

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**PERDAS DE SOLO E DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS EM DUAS SUB-
BACIAS HIDROGRÁFICAS NO ENTORNO DA USINA
HIDRELÉTRICA DE ILHA SOLTEIRA-SP**

CARLA DEISIANE DE OLIVEIRA COSTA

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU - SP

Dezembro - 2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**PERDAS DE SOLO E DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS EM DUAS SUB-
BACIAS HIDROGRÁFICAS NO ENTORNO DA USINA
HIDRELÉTRICA DE ILHA SOLTEIRA-SP**

CARLA DEISIANE DE OLIVEIRA COSTA

Orientador: Prof. Dr. Antônio de Pádua Sousa

Co-Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Marlene Cristina Alves

Co-Orientador: Prof. Dr. Hélio Ricardo Silva

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em Agronomia
(Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU - SP

Dezembro – 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO
DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA
- LAGEADO - BOTUCATU (SP)

C837p Costa, Carla Deisiane de Oliveira, 1984-
Perdas de solo e deposição de sedimentos em duas sub-
bacias hidrográficas no entorno da usina hidrelétrica de
Ilha Solteira-SP / Carla Deisiane de Oliveira Costa. -
Botucatu : [s.n.], 2013
xii, 151 f. : il., color., grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Fa-
culdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2013
Orientador: Antônio de Pádua Sousa
Co-Orientador: Marlene Cristina Alves
Co-Orientador: Hélio Ricardo Silva
Inclui bibliografia

1. Erosão. 2. Bacias hidrográficas. 3. Degradação am-
biental. 4. Sedimentação. I. Souza, Antônio de Pádua. II.
Alves, Marlene Cristina. III. Silva, Hélio Ricardo IV.
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
(Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas.
V. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "PERDAS DE SOLO E DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS EM DUAS SUB-
BACIAS HIDROGRÁFICAS NO ENTORNO DA USINA HIDRELÉTRICA
DE ILHA SOLTEIRA"

ALUNO: CARLA DEISIANE DE OLIVEIRA COSTA

ORIENTADOR: PROF. DR. ANTÔNIO DE PÁDUA SOUSA

Aprovado pela Comissão Examinadora



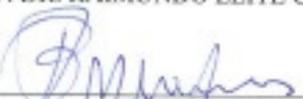
PROF. DR. ANTÔNIO DE PÁDUA SOUSA



PROFA. DRA. MARIA HELENA MORAES



PROF. DR. RAIMUNDO LEITE CRUZ



PROF. DR. BENEDITO MARTINS GOMES



PROFA. DRA. MARIA DE FÁTIMA GUIMARÃES

Data da Realização: 06 de dezembro de 2013.

“Cabe ao homem compreender que o solo fértil onde tudo que se planta dá, pode secar.

Que o chão que dá frutos e flores pode dar ervas daninhas.

*Que a caça se dispersa e a terra da fartura pode se transformar na terra da penúria e da
destruição.*

*O homem precisa entender que de sua boa convivência com a natureza depende sua
subsistência e que a destruição da natureza é sua própria destruição, pois a sua essência é a
natureza, a sua origem e o seu fim”*

Elizabeth Jhin

*Aos meus pais José Carlos e Dinorá,
e às minhas irmãs Cristiane e Juliane*

OFEREÇO

Ao meu namorado e companheiro Humberto

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus pela presença constante em minha vida, me proporcionando firmeza e perseverança na conquista do meu ideal.

À todos os familiares pelo carinho, incentivo e compreensão. E principalmente, pelo apoio e presença constantes durante o período que estive ausente.

Ao professor Dr. Antônio de Pádua Sousa, pela orientação e apoio em todas as etapas deste trabalho, e principalmente, pela amizade doada durante o Curso de Pós-Graduação.

À professora Dr^a Marlene Cristina Alves pela orientação dedicada, companheirismo e seu constante apoio durante estes anos que trabalhamos juntas, a quem considero não só uma co-orientadora, mas sim uma grande amiga.

Ao professor Dr. Hélio Ricardo Silva pela orientação, apoio e ensinamentos referentes às ferramentas de geoprocessamento e ajuda imprescindível na etapa final, sendo de grande importância para a conclusão deste trabalho.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de estudos no Brasil e no exterior.

À Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Campus de Botucatu-SP, pela oportunidade de realização do Curso de Doutorado, e aos docentes da mesma pelos ensinamentos e formação profissional.

À professora Dr^a Martha Mischan pelo auxílio na análise estatística dos dados.

À Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da UNESP, em especial ao técnico de Laboratório de Física do Solo, Valdivino dos Santos, e aos alunos de Pós-Graduação Sebastião Nilce Souto Filho e Otton Garcia de Arruda, pelo auxílio e grande ajuda prestadas durante a realização das coletas de campo, e principalmente pelo agradável clima de amizade durante a realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Ricardo Antonio Ferreira Rodrigues por disponibilizar os dados climáticos utilizados neste trabalho.

À Universidade da Coruña, Espanha, ao professor Dr. Antonio Paz González pela oportunidade de realização do Doutorado-sanduíche, pela orientação e apoio

prestados durante a minha estadia na Espanha. Ao Dr. José Manuel Mirás Avalos pela grande ajuda e ensinamentos referentes ao modelo LISEM, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

Aos amigos da Pós-Graduação, em especial, à Deise Paula da Silva e Franciana Sousa Pereira. À grande amiga e companheira, Angélica Cristina Fernandes Deus, pelo apoio e amizade.

Às amigas Adriana Avelino Santos e Renata Moura, pela amizade e apoio, aos momentos de descontração, aos conselhos e companhia durante a minha estadia em Ilha Solteira.

À todos aqueles que me ajudaram, me apoiaram e torceram por mim, que de maneira direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!!!

SUMÁRIO

RESUMO	1
SUMMARY	3
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1. Bacia hidrográfica como unidade de estudo	7
2.2. Erosão e perdas de solo em bacias hidrográficas.....	9
2.3. Produção, transporte e deposição de sedimentos.....	12
2.4. Modelos de predição de perdas de solo e deposição de sedimentos.....	15
2.5. Modelo LISEM (Limburg Soil Erosion Model)	18
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1. Sub-bacia Jardim Novo Horizonte, Ilha Solteira - SP	22
3.1.1. Localização e caracterização.....	22
3.1.2. Coletas de solos.....	26
3.1.3. Descrição dos usos e ocupações do solo	29
3.2. Sub-bacia Dois Córregos, Selvíria - MS.....	29
3.2.1. Localização e caracterização.....	29
3.2.2. Coletas de solos.....	33
3.2.3. Descrição dos usos e ocupações do solo	37
3.3. Avaliações.....	37
3.3.1. Textura do solo.....	37
3.3.2. Estabilidade de agregados em água.....	37
3.3.3. Porosidade total, macroporosidade e microporosidade.....	38
3.3.4. Densidade do solo	38
3.3.5. Infiltração de água e condutividade hidráulica do solo saturado	38
3.3.6. Capacidade de armazenamento de água no solo	40
3.3.7. Análise química do solo.....	40
3.4. Análise dos resultados	41
3.5. Modelo LISEM	41
3.5.1. Dados de entrada.....	41

3.5.1.1. Características do solo.....	42
3.5.1.2. Características da vegetação.....	44
3.5.2. Mapas de entrada.....	45
3.5.3. Processos hidrológicos.....	46
3.5.3.1. Interceptação.....	46
3.5.3.2. Infiltração.....	47
3.5.3.3. Armazenamento em depressões.....	48
3.5.3.4. Escoamento superficial.....	48
3.5.3.5. Perdas de solo, produção e deposição de sedimentos.....	49
3.6. Dados climáticos.....	52
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
4.1. Sub-bacia Jardim Novo Horizonte, Ilha Solteira - SP.....	53
4.1.1. Propriedades dos solos.....	53
4.1.2. Perdas de solo e deposição de sedimentos.....	79
4.2. Sub-bacia Dois Córregos, Selvíria - MS.....	94
4.2.1. Propriedades dos solos.....	94
4.2.2. Perdas de solo e deposição de sedimentos.....	117
5. CONCLUSÕES.....	129
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	130
ANEXOS.....	148

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização do Município de Ilha Solteira, SP.....	23
Figura 2. Mapa de Solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, Ilha Solteira, SP	23
Figura 3. Mapa de Drenagem da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, Ilha Solteira, SP	24
Figura 4. Mapa de Declividade da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, Ilha Solteira, SP.....	25
Figura 5. Mapa de Uso e Ocupação dos Solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, Ilha Solteira, SP	25
Figura 6. Localização dos pontos de coletas de solo e de avaliações de infiltração e de condutividade hidráulica saturada dos solos.	26
Figura 7. Locais de coletas de solos e das avaliações	28
Figura 8. Localização da sub-bacia Dois Córregos, Selvíria, MS.....	30
Figura 9. Vista da voçoroca nas proximidades da nascente da sub-bacia Dois Córregos, Selvíria, MS	30
Figura 10. Identificação de Voçorocas na sub-bacia Dois Córregos, Selvíria, MS	31
Figura 11. Mapa de Solos da sub-bacia Dois Córregos, Selvíria, MS	32
Figura 12. Mapa de Uso e Ocupação dos Solos da sub-bacia Dois Córregos, Selvíria, MS....	32
Figura 13. Mapa de Declividade da sub-bacia Dois Córregos, Selvíria, MS	33
Figura 14. Localização dos pontos de coletas de solo e de avaliações de infiltração e de condutividade hidráulica saturada dos solos.....	34
Figura 15. Locais de coletas de solos e das avaliações	36
Figura 16. Infiltração média acumulada (cm) em função da raiz quadrada do tempo (s), para os solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, sendo os usos no Latossolo – Cultura da manga (M), Pastagens (P ₁ , P ₂ , P ₃ e P ₄) e Cultura anual (CA), e no Argissolo – Fragmento de mata (FM), Pastagens (P arg ₁ , P arg ₂) e Cultura anual (CA arg)	67
Figura 17. Pastagem degradada (P ₁), no Latossolo	69
Figura 18. Mapa de perdas de solo dos resultados simulados pelo modelo LISEM	90
Figura 19. Locais apontados pelo mapa com alta e média perda de solo: a) pastagem (P ₃) no Latossolo, b) pastagem (P arg ₂) no Argissolo.....	91
Figura 20. Mapa de deposição de solo dos resultados simulados pelo modelo LISEM	92
Figura 21. Área cultivada com milho, no Latossolo.....	93

- Figura 22. Área cultivada com pastagem (P_1): a) pastagem degradada, b) erosão em sulcos. 100
- Figura 23. Infiltração média acumulada (cm) em função da raiz quadrada do tempo (s), para os solos da sub-bacia Dois Córregos, sendo os usos no Latossolo – pastagem (P_2), eucaliptos com 5 anos (E_1), (E_2), (E_3) e eucaliptos aos 6 meses (EN_1), (EN_2), (EN_3) e (EN_4), e no Argissolo – as pastagens (P_1) e (P_3)..... 107
- Figura 24. Voçoroca próxima às áreas cultivadas com eucalipto de 5 anos 109
- Figura 25. Mapa de perdas de solo dos resultados simulados pelo modelo LISEM 125
- Figura 26. Voçoroca apontada pelo mapa de perdas de solo, e aspecto do ambiente dentro da voçoroca..... 126
- Figura 27. Voçoroca presente entre as pastagens (P_1) e (P_2), e o local apontado no mapa.... 126
- Figura 28. Mapa de deposição de solo dos resultados simulados pelo modelo LISEM 127

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Localização dos pontos de coletas e de avaliações dos solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, Ilha Solteira, SP	27
Tabela 2. Localização dos pontos de coletas e de avaliações dos solos da sub-bacia Dois Córregos, Selvíria, MS.....	35
Tabela 3. Eventos selecionados para as simulações para o período de 2009 a 2012	52
Tabela 4. Distribuições de tamanho de partículas e classes texturais dos solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte	54
Tabela 5. Macroporosidade, microporosidade, porosidade total, e densidade dos solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte.....	55
Tabela 6. Capacidade de armazenamento de água dos solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte	59
Tabela 7. Percentagem das classes de agregados estáveis em água para os solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte.....	61
Tabela 8. Diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados estáveis em água para os solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte	63
Tabela 9. Teores de água nos solos antecedente às avaliações de infiltração de água e condutividade hidráulica do solo saturado.....	65
Tabela 10. Taxa constante de infiltração e condutividade hidráulica do solo saturado, para os solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, nas suas superfícies	66
Tabela 11. Taxa constante de infiltração e condutividade hidráulica do solo saturado, para os solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, nas profundidades de 0,10 e 0,20 m. 71	
Tabela 12. Atributos químicos dos solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte.....	74
Tabela 13. Componentes do ciclo hidrológico simulados pelo modelo LISEM	80
Tabela 14. Perdas de solo e deposição de sedimentos simulados pelo modelo LISEM	87
Tabela 15. Concentração dos sedimentos simulados pelo modelo LISEM.....	89
Tabela 16. Distribuições de tamanho de partículas e classes texturais dos solos da sub-bacia Dois Córregos	95
Tabela 17. Macroporosidade, microporosidade, porosidade total, e densidade dos solos da sub-bacia Dois Córregos.....	97

Tabela 18. Capacidade de armazenamento de água dos solos da sub-bacia Dois Córregos ..	102
Tabela 19. Percentagem das classes de agregados estáveis em água para os solos da sub-bacia Dois Córregos	103
Tabela 20. Diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados estáveis em água para os solos da sub-bacia Dois Córregos.....	104
Tabela 21. Teores de água nos solos antecedente às avaliações de infiltração de água e condutividade hidráulica do solo saturado	105
Tabela 22. Taxa constante de infiltração e condutividade hidráulica do solo saturado, para os solos da sub-bacia Dois Córregos, nas suas superfícies.....	106
Tabela 23. Taxa constante de infiltração e condutividade hidráulica do solo saturado, para os solos da sub-bacia Dois Córregos, nas profundidades de 0,10 e 0,20 m.....	111
Tabela 24. Atributos químicos dos solos da sub-bacia Dois Córregos	113
Tabela 25. Componentes do ciclo hidrológico simulados pelo modelo LISEM	118
Tabela 26. Perdas de solo e deposição de sedimentos simulados pelo modelo LISEM	121
Tabela 27. Concentração dos sedimentos simulados pelo modelo LISEM.....	124

PERDAS DE SOLO E DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS EM DUAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS NO ENTORNO DA USINA HIDRELÉTRICA DE ILHA SOLTEIRA-SP. Botucatu, 2013. 151p. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Autor: Carla Deisiane de Oliveira Costa

Orientador: Antônio de Pádua Sousa

Co-orientadora: Marlene Cristina Alves

Co-orientador: Hélio Ricardo Silva

RESUMO

O manejo inadequado tem sido a principal causa das perdas de solo e deposição de sedimentos em bacias hidrográficas. Este estudo foi realizado em duas sub-bacias localizadas nas proximidades da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira. Esta região apresenta problemas ambientais, como erosão do solo e o assoreamento dos rios, além da escassez de vegetação nativa. Este trabalho teve por objetivo estimar as perdas de solo e a deposição de sedimentos nas sub-bacias Jardim Novo Horizonte e Dois Córregos. A coleta de solos foi realizada em 10 locais em cada sub-bacia sob as diferentes formas de uso e ocupação do solo, em duas profundidades, de 0,0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m, e cada local com cinco repetições. Na sub-bacia Jardim Novo Horizonte os solos mais representativos são o Latossolo Vermelho distrófico e o Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, e na sub-bacia Dois Córregos são o Latossolo Vermelho distrófico e o Argissolo Vermelho distrófico. Os resultados das propriedades físicas e químicas dos solos foram submetidos à análise conjunta para cada classe de solo e teste de Tukey, sendo utilizado o programa computacional SAS. A simulação das perdas de solo e deposição de sedimentos foi realizada utilizando-se o modelo LISEM, sendo selecionados 10 eventos com as maiores intensidades de precipitação entre os anos de 2009 a 2012. O processo de degradação pode ser identificado nas duas sub-bacias hidrográficas pela deterioração nas propriedades físicas (macroporosidade, porosidade total e densidade do solo) e químicas do

solo. Há maiores perdas de solo e deposição de sedimentos na sub-bacia Jardim Novo Horizonte. O eucalipto propicia maior proteção aos solos da sub-bacia Dois Córregos. O modelo LISEM é eficiente para a localização de áreas suscetíveis aos processos erosivos nas duas sub-bacias avaliadas.

Palavras-chave: Degradação do solo, erosão, produção de sedimentos, modelo LISEM.

SOIL LOSS AND SEDIMENT DEPOSITION IN TWO SUB-RIVER BASINS IN THE AREA SURROUNDING ILHA SOLTEIRA HYDROELECTRIC POWER PLANT – STATE OF SÃO PAULO. Botucatu, SP, Brazil, 2013. 151p. Thesis (PHD in Agronomy/Irrigation and Drainage) – Agronomic Science College, State University from São Paulo.

Author: Carla Deisiane de Oliveira Costa

Adviser: Antônio de Pádua Sousa

Co-Adviser: Marlene Cristina Alves

Co-Adviser: Hélio Ricardo Silva

SUMMARY

The improper management has been the main cause of the soil losses and sediment deposition in sub-river basins. This study was held in two sub-river basins, located in the surroundings of Ilha Solteira Hydroelectric power plant. This region has shown environmental problems like soil erosion and rivers silting, besides the native vegetation scarcity. This paper had the goal of estimate the soil losses and the sediment deposition in the sub-river basins Jardim Novo Horizonte and Dois Córregos. The soil collection was accomplished in 10 places in each sub-river basin with the different ways for its using and occupying, at two depths, from 0.0 to 0.10 and 0.10 to 0.20 m, each sampled site had five repetitions. In sub-river basin Jardim Novo Horizonte the most representative soils are the dystrophic red Oxisol and eutrophic red-yellow Alfisol, and the sub-river basin Dois Córregos are the dystrophic red Oxisol and dystrophic red Alfisol. The results of soil physical and chemical properties were submitted to joint analysis of each soil class and Tukey test, being used the computing program SAS. The simulation of soil losses and sediment deposition was done with the LISEM model, where 10 events were selected with the highest intensities of precipitation between the years 2009 to 2012. The degradation process can be identified by the deterioration in the two sub-river basins in the physical properties (macroporosity, total porosity and soil bulk density) and chemical properties of the soil. There are greater soil losses and sediment deposition in the sub-river

basin Jardim Novo Horizonte. The eucalyptus provide more protection to the sub-river basin Dois Córregos. The LISEM model is efficient in the location of the susceptible areas for erosion process in the two sub-river basins studied.

Keywords: Soil degradation, erosion, sediments production, LISEM model.

1. INTRODUÇÃO

A degradação dos solos nas vertentes de bacias hidrográficas traz como consequência a erosão, causando o assoreamento e a contaminação dos cursos de água. O manejo inadequado tem sido a principal causa das perdas de solos e deposição de sedimentos em bacias hidrográficas, sendo os principais contribuintes para esses processos as práticas agrícolas intensivas, a falta de manejo em áreas cultivadas com pastagens e o desmatamento, deixando o solo mais suscetível a processos erosivos e, conseqüentemente, ao escoamento superficial e a produção de sedimentos. Por isso, as práticas de manejo adotadas são de grande importância para a conservação do solo e da água.

As sub-bacias Jardim Novo Horizonte e Dois Córregos estão localizadas nas proximidades da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, Estado de São Paulo. Esta região apresenta problemas ambientais, como erosão do solo e o assoreamento dos rios, além da escassez de vegetação nativa. Todos estes problemas foram ocasionados pela falta de planejamento ambiental e pelo manejo inadequado dos recursos naturais.

A degradação do solo, associada à falta de vegetação ciliar, está contribuindo para o assoreamento dos reservatórios de usinas hidrelétricas, reduzindo a vida útil destas. Além do transporte de material pela erosão do solo, outros tipos de riscos ambientais para os cursos de água incluem o transporte de substâncias tóxicas, como defensivos agrícolas e fertilizantes, os quais estão intimamente associados aos usos antrópicos.

