos coletores de escoamento e o volume médio precipitado em cada bloco.

3.6 Determinação da quantidade de sedimento, concentração de carbono orgânico e nutrientes na água de escoamento

Depois de medir o volume escoado, foram coletadas amostras da água de escoamento (0,3 litros) em cada uma das vinte e quatro parcelas experimentais, sendo realizado um total de quatro coletas ao longo da condução dos trabalhos. As amostras foram acondicionadas em frascos de

polietileno devidamente identificados e levadas para o Laboratório de Matéria Orgânica do Departamento de Solos da UFV, onde permaneceram sob refrigeração até a realização das análises. O sedimento precipitado no fundo dos coletores de escoamento também foi transferido para frascos e levado ao Laboratório de Física do Solo/UFV, onde foi seco em estufa a 105 °C e pesado estimando-se a quantidade total de sedimento perdido por parcela, sendo os valores convertidos para kg ha⁻¹.

Nas amostras de água de escoamento, foram determinados os seguintes nutrientes: fósforo, potássio, cálcio, magnésio, carbono orgânico total, segundo Tedesco et al. (1995). Após determinada a concentração dos nutrientes para as amostras, estimou-se a quantidade total perdida por parcela para os valores de precipitação em que as amostras foram coletadas.

3.7 Análise estatística

O volume de água e de solo escoado das parcelas experimentais bem como o teor de nutrientes na água e no solo proveniente do sedimento foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o programa estatístico SAEG (2007). Na comparação entre médias, foi utilizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características do solo

Tanto as principais características físicas (análise textural) como as características químicas se encontram nas Tabelas 2 e 3.

As análises supracitadas permitem verificar que se trata de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, argiloso, fase Floresta subperenifólia, relevo suave ondulado. Pode-se perceber que a variação de argila ao longo do perfil não é tão evidente, mas as estruturas dos horizontes B foram determinadas como subangular, média a forte.

Quanto à parte química, verifica-se o efeito do resíduo especialmente da adubação fosfatada, pois se trata de um solo distrófico concentrando a maioria dos nutrientes e matéria orgânica nos horizontes superiores. Este solo, comum na Zona da Mata Mineira, ocorre no terço inferior das encostas, recebendo às vezes sedimentos da parte superior (colúvio).

Tabela 2 – Características físicas (análise textural) do Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico nos seus diferentes horizontes

<i>Horizontes</i>	<i>Profundidade</i>	<i>AG</i>	<i>AF</i>	<i>silte</i>	<i>Argila</i>	<i>ADA</i>	<i>Textura</i>
-----	(cm)	-----dag kg ⁻¹ -----					
Ap1	0-13	31	15	12	42	14	Aa
Ap2	13-16	32	16	10	42	15	Aa
BA	16-35	30	13	10	47	12	R
Bt1	35-70	25	14	11	50	2	R
Bt2	70-85	25	15	11	49	2	R
BC	85-95	29	16	12	43	1	R
C1	95-112	35	26	8	31	1	FAa
C2	112-150	38	29	15	18	1	Fa

*RT = 1,18Ag = areia grossa, Af = areia fina, ADA = argila dispersa em água, RT = relação textural, Aa = Argilo-arenosa, r = argila, FAa = Franco-argilo-arenosa, Fa = Franco-arenosa.

Tabela 1 – Atributos químicos do Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico onde foi implantado o experimento

<i>Horiz.</i>	<i>Prof.</i>	-----pH-----			<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i> ²⁺	<i>Mg</i> ²⁺	<i>Al</i> ³⁺	<i>H + Al</i>	<i>SB</i>	<i>(t)</i>	<i>(T)</i>	<i>V</i>	<i>m</i>	<i>MO</i>	<i>Prem</i>
----	(cm)	Água	KCl	ΔpH	mg dm ⁻³	-----cmolc dm ⁻³ -----							-----%-----			dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹
Ap1	0-13	5,02	4,30	-0,72	21,80	0,27	1,40	0,41	0,00	5,50	2,08	2,08	7,58	27,40	0,0	2,58	33,60
Ap2	13-16	5,10	4,40	-0,70	5,80	0,14	1,29	0,27	0,00	4,00	1,70	1,70	5,70	29,80	0,0	2,07	32,90
BA	16-35	5,10	4,52	-0,58	0,60	0,07	1,27	0,25	0,00	2,60	1,59	1,59	4,19	37,90	0,0	2,45	26,80
Bt1	35-70	5,20	4,68	-0,52	0,50	0,05	1,32	0,26	0,29	2,30	1,63	1,92	3,93	41,50	15,1	1,03	23,30
Bt2	70-85	5,26	4,76	-0,50	0,50	0,03	1,00	0,30	0,29	2,10	1,33	1,62	3,43	38,80	17,9	0,78	17,00
BC	85-95	5,19	4,81	-0,38	0,50	0,03	0,71	0,27	0,49	1,90	1,01	1,50	2,91	34,70	32,7	0,65	16,80
C1	95-112	5,20	4,62	-0,58	0,50	0,04	0,45	0,19	0,68	1,30	0,68	1,36	1,98	34,30	50,0	0,52	27,40
C2	112-150	5,08	4,61	-0,47	0,50	0,05	0,21	0,12	0,39	1,30	0,68	0,77	1,68	22,60	50,6	0,26	29,80
<i>Média</i>	-----	5,14	4,59	-0,56	3,84	0,08	0,96	0,26	0,27	2,63	1,34	1,57	3,93	33,38	20,79	1,29	25,95
<i>s</i>	-----	0,08	0,17	0,11	7,49	0,08	0,45	0,08	0,25	1,44	0,51	0,39	1,95	6,36	21,45	0,93	6,50

s = desvio padrão.

Em relação aos dados de condutividade hidráulica em meio saturado (K_0) (Figura 6), é possível observar uma acentuada redução na profundidade de 20 a 25 cm, indicando restrição ao movimento da água no solo para esta profundidade. Esse comportamento dos valores de K_0 para tal profundidade, como já colocado anteriormente, é justificável em função do aumento da densidade e da microporosidade do solo, uma vez que, de acordo com Klein (2008), a condutividade hidráulica é dependente do número, continuidade, tamanho de poros e, sobretudo, da compactação do solo, que exerce grande influência sobre este parâmetro.

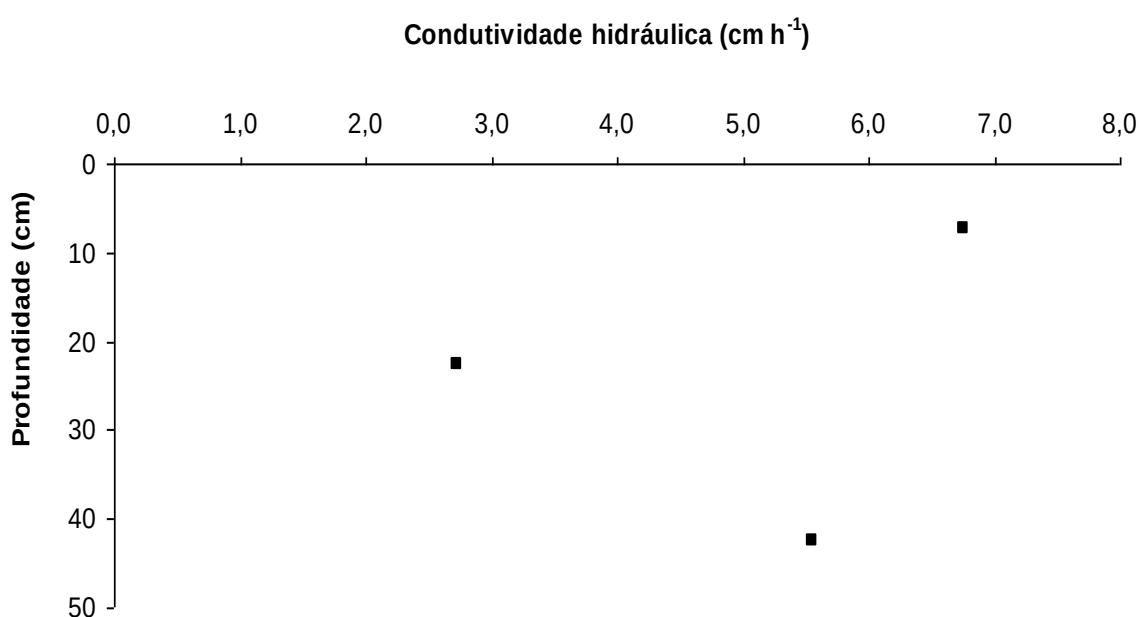


Figura 6 – Condutividade hidráulica em meio saturado (K_0) no perfil do solo para a profundidade de 0 a 45 cm.

Tabela 3 – Alguns atributos físicos do Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico em diferentes profundidades

Profundidade	Ds		Micro		Macro		Pt		DMP		DMG	
(cm)	Média	s	Média	s	Média	s	Média	s	Média	s	Média	s
-----	----g cm ⁻³ ----		-----cm ³ cm ⁻³ -----		-----cm ³ cm ⁻³ -----		-----		-----mm-----		-----	
5 - 10	1,36	0,07	0,36	0,07	0,09	0,08	0,45	0,03	1,49	0,08	0,96	0,06
20 - 25	1,41	0,05	0,38	0,02	0,05	0,03	0,43	0,02	1,80	0,07	1,29	0,07
40 - 45	1,35	0,06	0,36	0,05	0,09	0,05	0,45	0,03	1,82	0,07	1,35	0,06

Ds = densidade do solo, Macro = macroporosidade, Micro = microporosidade, Pt = porosidade total, DMP = diâmetro médio ponderado, DMG = Diâmetro médio geométrico, s = desvio padrão.

4.2 Dados de precipitação pluvial e intensidade máxima de precipitação.

Os dados de precipitação pluvial total e intensidade máxima de precipitação para os meses de outubro a março, que compreendem o período de concentração das chuvas para a região de Coimbra, MG, no período entre 2004/05 a 2009/10, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores de precipitação pluvial total (mm) e de intensidade máxima de precipitação (mm h^{-1}) para os meses de outubro a março no período de 2004/05 a 2009/10 na região de Coimbra, MG

Período	Meses						Total (mm)
	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	
	-----Precipitação pluvial (mm)-----						
2004/05	65,90	186,40	130,80	196,00	252,60	317,70	1149,40
2005/06	58,10	103,90	304,50	179,90	92,60	183,50	922,50
2006/07	197,60	201,50	187,60	433,60	88,10	45,50	1153,90
2007/08	45,70	65,60	179,20	236,80	103,20	238,40	868,90
2008/09	41,80	223,00	593,20	237,60	170,20	273,40	1539,20
2009/10	117,90	137,50	393,50	57,30	45,50	184,80	936,50
Média	87,83	152,98	298,13	223,53	125,37	207,22	1095,07
s.	60,35	61,09	173,53	122,31	74,2	94,63	227,21
	----- Máxima intensidade de precipitação (mm h^{-1})-----						Média
	--						
2004/05	20,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	36,67
2005/06	20,00	20,00	40,00	40,00	40,00	40,00	33,33
2006/07	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
2007/08	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
2008/09	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	20,00	36,67
2009/10	10,00	10,00	20,00	10,00	8,00	10,00	11,33
Média	28,33	31,67	36,67	35,00	34,67	31,67	33,00
s	13,29	13,29	8,16	12,25	13,06	13,29	10,90

s = desvio padrão

Fonte: Departamento de Engenharia Agrícola/UFV (2010).

Ao observar os dados de precipitação pluvial para os meses de janeiro e fevereiro de 2009/10, 109,95 e 35,09 mm, respectivamente, registrados na área experimental (Tabela 5), é possível constatar que estes valores são inferiores à média registrada na região para o período nos anos anteriores, 223,53 e 125,37 mm. Esses valores indicam a ocorrência de veranicos na região para o período em questão, os quais, de acordo com Petry et al. (2007), interferem diretamente no reabastecimento de água no solo, afetando diretamente o início e a força erosiva do escoamento superficial. Os dados totais de precipitação e escoamento superficial são apresentados nos Apêndices B e C.

Tabela 5 – Valores totais mensais de precipitação na região de Coimbra e na área experimental no período 2009/10

	Meses						
	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Total
Período 2009/10	-----Precipitação pluvial total (mm)-----						
Dados UFV/DEA	117,90	137,50	393,50	57,30	45,50	184,80	936,5
Dados de campo	117	167,86	306,62	109,95	35,09	194,04	930,57
s	0,6364	21,466	61,431	37,23	7,3595	6,536	134,66
CV (%)	0,5418	14,059	17,549	44,52	18,263	3,4505	98,384

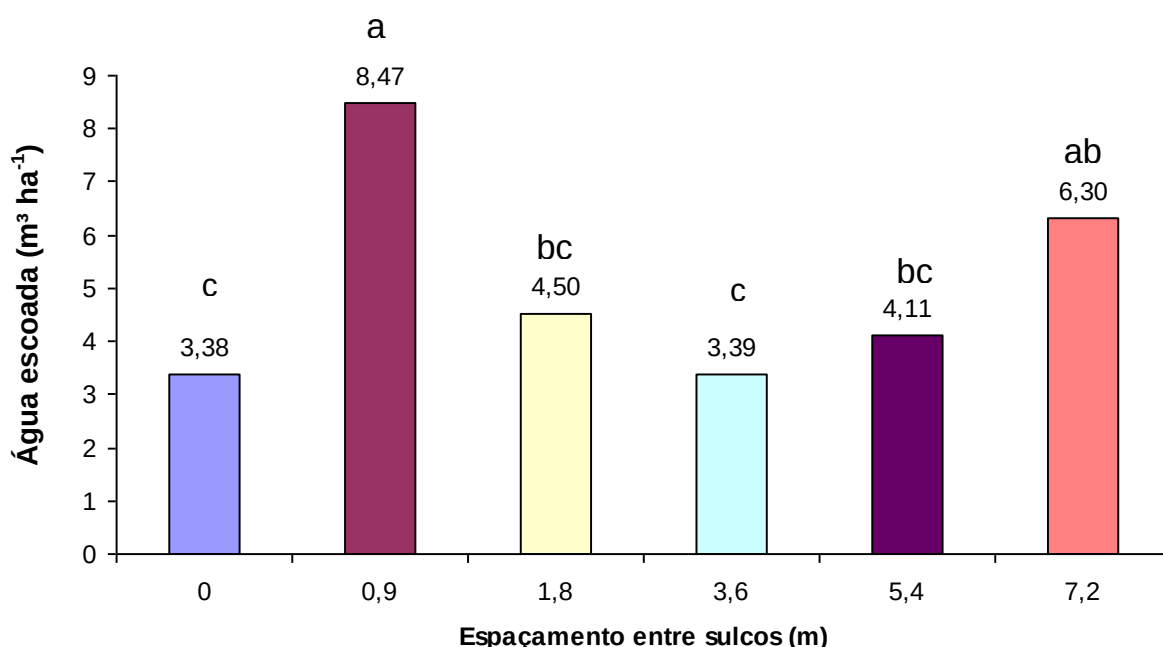
s = desvio padrão e CV = coeficiente de variação.

Quanto aos valores de máxima intensidade de precipitação pluvial (Tabela 4), é possível constatar que, no período 2009/10, todos os meses apresentaram valores baixos comparados à média dos demais anos. Analisando a precipitação pluvial total regional para o período 2009/10, é possível constatar que é inferior à média dos demais anos (Tabela 4), indicando que, além da intensidade, o volume precipitado para o período também foi menor. Os valores de intensidade de precipitação apresentados para o período em questão podem ser classificados, de acordo com Soriano & Galdino (2002), como fracos, situando-se entre 5 e 10 mm. Considerando que a intensidade das chuvas é o fator pluviométrico mais relevante para a conservação do solo, uma vez que quanto maior a intensidade de uma chuva mais rápida a taxa de infiltração de água no solo é superada, provocando

assim um excesso de água que escorre superficialmente, potencializando o processo erosivo (KOHNE, 1968), pode-se inferir que para o período 2009/10 o potencial erosivo das chuvas foi inferior ao dos anos anteriores.

4.3 Perdas de água e nutrientes por escoamento superficial

Ao analisar os valores de perda de água (Figura 7), foi possível verificar que o tratamento com 0,9 metros entre sulcos diferiu significativamente dos demais tratamentos, exceto para o tratamento com 7,2, que apresentou maiores perdas de água ($8,47 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) por escoamento superficial.



Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

Figura 7 – Perdas de água por escoamento superficial em eventos de chuva de 50 mm em sistema de semeadura direta com sulcos de mulching vertical em diferentes espaçamentos nas parcelas.

Os tratamentos com 0 e 3,6 metros entre sulcos apresentaram os menores valores de perda de água, diferindo significativamente dos tratamentos com 0,9 e 7,2. Os maiores valores de perda de água por escoamento superficial na parcela com 0,9 metros entre sulcos devem-se possivelmente ao fato de nesse espaçamento, mesmo os sulcos permanecendo mais próximos na parcela, a movimentação excessiva do solo

(Figura 8) ter provocado um efeito inverso ao esperado, uma vez que a terra mantida sobre as parcelas causou um selamento na superfície do solo, entupindo os macroporos de drenagem, reduzindo a infiltração da água e, conseqüentemente, potencializando as perdas por escoamento superficial. Morin & Van Winkel (1996) citam que a dispersão físico-química das argilas do solo causa a formação do selamento superficial e, conseqüentemente, a redução da taxa de infiltração. Herbes (2003) ressalta que o selamento superficial impede a infiltração da água, mesmo quando as camadas inferiores do solo ainda têm capacidade de absorção.



Figura 8 – Movimentação do solo nas parcelas com 0,9 metros entre sulcos (1 EVM) de mulching vertical.

Nas parcelas onde foram utilizados 7,2 metros entre sulcos, os maiores valores de perda de água em relação aos tratamentos com 0 e 3,6 devem-se possivelmente ao fato de nesse espaçamento o único sulco de mulching vertical não ter sido capaz de comportar e infiltrar toda a água proveniente da parcela. Além disso, pode-se constatar que esse tratamento apresentou resultado inferior à parcela testemunha, sem sulcos de mulching vertical, indicando uma redução nesta parcela do efeito da cobertura morta no aumento da infiltração de água no solo. Esses resultados evidenciam que tanto

em espaçamento reduzidos (0,9 m), quanto em espaçamentos maiores (7,2 m) o mulching vertical apresenta menor eficiência na contenção das perdas de água por escoamento superficial em sistema de semeadura direta. Além da menor eficiência em conter perdas de água, no espaçamento reduzido há também maior gasto de combustível e horas de trabalho, mostrando que não é economicamente viável sua adoção.

Estes resultados contrastam com outros autores como Nishijima & Rigles (1987), que, avaliando a eficiência do mulching vertical no manejo da enxurrada, em um Argissolo Vermelho-Amarelo em Santa Maria, RS, concluíram que a adoção desta técnica reduziu em 52% a taxa de enxurrada. Herbes (2003), avaliando o mulching vertical em diferentes espaçamentos entre sulcos, 5 e 10 metros, sob chuva simulada, entre 70 e 106 mm h⁻¹, durante o ciclo das culturas da soja e do trigo, concluiu que a adoção da técnica reduziu o escoamento em 48,66 e 54,54 %, respectivamente, para os dois espaçamentos. Também Dalla Costa (2004) e Garcia (2005), avaliando o mulching vertical nas mesmas condições, concluíram que houve redução nas perdas de água por escoamento superficial entre 49,6 e 67,1 % .

Neste trabalho, além de não ter sido constatada eficiência em conter as perdas de água, houve uma potencialização dessas perdas nas parcelas com 0,9 e 7,2 metros entre sulcos, quando comparado à testemunha, indicando um efeito negativo da técnica nesse aspecto. Tais resultados se devem possivelmente à má distribuição e à baixa intensidade das chuvas (Tabela 4) no período avaliado, sendo que nessas condições a cobertura morta no sistema de semeadura direta foi suficiente para reter e infiltrar a maior parte da água das precipitações.