Estas bacias hidrográficas localizadas no entorno destas represas, como a sub-bacia Dois Córregos localizada na margem sul-matogrossense e a sub-bacia Jardim Novo Horizonte localizada na margem paulista do reservatório, apresentam extensas áreas ocupadas com pastagens, que sofreram processos erosivos e assim estão contribuindo com o assoreamento. A área onde se encontra a nascente da sub-bacia Dois Córregos apresenta processos erosivos em estágio avançado, que levaram a formação de uma voçoroca e cursos de água assoreados, consequência do manejo inadequado das áreas cultivadas com pastagens.

A modelagem hidrológica é uma importante ferramenta em estudos diagnósticos de perdas de solo e deposição de sedimentos. O modelo LISEM vem sendo utilizado por diversos pesquisadores, inclusive no Brasil, para estudos diagnósticos de processos erosivos, sendo escolhido para a realização das simulações neste trabalho.

É um modelo conceitual de base física, espacialmente distribuído, desenvolvido na Holanda, que simula para um único evento de precipitação as perdas de solo e a deposição de sedimentos em uma bacia hidrográfica. O modelo LISEM simula o escoamento superficial direto e o transporte de sedimentos após um evento de precipitação gerando além dos dados de perdas de solo e deposição, mapas pontuais dos locais com maior suscetibilidade aos processos erosivos, sendo uma importante ferramenta de estudo.

Nesse sentido, observa-se a importância dos estudos realizados em tais sub-bacias, visando estimar as perdas de solo pelo escoamento superficial, e a deposição de sedimentos, para que se possa identificar as áreas suscetíveis e tomar medidas de manejo e conservação do solo para minimizar tais problemas. Este trabalho teve por objetivo estimar as perdas de solo e a deposição de sedimentos nas sub-bacias Jardim Novo Horizonte e Dois Córregos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Bacia hidrográfica como unidade de estudo

De maneira geral, até a década de 60, grande parte dos trabalhos sobre manejo do solo e da água, era decorrente de ações isoladas em nível de propriedade agrícola (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2010). Silva et al. (2007) complementa que esta forma de abordagem evoluiu para um nível mais abrangente, utilizando o espaço geográfico de toda a bacia hidrográfica. Assim, a bacia hidrográfica tem se tornado uma importante unidade de estudo para fins de planejamento ambiental.

Bacia hidrográfica é uma área de captação de água das precipitações, que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. Compõe-se basicamente, de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultarem em um leito único no exutório. Os limites de uma bacia hidrográfica são conhecidos como divisores de drenagem ou divisores de águas (TUCCI, 2004).

A dinâmica da água em uma bacia hidrográfica é marcada por vários componentes, sendo a precipitação o componente de entrada do ciclo hidrológico (SILVEIRA, 2001). A chuva ao atingir a superfície do solo, sofre dissipação, com uma parcela sendo retida pela cobertura vegetal denominada de interceptação, outra parcela infiltra-se no solo e o excedente escoar pela sua superfície. As plantas, juntamente com a superfície do solo, lagos e

rios, transferem para a atmosfera grandes volumes de água na forma de vapor, sendo este um componente de saída do ciclo hidrológico conhecido como evapotranspiração (RIGHETTO, 1998).

As bacias hidrográficas constituem ecossistemas adequados para avaliação dos impactos causados pela atividade antrópica, que pode ocasionar riscos ao seu equilíbrio (RANZINI, 2006). Os estudos em bacias são fundamentais para o entendimento da dinâmica da água e suas consequências ambientais, por constituírem elementos que proporcionam uma completa visão do ambiente solo, água e vegetação, e os efeitos do uso e manejo do solo na sustentabilidade do sistema e do ciclo hidrológico (AVANZINI, 2005).

De acordo com Mello (2003), as atividades humanas que ocorrem em bacias hidrográficas (rurais ou urbanas) provocam em longo prazo alterações expressivas na dinâmica da água, levando à redução dos níveis dos corpos de água pelo assoreamento ocasionado pela diminuição da seção natural da calha transportadora, que é gerado pela combinação de chuvas de elevada intensidade e manejo inadequado dos solos, que facilita a ação erosiva. Uma série de outros problemas advindos desta cadeia de atividades mal planejadas pode levar ao secamento completo de algumas sub-bacias.

Uma bacia hidrográfica pode ser constituída por mais de um tipo de solo e de atividades agrícolas. A variação do solo, quando existir, tem como consequência, segundo Filizola et al. (2006), um funcionamento diferenciado dentro da mesma. Como unidade de estudo, tem proporcionado a percepção das diferenças nas concentrações e nos tipos de poluentes nas distintas formas de ocupação e de manejo do solo (GONÇALVES et al., 2005).

Nas áreas agrícolas, os solos e as plantas recebem agroquímicos, seja na forma de nutrientes ou de defensivos agrícolas, que podem permanecer no solo, serem absorvidos pelas plantas, serem carregados pelas águas superficiais, ou, ainda, lixiviados, atingindo as águas subterrâneas. As águas provenientes de pastos, além da contribuição da carga orgânica, tendem a aumentar o índice de coliformes fecais e de nutrientes nos cursos de água. Os despejos industriais, que podem ser encontrados tanto em áreas rurais como urbanas, também são considerados como fonte de contaminação dessas águas (FILIZOLA et al., 2006).

A preservação da qualidade ambiental em uma bacia hidrográfica é altamente desejável, não só ao bem estar e segurança do homem, como de todos os seres vivos

que vivem naquela área (MAGRINI & SANTOS, 2001). De acordo com Gardiman Júnior et al. (2012), o planejamento das atividades antrópicas em uma bacia hidrográfica é de fundamental importância para o manejo adequado dos recursos nela contidos, mantendo assim, a sua integridade e equilíbrio ambiental.

2.2. Erosão e perdas de solo em bacias hidrográficas

As perdas de solo têm aumentado acima das taxas aceitáveis quando relacionadas à pedogênese, resultando na degradação dos recursos naturais (RODRIGUES, 2011). A degradação do solo em áreas de cultivo agrícola é um processo decorrente do uso intensivo dos solos fora de sua aptidão natural, que associado ao manejo inadequado, altera negativamente algumas propriedades desse solo (MORO, 2011).

Bertoni & Lombardi Neto (2010) especificam como erosão o processo de retirada e transporte de partículas do solo pelos agentes erosivos: água e vento, sendo um dos mais sérios fatores de degradação dos solos e também do meio ambiente, visto que, promove grandes consequências ecológicas. De acordo com os mesmos, o processo erosivo começa pelo embate das gotas de chuva na superfície do solo, diminuindo o tamanho dos agregados, estas partículas de solo se soltam e o material desprendido é transportado, terminando com a deposição nos cursos de água.

Existem três tipos de erosão, a laminar, em sulcos e voçoroca, de acordo com Bertoni & Lombardi Neto (2010), a erosão laminar constitui a fase inicial da erosão hídrica, caracterizando-se pela remoção de delgadas camadas da superfície do solo, sendo esta, a princípio imperceptível, sendo notada apenas com o decorrer do tempo, quando a quantidade de solo removido é aumentada. A erosão em sulcos é facilmente perceptível pela ocorrência de valas e sulcos irregulares, formados em virtude da concentração do escoamento superficial. E a erosão em voçorocas, que consiste no deslocamento de grande quantidade de solo, formando canais de grandes dimensões, sendo esta a fase mais avançada do processo erosivo.

As voçorocas apresentam três mecanismos de desenvolvimento: erosão regressiva (desenvolvimento para a montante), tensão cisalhante provocada pelo escoamento (desenvolvimento para jusante), solapamento das margens, ocasionados por processos

localizados de movimento de massa, causado pelo entalhamento do canal e perda da condição de estabilidade (MORO, 2011).

A ação antrópica constitui o principal fator na deflagração dos processos erosivos. Avanzini (2005) complementa que, o homem modificando o ecossistema natural, vem provocando uma intensa degradação dos recursos naturais, sobretudo o solo, refletindo na deterioração do meio ambiente, causando o assoreamento dos cursos de água e redução da capacidade produtiva dos mesmos.

A erosão não é a mesma em todos os solos, as propriedades físicas, principalmente a textura, permeabilidade, densidade do solo e a porosidade, exercem diferentes influências na resistência do solo à erosão (SILVA et al., 2007). Além disso, dentre os fatores do solo, que mais interferem no processo erosivo, estão os ligados à declividade, à distância percorrida pelo escoamento superficial, a rugosidade superficial, a resistência do solo à ação erosiva da chuva e ao percentual de cobertura vegetal existente na ocasião do evento de precipitação (PEREIRA et al., 2003).

Para Silva et al. (2007), os danos causados pelas gotas de chuva que golpeiam a superfície do solo desprotegido, constituem o primeiro passo no processo de erosão, pois quando atingem a superfície do solo, rompem os grânulos e os torrões, reduzindo-os a partículas menores, e com isso aumentam a proporção de partículas pequenas na superfície. Essas partículas pequenas podem ser levadas ao longo do perfil, principalmente pela ação da água, no sentido vertical, preenchendo os espaços vazios entre os agregados, diminuindo a capacidade de infiltração de água, acelerando assim a erosão, pois induzem a um aumento do escoamento superficial (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2010).

O transporte de partículas desagregadas sobre a superfície do solo se dá quando o solo está saturado ou quando a velocidade de água precipitada é superior a capacidade de infiltração de água no solo, ocasionando o escoamento do excesso de água (INÁCIO et al., 2007).

A cobertura sobre o solo é de grande importância na prevenção e no controle dos processos erosivos. Sendo um fator que está intimamente ligado a atividades antrópicas, os quais explicam o modo pelo qual vem sendo manejado o solo de uma área (SILVA et al., 2007). De acordo com Silva et al. (2001), quanto mais densa for a cobertura vegetal sobre as vertentes das bacias hidrográficas, mais os solos estarão protegidos da ação

erosiva das chuvas e menores serão as perdas de solo e água, principalmente nas regiões tropicais. Ainda de acordo com os mesmos, a presença da cobertura vegetal dos solos proporciona diminuição do escoamento superficial, redução da capacidade de transporte de agregados, evita o processo de selamento superficial, devido ao menor impacto das gotas de chuva e aumento da taxa de infiltração de água no solo, sendo de grande importância a manutenção da cobertura vegetal.

Verifica-se que o tipo de cobertura do solo proporcionado pelo seu uso e manejo influencia nas perdas de solo em uma bacia hidrográfica, sendo o manejo adequado deste, a melhor forma de prevenir processos erosivos. Há trabalhos sendo realizados com este propósito de avaliação. Dentre eles cita-se Silva (2006), que avaliando as perdas de solo em uma bacia localizada em Minas Gerais, observaram que as características intrínsecas a cada classe de solo foram determinantes do comportamento das perdas de solo, e que dentro da mesma classe de solo, a cobertura vegetal e a declividade do solo influenciaram as perdas de solo.

Santos et al. (2007) avaliando as perdas de água e solo sob diferentes coberturas, observaram que a parcela com solo revolvido houve maior perda de solo quando comparado a área com vegetação rasteira e cobertura morta, e a área mantida com vegetação nativa (caatinga), ressaltando a importância da cobertura vegetal sobre o controle das perdas de água e solo por escoamento superficial.

Pinese Júnior et al. (2008), avaliando as perdas de solo por erosão laminar em diferentes usos, observaram a importância das gramíneas e principalmente das florestas na proteção do solo, garantindo a interceptação das chuvas, infiltração e a diminuição do escoamento superficial. Os mesmos afirmam que, as áreas de plantio garantiram uma proteção inicial contra o escoamento superficial e produção de sedimentos, porém o problema se agrava após a colheita, em que o solo que sofreu compactação por ação das máquinas está exposto. Sendo esta compactação do solo responsável pela diminuição da infiltração de água no solo e o aumento do escoamento superficial.

Volk et al. (2004) estudando a erosão hídrica influenciada pelas condições de solo resultante do seu manejo e ausência de cobertura vegetal, observaram que, a incorporação dos resíduos culturais ao solo recuperou satisfatoriamente sua estrutura originalmente degradada, e conseqüentemente, reduziu consideravelmente a erosão hídrica.

2.3. Produção, transporte e deposição de sedimentos

O manejo inadequado dos solos traz como consequências, de acordo com Moro (2011), a alteração de suas propriedades, como a redução do teor de matéria orgânica, a maior suscetibilidade à formação do selamento superficial, a compactação subsuperficial e a diminuição da fertilidade do solo. Estas condições reduzem o movimento de água no solo, ao mesmo tempo que favorecem a formação do escoamento superficial. A combinação da pouca resistência do solo, aliado a um grande volume escoado superficialmente, favorece o processo de desagregação e de transferência dos sedimentos para os cursos de água.

A quantificação das perdas de solo é de fundamental importância na adoção de práticas que visem minimizar a degradação do solo, uma vez que o uso e a ocupação do solo, juntamente com as características topográficas e climáticas irão determinar o balanço sedimentar da bacia hidrográfica (MARTINS et al., 2003).

Os processos hidrológicos afetam a erosão do solo, o transporte de sedimentos erodidos, a deposição de sedimentos e as características físicas, químicas e biológicas das águas. Os sedimentos são o mais significativo de todos os poluentes em termos de sua concentração na água, seus impactos no uso da água e seus efeitos no transporte de outros poluentes (BROOKS et al., 1991).

De forma geral, nas porções altas de uma bacia hidrográfica há maior erosão e transporte de sedimentos. Na parte baixa da bacia há muita formação de colúvios, ou seja, a maior parte dos sedimentos erodidos se distribui nos terrenos. A degradação dos solos predomina na parte alta bacia, enquanto a agadação predomina na parte baixa (CARVALHO, 2008).

De acordo com Bordas & Semmelmann (2001), os processos que regem o deslocamento de partículas sólidas constituem o ciclo hidrossedimentológico. Esses processos são: desagregação, separação ou erosão, transporte, decantação ou sedimentação, depósito e consolidação.

A *desagregação* refere-se ao desprendimento de partículas sólidas do solo, causada pelo impacto da gota de chuva sobre o solo, sendo esse processo, após a ação

antrópica, o que mais contribui para a desagregação do solo. Após a desagregação das partículas de solo, essas ficam expostas a ação do escoamento superficial das águas de chuva que não se infiltraram no solo, a esse processo de deslocamento das partículas sólidas da superfície do solo denominamos *erosão*. O processo de *transporte* de partículas do material erodido pela água pode se dar de várias maneiras, as partículas mais pesadas se deslocam sobre o fundo por rolamento ou deslizamento, já as mais leves se deslocam em suspensão. A *sedimentação* é o processo pelo qual, as partículas mais finas transportadas em suspensão tendem a restabelecer contato com o fundo do leito pelo efeito da gravidade. Designa-se por *depósito* a parada total da partícula em suspensão recém decantada sobre o fundo ou daquela transportada por arraste. A *consolidação* segue-se ao depósito das partículas, designa o acúmulo de partículas sobre o fundo e a compactação do depósito resultante sob efeito do próprio peso dos sedimentos.

Existem processos em que ações antrópicas contribuem para a aceleração da produção de sedimentos e, conseqüentemente, para o assoreamento de cursos de água e reservatórios. A literatura especializada aborda o problema de sedimentação em rios e reservatórios, esclarecendo que as partículas transportadas pelos cursos de água depositam-se nos reservatórios de acordo com sua granulometria e peso específico. Assim, o conhecimento da descarga de sedimentos transportados é de fundamental importância para o planejamento e aproveitamento dos recursos hídricos de uma região, uma vez que os danos causados pelos sedimentos são extensos e variados (SANTOS, 1998).

A deposição é a última fase do processo erosivo, que consiste na agradação do material que foi desagregado e transportado, isso ocorre quando a quantidade de sedimentos contida no escoamento superficial é maior que sua capacidade de transporte (PRUSKI, 2010). Os cursos de água constituem o local de destino das partículas de solo removido (sedimento), degradando o canal de drenagem não só pelo ponto de vista da alteração física observável, mas também da alteração das características físicas, químicas e biológicas da água (SILVA et al., 2007).

A sedimentação em corpos de água é uma das principais e mais sérias conseqüências do processo da erosão. Além de todos os problemas causados aos cursos de água, como o assoreamento e a contaminação, de acordo com Beasley (1972), em reservatórios de água de usinas hidrelétricas, uma parte de seu volume é destinada ao acúmulo

de sedimentos, porém, na maioria dos reservatórios, a taxa de sedimentação é tão elevada que o reservatório chega a perder 5% de sua capacidade de armazenamento de água por ano, constituindo um grande problema para a geração de energia elétrica.

Os sedimentos presentes no curso de água são originados da erosão na área da bacia hidrográfica e da erosão no próprio leito e nas margens, sendo a descarga sólida total formada não só pelos sedimentos transportados em suspensão, como também por aqueles transportados por arraste e saltação, denominados sedimentos de fundo (BELINASSO, 2002).

Os sedimentos em suspensão compreendem as partículas de tamanho reduzido (silte e argila), as quais, por serem pequenas, se conservam em suspensão pelo fluxo turbulento. A carga em suspensão pode representar mais de 90% do material total transportado. Por outro lado, as partículas de tamanho maior, como as areias e os cascalhos, são roladas ou deslizadas, ou ainda, saltam ao longo do leito dos cursos de água (VESTENA et al., 2007).

Os sedimentos transportados em arraste possuem granulometria maior, como as areias e cascalhos, e não se movem com a velocidade do escoamento. Isso decorre do fato que o transporte das partículas depende não só da velocidade do escoamento, mas também da granulometria do material, da declividade do leito, da força de atrito entre as partículas e da profundidade do curso de água (RODRIGUES, 2011).

Os sedimentos de fundo movem-se ocasionalmente e podem permanecer muito tempo em repouso. Em períodos chuvosos e cheia dos cursos de água, as forças que atuarão sobre as partículas de granulometria maior proporcionarão o transporte das mesmas preferencialmente em arrasto sobre o leito (CARVALHO, 2008).

A distribuição vertical dos sedimentos nos cursos de água depende da velocidade do fluxo horizontal e do peso das partículas, assim a concentração de sedimentos é menor na superfície e apresenta valor máximo próximo ao leito, variando de acordo com a granulometria (RODRIGUES, 2011).

O uso e o manejo dos solos afetam a produção de sedimentos através da erosão do solo e das alterações causadas ao ambiente ciliar. Solos utilizados fora de sua capacidade de uso e mal manejados possibilitam a ocorrência de processos erosivos severos. Da mesma forma, a ausência do ambiente ciliar favorece a transferência dos sedimentos mobilizados na bacia vertente para o canal fluvial (MORO, 2011).

De acordo com o mesmo autor, o controle da produção de sedimentos em bacias hidrográficas rurais está associado com o manejo dos solos. Práticas de manejo focadas em um aumento da cobertura vegetal, incremento de matéria orgânica, redução do preparo e tráfego sobre o solo são consideradas medidas eficazes para melhorar a estrutura de um solo, e consequentemente, sua condição de maior resistência ao processo erosivo e menor produção de sedimentos.

2.4. Modelos de predição de perdas de solo e deposição de sedimentos

Os processos que ocorrem em bacias hidrográficas são complexos, e sua compreensão é fundamental para o adequado manejo dos recursos naturais. Nesse sentido, a modelagem matemática dos processos hidrossedimentológicos constitui ferramenta importante para o entendimento destes (RODRIGUES, 2011). De acordo com Paiva (2008), vários modelos têm sido desenvolvidos, e com eles busca-se representar as interações entre as entradas, como a precipitação na bacia, e respostas como o escoamento superficial e produção de sedimentos.

A erosão do solo e a produção de sedimentos em bacias é um processo fisicamente difícil de modelar, devido à complexidade dos fatores envolvidos, que muitas vezes, apresenta um caráter não linear e altamente dependente do fator de escala. Existem inúmeros modelos para a estimativa da perda de solo e produção de sedimentos, geralmente se distinguem em termos de complexibilidade, processos e parâmetros considerados (hidrológicos, sedimentos, nutrientes e defensivos), e dados requeridos para uso do modelo (MERRITT et al., 2003).