Todavia, as perdas de água por escoamento superficial nesse trabalho podem ser consideradas muito baixas, pois tomando por base uma chuva de 50 mm, que representam um volume de 500.000 m³ ha⁻¹ de água, valores da ordem de 8,5 m³ ha⁻¹ (valor máximo de perda de água nas parcelas) representam cerca de 0,002% de perdas. Garcia (2005) relata perdas de 3 e 4,7% para tratamentos com mulching vertical a 5 e 10 m, respectivamente, sob chuva simulada de 70 mm, que são elevadas quando comparadas às apresentadas neste trabalho.

Com relação às concentrações de nutrientes na água de escoamento superficial, perdidos nas parcelas com mulching vertical em diferentes

espaçamentos entre sulcos, é possível observar que não houve diferença significativa entre os efeitos dos diferentes tratamentos estudados (Tabela 5). Resultados semelhantes foram encontrados por Dalla Costa (2004), Garcia (2005), Garcia & Rigles (2008), que, avaliando as perdas de nutrientes na água de escoamento em semeadura direta com mulching vertical em duas distâncias, 5 e 10 m, não constataram diferenças significativas entre os tratamentos avaliados. Garcia (2005) ressalta que o mulching vertical, por si só, não é eficiente para controlar as perdas de nutrientes na água de escoamento superficial.

Tabela 5 – Concentrações de nutrientes na água de escoamento superficial em Sistema de Semeadura Direta com Mulching Vertical

<i>Tratamento</i>	<i>COT</i>	<i>P</i>	<i>K⁺</i>	<i>Ca²⁺</i>	<i>Mg²⁺</i>
Espaço entre sulcos (m)	-----mg L ⁻¹ -----				
0 (0 EMV)	1,78 a	0,07 a	5,36 a	5,75 a	0,74 a
0,9 (1 EMV)	3,86 a	0,11 a	7,82 a	5,63 a	0,80 a
1,8 (2 EMV)	2,32 a	0,11 a	6,33	5,67 a	0,75 a
3,6 (4 EMV)	1,84 a	0,13 a	6,50 a	5,56 a	0,74 a
5,4 (6 EMV)	3,38 a	0,17 a	5,91 a	5,63 a	0,76 a
7,2 (8 EMV)	4,50 a	0,11 a	7,30 a	5,63 a	0,78 a
CV (%)	41,65	37,52	29,65	2,29	7,61

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

O potássio apresentou as maiores concentrações em relação aos demais nutrientes avaliados, confirmando os resultados apresentados por Schick et al. (2000) e Bertol et al. (2004a), que encontraram maiores concentrações desse elemento na água de escoamento superficial em semeadura direta. Para esses autores, tais resultados podem ser explicados pela deposição deste nutriente na superfície do solo pelas culturas que o retiraram da subsuperfície e pela decomposição do material orgânico e aplicação dos adubos na superfície do solo e também pela sua maior

solubilidade em água quando comparado a outros elementos, como, por exemplo, o fósforo.

O fósforo por sua vez apresentou as menores concentrações em relação aos demais nutrientes avaliados, concordando com os resultados obtidos por Dalla Costa (2004), que avaliou as perdas de nutrientes na água de escoamento superficial com o uso do mulching vertical em sistema de semeadura direta sob chuva simulada e encontrou concentrações de fósforo de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, semelhantes aos apresentados nesse trabalho. Entretanto, Bertol et al. (2003), quantificando as perdas de nutrientes na água de escoamento superficial em diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada, encontraram concentrações de fósforo de $0,01 \text{ mg L}^{-1}$, valores inferiores aos encontrados nesse trabalho e por Dalla Costa (2004). O último autor atribui essas concentrações mais elevadas quando comparadas às apresentadas por Bertol et al. (2003) como sendo função do tempo de utilização do sistema de semeadura direta no solo em estudo, que provavelmente promoveu a saturação por fósforo dos coloides na superfície do solo, possibilitando uma maior concentração do elemento nessas condições e, conseqüentemente, maior carreamento pelo escoamento superficial. Todavia, estes autores consideram que esses valores representam uma baixa concentração de fósforo na água de escoamento, sendo justificado por eles em função da baixa concentração do fósforo na forma livre devido à sua forte adsorção pelos coloides do solo.

As concentrações de carbono orgânico total entre $1,78$ e $4,50 \text{ mg L}^{-1}$ apresentadas nesse trabalho são inferiores às encontrados por Garcia (2005), que, avaliando o comportamento hidrológico do mulching vertical em sistema de semeadura direta, no controle do escoamento superficial, encontrou concentrações entre $8,50$ e $21,76 \text{ mg L}^{-1}$. Valores superiores ao deste trabalho também foram obtidos por Dalla Costa (2004), que, avaliando as perdas de nutrientes na água de escoamento superficial com o uso de mulching vertical em sistema de semeadura direta sob chuva simulada, encontrou concentrações entre $10,72$ e $20,81 \text{ mg L}^{-1}$ para carbono orgânico total. Estes autores atribuem as concentrações encontradas para esse elemento como sendo função da contribuição dos resíduos vegetais das culturas mantidos sobre a superfície e também ao elevado estoque do elemento no solo em sistema de semeadura direta. Nesse trabalho, os menores teores de carbono

orgânico na água de escoamento superficial se devem possivelmente às baixas quantidades de água escoada das parcelas, as quais não foram suficientes para transportar maiores quantidades desse elemento.

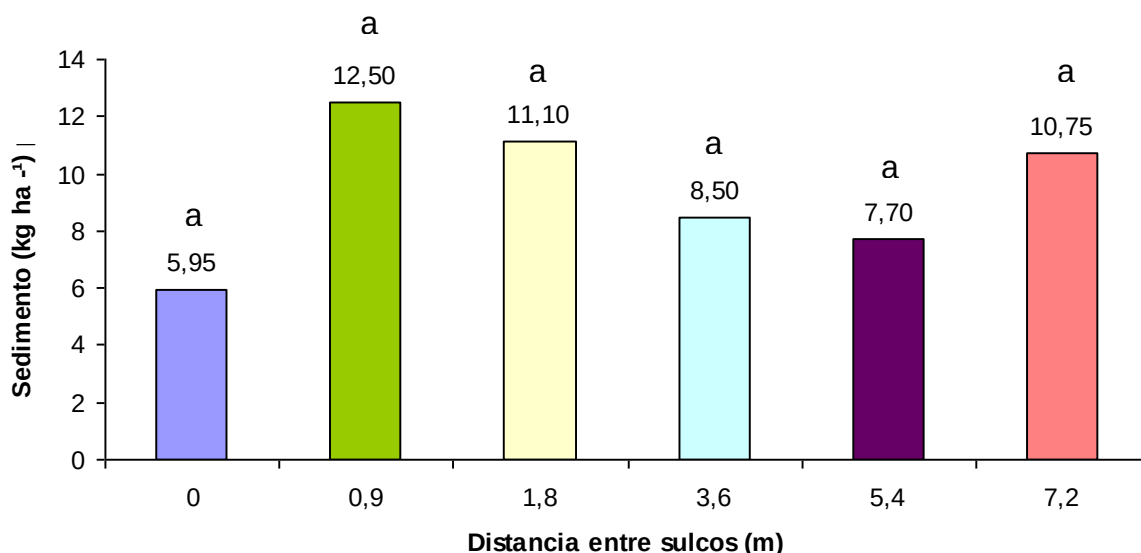
Para o cálcio e magnésio, foram encontrados valores médios entre 5,65 e 0,75 mg L⁻¹, respectivamente, na água de escoamento superficial. As maiores concentrações de cálcio em relação ao magnésio na água de escoamento podem ser explicadas, segundo Silva et al. (2005), pelo maior teor deste nutriente no solo, o que pode ser observado na Tabela 3. Gilles (2009), quantificando perdas de água, solo e nutrientes por erosão hídrica pluvial, obteve valores de 1,63 e 0,94 mg L⁻¹ para cálcio e magnésio, respectivamente, na cultura do milho. Comparando tais resultados, é possível constatar que os teores de magnésio foram semelhantes para os dois trabalhos, entretanto, os teores de cálcio apresentados nesse trabalho foram superiores aos apresentados por Gilles (2009), sendo que o mesmo autor correlaciona os baixos teores à não aplicação de calcário em seu trabalho. Desta forma, pode-se inferir que a calagem no sistema de semeadura direta contribui para maiores teores de cálcio no escoamento superficial.

De modo geral, as perdas de nutrientes na água de escoamento superficial seguiram a seguinte ordem: K⁺ > Ca²⁺ > COT > Mg²⁺ > P.

4.4 Perdas de solo e nutrientes por escoamento superficial

Ao analisar os valores médios de sedimento proveniente do escoamento superficial (Figura 9), é possível observar que não houve diferença significativa ao nível de 5% para a perda de solo.

Apesar de não ser constatada diferença significativa entre os tratamentos, ao analisar os valores absolutos é possível notar que a parcela testemunha apresentou as menores perdas de solo e que, de maneira oposta, o tratamento em que foi utilizado o menor espaçamento entre sulcos apresentou as maiores perdas de solo no sedimento escoado. Este fato indica que a maior mobilização do solo em sistema de semeadura direta durante a implantação da técnica tende a favorecer o aumento das perdas de solo por escoamento superficial.



Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

Figura 9 – Perdas de solo por escoamento superficial em eventos de chuva de 50 mm em sistema de semeadura direta com sulcos de Mulching Vertical em diferentes espaçamentos nas parcelas.

Ao comparar as perdas de água e solo (Figuras 7 e 9) é possível observar que elas seguiram comportamentos semelhantes, indicando que as perdas de solo estão diretamente relacionadas às perdas de água nas parcelas. Resultado semelhante foi encontrado por Oliveira (2009), que, avaliando o efeito de diferentes padrões de precipitação nas perdas de solo, água e nutrientes ocorridas em um Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada em duas condições de cobertura do solo, concluiu que as perdas totais de solo, água e nutrientes não apresentaram diferenças significativas para os diferentes padrões de precipitação.

Os valores de sedimento apresentados neste trabalho são inferiores aos encontrados por Dotto & Rigles (1989), os quais, avaliando o efeito de diferentes práticas de manejo do solo nas perdas por escoamento superficial, encontraram valores médios de sedimento escoado para o tratamento com mulching vertical de 21,95 kg ha⁻¹. Também Amaral et al. (2008), avaliando as perdas de água e solo por erosão hídrica pluvial em diferentes sistemas de preparo do solo, encontraram valores próximos aos desse trabalho, com perdas de solo de 3 e 20 kg ha⁻¹ para as culturas da soja e do trigo, respectivamente, em semeadura direta. Estes autores consideraram estes

valores baixos para as perdas de solo, considerando o valor de tolerância calculado pela EUPS de 5,0 Mg ha⁻¹.

Quanto aos atributos textuais do sedimento, areia fina e silte (Tabela 6), observa-se que eles não apresentaram diferença significativa a nível de 5%, entre os diferentes tratamentos.

Tabela 6 – Atributos texturais do sedimento proveniente do escoamento superficial em sistema de semeadura direta com mulching vertical

<i>Tratamento</i>	<i>Areia grossa</i>	<i>Areia fina</i>	<i>Silte</i>	<i>Argila</i>
Espaço entre sulcos (m)	-----g kg ⁻¹ -----			
0 (0 EMV)	357,50 ab	200,00 a	87,50 a	355,00 b
0,9 (1 EMV)	322,50 b	185,00 a	75,00 a	455,00 a
1,8 (2 EMV)	362,50 ab	185,00 a	72,50 a	380,00 b
3,6 (4 EMV)	365,00 ab	187,50 a	67,50 a	380,00 b
5,4 (6 EMV)	410,00 a	172,50 a	77,50 a	340,00 b
7,2 (8 EMV)	370,00 ab	197,50 a	67,50 a	365,00 b
CV (%)	9.52	14,46	22,51	7,19

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ao analisar os dados referentes à areia grossa, foram constatadas diferenças significativas entre os tratamentos com 0,9 e 5,4 metros entre sulcos, sendo que o segundo apresentou maiores valores de areia grossa no sedimento em relação ao tratamento com maior número de sulcos. Estes resultados podem ser atribuídos ao fato de, com 5,4 metros de espaçamento, ter restado uma distância de 2,6 metros do sulco de mulching vertical até o fim da parcela, possibilitando que a água escoasse com mais velocidade e força arrastando assim as partículas de areia grossa, justificando seu maior teor no sedimento. Em relação à argila, observa-se um comportamento inverso, em que o tratamento com maior número de sulcos por parcela apresenta diferença significativa em relação aos demais, com maiores perdas de argila no sedimento. Esses resultados podem ser atribuídos à maior movimentação do

solo nas parcelas com maior número de sulcos, uma vez que a argila assim como outras partículas coloidais, como, por exemplo, a matéria orgânica são os primeiros constituintes a serem removidos pela erosão hídrica, tendo em vista a sua baixa densidade (SEGANFREDO et al., 1997; SCHICK et al., 2000).

Os teores de nutrientes no sedimento não diferiram significativamente entre os diferentes tratamentos (Tabela 7). Ao comparar estes resultados, constata-se entre o cálcio e o magnésio comportamento semelhante ao apresentado na água de escoamento, em que os maiores teores do primeiro elemento também podem ser explicados, segundo Silva et al. (2005), pelo maior teor desse nutriente no solo (Tabela 3).

Tabela 7 – Atributos químicos do sedimento proveniente do escoamento superficial em sistema de semeadura direta com mulching vertical

Tratamento	P	K⁺	Ca²⁺	Mg²⁺	MO
Espaço entre sulcos (m)	-----mg dm ⁻³ -----		-----cmolc dm ⁻³ -----		dag kg ⁻¹
0 (0 EVMV)	15,70 a	92,00 a	1,85 a	0,54 a	3,47 a
0,9 (1 EVMV)	12,53 a	89,53 a	1,23 a	0,38 a	2,83 a
1,8 (2 EVMV)	18,47 a	86,00 a	1,40 a	0,48 a	3,08 a
3,6 (4 EVMV)	17,03 a	83,00 a	1,81 a	0,50 a	3,13 a
5,4 (6 EVMV)	20,90 a	92,33 a	1,94 a	0,60 a	4,27 a
7,2 (8 EVMV)	12,27 a	89,00 a	1,47 a	0,43 a	2,87 a
CV (%)	20,58	10,49	21,30	16,25	16,63

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

Os maiores teores de potássio no sedimento comparado ao fósforo se devem, segundo o mesmo autor, além da maior concentração desse elemento no solo, à sua menor capacidade de fixação aos minerais argilosos do solo, o que facilita o seu transporte no sedimento pela água da enxurrada.

Os teores dos nutrientes no sedimento apresentados neste trabalho são inferiores aos encontrados por Hernani et al. (1999), que, avaliando perdas de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ (trocáveis e solúveis) e P disponível por erosão hídrica, encontraram valores de 5,1 e 0,9 cmolc dm⁻³, 56 e 150 mg dm⁻³ e 36 g kg⁻¹,

para cálcio, magnésio, fósforo, potássio e matéria orgânica, respectivamente, no sedimento em semeadura direta sob palha de trigo e soja.

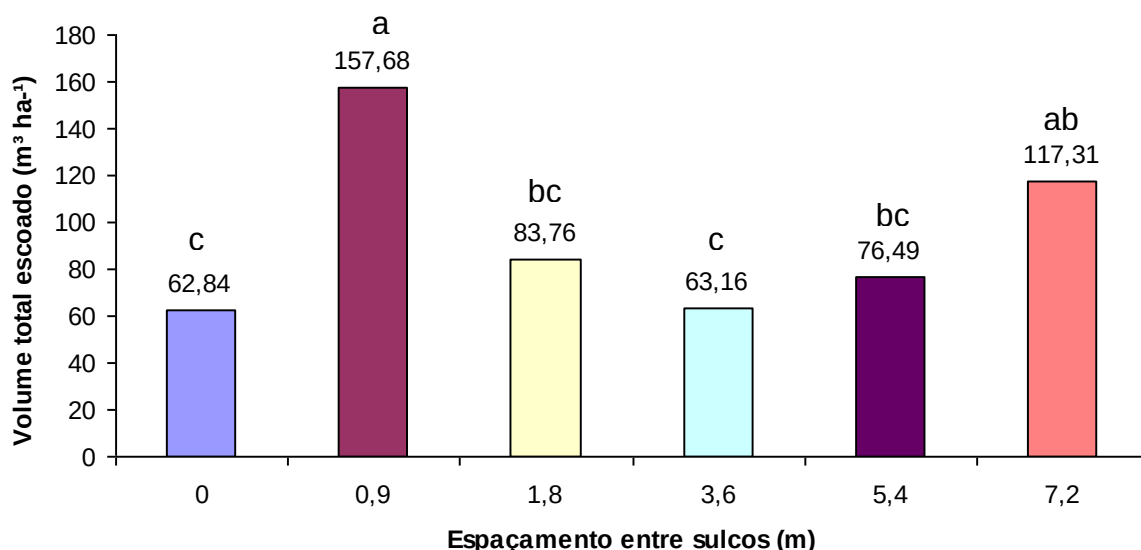
Resultados semelhantes ao deste trabalho foram encontrados por Oliveira (2009), que, avaliando perdas de solo, água e nutrientes em um Argissolo Vermelho-Amarelo em duas condições de cobertura, submetido a quatro diferentes padrões de precipitação, também não constatou diferenças significativas nos teores de nutrientes no sedimento escoado das parcelas. Segundo este autor, as baixas quantidades de nutrientes perdidos nos sedimentos foram influenciadas, principalmente, pelas baixas perdas de solo devido à proteção proporcionada pela cobertura dos resíduos presentes neste sistema de cultivo.

A eficiência da cobertura vegetal na redução das perdas de nutrientes no sedimento também foi constatada por Schaefer et al. (2002), os quais, determinando as perdas de solo, nutrientes e matéria orgânica sob chuva simulada e em condições de cultivo morro abaixo, constataram que as perdas de solo e, conseqüentemente, de nutrientes neste adsorvido foram nulas no tratamento com 100% de cobertura do solo. Esses resultados demonstram a eficiência da cobertura morta no sistema de semeadura direta em conter perdas de solo e, conseqüentemente, de nutrientes nele adsorvidos e a importância da sua manutenção no manejo e na conservação do solo.

4.5 Perdas totais de água, solo e nutrientes

O volume total de água escoado nas parcelas (Figura 10) foi estimado pela relação entre o volume perdido nas precipitações de 50 mm e o volume total precipitado para o período 2009/10.

Ao analisar as perdas totais de água para o período 2009/10, é possível constatar que elas apresentaram comportamento semelhante às perdas relativas às precipitações de 50 mm (Figura 7), em que o tratamento com 0,9 metros entre sulcos diferiu significativamente dos demais tratamentos, exceto para o tratamento com 7,2 metros, que apresentou maiores perdas totais de água ($157,68 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) por escoamento superficial.



Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

Figura 10 – Perdas totais de água por escoamento superficial no período 2009/10 em sistema de semeadura direta com sulcos de mulching vertical em diferentes espaçamentos nas parcelas.

Dotto & Rigles (1989), avaliando o efeito de diferentes práticas de manejo do solo nas perdas de água solo e nutrientes por escoamento superficial, encontraram que o tratamento com mulching vertical (6 e 10 metros entre sulcos) apresentou perdas totais de água de 36,8 mm, o que corresponde a $368 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ para um total de 492 mm de precipitação pluvial amostrado. As perdas totais de água apresentadas nesse trabalho, quando comparadas aos resultados apresentados pelos autores supracitados, podem ser consideradas baixas uma vez que o volume de precipitação considerado para o cálculo das perdas nesse trabalho (Tabela 5) é praticamente o dobro dos apresentados por estes autores.

As quantidades totais de nutrientes perdidas na água de escoamento superficial (Tabela 8) foram estimadas em função do volume total perdido de água por hectare durante o período 2009/10.