Os modelos podem ser classificados sob diferentes aspectos, de acordo com o tipo de variáveis utilizadas na modelagem (estocásticos ou determinísticos), tipos de relações entre essas variáveis (empíricas ou conceituais), a forma de representação dos dados (discretos ou contínuos), a existência ou não de relações espaciais (concentrados ou distribuídos), e a existência de dependência temporal (estacionários ou dinâmicos) (TUCCI, 2005).

De acordo com Merritt et al. (2003), no modelo estocástico o conceito da probabilidade é considerado na sua formulação, e no modelo determinístico é baseado em

soluções de equações que descrevem os processos físicos. No modelo conceitual as funções utilizadas na sua elaboração levam em consideração os processos físicos, já os empíricos são os que ajustam os dados calculados aos observados através de funções empíricas. Os modelos conceituais podem ser subclassificados em semiconceituais e físicos, os semiconceituais estão relacionados às características do processo, embora mantenham razoável empirismo nos parâmetros das equações envolvidas, enquanto que os modelos físicos utilizam as equações para representar os processos (TUCCI, 2005).

No modelo contínuo os fenômenos são contínuos no tempo e no modelo discreto estes fenômenos se dão em intervalos determinados. Os modelos concentrados são modelos em que os parâmetros variam somente em função do tempo e são representados por equações com uma variável independente, já os distribuídos são aqueles que variam também segundo o espaço geográfico, mas utilizam-se equações diferenciais parciais com mais de uma variável independente. Os modelos estacionários descrevem o fenômeno em um determinado momento, e os parâmetros não variam com o tempo, no caso dos dinâmicos, os parâmetros podem variar no tempo, sendo portanto as variáveis função do tempo (MERRITT et al., 2003).

Modelos matemáticos vêm sendo desenvolvidos desde a década de 1950, com o intuito de prever a magnitude das perdas de solo por erosão (PRUSKI, 2010). A Universal Soil Loss Equation (USLE) de base empírica, e a Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) de base empírica e conceitual foram a base para a criação de diversos modelos de simulação hidrológicos utilizados.

A Universal Soil Loss Equation (USLE) é um dos modelos de predição da erosão mais conhecidos e utilizados. Foi desenvolvido a partir de 1950 por Wischmeier, Smith e outros pesquisadores do Departamento de Agricultura do Estados Unidos (USDA) (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2010). Dentre as diversas modificações realizadas na USLE visando a melhorias das estimativas das perdas de solo, destaca-se a Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Embora sua estrutura seja a mesma da USLE, vários conceitos da modelagem de erosão, baseados na descrição do processo físico foram incorporados na RUSLE para melhorar as predições (RENARD et al., 1991).

Devido as limitações dos modelos de base empírica, buscou-se um modelo alternativo para estimar as perdas de solo com base nos fundamentos dos processos de

erosão e hidrológicos que regem o desprendimento, o transporte e a deposição das partículas desse. Essa modelagem foi iniciada na metade da década de 1980, quando o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) iniciou o Water Erosion Prediction Project (WEPP), um modelo distribuído de base física (PRUSKI, 2010).

Os modelos de base física, espacialmente distribuídos, representam uma alternativa para estimar a produção de sedimentos controlando os fatores que contribuem para os processos erosivos (DE ROO et al., 1996). A estrutura do cálculo do modelo é baseado não só nos conceitos da física do solo, na hidráulica do escoamento, mas também em conceitos relacionados aos processos de desagregação, transporte de sedimentos e propagação no canal. Os modelos distribuídos tem a capacidade de estimar a produção de sedimentos no exutório da bacia, na distribuição espacial da erosão e na deposição da bacia (MINELLA, 2007).

Dentre os modelos que vêm sendo utilizados atualmente em estudos em bacias hidrográficas citam-se, WEPP, SWAT, método CN - SCS, ANSWERS, AGNPS, TOPMODEL, dentre outros. De acordo com USDA (1995), o modelo WEPP estima as perdas de solo com base nos princípios físicos do processo de erosão, e tem por objetivo elaborar uma tecnologia para o planejamento ambiental e a conservação da água e do solo, a fim de permitir a predição dos impactos resultantes de práticas de manejo na erosão.

O SWAT (Soil and Water Assessment Tool) utilizado por Machado (2002) e Baldissera (2005), dentre outros, é um modelo conceitual distribuído com o objetivo de analisar os impactos das alterações no uso do solo sobre os escoamentos superficial e subterrâneo, produção de sedimentos e qualidade da água.

O AGNPS (Agricultural Non-Point-Sources Pollution Model) é um modelo conceitual, que de acordo com Paranhos (2003), visa estimar a qualidade do escoamento em bacias agrícolas com ênfase no sedimento e nos nutrientes, comparando os efeitos de várias alternativas de conservação do solo.

O método CN - SCS (Curve Number - Soil Conservation Service) é um modelo empírico bastante utilizado por diversos autores, dentre eles citam-se Mello (2003) e Avanzini (2005), é um modelo de predição do deflúvio, denominado chuva-vazão, que relaciona a precipitação com o escoamento.

O modelo ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation) é espacialmente distribuído, com simulação por evento, utilizado para

avaliar os efeitos das práticas de manejo do solo sobre a erosão e produção de sedimentos (MORO, 2011).

O modelo TOPMODEL (Topographic Model) é um modelo distribuído, que utiliza as informações topográficas como o principal fator atuante na produção do escoamento superficial direto, utilizado por Ferreira (2004).

2.5. Modelo LISEM (Limburg Soil Erosion Model)

O modelo LISEM (Limburg Soil Erosion Model) foi desenvolvido pelo Departamento de Geografia Física da Universidade de Utrecht e pela Divisão de Física do Solo do Centro Winand Staring (Wageningen), ambos na Holanda (DE ROO et al., 1996), e vem sendo aplicado naquele país e em outros países. Tem sido utilizado para planejar e simular o uso e ocupação dos solos, com os propósitos de conservar, evitar e mitigar impactos ambientais advindos de atividades antrópicas (GOMES, 2008).

É um modelo conceitual espacialmente distribuído de base física. De acordo com Tucci (2005), as vantagens dos modelos de base física perante os modelos empíricos e semiconceituais são a técnica de modelagem que é baseada na física dos processos, os parâmetros possuem significado físico, a bacia é considerada um sistema espacialmente variável com entradas variáveis e parâmetros mensuráveis, possibilidade da extrapolação para áreas hidrologicamente homogêneas não observadas, aplicabilidade onde existem variações na topografia, uso de solo, cobertura vegetal e clima, consideração de áreas mais complexas, e melhor precisão na modelagem dos eventos individuais.

O modelo LISEM foi implementado com base na linguagem do SIG PCRaster, que foi desenvolvido na Universidade de Utrecht (Holanda), é um sistema de modelagem dinâmica para modelos distribuídos de simulação (formato raster), dispondo de um conjunto de ferramentas computacionais para armazenamento, manipulação, análise e acesso de informações geográficas (JETTEN, 2002).

O modelo LISEM tem mostrado grande potencial para avaliar os efeitos de uso e manejo do solo nos processos erosivos em pequenas bacias hidrográficas agrícolas (RODRIGUES, 2011). É uma importante ferramenta para o planejamento de medidas eficazes para mitigar os efeitos do escoamento e da erosão, pois produz mapas

detalhados de erosão do solo que são úteis para os planejadores (DE ROO et al., 1996). Além disso, de acordo com Moro (2011), a geração do mapa de deposição é uma de suas maiores vantagens, já que grande parte dos modelos não é capaz de simular a deposição distribuída no espaço.

De acordo com Hessel et al. (2003a), por ser um modelo distribuído, possui vantagens em relação a outros modelos, pois é capaz de simular detalhadamente os eventos mais destrutivos que ocorrem em um ano, além de ser capaz de prever os padrões espaciais de erosão e dar informações sobre as fontes de sedimentos em uma bacia.

A grande utilização deste modelo se deve ao fato de ser fisicamente fundamentado nos processos de interceptação da precipitação do dossel da vegetação, no armazenamento da água na superfície do solo, na infiltração de água no solo e no escoamento superficial direto, ser geograficamente distribuído e estar completamente incorporado a um sistema de informações geográficas (SIG) (GOMES, 2008). Além disso, possui a vantagem de determinar as áreas em que devem ser aplicadas medidas de conservação do solo e da água (HESSEL et al., 2003b).

O modelo exige como dados de entrada, as características do solo, do uso e ocupação do solo e mapas base, como o modelo de elevação do terreno (MNT). De acordo com Hessel et al. (2003a), o modelo digital de elevação do terreno assume grande importância, visto que todas as informações referentes à bacia são derivadas deste. Quando se tem áreas de declive acentuados, escarpas e paredões, o modelo digital de elevação não os representa de forma adequada e pode induzir a erros nas simulações realizadas pelo LISEM, diminuindo sua precisão. Isto porque através do MNT é que são geradas as linhas de fluxo que servem como rotas para simulação dos processos de desagregação e de transporte de sedimentos, sendo uma desvantagem do modelo.

Hessel et al. (2006) apontam como outra limitação do modelo LISEM a dificuldade de se obter dados precisos para executar o modelo e dados precisos para avaliar o desempenho do modelo. Os mesmos relatam que, o escoamento subsuperficial não é simulado pelo modelo LISEM, e que este desempenha um papel importante na bacia hidrográfica. Além disso, como desvantagem, Moro (2011) cita os dados de entrada requeridos pelo modelo, pois este necessita de grande banco de dados, que em algumas situações, não são facilmente obtidos.

O modelo LISEM simula hidrológicamente o escoamento superficial direto e o transporte de sedimentos durante e imediatamente após um evento de precipitação, permitindo avaliar os efeitos do uso atual do solo. Este modelo pode ser utilizado para planejar usos e ocupações dos solos, sendo uma ferramenta de pesquisa, devido à sua complexibilidade e necessidade de muitos parâmetros de entrada. Uma mudança de cultivo altera a rugosidade superficial do solo, a fração do solo coberto pela vegetação e o índice de área foliar, modificando todas as condições superficiais do solo nas quais acontecem o escoamento direto, e a produção e o transporte de sedimentos (JETTEN, 2002).

O modelo LISEM tem como principais componentes os processos hidrológicos, erosão em sulcos (desagregação pelo fluxo ou escoamento) e em entressulcos (desagregação pela gota de chuva) e deposição. Além desses, há um algoritmo adicional capaz de simular processos de erosão em voçorocas. O escoamento superficial é determinado pelo método da onda cinemática, a desagregação pelo impacto das gotas da chuva é determinada em função da energia cinética da gota, e a desagregação pelo escoamento e deposição são calculados em função da capacidade de transporte do escoamento (MORO, 2011).

Diversos trabalhos vem sendo realizados utilizando o modelo LISEM, na Europa citam-se De Roo & Jetten (1999) na Holanda, Takken et al. (1999) na Bélgica, Castro & Mirás Avalos (2002) na Espanha, Rahimy (2012) na França, Hölzel & Diekkrüger (2012) na Alemanha, e Kvaerno & Stolte (2012) na Noruega. Na África cita-se De Roo & Jetten (1999) no sul da África, e Hessel et al. (2006), que realizaram um trabalho em duas microbacias no leste africano. Na China citam-se os trabalhos realizados por Hessel et al. (2003a) e Hessel et al. (2003b).

No Brasil existem poucos trabalhos com o modelo LISEM, dentre eles citam-se Gomes (2008), Moro (2011) e Rodrigues (2011), mas todos alcançaram resultados satisfatórios com a sua utilização. Rodrigues (2011) afirma que, a simulação com o modelo LISEM foi adequada, comprovada com os baixos erros percentuais entre os valores simulados e observados.

De acordo com o mesmo, o modelo LISEM foi capaz de representar adequadamente a vazão de pico e volume total escoado no exutório da bacia, sendo este resultado importante, pois são variáveis de grande interesse para a gestão dos recursos naturais, contudo, o formato do hidrograma não foi reproduzido de maneira satisfatória. Hessel

et al. (2006) também observou o mesmo comportamento, de acordo com os mesmos, a dificuldade em comparar o hidrograma simulado pelo LISEM e o observado, é devido ao fato de que, o observado resulta da combinação dos escoamentos de superfície e subsuperfície.

Moro (2011) observou que o modelo LISEM foi capaz de representar adequadamente o hidrograma, mas que sua eficiência não foi a mesma para o sedimentograma, e isso se justifica em função de que a geração e o transporte de sedimentos envolvem fatores mais complexos. O mesmo salienta que, o modelo LISEM se mostrou eficaz na descrição de um evento em uma bacia complexa e que as limitações apresentadas pelo modelo em simular adequadamente os processos erosivos também são encontradas em outros modelos, principalmente os de base física.

Gomes (2008) observou que o modelo LISEM não produziu resultados satisfatórios para eventos cuja intensidade de precipitação foi menor ou igual à capacidade de infiltração de água no solo. Moro (2011) salienta que o modelo LISEM conseguiu simular adequadamente os dez eventos analisados, inclusive foi capaz de reproduzir eventos de grande intensidade pluviométrica e de comportamento hidrológico mais complexo.

O modelo LISEM apresentou resultados satisfatórios nas condições brasileiras, pois os autores relatam bons resultados de sua utilização. As desvantagens apontadas foram as mesmas descritas por outros autores, em outros países, contudo, este pode ser utilizado desde que se tenham os dados de entrada requeridos pelo modelo, garantindo maior precisão dos resultados. Todos estes trabalhos foram realizados em bacias pequenas, não havendo até o momento relatos de sua utilização em bacias de médio e grande porte.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Sub-bacia Jardim Novo Horizonte, Ilha Solteira - SP

3.1.1. Localização e caracterização

A sub-bacia Jardim Novo Horizonte está localizada no município de Ilha Solteira, noroeste do Estado de São Paulo (Figura 1), possui 2.200 ha de área, situa-se entre as coordenadas geográficas 20° 22' 45,17" e 20° 25' 47,68" de latitude Sul, 51° 19' 9,66" e 51° 22' 7,17" de longitude Oeste de Greenwich, e altitude média de 320 metros.

A classificação climática da região, de acordo com Köppen, é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. As médias anuais são 23°C de temperatura, 1.370 mm de precipitação pluvial, e umidade relativa do ar entre 70 e 80% (VANZELA, 2003). A vegetação original da região é de cerrado.

De acordo com o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (OLIVEIRA, 1999; OLIVEIRA et al., 1999) os solos mais representativos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte são: Latossolo Vermelho distrófico e Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, representando 70 e 30% da área total, respectivamente (Figura 2).

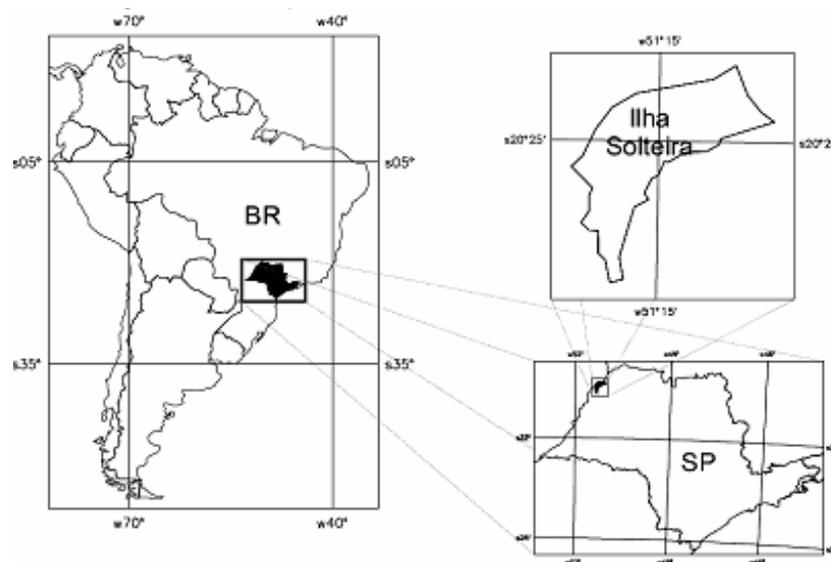


Figura 1. Localização do Município de Ilha Solteira, SP (QUEIROZ, 2008).

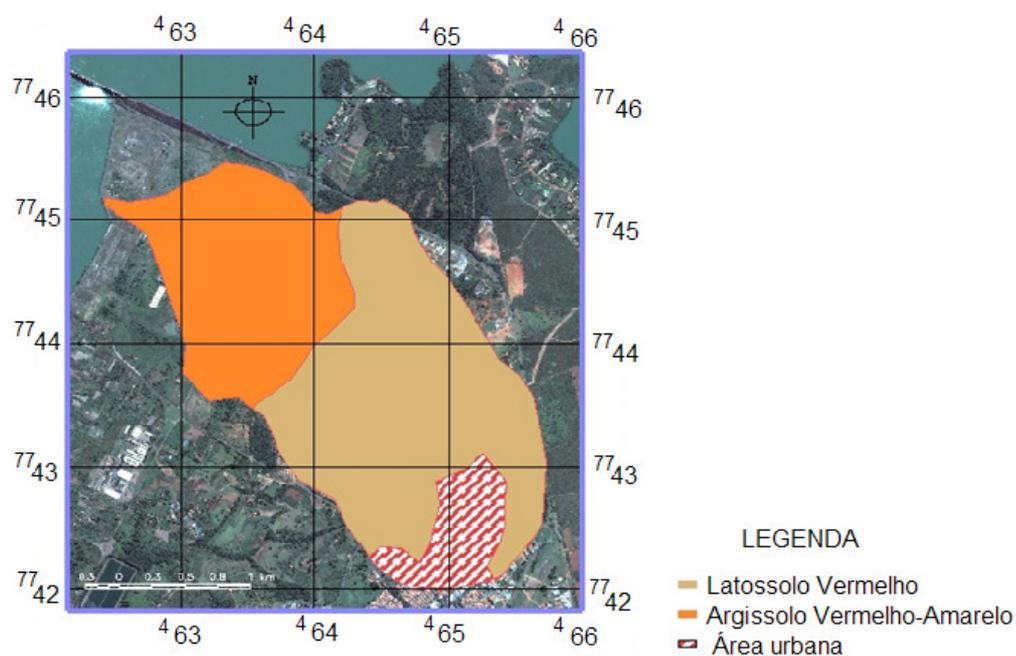


Figura 2. Mapa de Solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, Ilha Solteira, SP (QUEIROZ, 2008).

A sub-bacia apresenta drenagem do tipo dendrítica, e segundo a classificação de Sthraler (1957) é de terceira ordem de ramificação. No segmento de drenagem

próximo à foz é classificado como canal perene passando a ser canalizada. Alguns elementos, como a nascente da sub-bacia, não se encontra mais em suas condições naturais e já está totalmente antropotizada (Figura 3).

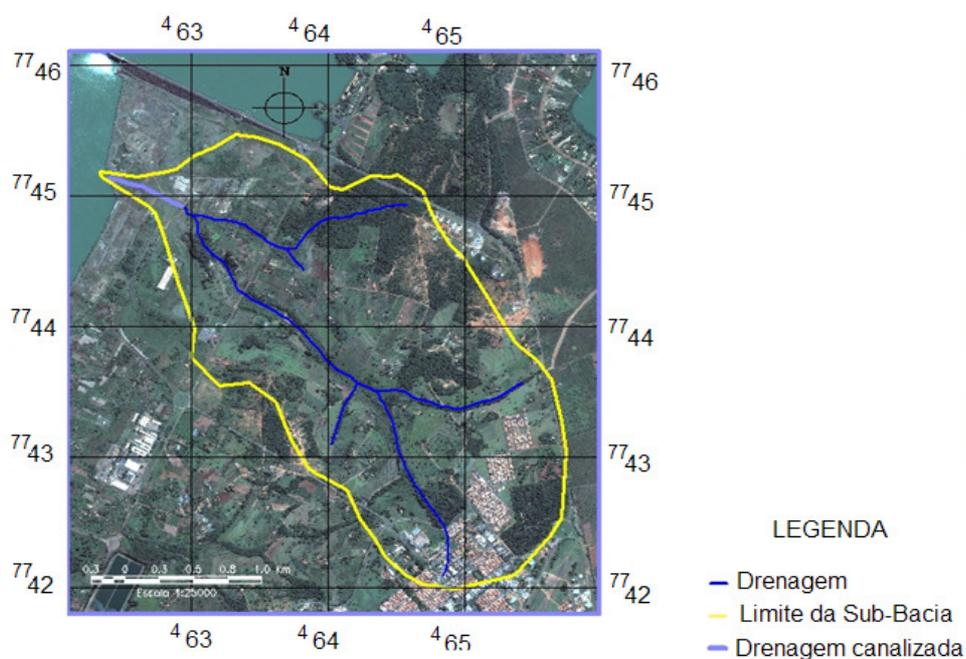


Figura 3. Mapa de Drenagem da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, Ilha Solteira, SP (QUEIROZ, 2008).

Apresenta declives suaves predominando as classes de até 15% de declive (Figura 4) (QUEIROZ, 2008).

A sub-bacia é ocupada em 50% de sua área por pastagens, há áreas cultivadas com cultura anual (milho) e culturas perenes, como a manga, e áreas com fragmentos de mata e vegetação nativa. A área urbana está localizada na parte alta da sub-bacia, e a área da CESP (Companhia Energética do Estado de São Paulo) na parte baixa, próxima à sua foz. O mapa de uso e de ocupação dos solos encontra-se na Figura 5.

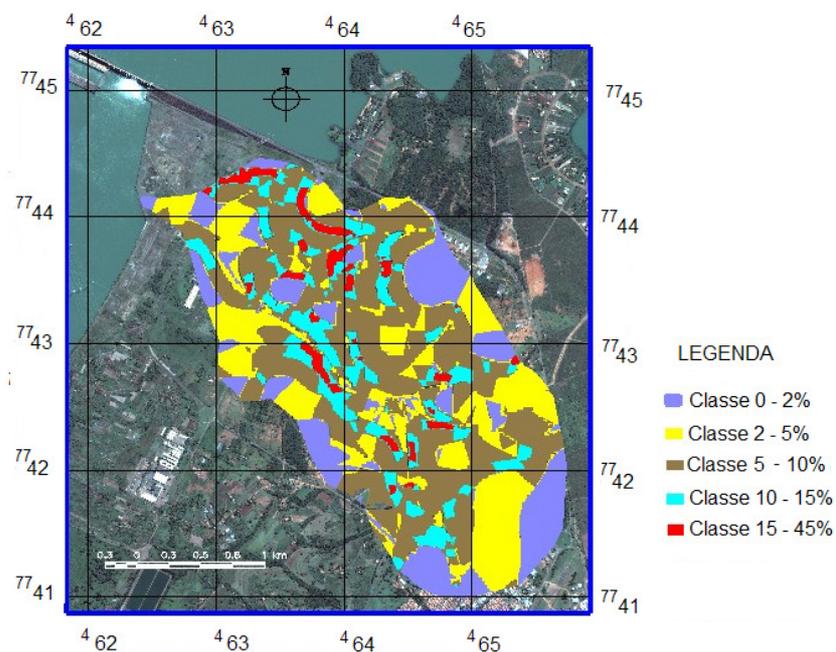


Figura 4. Mapa de Declividade da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, Ilha Solteira, SP (QUEIROZ, 2008).

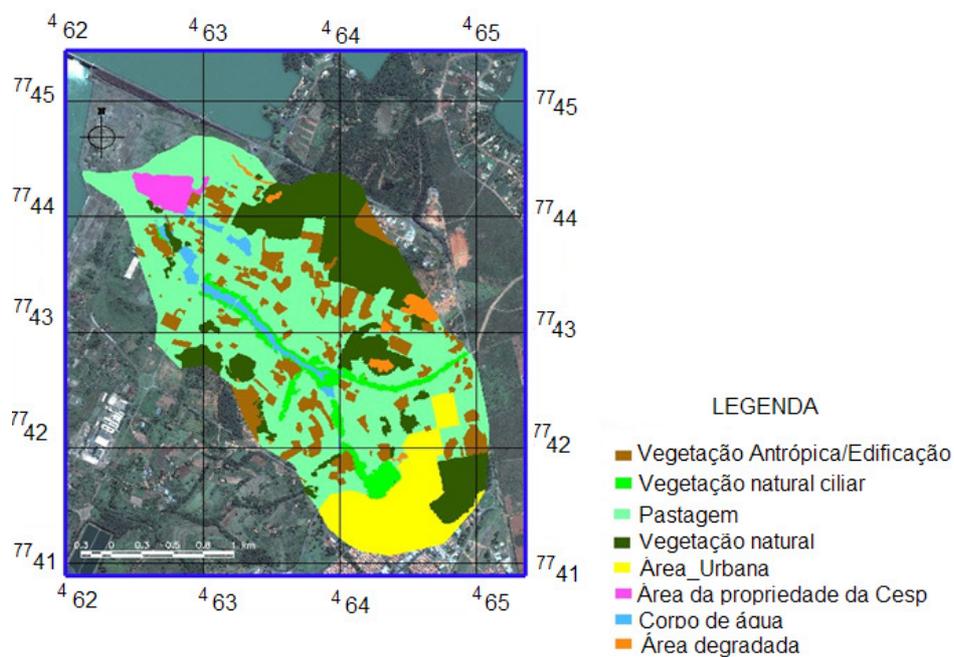


Figura 5. Mapa de Uso e Ocupação dos Solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, Ilha Solteira, SP (QUEIROZ, 2008).

3.1.2. Coletas de solos

A coleta de solos foi realizada em dez locais da sub-bacia, sendo sete localizados no Latossolo Vermelho distrófico e três no Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, dentro de diferentes formas de uso e de ocupação dos solos (Figura 6).

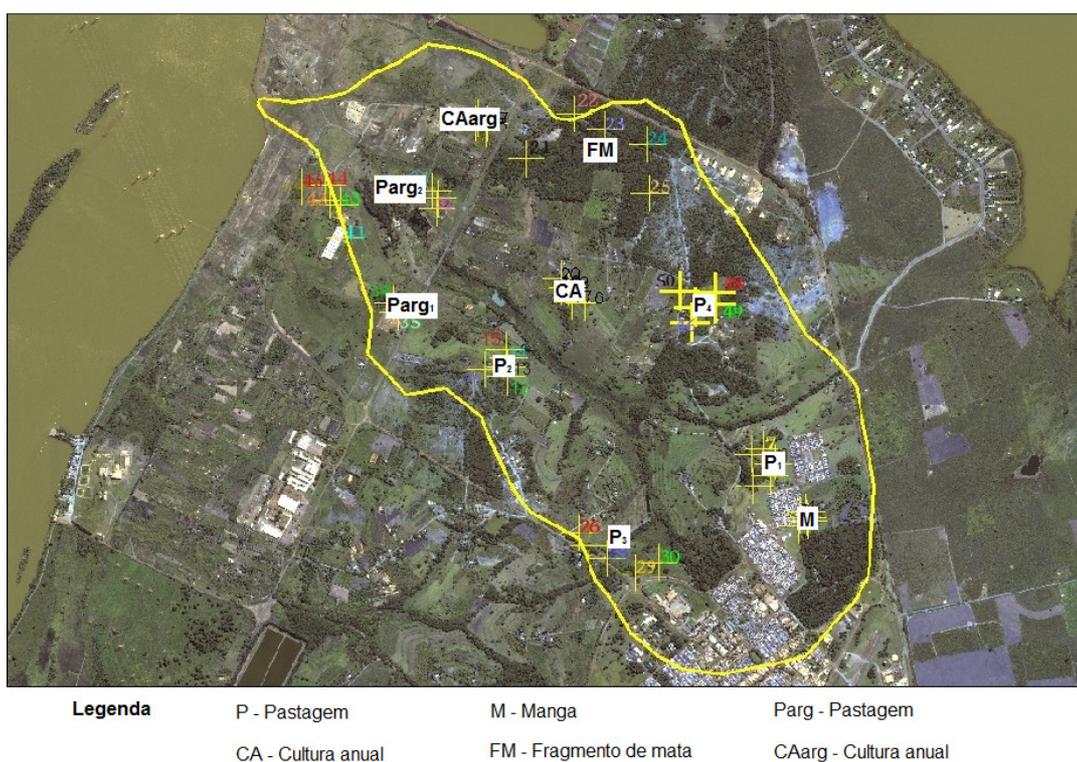


Figura 6. Localização dos pontos de coletas de solo e de avaliações de infiltração e de condutividade hidráulica saturada dos solos.

Em cada local foram coletadas amostras deformadas e indeformadas, nas camadas de 0,0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m, em 5 repetições para a realização das análises. Nestes mesmos pontos, foram realizadas avaliações de infiltração e condutividade hidráulica saturada dos solos. Cada ponto amostrado foi georreferenciado com o auxílio de um GPS (Sistema de Posicionamento Global), cujas coordenadas geográficas encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Localização dos pontos de coletas e de avaliações dos solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, Ilha Solteira, SP.

Classes de solos	Usos e ocupações dos solos	Pontos	Coordenadas	
			S	W
Latossolo	Cultura da Manga (M)	1	20°24'44,4"	51°19'54,4"
		2	20°24'45,3"	51°19'56,2"
		3	20°24'43,4"	51°19'56,1"
		4	20°24'42,7"	51°19'54,9"
		5	20°24'43,9"	51°19'54,6"
Latossolo	Pastagem (P ₁)	1	20°24'32,4"	51°20'04,7"
		2	20°24'31,5"	51°20'02,7"
		3	20°24'38,3"	51°20'04,6"
		4	20°24'36,3"	51°20'01,6"
		5	20°24'34,1"	51°20'00,8"
Latossolo	Pastagem (P ₂)	1	20°24'17,3"	51°20'54,7"
		2	20°24'18,5"	51°20'50,7"
		3	20°24'16,8"	51°20'50,8"
		4	20°24'15,2"	51°20'50,4"
		5	20°24'13,7"	51°20'50,9"
Latossolo	Cultura Anual (CA)	1	20°24'05,3"	51°20'36,2"
		2	20°24'05,1"	51°20'38,3"
		3	20°24'02,7"	51°20'39,1"
		4	20°24'02,3"	51°20'40,5"
		5	20°24'01,0"	51°20'40,6"
Latossolo	Pastagem (P ₃)	1	20°23'39,5"	51°20'47,0"
		2	20°23'31,5"	51°20'37,8"
		3	20°23'34,3"	51°20'32,4"
		4	20°23'36,9"	51°20'24,4"
		5	20°23'45,6"	51°20'24,0"
Latossolo	Pastagem (P ₄)	1	20°24'46,4"	51°20'37,3"
		2	20°24'48,8"	51°20'35,2"
		3	20°24'51,1"	51°20'32,1"
		4	20°24'53,7"	51°20'26,7"
		5	20°24'51,9"	51°20'22,3"
Latossolo-Argissolo	Fragmento de mata (FM)	1	20°23'46,5"	51°21'03,4"
		2	20°23'48,4"	51°21'03,6"
		3	20°23'45,3"	51°21'04,3"
		4	20°24'05,3"	51°21'11,8"
		5	20°24'06,8"	51°21'11,0"
Argissolo	Pastagem (P arg ₁)	1	20°23'32,2"	51°20'56,1"
		2	20°23'33"	51°20'54,1"
		3	20°23'34,1"	51°20'54,3"
		4	20°23'33,9"	51°20'55,5"
		5	20°23'33,1"	51°20'56,5"
Argissolo	Cultura Anual (CA arg)	1	20°23'53,6"	51°21'20,8"
		2	20°23'46,9"	51°21'23,5"
		3	20°23'47,6"	51°21'21,8"
		4	20°23'44,0"	51°21'24,2"
		5	20°23'44,4"	51°21'28,8"
Argissolo	Pastagem (P arg ₂)	1	20°24'08,9"	51°20'16,3"
		2	20°24'06,3"	51°20'15,5"
		3	20°24'03,4"	51°20'11,7"
		4	20°24'05,6"	51°20'11,6"
		5	20°24'03,2"	51°20'18,2"

Na Figura 7 estão apresentados os locais de coletas de solos e das avaliações de infiltração e condutividade hidráulica saturada. Os usos e ocupações no

Latossolo foram: cultura da manga (M) (Figura 7a), quatro locais com pastagem (P₁, P₂, P₃ e P₄) (Figuras 7b, 7c, 7e, 7f, respectivamente), a cultura anual (CA) (Figura 7d) (solo preparado para a implantação da cultura do milho) e a área com fragmento de mata (Figura 7g) que se encontra em uma área de transição entre o Latossolo e o Argissolo. No Argissolo os usos e ocupações foram: dois locais com pastagem (P arg₁ e P arg₂) (Figuras 7h, 7j) e a cultura anual (CA arg) (Figura 7i) (solo preparado para a implantação da cultura do milho).

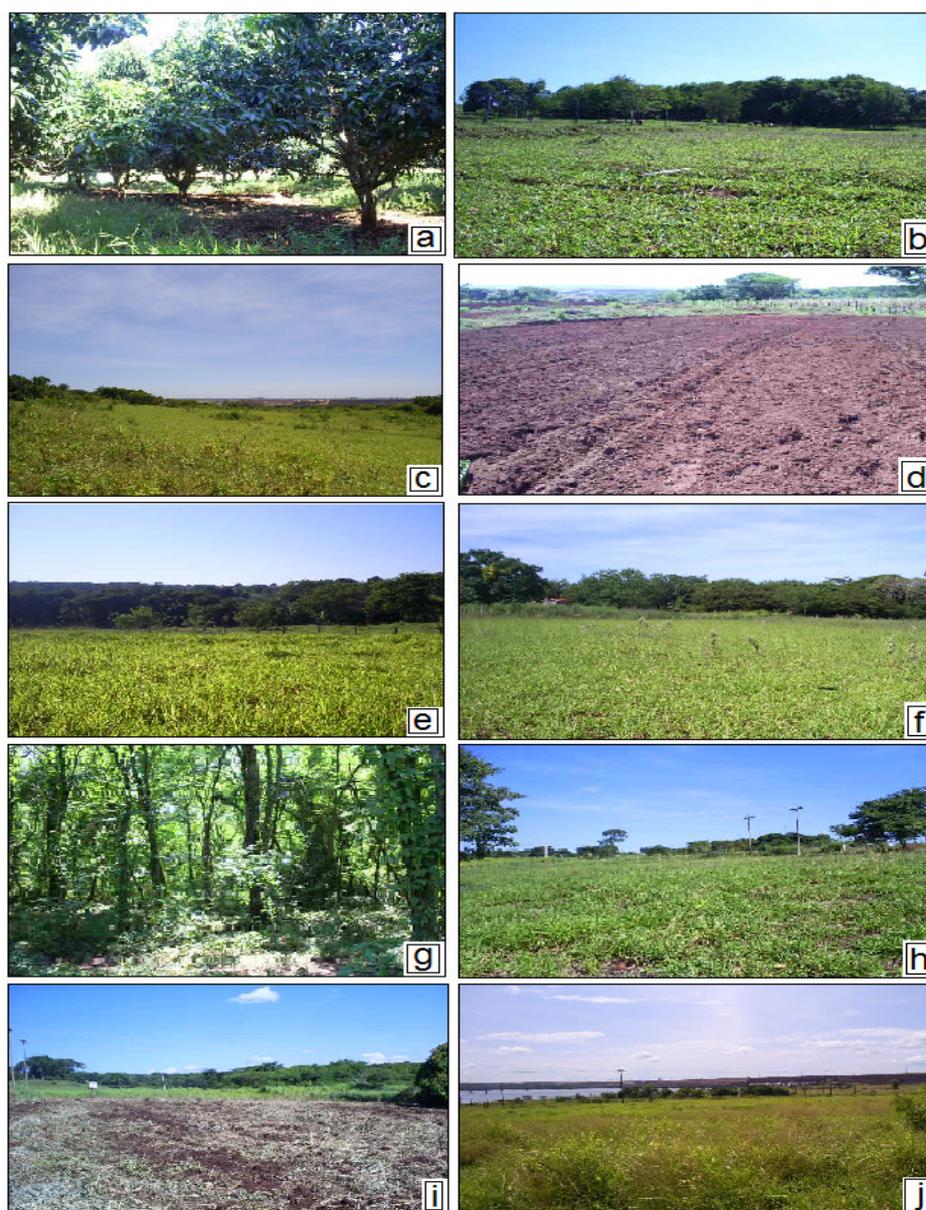


Figura 7. Locais de coletas de solos e das avaliações.

3.1.3. Descrição dos usos e das ocupações do solo

a) **Fragmento de mata (FM):** Floresta estacional semidecidual caracterizada por apresentar um dossel irregular de árvores e arbustos, predominância de espécies nos estágios iniciais de sucessão e alguns indivíduos remanescentes de espécies nos estágios finais de sucessão.

b) **Cultura perene (M):** Área que está sendo cultivada com a cultura da manga (*Mangifera indica* L.) há 12 anos.

c) **Cultura anual (CA e CA arg):** Área que vem sendo cultivada há 20 anos com milho (*Zea mays* L.) em preparo convencional (arado de discos e grade niveladora). A cultura do milho é cultivada somente no verão (período chuvoso), ficando a área em pousio durante o restante do ano.

d) **Pastagem (P₁, P₂, P₃, P₄, P arg₁ e P arg₂):** Área com braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf) plantada, implantada há 8 anos.

3.2. Sub-bacia Dois Córregos, Selvíria - MS

3.2.1. Localização e caracterização

A sub-bacia Dois Córregos está localizada no município de Selvíria no Estado de Mato Grosso do Sul, possui 2.636 ha de área, situa-se entre as coordenadas geográficas 20° 12' 26,41" e 20° 16' 28,32" de latitude Sul, 51° 43' 15,18" e 51° 49' 26,3" de longitude Oeste de Greenwich, e altitude média de 335 metros (Figura 8).

A classificação climática da região, de acordo com Köppen, é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. As médias anuais são de 24,5°C de temperatura, 1.232 mm de precipitação pluvial, e a umidade relativa do ar de 64,8% (HERNANDEZ et al., 1995). A vegetação original da região é de cerrado.

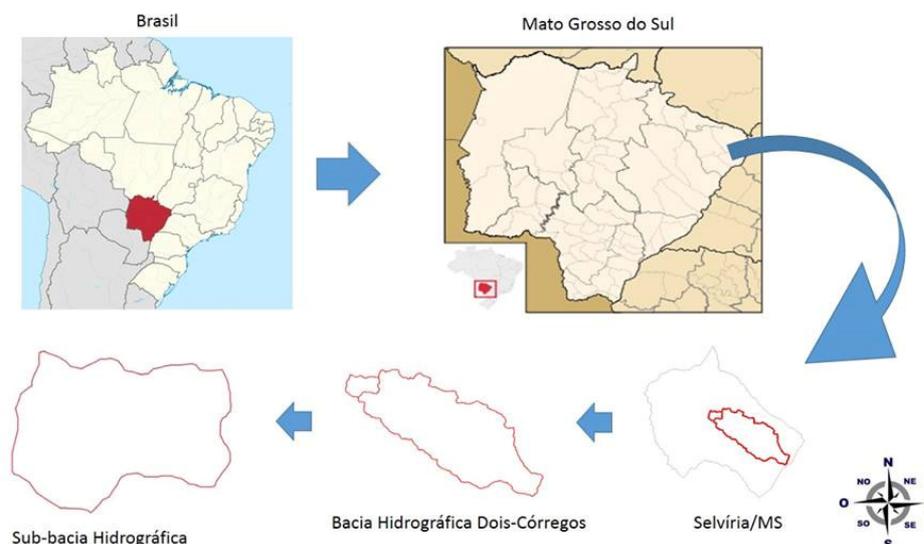


Figura 8. Localização da sub-bacia Dois Córregos, Selvíria, MS.