Tabela 8 – Quantidades totais de nutrientes e carbono orgânico total (COT), perdidos na água de escoamento superficial em sistema de semeadura direta com mulching vertical, no período 2009/10

<i>Tratamento</i>	<i>COT</i>	<i>P</i>	<i>K⁺</i>	<i>Ca²⁺</i>	<i>Mg²⁺</i>
Espaço entre sulcos (m)	-----kg ha ⁻¹ -----				
0 EVMV	0,113 c	0,003 b	0,340 b	0,363 e	0,050 c
0,9 EVMV	0,607 a	0,017 a	1,233 a	0,887 a	0,127 a
1,8 EVMV	0,193 bc	0,010 ab	0,533 b	0,475 c	0,060 c
3,6 EVMV	0,118 c	0,008 ab	0,410 b	0,350 e	0,050 c
5,4 EVMV	0,260 bc	0,013 ab	0,453 b	0,430 d	0,060 c
7,2 EVMV	0,525 ab	0,013 ab	0,860 ab	0,663 b	0,093 b
CV (%)	49,74	53,31	40,16	3,10	10,85

COT = carbono orgânico total

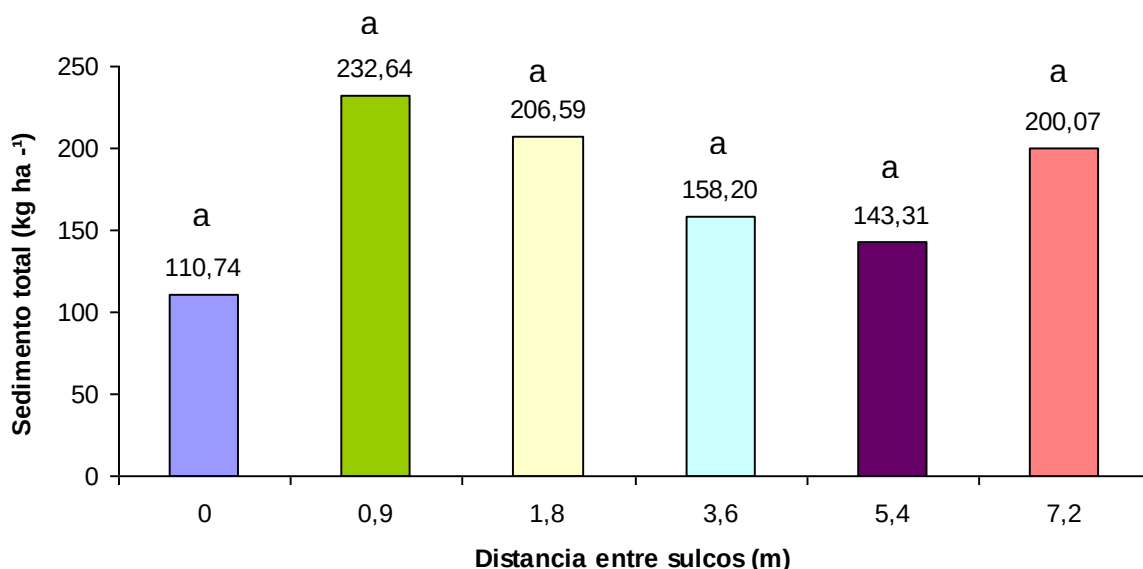
Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

Ao analisar as perdas totais de nutrientes e COT na água de escoamento superficial, é possível constatar que, diferentemente das perdas parciais nas precipitações de 50 mm, foram constatadas diferenças significativas entre o efeito de tratamentos para todos os atributos avaliados. Estes resultados mostram que o aumento do volume de água escoado interfere diretamente no comportamento dos tratamentos quanto à eficiência em conter perdas de nutrientes e COT por escoamento superficial. Entre os atributos avaliados, o potássio foi o que apresentou as maiores quantidades perdidas na água de escoamento, seguido pelo cálcio, carbono orgânico total, magnésio e fósforo. Segundo Volk et al. (2004), as perdas de nutrientes têm relação direta com sua concentração no solo de origem e no resíduo da superfície. Também deve ser considerada a solubilidade do elemento em água e no volume de água perdida.

Ao avaliar o efeito de tratamentos quanto às perdas de nutrientes, é possível constatar que, de maneira geral, o tratamento com 0,9 metros entre sulcos diferiu dos demais, apresentando as maiores perdas. Estas perdas mais elevadas, quando comparadas aos demais tratamentos, estão diretamente

relacionadas com as maiores perdas de água apresentadas por este tratamento (Figura 10).

As quantidades totais de solo perdidas por escoamento superficial no período 2009/10 (Figura 11) foram estimadas com base nas quantidades perdidas nos eventos de chuva de 50 mm.



Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

Figura 11 – Perdas totais de solo por escoamento superficial no período 2009/10 em sistema de semeadura direta com sulcos de mulching vertical em diferentes espaçamentos nas parcelas.

Assim como nas perdas de solo nas precipitações de 50 mm (Figura 9), não foram constatados efeitos significativos de tratamentos para as perdas totais no período 2009/10. Em relação aos valores absolutos, as maiores quantidades de solo perdidas no tratamento com 0,9 metros entre sulcos (232,64 kg ha⁻¹) aproximam-se das apresentadas por Dotto e Rigles (1989), os quais, avaliando o efeito de diferentes práticas de manejo do solo nas perdas por escoamento superficial, encontraram perdas totais de 263,34 kg ha⁻¹ para o tratamento com mulching vertical. Também Bertol et al. (2007), avaliando as perdas de solo, água e nutrientes na erosão entre sulcos, em solo cultivado sob a técnica de semeadura direta, encontraram perdas totais de sedimentos na enxurrada com valores mínimos e máximos de 28 e 757 kg ha⁻¹, respectivamente, para os diferentes volumes de precipitação aplicados. Estes

valores evidenciam considerável variação da quantidade de solo escoado em função do volume precipitado, todavia os resultados apresentados nesse trabalho são inferiores aos valores máximos do trabalho supracitado.

Ao comparar as perdas totais de água e solo, é possível notar que, assim como já constatado anteriormente, elas seguiram a mesma tendência. Este comportamento também foi constatado por Bertol et al. (2004b), os quais, avaliando a erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo, também observaram que nos tratamentos com semeadura direta a perda de solo seguiu a mesma tendência da perda de água. Tal comportamento é justificado pelos autores em função da intensidade de chuva e do volume de água escoada, uma vez que o aumento na intensidade da chuva diminuiu a estabilidade dos agregados de solo e o aumento no volume escoado implica maior capacidade de transporte de sedimentos, em razão de sua maior energia.

As quantidades totais de nutrientes perdidos no sedimento por escoamento superficial (Tabela 9) foram estimadas em função da quantidade total de solo perdido no período 2009/10.

Tabela 9 - Quantidades totais de nutrientes e matéria orgânica perdidos no sedimento por escoamento superficial em sistema de semeadura direta com mulching vertical no período 2009/10

<i>Tratamento</i>	<i>P</i>	<i>K⁺</i>	<i>Ca²⁺</i>	<i>Mg²⁺</i>	<i>MO</i>
Espaço entre sulcos (m)	-----kg ha ⁻¹ -----				
0 (0 EVMV)	0,002 b	0,010 c	0,008 a	0,002 a	3,84 b
0,9 (1 EVMV)	0,003 a	0,021 a	0,011 a	0,003 a	6,58 a
1,8 (2 EVMV)	0,004 a	0,018 ab	0,011 a	0,004 a	6,40 a
3,6 (4 EVMV)	0,003 ab	0,013 bc	0,011 a	0,003 a	4,95 ab
5,4 (6 EVMV)	0,003 a	0,013 bc	0,011 a	0,004 a	6,11 ab
7,2 (8 EVMV)	0,003 ab	0,018 ab	0,012 a	0,003 a	5,75 ab
CV (%)	15,78	11,44	19,09	17,62	15,09

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

Ao analisar as perdas totais de nutrientes no sedimento escoado, observam-se diferenças significativas quanto ao efeito de tratamentos para o fósforo, potássio e matéria orgânica (MO), não sendo constatadas diferenças para cálcio e magnésio. A matéria orgânica foi o atributo que apresentou as maiores quantidades perdidas, seguida pelo potássio, cálcio, magnésio e fósforo. Esses resultados mostram que o escoamento superficial remove a camada do solo mais rica em matéria orgânica. Este fato apresenta grande relevância ambiental, uma vez que, segundo McGregor et al. (1996), a perda de matéria orgânica por erosão tem grande importância para os processos de eutrofização de mananciais, colocando em perigo a vida aquática.

Ao comparar as perdas totais de nutrientes (P , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) no sedimento e na água de escoamento superficial, é possível constatar que as maiores quantidades são perdidas na água de escoamento, mostrando que apesar de inicialmente terem sido constatadas maiores concentrações de nutrientes no sedimento, quando são computadas as perdas totais desses elementos, há um comportamento inverso nas quantidades perdidas. Esses resultados podem ser atribuídos ao fato de que mesmo as perdas de nutrientes sendo maiores no sedimento, o volume de água escoada é superior à quantidade de solo perdido no sedimento, justificando, desta forma, as maiores quantidades de nutrientes perdidos por escoamento superficial. Resultados semelhantes são apresentados por Hernani et al. (1999), os quais, avaliando perdas de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ (trocáveis e solúveis) e P disponível por erosão hídrica, tanto no sedimento quanto em solução, encontraram maiores perdas desses elementos em solução quando comparados ao sedimento para o sistema de semeadura direta.

Com relação ao efeito de tratamentos, observam-se de modo geral diferenças significativas entre os tratamentos com 0 e 0,9 metros entre sulcos para fósforo, potássio e matéria orgânica, sendo que o primeiro apresentou as menores quantidades perdidas desses atributos. Esses resultados evidenciam que a movimentação excessiva do solo promovida pelo tratamento com 0,9 metros entre sulcos durante a implantação da técnica potencializa as perdas de água, solo e nutrientes, tanto no sedimento quanto na água de escoamento superficial, reduzindo o efeito da cobertura morta nesse sistema de cultivo.