A sub-bacia Dois Córregos apresenta drenagem do tipo dentrítica, e segundo a classificação de Sthraler (1957) é de quinta ordem de ramificação. Apresenta degradação ambiental, há um processo intensivo de degradação dos solos, o que levou a formação de uma voçoroca (Figura 9) e assoreamento dos canais de drenagem, possui vários leitos secos que anteriormente foram perenes.



Figura 9. Vista da voçoroca nas proximidades da nascente da sub-bacia Dois Córregos, Selvíria, MS.

Além disso, apresenta outra voçoroca em formação em área cultivada com pastagens degradadas, na Figura 10 está apresentado o Mapa de Identificação de Voçorocas presentes na sub-bacia Dois Córregos. O processo de assoreamento na foz da sub-bacia também tem sido observado nos últimos anos.

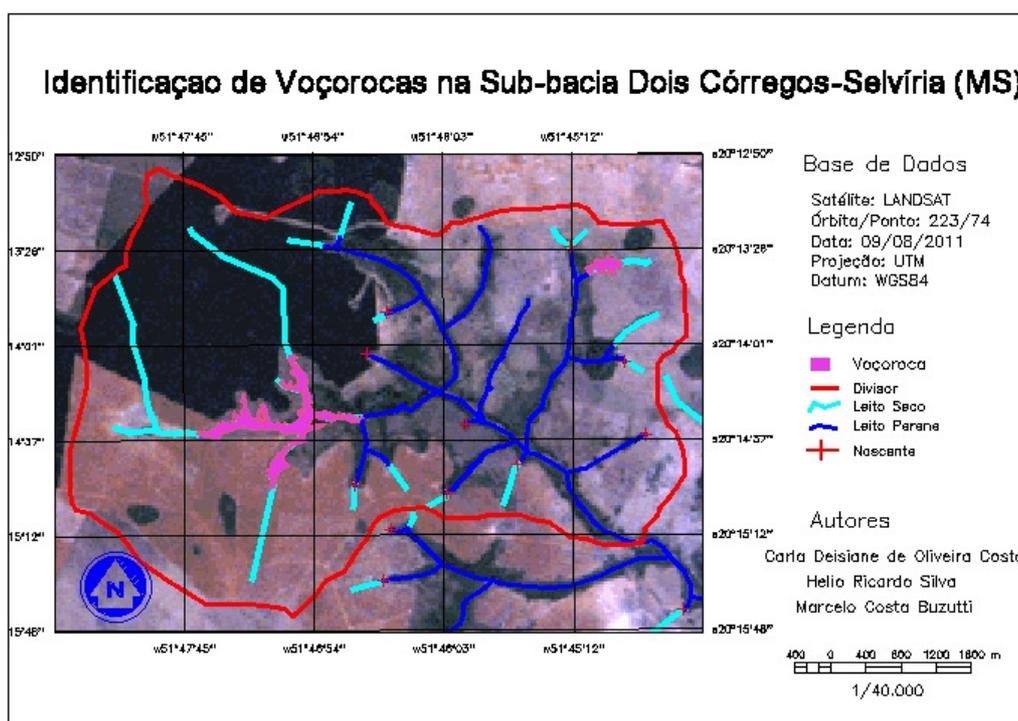


Figura 10. Identificação de Voçorocas na sub-bacia Dois Córregos, Selvíria, MS.

Os solos de maior ocorrência da sub-bacia Dois Córregos, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), são o Latossolo Vermelho distrófico e o Argissolo Vermelho distrófico (Figura 11). A sub-bacia Dois Córregos é ocupada em 50% por eucalipto, há áreas com pastagens e vegetação nativa (Figura 12). Apresenta declives suaves em toda a sub-bacia, predominando as classes de até 10% de declive (Figura 13).

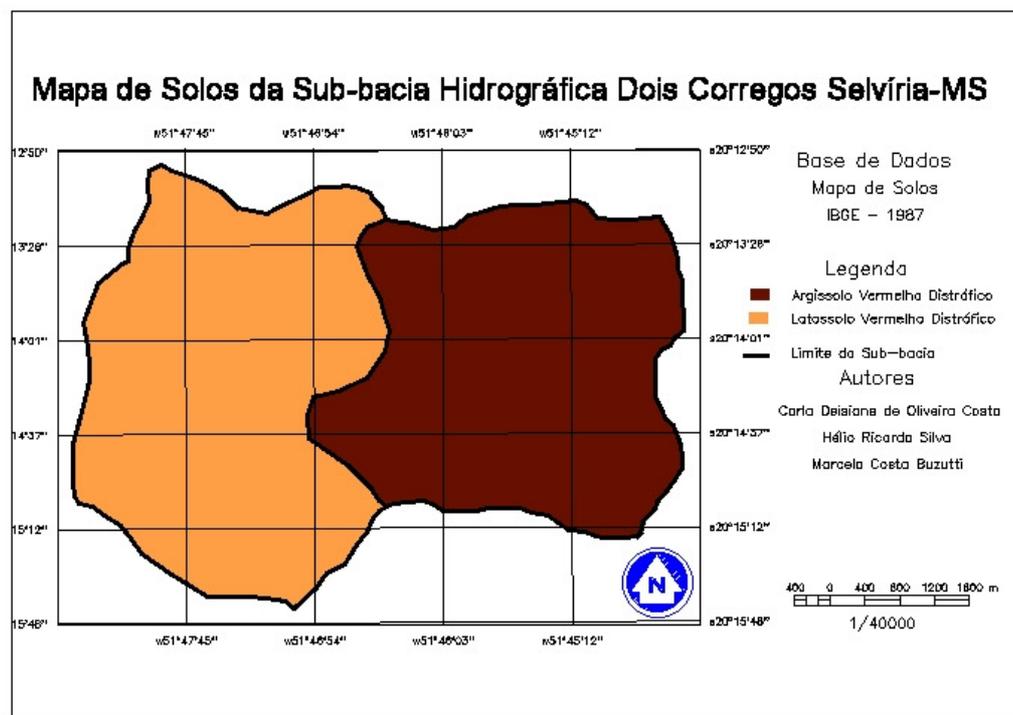


Figura 11. Mapa de Solos da sub-bacia Dois Córregos, Selvíria, MS.

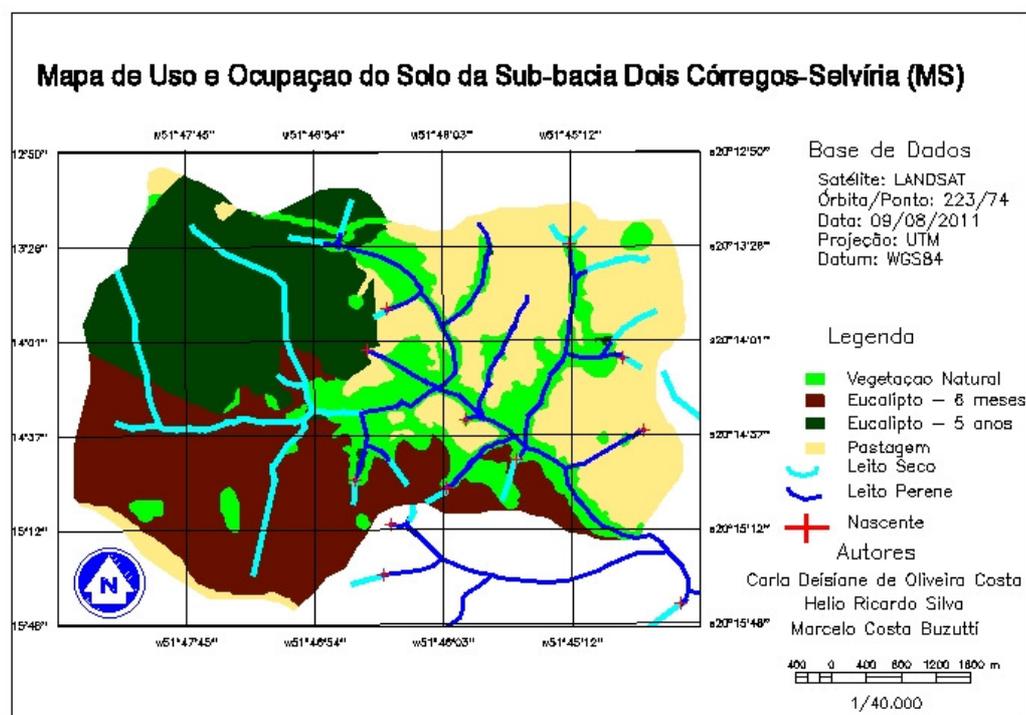


Figura 12. Mapa de Uso e Ocupação dos Solos da sub-bacia Dois Córregos, Selvíria, MS.

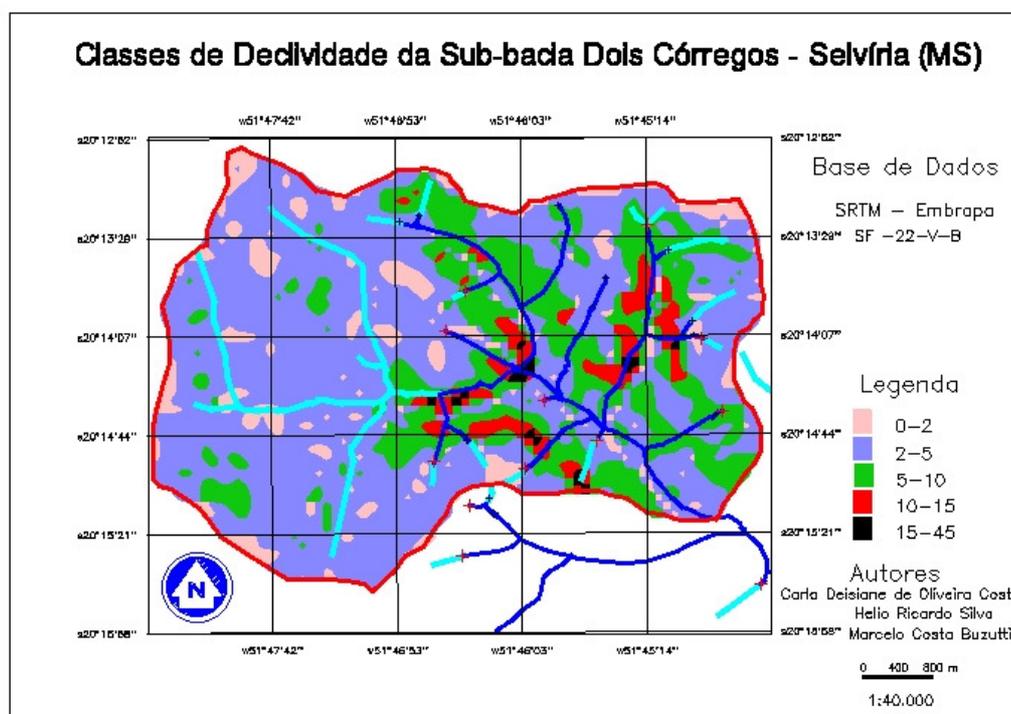
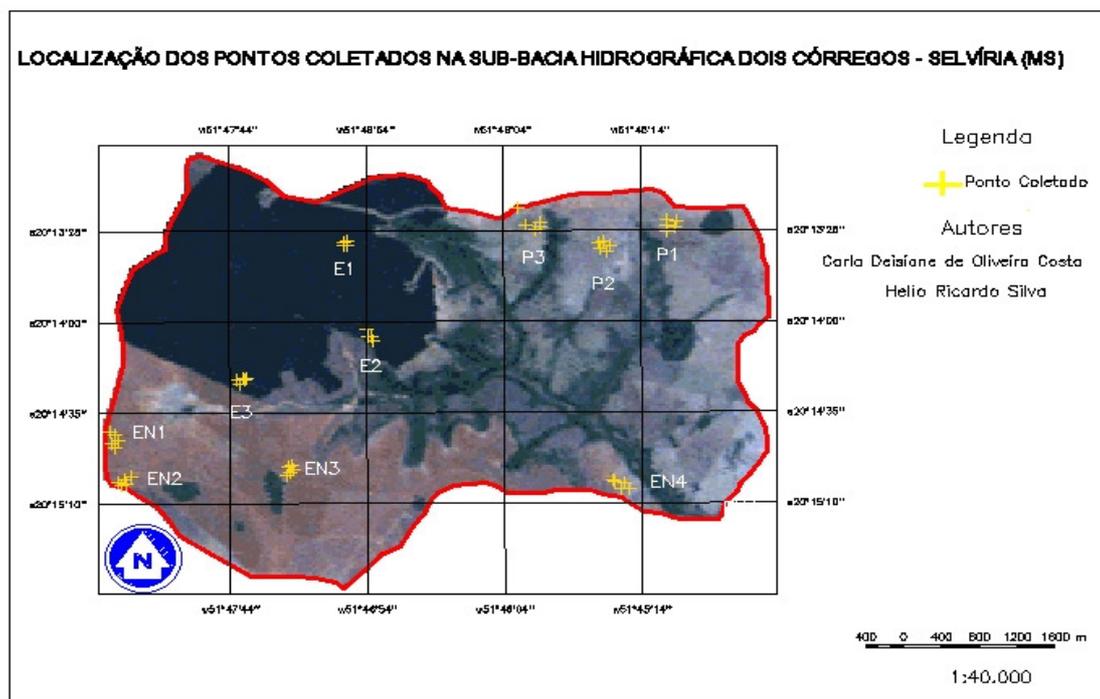


Figura 13. Mapa de Declividade da sub-bacia Dois Córregos, Selvíria, MS.

3.2.2. Coletas de solos

A coleta de solos foi realizada em dez locais, sendo 8 locais no Latossolo Vermelho distrófico e 2 locais no Argissolo Vermelho distrófico, dentro de diferentes formas de uso e de ocupação dos solos (Figura 14). O maior número de locais escolhidos para o Latossolo é devido este ser mais representativo, ocupando a maior parte da sub-bacia, para confirmar este fato foi realizada coletas na camada de 0,80 a 1,0 m para a análise granulométrica.



Legenda

P - Pastagem

E - Eucalipto com 5 anos

EN - Eucalipto aos 6 meses

Figura 14. Localização dos pontos de coletas de solo e de avaliações de infiltração e de condutividade hidráulica saturada dos solos.

Em cada local foram coletadas amostras deformadas e indeformadas, nas camadas de 0,0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m, em 5 repetições para a realização das análises. Nestes mesmos pontos, foram realizadas avaliações de infiltração e condutividade hidráulica saturada dos solos. Cada ponto amostrado foi georreferenciado com GPS (Sistema de Posicionamento Global), cujas coordenadas geográficas encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Localização dos pontos de coletas e de avaliações dos solos da sub-bacia Dois Córregos, Selvíria, MS.

Classes de solos	Usos e ocupações dos solos	Pontos	Coordenadas	
			S	W
Argissolo	Pastagem (P ₁)	1	20°13'25,4"	51°45'04,6"
		2	20°13'23,5"	51°45'04,9"
		3	20°13'21,1"	51°45'04,9"
		4	20°13'21,8"	51°45'00,9"
		5	20°13'24,4"	51°45'01,8"
Latossolo	Pastagem (P ₂)	1	20°13'31,2"	51°45'25,7"
		2	20°13'32,9"	51°45'26,5"
		3	20°13'32,1"	51°45'29,3"
		4	20°13'29,7"	51°45'29,5"
		5	20°13'29,2"	51°45'27,7"
Argissolo	Pastagem (P ₃)	1	20°13'16,1"	51°45'58,9"
		2	20°13'23,2"	51°45'56,2"
		3	20°13'24,5"	51°45'52,7"
		4	20°13'23,8"	51°45'50,9"
		5	20°13'21,7"	51°45'50,8"
Latossolo	Eucalipto (E ₁)	1	20°13'30,57"	51°47'01,98"
		2	20°13'29,36"	51°47'02,44"
		3	20°13'28,62"	51°47'01,28"
		4	20°13'29,16"	51°47'00,89"
		5	20°13'30,43"	51°47'00,97"
Latossolo	Eucalipto (E ₂)	1	20°14'07,4"	51°46'51,8"
		2	20°14'05,9"	51°46'52,4"
		3	20°14'05,5"	51°46'53,7"
		4	20°14'02,9"	51°46'54,1"
		5	20°14'02,6"	51°46'54,8"
Latossolo	Eucalipto (E ₃)	1	20°14'23,8"	51°47'40,0"
		2	20°14'22,4"	51°47'38,2"
		3	20°14'21,5"	51°47'38,1"
		4	20°14'21,4"	51°47'39,0"
		5	20°14'21,9"	51°47'41,7"
Latossolo	Eucalipto Novo (EN ₁)	1	20°14'24,7"	51°48'32,0"
		2	20°14'27,0"	51°48'31,4"
		3	20°14'28,1"	51°48'29,1"
		4	20°14'28,1"	51°48'26,9"
		5	20°14'26,4"	51°48'27,7"
Latossolo	Eucalipto Novo (EN ₂)	1	20°15'02,2"	51°48'22,52"
		2	20°15'03,23"	51°48'19,99"
		3	20°15'05,32"	51°48'21,40"
		4	20°15'04,76"	51°48'23,93"
		5	20°15'02,49"	51°48'24,64"
Latossolo	Eucalipto Novo (EN ₃)	1	20°14'59,0"	51°47'23,4"
		2	20°14'57,9"	51°47'22,2"
		3	20°14'56,8"	51°47'21,0"
		4	20°14'55,3"	51°47'21,4"
		5	20°14'55,7"	51°47'23,0"
Latossolo	Eucalipto Novo (EN ₄)	1	20°15'04,7"	51°45'19,1"
		2	20°15'02,4"	51°45'20,8"
		3	20°15'01,6"	51°45'24,0"
		4	20°15'00,9"	51°45'25,0"
		5	20°15'04,4"	51°45'21,8"

Na Figura 15 estão apresentados os locais de coletas de solos e das avaliações de infiltração e condutividade hidráulica saturada. Os usos e ocupações amostrados

foram: 3 locais com pastagem (P_1 , P_2 , P_3), sendo P_1 e P_3 no Argissolo e P_2 no Latossolo (Figuras 15a, 15b, 15c, respectivamente), 3 locais com eucalipto de 5 anos (E_1 , E_2 , E_3) (Figuras 15d, 15e, 15f, respectivamente), e 4 locais com eucalipto aos 6 meses recém-transplantado (EN_1 , EN_2 , EN_3 , EN_4) (Figuras 15g, 15h, 15i, 15j, respectivamente).



Figura 15. Locais de coletas de solos e das avaliações.

3.2.3. Descrição dos usos e das ocupações do solo

a) **Pastagem (P₁, P₂, P₃):** Área plantada com braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf) há mais de 30 anos.

b) **Eucalipto (E₁, E₂, E₃):** Área com eucalipto (*Eucalyptus citriodora*) com 5 anos.

c) **Eucalipto (EN₁, EN₂, EN₃, EN₄):** Área com eucalipto (*Eucalyptus citriodora*) aos 6 meses recém-transplantado.

3.3. Avaliações

3.3.1. Textura do solo

A textura do solo foi determinada pelo método da pipeta, segundo a metodologia descrita pela Embrapa (1997), com amostras deformadas, secas ao ar e passadas em peneiras de 2 mm de malha, submetidas a dispersão e sedimentação das partículas.

3.3.2. Estabilidade de agregados em água

Para a determinação da estabilidade de agregados em água foi utilizado o método descrito por Angers & Mehuys (2000), pelo qual, as amostras indeformadas foram secas ao ar e passadas em uma peneira de 6 mm de malha e os agregados retidos na peneira com 4 mm de abertura, para a determinação da estabilidade de agregados em água, utilizando peneiras com abertura de malha de 4; 2; 1; 0,5 e 0,25 mm e agitação lenta por 10 minutos. Os resultados foram representados pelo diâmetro médio ponderado (DMP), que é o somatório dos produtos entre o diâmetro médio de cada fração de agregados e a proporção da massa da amostra, que é obtida pela divisão da massa de agregados retidos em cada peneira pela massa da amostra corrigida em termos de teor de água no solo. Também foram expressos em percentagem das classes de agregados, sendo considerados os tamanhos: entre 6 e 4; 4 e 2; 2 e 1; 1 e 0,5; 0,5 e 0,25; e <0,25.

3.3.3. Porosidade total, macroporosidade e microporosidade

O método empregado para a determinação dessas características foi o do “anel volumétrico” para a porosidade total; o da “mesa de tensão”, para a microporosidade, sendo as amostras indeformadas saturadas e colocadas sobre a mesa de tensão, onde foram submetidas a uma tensão de 6 kPa, e posteriormente pesadas e colocadas em estufa a 105°C até atingir peso constante; e a macroporosidade foi calculada por diferença entre a porosidade total e a microporosidade (EMBRAPA, 1997).

3.3.4. Densidade do solo

As mesmas amostras utilizadas para a determinação da porosidade do solo permitiram a determinação da densidade do solo, pelo método do “anel volumétrico” (EMBRAPA, 1997).

3.3.5. Infiltração de água e condutividade hidráulica do solo saturado

Para a determinação da infiltração de água e condutividade hidráulica do solo saturado na superfície do solo foi utilizado o mini infiltrômetro de disco. O infiltrômetro foi colocado sobre o solo, sob uma camada de areia fina para garantir bom contato hidráulico entre o disco e o solo. As leituras foram realizadas de 30 em 30 segundos, até obter infiltração constante, sendo o mini infiltrômetro ajustado para uma sucção h_0 igual a 2 cm.

O processo de infiltração a partir do infiltrômetro de disco, para qualquer tempo de infiltração, é descrito por um modelo proposto por Zhang (1997):

$$I = C_1 t + C_2 \sqrt{t} \quad (1)$$

Onde, C_1 (cm s^{-1}) e C_2 ($\text{cm s}^{-0,5}$) são parâmetros relacionados à condutividade hidráulica do solo saturado $K(h_0)$ e à sorvidade $S(h_0)$, e I é a infiltração acumulada (cm).

A condutividade hidráulica saturada foi determinada a partir de dados de infiltração acumulada, utilizando-se a relação dada por:

$$k = \frac{C_1}{A} \quad (2)$$

Onde C_1 é a constante obtida no gráfico de infiltração acumulada, e A é um valor relacionado a um parâmetro de Van Genuchten (1980) (Anexo 1), para determinado tipo de solo e de sucção utilizada no infiltrômetro de disco durante o processo de infiltração.

Nas profundidades de 0,10 e 0,20 m foi utilizado o permeâmetro de Guelph para as medições de infiltração de água e condutividade hidráulica do solo saturado, sendo realizadas leituras de 1 em 1 minuto até se obter infiltração constante. Mediu-se a taxa constante de infiltração e calculou-se a condutividade hidráulica do solo saturado segundo Reynolds & Elrick (1985).

As avaliações foram feitas empregando-se duas cargas hidráulicas, de 3 e 6 cm, e após realizadas as medições, os dados foram analisados segundo modelos matemáticos propostos por Vieira et al. (1988) de acordo com a seguinte equação:

$$Q = \left\{ \left(\frac{2\pi H^2}{c} \right) + \pi a^2 \right\} k_{fs} + \left(\frac{2\pi H}{c} \right) + \psi_m \quad (3)$$

Onde:

Q = Fluxo constante, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

H = Carga hidráulica utilizada, cm;

C = Fator de geometria, cm cm^{-1} ;

a = Raio do orifício onde as medições foram feitas, cm;

K_{fs} = Condutividade hidráulica do solo saturado, cm s^{-1} ;

Ψ_m = Potencial matricial do fluxo, $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$.

Os valores de taxa constante de infiltração de água no solo e condutividade hidráulica do solo saturado foram classificados de acordo com Soil Survey Staff (1993) (Anexo 2).

3.3.6. Capacidade de armazenamento de água no solo

Para a determinação da capacidade de armazenamento de água no solo, as amostras deformadas foram colocadas no aparelho extrator de Richards segundo metodologia da Embrapa (1997).

As amostras foram submetidas às tensões de -10 e -1500 kPa, obtendo-se assim o teor de água no solo sob essas duas tensões, para posterior cálculo da capacidade de armazenamento de água no solo, por meio da fórmula:

$$CAD = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) \cdot z \quad (4)$$

Onde:

CAD = Capacidade de armazenamento de água no solo, mm;

θ_{cc} = Teor de água no solo com base em volume na capacidade de campo (-10 kPa);

θ_{pmp} = Teor de água no solo com base em volume no ponto de murcha permanente (-1500 kPa);

z = Camada onde foi coletada a amostra, mm.

3.3.7. Análise química do solo

Foram determinados os teores disponíveis de fósforo e de bases trocáveis (potássio, cálcio e magnésio). Determinou-se também pH, os teores de matéria orgânica, alumínio e acidez potencial (H+Al). Foram calculadas a soma de bases, capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%). Os resultados de pH, teores de fósforo, bases e alumínio, e o V% foram classificados de acordo com Raij et al. (2001) (Anexo 3).

3.4. Análise dos resultados

Os resultados das análises de solos das duas sub-bacias foram submetidos à análise conjunta e teste estatístico de Tukey para as comparações de média a 5% de probabilidade. A análise foi realizada para cada classe de solo, sendo utilizado para a realização destas análises o programa computacional SAS (SCHLOTZHAVER & LITTELL, 1997). Para diminuir a amplitude das variâncias e do coeficiente de variação, foi realizada transformação raiz quadrada dos dados.

3.5. Modelo LISEM (Limburg Soil Erosion Model)

Para realização deste trabalho, foi utilizado o modelo LISEM, versão 1.63. De acordo com De Roo et al. (1996), o LISEM é um modelo hidrológico distribuído de base física que simula o escoamento superficial, a desagregação, o transporte de sedimentos na bacia vertente e a deposição de sedimentos no canal fluvial durante um único evento de precipitação.

O modelo incorpora processos básicos como precipitação, interceptação, superfície de armazenagem em depressões, infiltração, movimento vertical de água no solo, escoamento difuso, desagregação pela precipitação direta e da precipitação interceptada pela vegetação, desagregação pelo escoamento difuso na bacia vertente, e deposição em áreas planas e no canal fluvial (MORO, 2011).

3.5.1. Dados de entrada

Para as simulações foi utilizado um tamanho de pixel de 100 m e intervalo de tempo de 60 s. Para a utilização do modelo LISEM são necessárias informações relacionadas às características do solo e da vegetação, descritas a seguir. Em anexo estão os valores utilizados para este trabalho (Anexos 4 e 5). Para as variáveis analisadas em campo e em laboratório foi obtida a média para as duas profundidades, de 0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m.

3.5.1.1. Características do solo

Na simulação hidrológica, o solo é um constituinte fundamental, a seguir são descritas as variáveis de entrada do modelo.

a) Condutividade hidráulica do solo saturado

A condutividade hidráulica do solo saturado foi determinada no campo com o permeâmetro de Guelph para as profundidades de 0,10 e 0,20 m, conforme metodologia descrita anteriormente.

b) Teor de água antecedente

De acordo com Hessel et al. (2003a), o modelo LISEM é bastante sensível a esta variável. No momento das avaliações de solo no campo, foram coletadas amostras para a determinação do teor de água antecedente determinada em laboratório pelo método da estufa.

c) Teor de água na saturação

O teor de água na saturação foi determinado com as mesmas amostras utilizadas para a determinação da porosidade e da densidade do solo. Estas amostras foram saturadas, e assim, determinado o teor de água na saturação.

d) Diâmetro médio das partículas (D_{50})

Com a análise textural dos solos pelo método da pipeta conforme metodologia da Embrapa (1997) estimou-se a mediana, ou seja, o valor médio das três frações do solo (areia, silte e argila).

e) Rugosidade da superfície do solo

A rugosidade da superfície do solo é uma variável importante. De acordo com Gomes (2008), ela aumenta a retenção e a infiltração superficial de água no solo, reduz a velocidade e o volume do escoamento superficial direto e aprisiona os sedimentos da erosão, sendo fruto do preparo e manejo do solo, da presença ou não de cobertura morta sobre sua superfície.

A rugosidade da superfície do solo foi obtida por resultados de trabalhos realizados para os diferentes usos do solo. Os valores de rugosidade para a cultura do milho foram obtidos pelo trabalho desenvolvido por Bertol et al. (2006), e para os outros usos, estes foram obtidos de acordo com Takken et al. (1999).

f) Coeficiente de Manning

O coeficiente de Manning expressa a resistência que a superfície do solo oferece ao escoamento superficial (HESSEL et al., 2003c). De acordo com Takken et al. (1999), o coeficiente de Manning é variável em função do uso do solo, pois, assim como a rugosidade superficial, ele também é influenciado pelo preparo e manejo deste.

Para o coeficiente de Manning foram utilizados dados da literatura obtidos de trabalhos para os diferentes usos do solo. Os valores de coeficiente de Manning para a cultura do milho foram obtidos pelo trabalho desenvolvido por Moro (2011), e para os outros usos, estes foram obtidos de acordo com Takken et al. (1999).

g) Coesão do solo

A coesão do solo foi obtida de trabalhos realizados para diferentes usos e manejos, sendo utilizados os valores obtidos por Takken et al. (1999) para a cultura da manga, e para os outros usos, os valores obtidos pelo trabalho desenvolvido por Moro (2011).

h) Tensão na frente de umedecimento

A tensão na frente de umedecimento foi estimada pela equação desenvolvida por Rawls et al. (1983):

$$\begin{aligned} \Psi_m = & \text{Exp} (6,5309 - 7,3256 \cdot \text{VTP} + 0,0011583 \cdot \text{Arg}^2 + 3,809479 \cdot \text{VTP}^2 \quad (5) \\ & + 0003444 \cdot \text{Areia} \cdot \text{Arg} - 0,049837 \cdot \text{Areia} \cdot \text{VTP} + 0,001608 \cdot \text{Areia}^2 \cdot \text{VTP}^2 + 0,001602 \cdot \\ & \text{Arg}^2 \cdot \text{VTP}^2 - 0,000014 \cdot \text{Areia}^2 \cdot \text{Arg} - 0,00348 \cdot \text{Arg}^2 \cdot \text{VTP} - 0,0008 \cdot \text{Areia}^2 \cdot \text{VTP} \end{aligned}$$

Onde:

Ψ_m = Potencial matricial na frente de umedecimento, mm;

VTP = Porosidade total do solo, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

Arg = Percentual de argila, %;

Areia = Percentual de areia, %.

3.5.1.2. Características da vegetação

A vegetação é responsável pela interceptação das precipitações e proteção do solo contra a ação direta das gotas de chuva, evitando assim, o desprendimento e o arraste de partículas (LIMA et al., 2003). As variáveis de entrada relacionadas à vegetação foram obtidas na literatura e serão descritas a seguir.

a) Índice de área foliar (IAF)

Para os valores de índice de área foliar, foram utilizados os valores obtidos pelos trabalhos desenvolvidos por Fagundes et al. (2006), Silva (2004), Souza et al. (2011), Xavier (2000), Chaves et al. (2007) e Andrade Neto et al. (2013), para a pastagem, cultura do milho, cultura da manga, área com fragmento de mata, eucalipto com 5 anos e eucalipto aos 6 meses.

b) Altura da vegetação

A altura da vegetação foi obtida pelos trabalhos desenvolvidos por Fagundes et al. (2006), Gilo et al. (2011), Ramos et al. (2001), Oliveira et al. (2009), Silva et al. (1997) e Moro (2011), para a pastagem, cultura do milho, cultura da manga, eucalipto com 5 anos, eucalipto aos 6 meses e área com fragmento de mata, respectivamente.

c) Fração do solo coberto por vegetação

Para a fração do solo coberto por vegetação foram utilizados os valores obtidos por Souza et al. (2011) para a cultura da manga, Chaves et al. (2007) para eucalipto com 5 anos, e para os outros usos, os valores obtidos pelo trabalho desenvolvido por Moro (2011).

d) Coesão das raízes

A coesão por raízes é um valor adicional utilizado para simular o efeito das raízes das plantas na coesão do solo (MORO, 2011). Para a coesão das raízes foram utilizados os valores obtidos por Moro (2011) para o eucalipto com 5 anos e para a área com fragmento de mata, e para os outros usos foram utilizados os valores obtidos por Takken et al. (1999).

3.5.2. Mapas de entrada

A entrada de dados no modelo LISEM (mapas e dados numéricos) é realizada via uma interface com o sistema de informações geográficas PCRaster. Os mapas necessários para o modelo são: Modelo Numérico do Terreno (MNT), tipos de solos, usos do solo, localização da drenagem e limite da bacia. Estes mapas foram feitos no SPRING versão 5.2.4 e convertidos para o PCRaster.

O PCRaster utiliza estes mapas básicos de entrada e tabelas com dados numéricos descritos anteriormente, para a elaboração de vinte e quatro mapas exigidos pelo

modelo LISEM. Assim, com a utilização dos mapas básicos e uma linguagem de programação com a utilização da tabela com os dados numéricos dos parâmetros, foram gerados no PCRaster todos os mapas requeridos pelo modelo, e assim realizadas as simulações.

As informações necessárias para que o PCRaster possa gerar os mapas utilizados no modelo LISEM, foram de acordo com o uso e o tipo de solo, em que foram utilizados os valores médios das 5 repetições para as variáveis analisadas, e o valor obtido na literatura para as variáveis pesquisadas. Após indicar os valores dos dados de entrada do respectivo uso em uma tabela específica do PCRaster, são gerados os mapas de cada parâmetro.

3.5.3. Processos hidrológicos

3.5.3.1. Interceptação

De acordo com Jetten (2002), a interceptação pela vegetação é simulada tendo como dado de entrada o índice de área foliar (IAF), sendo também contabilizada a drenagem pelas folhas e pelo caule, utilizando a fração do solo coberto pela vegetação e a sua altura.

A interceptação da precipitação proporcionada pelas plantas é determinada pela estimativa da capacidade de armazenamento máximo da vegetação (S_{max}), que ocorrerá durante o evento de precipitação.

A capacidade máxima de interceptação é estimada pela equação de Von Hoyningem-Huene (JETTEN, 2002):

$$S_{max} = 0,935 + 0,498 \cdot LAI - 0,00575 \cdot LAI^2 \quad (6)$$

Onde, LAI é o índice de área foliar, sendo definido como a área de folhas por unidade de terreno (m^2 de folhas $\cdot m^{-2}$ de terreno).

A interceptação acumulada durante a precipitação é simulada pela equação (ASTON, 1979):

$$S = C_p \cdot S_{max} \cdot \left[1 - e^{-k \frac{P_{acum}}{S_{max}}} \right] \quad (7)$$

Onde:

S = Interceptação acumulada, mm;

C_p = Fração de cobertura da vegetação, adimensional;

S_{max} = Capacidade máxima de interceptação, m² de folhas m⁻² de terreno;

k = Fator de correção da densidade de vegetação (1 - 0,046*LAI), adimensional;

P_{acum} = Precipitação acumulada, mm.

De acordo com Gomes (2008), o fator k simula a interceptação acumulada antes do armazenamento máximo nas folhas ser alcançado.

3.5.3.2. Infiltração

A infiltração é calculada conforme os métodos oferecidos pelo modelo LISEM, que são: Holtan, Green e Ampt, para uma ou duas camadas, Moral e Seytoux, subtração da condutividade hidráulica saturada ou o modelo SWATRE (MORO, 2011).

Para este estudo foi utilizado o método de Green e Ampt com 2 camadas, a escolha deste método é devido a disponibilidade de informações sobre a condutividade hidráulica saturada e o teor de água no solo, os quais foram determinados. De acordo com Jetten (2002), este modelo considera a equação de Darcy para a zona úmida do solo, assumindo que existem distintas frentes de umedecimento, além disso, é muito sensível aos parâmetros de entrada, a condutividade hidráulica do solo saturado e o teor de água inicial do solo.

De acordo com Brandão et al. (2009), o modelo de Green e Ampt foi desenvolvido para estimar a infiltração de água em solos submetidos a uma carga hidráulica constante, ou seja, em condição de empoçamento. Este modelo físico exprime a infiltração em função da condutividade hidráulica do solo saturado, do potencial matricial do solo antes da infiltração e dos teores de água inicial e de saturação.

3.5.3.3. Armazenamento em depressões

O armazenamento em depressões é simulado por uma equação que utiliza a rugosidade da camada superficial do solo como o principal parâmetro (GOMES, 2008), obtida pela equação desenvolvida por Onstad (1984):

$$\text{MDS} = 0,243 \cdot \text{RR} + 0,010 \cdot \text{RR}^2 + 0,012 \cdot \text{RR} \cdot \text{S} \quad (8)$$

Onde:

RR = Rugosidade da superfície do solo, mm;

S = Declividade do terreno, m m^{-1} .

Além da disponibilidade de água para o escoamento direto, a rugosidade também determina a largura do fluxo superficial de água:

$$f_{\text{pa}} = 1 - \exp(- ah) \quad (9)$$

Onde:

f_{pa} = Fração de superfície alagada, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$;

h = Lâmina de água na superfície, mm;

a = Parâmetro empírico variando entre 0,04 e 1,8:

$$a = 1,406 \cdot (10 \text{RR})^{-0,942} \quad (10)$$

Onde, RR é a rugosidade da superfície do solo.

3.5.3.4. Escoamento superficial

Para a simulação do escoamento superficial, é utilizado como dados de entrada o coeficiente de Manning, a declividade e a direção dos canais de drenagem (JETTEN, 2002).

Para a distribuição do fluxo sobre a superfície do solo o modelo emprega soluções do modelo da onda cinemática, juntamente com a equação de Manning (GOMES, 2008), pela equação:

$$Q = \frac{A}{\eta} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

Onde:

Q = Descarga líquida, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$;

A = Seção transversal úmida, m^2 ;

η = Coeficiente de Manning, adimensional;

R = Raio hidráulico, m;

S = Declividade do fundo do canal, m m^{-1} .

3.5.3.5. Perdas de solo, produção e deposição de sedimentos

A simulação da desagregação é baseada em processo de erosão-deposição, onde é assumido que a capacidade de transporte do escoamento reflete um balanço entre os processos de erosão e deposição. A erosão é a soma da desagregação pelo impacto das gotas de chuva e desagregação pelo escoamento (MORO, 2011).

Assim, os sedimentos em suspensão são calculados:

$$e = D_s + D_f - D_p \quad (12)$$

Onde:

e = Sedimentos em suspensão, g s^{-1} ;

D_s = Desagregação pelo impacto da gota de chuva, g s^{-1} ;

D_f = Desagregação pelo escoamento, g s^{-1} ;

D_p = Deposição de sedimentos, g s^{-1} .

A desagregação pelo impacto das gotas de chuva é simulada em função da estabilidade dos agregados do solo, energia cinética da precipitação e a altura da lâmina de

água superficial. A energia cinética é decorrente da precipitação direta e da precipitação interceptada pela vegetação (“throughfall”) (MORO, 2011).

A desagregação pelo impacto das gotas é calculada pela seguinte equação:

$$D_s = \left(\frac{2}{A_s \cdot K_e \cdot \exp(-1,48 h) + 2,96} \right) \cdot P \cdot A \quad (13)$$

Onde:

D_s = Desagregação pelo impacto da gota de chuva, $g s^{-1}$;

A_s = Estabilidade de agregados, adimensional;

K_e = Energia cinética, $J m^{-2}$;

h = Altura da lâmina de água, mm;

P = Precipitação, mm;

A = Superfície sobre a qual ocorre o impacto da gota de chuva, m^2 ;

A energia cinética da precipitação e da interceptação pela vegetação são respectivamente:

$$K_{ep} = 8,95 + 44 \cdot \log(I) \quad (14)$$

$$K_{et} = 15,8 \cdot (h^{0,5}) - 5,87 \quad (15)$$

Onde:

I = Intensidade da precipitação, $mm h^{-1}$;

h = Altura da planta, m.

A desagregação pelo escoamento e a deposição é dada pela equação:

$$D = Y(T_c - C) \cdot V_s \cdot w \cdot dx \quad (16)$$

Onde:

D = D_f ou D_p , $g s^{-1}$;

Y = Fator de eficiência, adimensional;

Tc = Capacidade de transporte, kg m⁻³;

C = Concentração de sedimentos, kg m⁻³;

Vs = Velocidade de queda das partículas, m s⁻¹;

w = Largura do escoamento, m;

dx = Largura de célula, m.