5. CONCLUSÕES

Embora não tenham sido obtidos os efeitos esperados do mulching vertical conforme conclusões abaixo, há de se observar que um dos pontos que interferiram na movimentação do solo e da água foi a recente implantação do sistema, não tendo havido tempo suficiente para que a prática pudesse apresentar sua eficiência, diante disso, recomenda-se que o experimento continue sendo avaliado, mas os dados iniciais levaram às seguintes conclusões:

- 1 – Pela metodologia proposta e nas condições avaliadas, o mulching vertical não se mostrou eficiente em conter as perdas de água, solo e nutrientes (na água e no sedimento) por escoamento superficial.
- 2 – O regime de chuvas no período avaliado não foi satisfatório para que fossem constatados volumes efetivos de escoamento superficial.
- 3 – Os tratamentos com 0,9 e 7,2 metros entre sulcos não foram eficientes para controlar as perdas de água e nutrientes totais (na água e no sedimento).
- 4 – O tratamento com 0,9 metros entre sulcos resultou no aumento no teor de argila presente no sedimento.
- 5 – O potássio foi o nutriente que apresentou as maiores perdas, tanto na água quanto no sedimento.
- 6 - O aumento no volume de água e solo escoados afeta a eficiência do mulching vertical em conter as perdas de nutrientes.
- 7 – A água de escoamento superficial acarreta maiores perdas de nutrientes em relação ao sedimento.
- 8 – O uso da metodologia adotada no cálculo da distância entre terraços, adaptada para o cálculo da distância entre os sulcos de mulching vertical, não se mostrou adequada, não devendo, portanto, ser utilizada para este propósito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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, Viçosa, MG, 19:127-132, 1995.
- AMARAL, A. J.; BERTOL, I.; COGO, N. P.; BARBOSA, F. T. Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um Cambissolo Húmico da Região do Planalto Sul - Catarinense. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, MG, 32:2145-2155, 2008.
- 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, Viçosa, MG, 23:35-43, 1999.
- BERTOL, I.; COGO, N. P. & LEVIEN, R. Cobertura morta e métodos de preparo do solo na erosão hídrica em solo com crosta. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, MG, 13:373-379, 1989.
- BERTOL, I. Manejo de enxurradas no sistema plantio direto. In: Embrapa-CNPT. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO. 1., 1995, Passo Fundo, Anais... Embrapa-CNPT, 1995. p.77-81.
- BERTOL, I.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e ausência dos resíduos culturais. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, MG, 21:409-418, 1997.
- BERTOL, I. et al. Nutrient losses by water erosion. Sci. Agric., Piracicaba, SP, 3:581-586, 2003.
- BERTOL, I. et al. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. II – Perdas de nutrientes e carbono orgânico. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, MG, 28:1045-1054, 2004a.
- BERTOL, I. et al. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um Inceptisol sob chuva natural. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, MG, 28:485-494, 2004b.
- BERTOL, O. J. Contaminação da água de escoamento superficial e da água percolada pelo efeito de adubação mineral e adubação orgânica em sistema de semeadura direta. 2005. 209f. Tese (Doutorado Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR
- BERTOL, O. J. et al. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, MG, 31:781-792, 2007.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 3, ed. São Paulo, Ícone, 1990. 355p.

- BERTONI, J.; NETO, L. F. Conservação do solo. 2. ed. São Paulo: Editora Ícone, 1993. 352p.
- BRADY, N. C. Natureza propriedades dos solos. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 878p.
- CARDOSO, F. P. Agricultura sustentável, 2003. Disponível em: <[HTTP://www.manah.com.br/main_informativos_agricultura_sustentavel.asp](http://www.manah.com.br/main_informativos_agricultura_sustentavel.asp)> Acesso em: 1 de junho de 2010.
- CARVALHO, F. L. C.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Eficácia de formas e doses de manejo de resíduo de culturas de trigo na redução da erosão hídrica do solo. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, MG, 14:251-257, 1990.
- COGO, N. P. Effect of residue cover, tillage induced-roughness, and slope lenght on erosion and related parameters. 1981. 346p. Thesis (Doctor in soil science)-Purdue University, West Lafayette, USA, 1981.
- COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por método de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, MG, 27:743-753, 2003.
- DALLA COSTA, D. R. Nutrientes na água de escoamento superficial em plantio direto com mulching vertical. 2004. 79p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2004.
- DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; RIGLES, A. A. Mulching Vertical: técnica de manejo de enxurradas em Sistema Plantio Direto. Revista Plantio Direto, Passo Fundo, ed. 85, Aldeia Norte Editora, 2005. Disponível em: <http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont_int&id=611> Acesso em: 1 julho de 2010.
- DERPSCH, R. Programa manejo conservação do solo. In: Plantio Direto no Brasil. Campinas: R. Vieira, 1984. 130p.
- DERPSCH, R. et al. Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Londrina: Deutsche Gesenlschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) Gmbh, 1991. 268p.
- DOTTO, J. M. R.; RIGLES, A. A.; Efeitos do manejo do solo nas perdas por erosão. R. C. Ci. Agra., Santa Maria, RS, 19:19-30, 1989.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manejo de solos. In: Cultura do Algodão no Cerrado. Embrapa Algodão.

Sistemas de Produção, Nº 2, 2003. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoCerrado/solos.htm>. Acessado em: 29 de junho de 2010.

FARIAS, J. B. R. Tecnologias de Produção de Soja. Embrapa Soja, Sistema de Produção, Paraná, Nº 1, 2004. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/producaosojaPR/manejo.htm>. Acesso em: 26 de julho de 2010.

FALLEIRO, R. M. et al. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, MG, 27:1097-1104, 2003.

FREITAS, P. L. Sistema Plantio Direto: Conceitos, Adoção e Fatores Limitantes. Rio de Janeiro: Embrapa, 2005. (Comunicado Técnico)

GARCIA, S. M. Mulching vertical e manejo da água em sistema de plantio direto. 2005. 193f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.

GARCIA, S. M.; RIGLES, A. A. Vertical mulching e manejo da água em Semeadura direta. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, MG, 32:833-842, 2008.

GASSEN, D. N.; GASSEN, F. R. Plantio Direto o caminho do futuro. Passo Fundo: Aldeia Sul, 1996. 207p

GILLES, L. et al. Perdas de água, solo, matéria orgânica e nutriente por erosão hídrica na cultura do milho implantada em área de campo nativo, influenciadas por métodos de preparo do solo e tipos de adubação. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, MG, 33:1427-1440, 2009.

HERNANI, L. C. et al. Perdas por erosão e rendimentos de soja e trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, MG, 4:667-676, 1997.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, MG, 23:145-154. 1999.

HERBES, M. G. Escoamento superficial em sistema de plantio direto com mulching vertical. 2003. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2003.

KLEIN, V. A.; ANESI, A. L.; BARBOSA, R. et al. Mulching vertical reduz a enxurrada em área sob plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 3., 2000, Pelotas. Anais... Pelotas, 2000. p.147-154.

KLEIN, V. A. Agregados do solo. In: KLEIN, V. A. Física do solo. Ed. Universidade de Passo Fundo, 2008. p.92-99.

KOHNKE, H. Soil physics. New York, McGraw-Hill, 1968. 224p.

McGREGOR, K.C. et al. USDA and MAFES: cooperative soil conservation studies at Holly Springs - 1956-1996. Mississippi State, MAFES, 1996. 21p. (Bulletin, 1044)

MORAIS, L. F. B.; COGO, N. P. Comprimentos críticos 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, Viçosa, MG, 4:1041-1051, 2001.

MORIN, J.; VAN WINKEL, J. The effect of raindrop impact and sheet erosion on infiltration rate and crust formation. Soil Science Society of America Journal, v.60, p.1223-1227, 1996.

MUZILII, O. Manejo do solo em sistema de plantio direto. In: JUNIOR, C. R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R.; PASSINI, J. J. Sistema de Plantio Direto com qualidade. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2006. 212p.

NISHIJIMA, T.; RIGLES, A. A. Escoamento superficial de água em cinco sistemas de manejo do solo com cultura de milho. R. C. Ci. Rurais, Santa Maria, 17:223-233, 1987.

OLIVEIRA, J. R. et al. Erosão hídrica em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes padrões de chuva simulada. R. Bras. Eng. Agrí. Ambiental, Campina Grande, PB, v.14, n.2, p.140–147, 2010.

PARODI, G. Sanid Vegetal. San Francisco, C A. Bs. As., Argentina. 2003. Disponível em: http://www.jctreesapers.com.ar/servicios_5.htm. Acesso em: 25 de fevereiro de 2011.

PARR, J. F. Effects of Vertical Mulching and Subsoiling on Soil Physical Properties. Agronomy Journal, v. 51, p. 412–414, July 1959, apud GARCIA, S. M. Mulching vertical e manejo da água em sistema de plantio direto. 2005. 193f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.

PETRY, M. T. et al. Disponibilidade de água do solo ao milho cultivado sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, MG, 31:531-539, 2007.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M. Práticas mecânicas de conservação do solo e da água. 2 ed. Viçosa: UFV, 2006. 216p.

POTE, D.H. et al. Relating extractable soil phosphorus to phosphorus losses in runoff. Soil Sci. Soc. Am. J., 60:855-859, 1996.

RIGLES, A. A.; DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. et al. Mulching vertical e escoamento superficial no sistema de plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. Anais... Salvador: SBEA/ UFBA/ Embrapa, 2002, 4p. - EAS_2007.

RUIZ, H. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, MG, 29:297-300, 2005.

SAEG Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

SAMPAIO, G. V. Efeito de sistemas de preparo do solo sobre o consórcio milho-feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e sobre algumas propriedades físicas e químicas do solo. 1987. 121p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1987.

SAXTON, K. E.; MCCOOL, D. K.; PAPENDICK, R. I. Slot mulch for runoff and erosion control. Journal and soil and water conservation, 36:44-47, 1981.

SCHAEFER, C. E. R. et al. Perda de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, DF, 37:669-678, 2002.

SCHICK, J. et al. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, MG, 24:427-436, 2000.

SEGANFREDO, M. L.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, MG, 21:287-291, 1997.

SHARPLEY, A. N. et al. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: issue and options J. Environ. Qual., 23:437-451, 1994.

SHARPLEY, A. N.; MCDOWELL R. W.; KLEINMAN, P. T. A. Phosphorus loss from land to water: integrating agricultural and environmental management. Plant and Soil, 237:287-307, 2001.

SILVA, A. M. et al. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. Pesq. Agropec. Bras. Brasília, DF, 40:223-230, 2005.

SILVEIRA, R. C. Estudo de perdas de solo e água, sob diferentes níveis de resíduos culturais de milho, usando simulador de chuvas. 1998. 52p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 1998.

SIQUEIRA, N. S. Efeito de sistemas de preparo do solo sobre a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.) e sobre algumas propriedades físicas e químicas do solo. 1989. 106p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1989.

SIQUEIRA, N. S. Influência de sistemas de preparo sobre algumas propriedades químicas e físicas do solo e sobre a cultura do milho (*Zea mays* L.). 1995. 78p. Tese (Doutorado em Fitotecnia)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.

SOARES, J. V. Introdução à Hidrologia de Florestas. Curso de Hidrologia Florestal, 2004. Disponível em: <[HTTP://www.dsr.inep.br/drs/viane/hidrologia/DOCs_PDFs/Cap%edtulo8c.pdf](http://www.dsr.inep.br/drs/viane/hidrologia/DOCs_PDFs/Cap%edtulo8c.pdf)> Acesso em: 1 de junho de 2010.

SORIANO, B. M. A.; GALDINO, S. Análise da distribuição da frequência mensal de precipitação para a sub-região da Nhecolândia, Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2002. 22 p. (Boletim de Pesquisa, 34)

SOILEAU, J. M. et al. Sediment, nitrogen, and phosphorus runoff with conventional and conservation-tillage cotton in a small watershed. J. soil and water cons. 49:82-89, 1994.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A. et al. Análise de solos, plantas e outros materiais. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.

VALLEJOS, M. F. J. Influência de sistemas de preparo do solo em algumas propriedades químicas e físicas de um Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico argiloso, e na cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.). 1998. 70p. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1998.

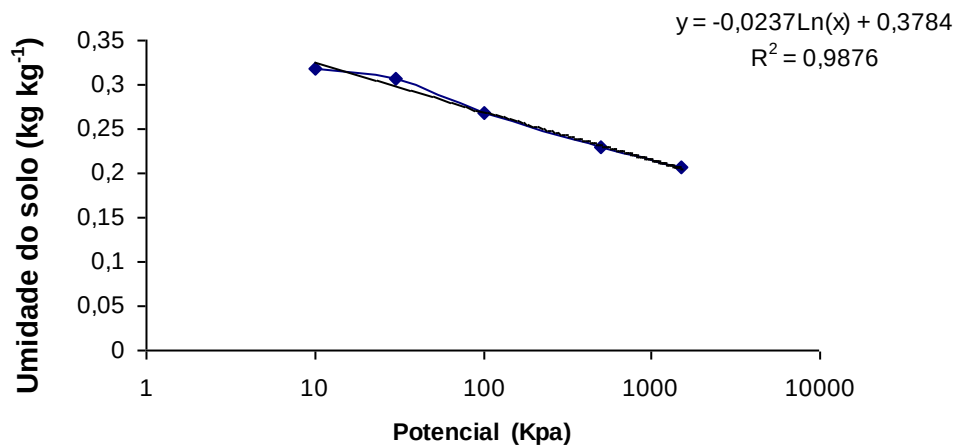
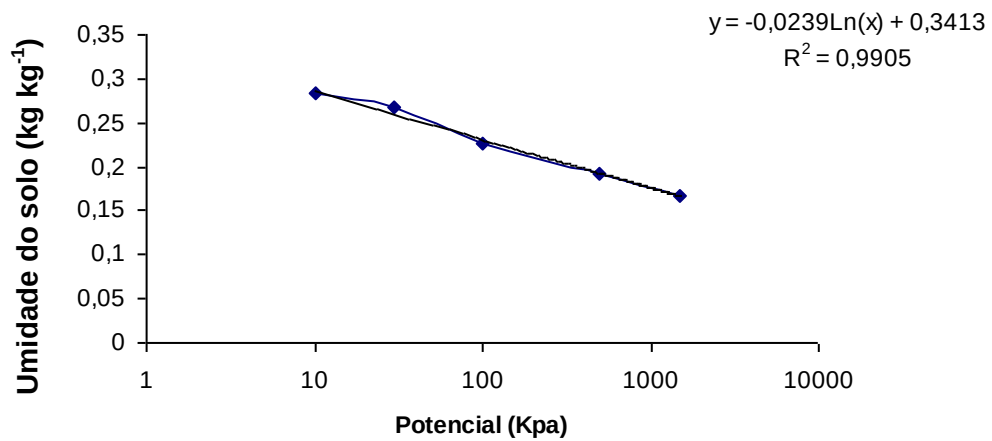
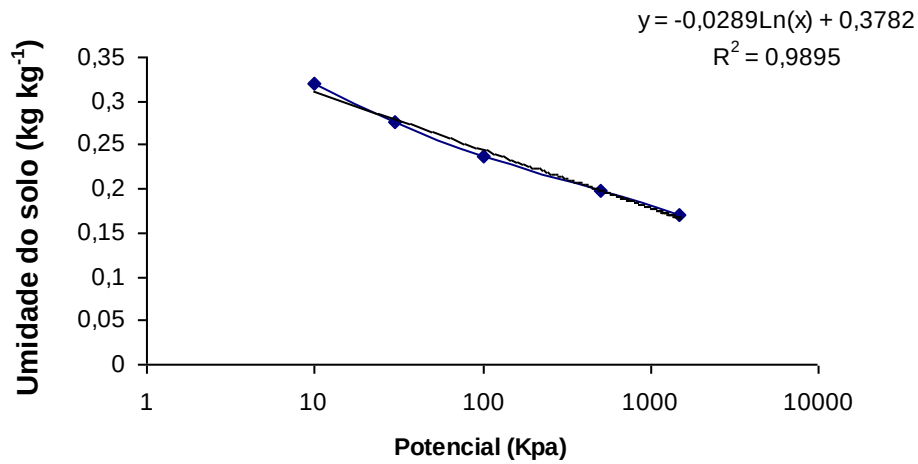
VIEIRA, M. J.; COGO, N. P.; CASSOL, E. A. Perdas por erosão, em diferentes sistemas de preparo do solo, para a cultura da soja em condições de chuva simulada. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, MG, 2:209-214, 1978.

VOLK, L. B. S. et al. Perda de nutrientes por erosão hídrica em solo com e sem cultivo, na condição de semeadura direta. In: XV REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E ÁGUA. Manejo integrado a ciência do solo na produção de alimentos. Anais... CD-Room. Santa Maria, 25 a 30 de junho de 2004.

WOLSCHICK, D. Perdas de nitrogênio por lixiviação durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho em condições de excesso hídrico. 2000. 76p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2000.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Curva de retenção de água no solo para as profundidades de 0-5, 20-25 e 40-45 cm, respectivamente, no perfil do solo.



APÊNDICE B – Volume escoado nas parcelas experimentais para as diferentes precipitações registradas no período 2009/10.

Tratamentos	Bloco	Datas das coletas no período 2009/10							
		28/dez	29/dez	30/dez	31/dez	1/jan	6/jan	7/jan	23/jan
		-----Volume escoado (L ha ⁻¹)-----							
0 (0 EMV)	1	144,04	97,63	401,34	64,34	2988,76	82,58	3826,36	199,10
0 (0 EMV)	2	25,84	139,97	307,59	93,33	2814,85	35,70	7994,84	432,55
0 (0 EMV)	3	68,18	231,46	340,87	166,92	3197,98	146,84	9768,35	446,41
0 (0 EMV)	4	39,20	463,34	362,93	182,55	3978,55	143,58	7196,51	229,90
0,9 (1 EMV)	1	156,54	128,88	838,84	64,34	5312,83	76,33	7211,78	533,93
0,9 (1 EMV)	2	25,84	233,72	759,04	93,33	7328,73	30,00	17419,75	620,05
0,9 (1 EMV)	3	68,18	309,58	965,87	166,92	5593,82	115,59	12299,87	632,80
0,9 (1 EMV)	4	86,07	494,59	452,51	151,30	8318,83	96,71	9362,76	312,86
1,8 (2 EMV)	1	159,67	160,13	838,84	126,84	2988,76	113,83	4607,61	772,77
1,8 (2 EMV)	2	10,21	186,85	416,96	93,33	4898,18	98,20	9260,03	666,92
1,8 (2 EMV)	3	177,56	340,83	700,00	151,30	3857,71	162,47	7720,72	774,53
1,8 (2 EMV)	4	86,07	494,59	390,01	151,30	5193,83	206,08	3421,61	560,08
3,6 (4 EMV)	1	159,67	113,25	682,59	64,34	2641,53	82,58	4295,11	533,93
3,6 (4 EMV)	2	41,46	202,47	1026,34	155,83	2294,01	38,45	9954,47	463,80
3,6 (4 EMV)	3	99,43	200,21	778,37	166,92	2989,65	146,84	5637,38	758,91
3,6 (4 EMV)	4	101,70	478,96	624,39	166,92	4325,77	174,83	3074,39	638,21
5,4 (6 EMV)	1	150,29	66,38	526,34	173,72	3509,59	98,20	3826,36	533,93
5,4 (6 EMV)	2	25,84	202,47	463,84	108,95	4898,18	82,58	7350,31	573,17
5,4 (6 EMV)	3	146,31	309,58	512,75	151,30	3510,48	178,09	6331,83	587,03

Continua

Continuação

5,4 (6 EMV)	4	117,32	760,21	378,36	186,71	6929,94	362,33	6025,78	513,21
7,2 (8 EMV)	1	150,29	97,63	291,96	48,72	6472,09	66,95	4607,61	645,53
7,2 (8 EMV)	2	57,09	233,72	557,59	155,83	9759,29	20,08	12789,23	651,30
7,2 (8 EMV)	3	115,06	325,21	654,86	213,80	8024,37	146,84	15706,83	805,78
7,2 (8 EMV)	4	132,95	541,46	733,76	166,92	5193,83	174,83	3768,84	513,21