O Y é calculado pela equação:

$$Y = \frac{1}{0,89 + 0,56 \cdot Coh} \quad (17)$$

Onde:

Y = Velocidade de cisalhamento crítica para formar um sulco, cm s⁻¹;

Coh = Coesão do solo úmido (kPa).

A capacidade de transporte é calculada com base na potência do escoamento (GOVERS, 1990). Esta equação estima a capacidade de transporte de sedimentos total, ou seja, sedimentos em suspensão e no leito:

$$Tc = 2650 \cdot c \cdot (V \cdot S \cdot 10 - 0,4)^d \quad (18)$$

Onde:

Tc = Capacidade de transporte, kg m⁻³;

V = Velocidade do escoamento, m s⁻¹;

S = Declividade, %;

c, d = Coeficientes experimentais que dependem do diâmetro médio (D₅₀) do material, determinados pela fórmula a seguir:

$$c = \left[\frac{(D_{50} + 5)}{0,32} \right] - 0,6 \quad (19)$$

$$d = \left[\frac{(D_{50} + 5)}{300} \right] - 0,25 \quad (20)$$

3.6. Dados climáticos

O modelo LISEM exige a inserção de dados de precipitação para as simulações, ele utiliza a intensidade da precipitação por intervalo de tempo. Os dados pluviométricos utilizados nas duas sub-bacias foram obtidos da estação meteorológica da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP/FE/IS, localizada no município de Selvíria, MS.

Foram coletados dados de intensidade de precipitação dos anos de 2009, 2010, 2011 e 2012, sendo selecionados 10 eventos registrados, correspondendo aos períodos com maiores intensidades de precipitação para o período avaliado, que são descritos na Tabela 3.

Tabela 3. Eventos selecionados para as simulações para o período de 2009 a 2012.

Eventos de precipitação	Intensidades de precipitação I (mm h⁻¹)	Precipitações totais (mm)	Durações (h)
15/01/2009	28,96	58,05	3,0
28/03/2009	23,47	42,41	5,0
10/12/2009	21,64	56,64	7,0
01/01/2010	26,67	62,26	10,0
20/05/2010	34,90	59,46	3,0
20/11/2010	27,74	73,94	6,0
08/03/2011	19,36	76,17	14,0
12/04/2011	23,62	72,89	5,0
12/03/2012	19,05	57,18	3,0
28/05/2012	106,68	384,09	8,0
Média		94,31	

As precipitações selecionadas apresentam intervalos de leitura de 60 minutos. Foram realizadas no total, 10 simulações, sendo uma para cada evento selecionado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Sub-bacia Jardim Novo Horizonte, Ilha Solteira - SP

4.1.1. Propriedades dos solos

Na Tabela 4 estão as distribuições de tamanho de partículas e classes texturais dos solos, nas camadas de 0,0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m. Os resultados foram classificados de acordo com a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SANTOS et al., 2013).

Os solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte são de textura média. As classes texturais na camada de 0,0 a 0,10 m nas áreas sob pastagens estão classificadas entre areia franca para a pastagem (P₂) no Latossolo, franco-arenosa para as pastagens (P₁), (P₃), (P₄) no Latossolo e a pastagem (P arg₂) no Argissolo, e franco-argilo-arenosa para a pastagem (P arg₁) no Argissolo. As áreas de cultivo com manga (M) no Latossolo e a área com fragmento de mata (FM) no Argissolo também foram classificadas como franco-argilo-arenosa. Para as culturas anuais, foram classificadas como franco-arenosa para o Latossolo (CA) e franco-argilo-siltosa para o Argissolo (CA arg). Na camada de 0,10 a 0,20 m, os valores seguem a tendência da camada superficial, com exceção às pastagens (P₃) e (P₄) no Latossolo e a pastagem (P arg₂) no Argissolo que passaram da classe franco-arenosa para franco-argilo-arenosa nesta camada.

Tabela 4. Distribuições de tamanho de partículas e classes texturais dos solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte.

Usos e ocupações dos solos	Argila (g kg^{-1})	Areia (g kg^{-1})	Silte (g kg^{-1})	Classes texturais
	Camada 0,0 a 0,10 m			
Latossolo Vermelho distrófico				
M	208	684	108	Franco-argilo-arenosa
P ₁	195	710	95	Franco-arenosa
P ₂	60	873	67	Areia franca
P ₃	183	670	147	Franco-arenosa
P ₄	167	732	101	Franco-arenosa
CA	125	791	84	Franco-arenosa
Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico				
FM	249	554	197	Franco-argilo-arenosa
P arg ₁	235	592	173	Franco-argilo-arenosa
CA arg	339	186	475	Franco-argilo-siltosa
P arg ₂	172	701	127	Franco-arenosa
Camada 0,10 a 0,20 m				
Latossolo Vermelho distrófico				
M	284	623	93	Franco-argilo-arenosa
P ₁	238	666	96	Franco-arenosa
P ₂	89	838	73	Areia franca
P ₃	259	598	143	Franco-argilo-arenosa
P ₄	220	649	131	Franco-argilo-arenosa
CA	148	772	80	Franco-arenosa
Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico				
FM	277	520	203	Franco-argilo-arenosa
P arg ₁	245	583	172	Franco-argilo-arenosa
CA arg	362	178	460	Franco-argilo-siltosa
P arg ₂	238	613	149	Franco-argilo-arenosa

Latossolo: M = Cultura da manga, P₁ = Pastagem, P₂ = Pastagem, P₃ = Pastagem, P₄ = Pastagem, CA = Cultura anual; Argissolo: FM = Fragmento de mata, P arg₁ = Pastagem, CA arg = Cultura anual e P arg₂ = Pastagem.

A textura é uma característica estável no solo, ou seja, não está sujeita a alterações em função dos diferentes usos e manejos. Mas a proporção de areia, silte ou argila na composição do solo influencia diretamente as propriedades físicas deste, e consequentemente a infiltração, o armazenamento de água e a aeração, portanto é uma propriedade que deve ser conhecida em estudos diagnósticos de perdas de solo por processos erosivos.

A porosidade é uma propriedade dependente da textura e da estrutura do solo. As diferentes formas de uso e manejo do solo modificam a sua estrutura, podendo

ocasionar a diminuição da quantidade dos poros e consequente compactação quando este uso é feito de forma intensiva. Na Tabela 5 encontram-se os valores de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade dos solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte para as camadas de 0,0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m.

Tabela 5. Macroporosidade, microporosidade, porosidade total, e densidade dos solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte.

Usos e ocupações dos solos	Macroporosidade	Microporosidade	Porosidade total	Densidade do solo
	----- (m ³ m ⁻³) -----			(kg dm ⁻³)
Camada 0,0 a 0,10 m				
Latossolo Vermelho distrófico				
M	0,08 AB*	0,26 A	0,34 AB	1,59 A
P ₁	0,07 AB*	0,26 A	0,33 AB	1,62 A
P ₂	0,04 B*	0,30 A	0,34 AB	1,61 A
P ₃	0,05 B*	0,26 A	0,31 B	1,68 A
P ₄	0,10 AB*	0,30 A	0,40 A	1,49 A
CA	0,15 A*	0,24 A	0,41 A	1,57 A
CV (%)	25,78	15,59	10,79	7,07
Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico				
FM	0,09 BC*	0,34 A	0,44 B	1,45 A
P arg ₁	0,11 AB*	0,32 A	0,43 B	1,46 A
CA arg	0,17 A*	0,42 A	0,59 A	1,13 B
P arg ₂	0,04 C*	0,35 A	0,39 B	1,48 A
CV (%)	20,39	20,06	17,72	11,28
Camada 0,10 a 0,20 m				
Latossolo Vermelho distrófico				
M	0,09 AB*	0,26 A	0,34 A	1,55 A
P ₁	0,06 AB*	0,25 A	0,31 A	1,67 A
P ₂	0,04 B*	0,28 A	0,32 A	1,65 A
P ₃	0,09 AB*	0,25 A	0,33 A	1,64 A
P ₄	0,08 AB*	0,28 A	0,36 A	1,56 A
CA	0,11 A*	0,27 A	0,38 A	1,62 A
CV (%)	24,57	18,32	13,89	6,40
Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico				
FM	0,08 A*	0,34 AB	0,42 A	1,51 A
P arg ₁	0,12 A*	0,31 B	0,43 A	1,46 A
CA arg	0,09 A*	0,46 A	0,55 A	1,28 A
P arg ₂	0,06 A*	0,36 AB	0,42 A	1,50 A
CV (%)	23,61	19,23	21,54	13,86

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

* As letras são referentes à comparação dos dados transformados para raiz quadrada.

Latossolo: M = Cultura da manga, P₁ = Pastagem, P₂ = Pastagem, P₃ = Pastagem, P₄ = Pastagem, CA = Cultura anual; Argissolo: FM = Fragmento de mata, P arg₁ = Pastagem, CA arg = Cultura anual e P arg₂ = Pastagem.

Para a macroporosidade, houve diferença significativa no Latossolo para as duas camadas estudadas, e no Argissolo somente para a camada de 0,0 a 0,10 m. Foi observado que, com exceção, às culturas anuais nas duas classes de solos e as pastagens (P_{arg1}) no Argissolo nas duas camadas, e (P₄) no Latossolo para a camada de 0,0 a 0,10 m, os valores de macroporosidade estão abaixo dos adequados para o bom desenvolvimento das plantas, que segundo Kiehl (1979) deve situar-se entre 0,10 a 0,16 m³ m⁻³. Para as culturas anuais, este valor adequado ocorreu devido ao revolvimento do solo. Normalmente, o revolvimento do solo promove um aumento temporário da macroporosidade.

Estes solos estão suscetíveis a problemas com aeração e movimentação de água, pois de acordo com Silva et al. (2005), o fluxo de gases e o movimento de água no solo estão diretamente relacionados ao seu volume de macroporos, ou seja, a garantia da oxigenação radicular, bem como a capacidade de infiltração e redistribuição de água no perfil dependem desta propriedade.

No Latossolo observam-se menores valores de macroporosidade para as pastagens (P₁), (P₂) e (P₃) e no Argissolo para a pastagem (P_{arg2}), o que reflete o manejo inadequado das mesmas. O manejo inadequado das pastagens causa a degradação dos solos destas áreas, de acordo com Camargo & Alleoni (1997), a degradação faz com que haja perda de vigor das pastagens, de produtividade e da capacidade de recuperação natural, resultando no processo de aumento de densidade do solo na camada superficial e conseqüente redução da porosidade do solo.

Geralmente solos com maiores teores de areia apresentam maior macroporosidade. A pastagem (P₂) no Latossolo apresentou comportamento contrário, uma vez que foi observado para a mesma o maior conteúdo de areia em relação aos demais, porém, apresentou para as duas camadas estudadas o menor valor de macroporosidade. Tal fato está relacionado com a compactação do solo, pois com a compactação ocorre a redução da macroporosidade, mais um indício de manejo inadequado da pastagem.

Quanto à microporosidade, houve diferença significativa somente para a camada de 0,10 a 0,20 m no Argissolo. Observam-se valores maiores de microporosidade para este solo independentemente do uso e ocupação, e que este fato, está relacionado ao maior conteúdo de argila e silte. Há uma relação entre textura e microporosidade, solos argilosos possuem maiores valores de microporosidade.

Para a porosidade total houve diferença significativa somente para a camada de 0,0 a 0,10 m nas duas classes de solos. Os maiores valores de porosidade total foram observados para as culturas anuais nas duas classes de solos.

De acordo com Kiehl (1979), a distribuição da porosidade total de um solo ideal deve ser de $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, sendo a distribuição de percentual de 1/3 para macroporos e 2/3 para microporos, ou seja, $0,17$ e $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, respectivamente. Neste trabalho, os valores de porosidade total nas duas classes de solos, com exceção à cultura anual no Argissolo (CA arg), foram inferiores às condições ideais de $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Além de quantificar o volume de poros é importante saber sobre a forma e a continuidade destes, pois pode-se encontrar valores de porosidade inferiores ao adequado para o desenvolvimento das plantas, e devido a uma boa conectividade entre os poros, esta situação não ser restritiva, havendo boa condução de água e gases no solo.

Com relação à densidade do solo, verificou-se que houve diferença significativa somente para o Argissolo na camada de 0,0 a 0,10 m. No Latossolo, embora não haja diferença significativa, observam-se os maiores valores para as pastagens (P_1), (P_2) e (P_3), nas duas camadas, mostrando que estas são áreas bem compactadas, refletindo da menor macroporosidade e porosidade total das mesmas, devido ao pastoreio contínuo de animais.

De acordo com Ceconi et al. (2007), em sistema de pastoreio contínuo além de favorecer a compactação do solo, há diminuição da qualidade das pastagens neste sistema, pois os animais percorrem maiores distâncias em busca de alimento e, conseqüentemente, o pastoreio é maximizado, aumentando a densidade do solo.

Além disso, a área com cultura anual (CA) no Latossolo, na camada de 0,10 a 0,20 m, também apresentou um dos maiores valores de densidade do solo, devido ao efeito causado pelo preparo convencional, ocasionando compactação subsuperficial para estas áreas devido a utilização de máquinas e implementos no preparo do solo.

O cultivo intensivo do solo é uma das principais causas de sua compactação de acordo com alguns autores, dentre eles citam-se Klein & Libardi (2002) e Souza & Alves (2003). O processo de compactação resulta na diminuição dos espaços porosos entre os agregados e ruptura destes, diminuindo o volume de poros, ocasionando um aumento na densidade e na resistência do solo à penetração das raízes, conseqüentemente, diminuindo o movimento de água no solo.

Os maiores valores de densidade do solo nas duas camadas foram observados para o Latossolo, pelo qual, também foram verificados os menores valores de porosidade total. Este solo encontra-se em processo de degradação, merecendo bastante atenção quanto ao seu manejo, pois o mesmo representa 70% da área da sub-bacia Jardim Novo Horizonte.

Para Reinert & Reichert (2006), valores de densidade do solo associados ao estado de compactação com alta probabilidade de oferecer riscos de restrição ao desenvolvimento das plantas, situam-se em torno de $1,65 \text{ kg dm}^{-3}$ para solos arenosos e $1,45 \text{ kg dm}^{-3}$ para solos argilosos. Os solos estudados se enquadram entre textura franco-arenosa e franco-argilo-arenosa, portanto, com exceção a cultura anual (CA arg) no Argissolo, os solos estudados estão próximos ao risco de compactação, sendo os valores críticos observados para as pastagens (P₃) e (P₂) no Latossolo com $1,68 \text{ kg dm}^{-3}$ na camada de 0,0 a 0,10 m e $1,67 \text{ kg dm}^{-3}$ na camada de 0,10 a 0,20 m, respectivamente.

É importante conhecer a capacidade de armazenamento de água no solo, pois quanto maior o armazenamento de água, menores serão as perdas de solo por erosão. O armazenamento está diretamente relacionado com a textura do solo. Solos com maiores teores de argila tendem a apresentar maior número de microporos, que são responsáveis pela retenção e armazenamento de água no solo.

Entretanto, não se pode prever sempre, para todas as classes de solo, o armazenamento somente a partir da textura. Isso se dá porque, além da textura devem-se analisar outras propriedades, principalmente a estrutura e a porosidade. De acordo com Reinert & Reichert (2006) a textura e a estrutura do solo definem a área superficial e a arquitetura do sistema poroso, sendo estes os principais fatores associados ao armazenamento de água nos solos.

Na Tabela 6 estão os valores da capacidade de armazenamento de água nos solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte nas camadas de 0,0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m. Não houve diferença significativa para o Latossolo, e para o Argissolo só houve diferença para a camada de 0,10 a 0,20 m, assim como observado para a microporosidade, devido aos maiores teores de argila nesta camada para este solo. Observa-se baixos valores de capacidade de armazenamento de água devido os solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte serem de textura média.

Tabela 6. Capacidade de armazenamento de água dos solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte.

Usos e ocupações dos solos	Capacidade de armazenamento de água no solo (mm)	
	0,0 a 0,10 m	0,10 a 0,20 m
Latossolo Vermelho distrófico		
M	6,67 A	7,17 A
P ₁	6,04 A	6,03 A
P ₂	6,15 A	5,92 A
P ₃	5,96 A	7,13 A
P ₄	6,46 A	5,18 A
CA	8,21 A	7,42 A
CV (%)	24,18	21,69
Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico		
FM	11,71 A	12,06 A
P arg ₁	9,77 A	7,91 B
CA arg	7,20 A	7,48 B
P arg ₂	8,87 A	7,60 B
CV (%)	27,86	17,44

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

Latossolo: M = Cultura da manga, P₁ = Pastagem, P₂ = Pastagem, P₃ = Pastagem, P₄ = Pastagem, CA = Cultura anual; Argissolo: FM = Fragmento de mata, P arg₁ = Pastagem, CA arg = Cultura anual e P arg₂ = Pastagem.

De maneira geral, observam-se nas duas camadas estudadas, maiores valores de armazenamento de água para o Argissolo, devido aos maiores teores de argila para este solo, verificando a influência da textura na capacidade de armazenamento. A argila retém mais água por possuir menor área e maior superfície específica, apresentando maior capacidade de retenção de água por unidade de volume de solo.

Com relação aos menores valores observados para o Latossolo, de acordo com Figueiredo et al. (2008), os Latossolos do cerrado são solos que apresentam baixa retenção de água, devido principalmente, à composição oxídica da fração argila e a presença de estrutura do tipo granular, lhe conferindo menores valores comparados com o Argissolo.

A área com fragmento de mata (FM) no Argissolo, com textura franco-argilo-arenosa, apresentou maior capacidade de armazenamento de água, mesmo sendo uma área com vegetação remanescente. As áreas com mata apresentam maior aporte de matéria orgânica proporcionando melhor retenção da água pelo solo.

Mesmo não havendo diferença significativa entre os usos, observa-se menores valores de armazenamento de água no solo para as pastagens (P₁), (P₂) e (P₃) no Latossolo, nestas áreas, como já mencionado, foi observado para outras propriedades de degradação do solo.

Para Bertoni & Lombardi Neto (2010), as pastagens são consideradas boas coberturas do solo, entretanto, em consequência de práticas incorretas de manejo, como pouca ou nenhuma adubação e pastoreio excessivo, ocorre aumento da densidade do solo, redução da macroporosidade e queda na disponibilidade de forragem, devido à perda da capacidade de regeneração natural da pastagem e escassez de cobertura do solo, culminando na compactação do solo pelo pisoteio dos animais.

O processo de compactação reduz o espaço poroso do solo, e assim, ocorre uma diminuição da quantidade de água armazenável neste solo. De acordo com Figueiredo et al. (2008), práticas de melhorias dos solos com o uso de adubação e correção, com consequente aumento da cobertura vegetal, promovem um ambiente mais propício para a formação de uma estrutura adequada para o armazenamento de água nestes solos.

A estabilidade de agregados é outra propriedade física do solo que deve ser conhecida em estudos diagnósticos de suscetibilidade à erosão, a mesma é influenciada pelo uso e manejo do solo. Quanto maior for o agregado, maior será a sua estabilidade em água. Solos com maior percentagem de agregados estáveis em água podem ser considerados mais resistentes aos processos de erosão e de perdas de solos.

Na Tabela 7 estão os valores da percentagem de cada classe de agregados, para os solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, nas camadas de 0,0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m. Para a maior classe de agregados, entre 6 a 4 mm, foi observado que os maiores valores encontrados foram para as pastagens em ambas as camadas estudadas e nas duas classes de solos, indicando que os agregados formados são bastante estáveis em água para este tipo de uso e ocupação do solo. Isso ocorreu devido ao efeito do sistema radicular da pastagem no processo de formação dos macroagregados (agregados de maior tamanho).

Tabela 7. Percentagem das classes de agregados estáveis em água para os solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte.