<i>Tratamentos</i>	<i>Bloco</i>	<i>19/fev</i>	<i>2/mar</i>	<i>3/mar</i>	<i>5/mar</i>	<i>7/mar</i>	<i>17/mar</i>	<i>22/mar</i>
		-----Volume escoado (L ha ⁻¹)-----						
0 (0 EMV)	1	605,23	727,93	2755,38	229,19	828,90	367,18	2298,64
0 (0 EMV)	2	604,45	2064,94	3680,81	423,42	818,49	226,50	2814,85
0 (0 EMV)	3	1462,11	2077,14	2465,53	291,41	981,07	268,63	1841,22
0 (0 EMV)	4	911,39	1880,04	5130,06	459,85	1350,95	400,41	1690,40
0,9 (1 EMV)	1	917,73	8326,54	4456,77	469,58	1922,65	598,98	4173,64
0,9 (1 EMV)	2	2861,40	12308,00	15377,86	1093,06	2884,46	226,50	9828,73
0,9 (1 EMV)	3	4587,11	9368,80	10625,26	840,87	2508,85	388,82	10400,24
0,9 (1 EMV)	4	2611,81	6984,20	10765,20	675,62	1003,72	360,20	2037,63
1,8 (2 EMV)	1	723,98	1248,76	3970,66	117,59	1488,62	487,37	5857,67
1,8 (2 EMV)	2	778,06	3627,44	5416,92	423,42	974,74	273,82	4898,18
1,8 (2 EMV)	3	1982,94	3292,41	4548,87	394,44	1640,80	388,82	4911,82
1,8 (2 EMV)	4	737,78	2574,48	5130,06	564,01	1350,95	292,57	2037,63
3,6 (4 EMV)	1	917,73	1422,37	2755,38	229,19	828,90	126,79	2611,14

Continua

Continuação

3,6 (4 EMV)	2	1125,29	2759,39	5069,70	423,42	974,74	226,50	2294,01
3,6 (4 EMV)	3	1114,89	2250,75	3680,81	617,65	1640,80	86,19	2761,36
3,6 (4 EMV)	4	1605,84	1495,84	3393,95	564,01	1177,34	152,40	2905,68
5,4 (6 EMV)	1	761,48	1248,76	3623,44	349,38	1141,40	487,37	2298,64
5,4 (6 EMV)	2	257,23	2064,94	3680,81	680,48	662,24	226,50	4155,28
5,4 (6 EMV)	3	420,44	1927,81	1944,70	617,65	1137,32	340,25	2240,52
5,4 (6 EMV)	4	1067,64	1532,82	4782,84	709,96	1003,72	280,22	1638,32
7,2 (8 EMV)	1	1542,73	2942,94	3623,44	349,38	1141,40	487,37	3703,64
7,2 (8 EMV)	2	2340,56	5884,39	8194,70	535,03	1023,35	226,50	7259,29
7,2 (8 EMV)	3	2156,55	3292,41	4548,87	506,04	1137,32	388,82	2761,36
7,2 (8 EMV)	4	390,56	3109,20	4609,23	564,01	1003,72	400,41	2037,63

APÊNDICE C - Volume de chuvas registradas nas parcelas experimentais no período 2009/10.

Bloco	Repetição	Datas das coletas no período 2009/10							
		28/dez	29/dez	30/dez	31/dez	1/jan	6/jan	7/jan	23/jan
		-----Volume de chuva (mm)-----							
1	1	3,69	6,14	14,13	6,76	47,91	3,07	37,35	15,97
1	2	4,91	6,14	14,74	7,62	49,75	3,44	38,45	15,97
1	3	3,69	6,14	15,36	6,51	52,21	3,07	42,26	17,20
1	4	4,91	6,14	15,36	6,76	50,98	3,44	42,38	16,95
1	5	4,91	6,14	15,36	6,76	52,21	3,44	39,93	17,20
2	1	3,69	6,14	15,97	6,76	51,60	3,44	39,93	16,58
2	2	5,53	5,53	15,97	6,76	52,83	3,69	42,26	16,58
2	3	4,30	5,53	12,90	6,76	49,75	2,83	41,52	16,22
2	4	5,53	6,14	14,74	6,76	51,60	3,44	42,14	16,58
2	5	4,91	6,14	15,36	6,76	50,98	3,07	38,94	16,58
3	1	4,30	5,53	12,29	6,14	50,98	3,07	41,15	15,97
3	2	5,53	6,14	15,36	6,76	49,75	3,07	40,54	16,58
3	3	4,91	6,14	15,97	6,76	41,77	3,44	43,00	17,20
3	4	3,69	5,53	13,51	6,14	49,75	3,44	40,29	15,97
3	5	4,30	5,53	14,13	6,76	49,75	3,07	39,31	17,20
4	1	4,91	4,91	15,36	6,76	48,53	2,83	39,31	15,97
4	2	4,30	4,91	14,74	6,14	50,86	2,83	39,31	15,97
4	3	4,91	4,30	12,90	6,76	51,60	2,46	34,40	15,36
4	4	4,30	4,91	14,13	6,76	50,37	2,95	41,52	16,58
4	5	4,91	4,91	14,74	6,14	49,14	2,46	41,52	15,97

Continua

Continuação

<i>Bloco</i>	<i>Bloco</i>	<i>19/fev</i>	<i>2/mar</i>	<i>3/mar</i>	<i>5/mar</i>	<i>7/mar</i>	<i>17/mar</i>	<i>22/mar</i>
-----Volume de chuva (mm)-----								
1	1	27,64	-----	55,28	5,53	-----	11,06	38,08
1	2	36,24	60,81	55,28	5,53	21,50	12,29	42,38
1	3	36,61	61,43	55,28	5,53	22,11	10,44	40,54
1	4	36,24	58,97	55,28	6,14	21,50	11,06	39,31
1	5	35,87	59,58	55,28	5,53	21,50	11,06	39,31
2	1	38,70	59,83	55,28	6,14	22,73	12,29	42,38
2	2	36,61	59,58	55,28	6,14	22,73	14,13	41,77
2	3	35,01	59,83	61,43	5,53	22,11	11,67	41,15
2	4	35,01	59,34	55,28	5,53	21,50	11,67	41,77
2	5	36,86	59,83	55,28	5,53	22,73	11,67	41,77
3	1	32,56	59,83	55,28	6,14	21,50	11,06	41,15
3	2	36,86	57,37	55,28	6,14	19,04	11,06	41,15
3	3	33,78	60,57	61,43	6,14	23,34	12,90	41,77
3	4	27,64	56,51	55,28	5,53	19,04	11,06	36,86
3	5	36,86	56,51	55,28	5,53	22,11	11,92	41,77
4	1	36,49	59,71	55,28	5,53	22,73	11,67	42,38
4	2	33,17	58,35	36,86	5,53	22,11	11,06	39,93
4	3	33,78	59,58	55,28	5,53	21,50	11,67	41,77
4	4	36,86	57,74	49,14	5,53	22,11	11,06	40,54
4	5	39,07	59,58	55,28	6,14	22,73	12,29	42,38

ANEXOS

ANEXO A - Coeficiente de escoamento (C) para áreas inferiores a 500 ha

Cobertura vegetal do solo	Tipo de solo (textura)	Topografia e declividade					
		Plan a	Suave ondulado	Ondulado	Forte ondulado	Montanhoso	Escarpado
		0 a 3%	3 a 8%	8 a 20 %	20-45%	45-75%	75-100%
Culturas anuais	Argiloso	0,50	0,60	0,58	0,76	0,85	0,95
	Arenoso	0,44	0,52	0,59	0,66	0,73	0,81
	Médio	0,40	0,48	0,54	0,61	0,67	0,75
Culturas permanentes	Argiloso	0,40	0,48	0,54	0,61	0,67	0,75
	Arenoso	0,34	0,41	0,46	0,52	0,56	0,64
	Médio	0,31	0,38	0,43	0,48	0,53	0,59
Pastagens limpas	Argiloso	0,31	0,38	0,43	0,48	0,53	0,59
	Arenoso	0,27	0,32	0,37	0,41	0,45	0,50
	Médio	0,25	0,26	0,29	0,33	0,37	0,41
Capoeiras	Argiloso	0,22	0,26	0,29	0,33	0,37	0,41
	Arenoso	0,19	0,23	0,25	0,28	0,32	0,35
	Médio	0,17	0,18	0,20	0,22	0,25	0,28
Matas	Argiloso	0,15	0,18	0,20	0,22	0,25	0,28
	Arenoso	0,13	0,15	0,18	0,20	0,22	0,24
	Médio	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22

Fonte: Adaptado de Pires & Souza (2006).

ANEXO B – Escala aproximada das intensidades máximas de chuva (I), em mm h^{-1} , possíveis de ocorrerem em diferentes durações ou tempos de concentração, com uma frequência provável ou período de segurança de 5 e 10 e 25 anos, nas duas principais zonas de chuva da região cafeeira do Brasil

Duração da chuva ou tempo de concentração (min)	Regiões com precipitação pluvial média anual				
	Inferior a 1400 mm			Superior a 1400 mm	
	Frequência em anos				
	5 anos	10 anos	25 e 5 anos para as duas classes respectivamente	10 anos	25 anos
0,5	263	290	320	350	386
0,7	255	281	310	341	375
1	246	270	300	330	360
1,5	230	257	382	310	340
2	220	247	272	297	325
3	203	225	252	275	300
5	177	200	223	250	270
7	160	180	205	225	250
10	141	160	181	202	223
15	117	137	155	173	193
20	104	120	138	155	172
30	85	98	115	130	146
40	72	85	100	114	127
50	64	77	89	101	115
60	58	68	80	93	103
80	49	58	68	79	90
100	43	51	60	69	80
120	38	46	54	63	72

Fonte: Adaptado de Pires & Souza (2006).