Usos e ocupações dos solos	Classes de agregados (mm)					
	6 a 4 mm	4 a 2 mm	2 a 1 mm	1 a 0,5 mm	0,5 a 0,25 mm	<0,25 mm
Camada 0,0 a 0,10 m						
----- % -----						
Latossolo Vermelho distrófico						
M	32,35 BC	20,59 A	7,32 A*	9,87 AB*	9,03 AB*	20,84 AB*
P ₁	64,64 AB	14,70 AB	3,71 AB*	3,32 BC*	2,41 C*	11,22 BC*
P ₂	63,00 AB	16,21 AB	1,91 B*	1,46 C*	2,26 C*	15,17 ABC*
P ₃	60,06 AB	17,17 AB	3,62 AB*	3,96 ABC*	3,75 BC*	11,45 BC*
P ₄	83,87 A	7,66 B	0,81 B*	0,78 C*	1,05 C*	5,84 C*
CA	25,49 C	13,60 AB	7,04 A*	12,55 A*	12,74 A*	28,58 A*
CV (%)	30,18	36,06	30,24	42,95	38,13	26,20
Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico						
FM	31,82 A*	14,15 BC	7,50 B*	9,12 AB*	10,63 A*	26,78 A*
P arg ₁	49,16 A*	12,69 C	7,19 B*	8,81 AB*	7,66 A*	14,49 A*
CA arg	18,26 A*	20,34 AB	23,81 A*	17,56 A*	8,26 A*	11,77 A*
P arg ₂	46,33 A*	25,19 A	5,38 B*	4,51 B*	4,39 A*	14,20 A*
CV (%)	37,40	21,55	33,05	38,60	37,56	32,59
Camada 0,10 a 0,20 m						
----- % -----						
Latossolo Vermelho distrófico						
M	23,38 BC*	20,91 A	9,72 AB	12,60 AB*	12,36 AB*	21,03 AB*
P ₁	51,82 AB*	14,03 AB	6,17 ABC	7,71 BC*	7,11 BC*	13,16 AB*
P ₂	37,31 ABC*	16,79 AB	5,36 ABC	6,41 BC*	7,89 BC*	26,24 AB*
P ₃	71,50 A*	9,15 B	2,27 C	2,48 C*	2,86 C*	11,74 B*
P ₄	61,72 AB*	11,74 B	4,25 BC	4,66 C*	4,54 BC*	13,09 AB*
CA	13,81 C*	9,84 B	10,22 A	18,65 A*	16,04 A*	31,44 A*
CV (%)	25,91	32,78	44,58	37,67	26,22	26,42
Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico						
FM	18,78 A*	10,30 A	9,20 B	12,83 A*	14,64 A*	34,24 A*
P arg ₁	41,88 A*	12,32 A	7,85 B	11,65 A*	9,74 A*	16,55 B*
CA arg	16,53 A*	17,96 A	25,51 A	22,82 A*	7,50 A*	9,68 B*
P arg ₂	51,21 A*	15,53 A	7,20 B	6,97 A*	5,21 A*	13,87 B*
CV (%)	45,18	34,64	44,22	36,28	32,39	22,51

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

* As letras são referentes à comparação dos dados transformados para raiz quadrada.

Latossolo: M = Cultura da manga, P₁ = Pastagem, P₂ = Pastagem, P₃ = Pastagem, P₄ = Pastagem, CA = Cultura anual; Argissolo: FM = Fragmento de mata, P arg₁ = Pastagem, CA arg = Cultura anual e P arg₂ = Pastagem.

Bronick & Lal (2005) em trabalho de revisão, apontaram importantes efeitos das raízes, com especial destaque para a rizosfera, na formação e na estabilidade de agregados. De acordo com Marchão et al. (2007), a estabilidade de agregados pode aumentar

rapidamente com a inclusão de pastagens devido à ausência de preparo durante o ciclo da pastagem e a presença de um denso sistema radicular, que atua como agente agregante.

Para as culturas anuais, nas duas classes de solo, houve predominância de classes de agregados menores, devido ao uso intensivo do solo causado pelo preparo convencional. Na cultura anual no Latossolo (CA) houve maior percentagem de agregados na classe <0,25 mm e para a cultura anual no Argissolo (CA arg) na classe de 2 a 1 mm, nas duas camadas avaliadas.

O solo cultivado com manga (M) no Latossolo e a área com fragmento de mata (FM) no Argissolo apresentaram maiores percentagens de agregados na classe de agregados entre 6 a 4 mm, o que pode ser explicado para este fato é que, nestes dois usos, ocorreu maior cobertura do solo e deposição superficial de folhas que ficam em contato com o solo ocasionando maior teor de matéria orgânica o que proporciona uma maior agregação.

De acordo com Haynes & Swift (1990), a matéria orgânica é um dos principais agentes de formação e estabilização de agregados, e a diminuição de seu conteúdo no solo é uma das maiores causas de deterioração da estrutura do solo. Matos et al. (2008) mencionam que a utilização de sistemas de cultivo que promovam incremento de matéria orgânica do solo podem contribuir para o aumento da estabilidade de agregados e, conseqüentemente, para a melhoria da qualidade física do solo.

Na Tabela 8 estão os valores de diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados estáveis em água dos solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte para as camadas de 0,0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m. Verificou-se que houve diferença significativa para o Latossolo nas duas camadas avaliadas, já para o Argissolo não houve diferença significativa.

As pastagens apresentaram os maiores valores de diâmetro médio ponderado (DMP) e as culturas anuais os menores, nas duas classes de solos, reflexos da percentagem de agregados (Tabela 7). Maiores valores de percentagem de agregados nas classes entre 6 a 4 mm e 4 a 2 mm produzem maior valor de DMP, o qual foi observado para as pastagens, que apresentaram maiores valores de DMP devido à maior percentagem de agregados na classe entre 6 a 4 mm. O contrário foi observado para as culturas anuais que apresentaram os menores valores de DMP, devido à maior percentagem de agregados nas classes de menor tamanho, e esta relação também é verificada para os demais usos.

Tabela 8. Diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados estáveis em água para os solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte.

Usos e ocupações dos solos	Diâmetro médio ponderado (mm)	
	0,0 a 0,10 m	0,10 a 0,20 m
Latossolo Vermelho distrófico		
M	2,48 BC	2,11 BC
P ₁	3,78 AB	3,21 AB
P ₂	3,70 AB	2,56 ABC
P ₃	3,63 AB	3,93 A
P ₄	4,45 A	3,57 AB
CA	1,96 C	1,38 C
CV (%)	21,97	28,53
Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico		
FM	2,27 A	1,58 A
P arg ₁	3,06 A	2,73 A
CA arg	2,06 A	1,96 A
P arg ₂	3,22 A	3,22 A
CV (%)	39,96	43,48

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

Latossolo: M = Cultura da manga, P₁ = Pastagem, P₂ = Pastagem, P₃ = Pastagem, P₄ = Pastagem, CA = Cultura anual; Argissolo: FM = Fragmento de mata, P arg₁ = Pastagem, CA arg = Cultura anual e P arg₂ = Pastagem.

Os menores valores observados para as culturas anuais nas duas classes de solos foram devido ao revolvimento deste, como já observado. O plantio convencional consiste no uso excessivo de arados e grades no preparo do solo, especialmente a grade aradora, que diminui a estabilidade dos agregados, causando sua desestruturação.

Os menores valores de diâmetro médio ponderado (DMP) e a predominância de classes de agregados menores atribui uma menor estabilidade de agregados para as áreas cultivadas com cultura anual, sobretudo no Latossolo, o qual apresentou os menores valores de DMP e maior predominância de agregados na classe <0,25 mm, causando assim, para esta área uma maior suscetibilidade à erosão. Comparando-se as duas áreas com culturas anuais, esses menores valores de DMP e menores tamanhos de agregados para a cultura anual no Latossolo (CA) pode ser devido aos menores teores de argila para esta área. Dufranc et al. (2004) observaram para as áreas com baixos teores de argila uma menor estabilidade de agregados.

A fração argila é um fator positivo de estabilidade do solo, pois é um agente aglutinante que liga as partículas grosseiras formando agregados maiores e mais estáveis. De acordo com Gollany et al. (1991) a estabilidade de agregados aumenta com o conteúdo de argila. Além disso, observa-se para o Argissolo os maiores valores de DMP, e que estes apresentaram-se mais próximos, independentemente do uso e manejo do solo. Este fato indica que o mesmo está mais homogêneo, isto porque contém maior capacidade de suporte, devido aos maiores teores de argila deste solo, propiciando assim, uma maior agregação, independentemente da cobertura sobre o solo.

Observa-se que as áreas cultivadas com pastagens apresentaram maiores valores de diâmetro médio ponderado (DMP) e maior percentagem de agregados maiores, podendo-se afirmar que este uso apresentou agregados com maior estabilidade em água. A sub-bacia estudada apresenta 50% ocupada com pastagens, o que atribui uma menor suscetibilidade à erosão e conseqüentemente, menores perdas de solo com relação a esta propriedade.

Algumas propriedades físicas do solo podem ser alteradas pelas práticas de manejo como mencionado, e dessa maneira a infiltração de água e a condutividade hidráulica saturada do solo modifica-se. De acordo com Souza & Alves (2003), a permeabilidade do solo depende, dentre outros fatores, da quantidade, da continuidade e do tamanho de poros, sendo a compactação e a descontinuidade dos poros responsáveis pela redução significativa da permeabilidade do solo à água.

O conhecimento da infiltração e da condutividade hidráulica do solo saturado é fundamental para a solução de problemas relativos à conservação do solo e da água, e controle da erosão e perdas de solos, sendo de grande importância para o manejo o entendimento de ambos os processos, e de suas relações com as propriedades do solo.

O teor de água antecedente influi na permeabilidade de água no solo, quanto maior é o teor de água antecedente do solo, menor será a infiltração de água e a condutividade hidráulica do solo saturado. Na Tabela 9 encontram-se os valores dos teores de água nos solos antecedente às avaliações de infiltração de água e condutividade hidráulica saturada para as camadas de 0,0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m.

Tabela 9. Teores de água nos solos antecedente às avaliações de infiltração de água e condutividade hidráulica do solo saturado.

Usos e ocupações dos solos	Teores de água nos solos ($m^3 m^{-3}$)	
	0,0 a 0,10 cm	0,10 a 0,20 m
Latossolo Vermelho distrófico		
M	0,15	0,16
P ₁	0,14	0,14
P ₂	0,08	0,09
P ₃	0,12	0,11
P ₄	0,10	0,12
CA	0,12	0,15
Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico		
FM	0,14	0,15
P arg ₁	0,20	0,17
CA arg	0,31	0,27
P arg ₂	0,17	0,21

Latossolo: M = Cultura da manga, P₁ = Pastagem, P₂ = Pastagem, P₃ = Pastagem, P₄ = Pastagem, CA = Cultura anual; Argissolo: FM = Fragmento de mata, P arg₁ = Pastagem, CA arg = Cultura anual e P arg₂ = Pastagem.

Na Tabela 10 encontram-se os valores de taxa constante de infiltração de água no solo e condutividade hidráulica do solo saturado para os solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte nas suas superfícies.

Para a taxa constante de infiltração houve diferença significativa para as duas classes de solos. Os valores de taxa constante de infiltração foram classificados entre moderado, moderado a rápido e rápido. Sendo moderado para a área cultivada com manga (M) no Latossolo, moderado a rápido para a área com fragmento de mata (FM) no Argissolo e para as pastagens em ambos os solos, exceto para a pastagem (P₂) no Latossolo, que foi classificado como rápido. As culturas anuais para os dois solos estudados foram classificadas como rápido, de acordo a classificação de Soil Survey Staff (1993) (Anexo2).

Para a condutividade hidráulica do solo saturado só houve diferença significativa para o Latossolo. De acordo com a classificação de Soil Survey Staff (1993) (Anexo 2), os valores de condutividade hidráulica do solo saturado foram classificados entre lento, lento a moderado e moderado a rápido. Sendo lento para a cultura da manga (M) no Latossolo, lento a moderado para a área com fragmento de mata (FM) no Argissolo, para a cultura anual (CA arg) no Argissolo, e para as pastagens em ambos os solos, exceto (P₂) no

Latossolo que foi classificado como moderado a rápido. Para a cultura anual (CA) no Latossolo também foi classificado como moderado a rápido.

Tabela 10. Taxa constante de infiltração e condutividade hidráulica do solo saturado, para os solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, nas suas superfícies.

Usos e ocupações dos solos	Taxa constante de infiltração (cm h ⁻¹)	Condutividade hidráulica (cm h ⁻¹)
Latossolo Vermelho distrófico		
M	11,81 C*	1,69 B*
P ₁	14,00 C*	2,47 B*
P ₂	42,77 B*	12,90 A*
P ₃	17,77 C*	2,95 B*
P ₄	21,91 BC*	3,47 B*
CA	81,27 A*	18,41 A*
CV (%)	20,36	26,23
Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico		
FM	15,68 B*	2,11 A*
P arg ₁	13,77 B*	2,39 A*
CA arg	54,86 A*	4,47 A*
P arg ₂	20,91 B*	3,89 A*
CV (%)	30,70	37,84

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

* As letras são referentes à comparação dos dados transformados para raiz quadrada.

Latossolo: M = Cultura da manga, P₁ = Pastagem, P₂ = Pastagem, P₃ = Pastagem, P₄ = Pastagem, CA = Cultura anual; Argissolo: FM = Fragmento de mata, P arg₁ = Pastagem, CA arg = Cultura anual e P arg₂ = Pastagem.

Na Figura 16 estão apresentados os gráficos da infiltração média acumulada em função do tempo para a superfície do solo. No geral, os valores da correlação R², estão próximos de 1, o que mostra um bom ajuste da curva aos pontos experimentais. Antonino et al. (2001) utilizando o permeâmetro de disco também encontraram valores de correlação R² próximos de 1.

Os diferentes usos e ocupações do solo mostraram diferenças na infiltração média acumulada, sendo observado para as duas classes de solos maior infiltração para as culturas anuais devido ao preparo convencional do solo. Observa-se também que para um mesmo tempo de infiltração, esta é maior para o Latossolo, devido à textura deste solo (maior conteúdo de areia) quando comparado com o Argissolo. Solos arenosos tendem a ser mais permeáveis que os solos argilosos, por possuírem maior macroporosidade.

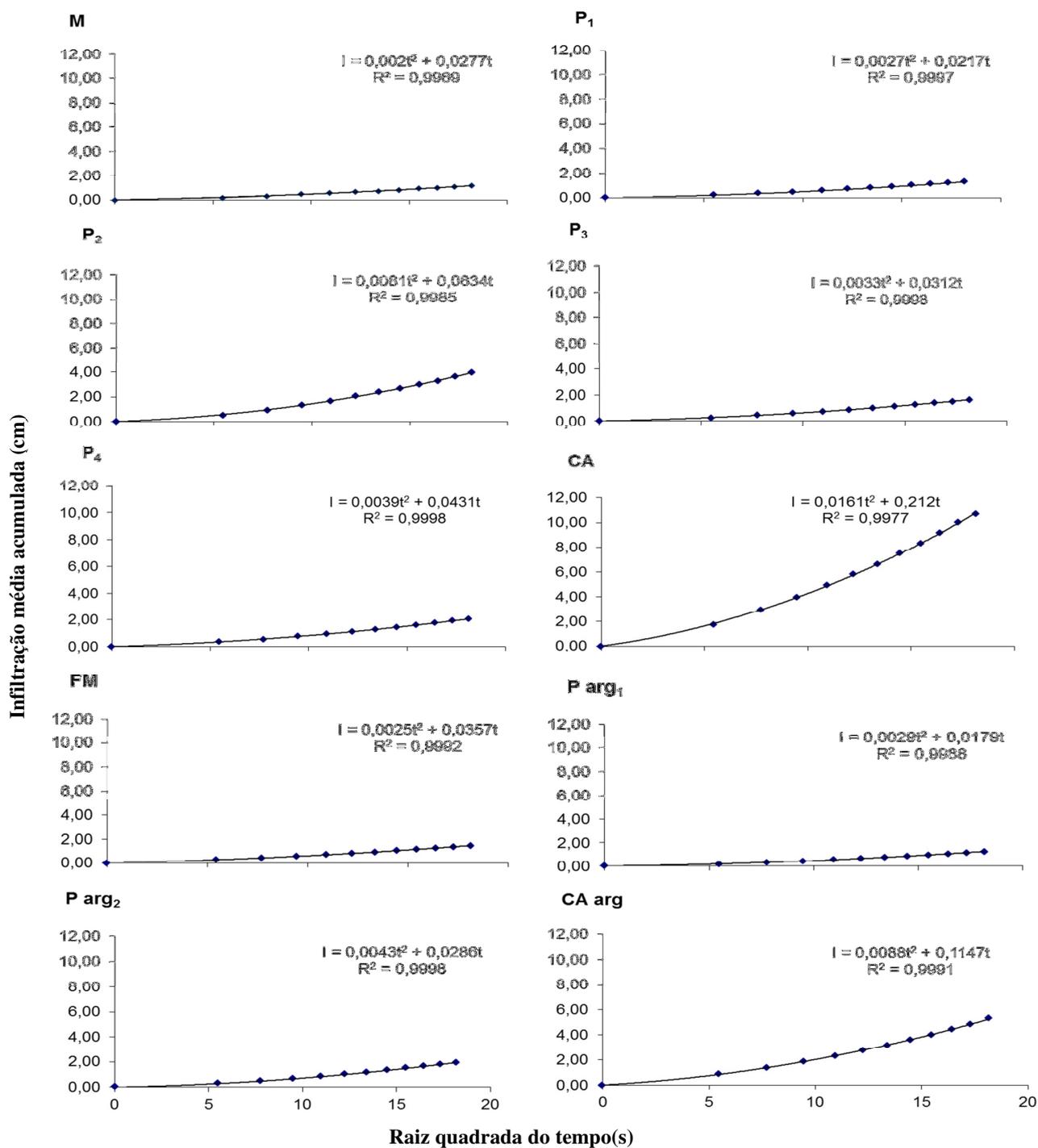


Figura 16. Infiltração média acumulada (cm) em função da raiz quadrada do tempo (s), para os solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, sendo os usos no Latossolo – Cultura da manga (M), Pastagens (P₁, P₂, P₃ e P₄) e Cultura anual (CA), e no Argissolo – Fragmento de mata (FM), Pastagens (P arg₁, P arg₂) e Cultura anual (CA arg).

O movimento de água no solo ocorre nos macroporos, por isso solos com maior microposidade tendem a apresentar menor permeabilidade, devido a isso, o Argissolo apresentou menor movimento de água no solo. Antonino et al. (2001) utilizando um permeâmetro de disco observaram para um mesmo tempo de infiltração, que as lâminas de água infiltradas foram inferiores no solo com maior conteúdo de argila, concordando com os resultados obtidos neste trabalho.

Este efeito também é observado para a taxa constante de infiltração, em que o Latossolo apresentou maiores valores, apesar da menor macroporosidade e porosidade total, e os maiores valores de densidade do solo, devido estes serem solos bastante permeáveis, e isso se deve a sua estrutura granular. Além disso, este fato também pode estar associado à forma e a continuidade dos poros, pois pequenos poros podem conduzir mais água quando estes são contínuos.

Assim como para a infiltração acumulada, o maior valor de taxa constante de infiltração de água no solo foi verificado para as culturas anuais nas duas classes de solos. Este maior valor de taxa constante de infiltração para as culturas anuais ocorreu devido ao preparo convencional do solo e maior macroporosidade. Quando se prepara o solo, a capacidade de infiltração tende a aumentar, em razão da quebra da estrutura da camada superficial.

Nestas áreas com culturas anuais, por haver o revolvimento do solo no momento do preparo, a infiltração foi maior do que nas áreas com pastagens em ambos os solos. Solos situados em áreas de pastagem sofrem intensa compactação, ocasionada pelo pastoreio dos animais, como já observado.

O menor valor de taxa constante de infiltração no Latossolo foi observado para o solo sob cultivo de manga (M), seguido da pastagem (P₁), devido o solo destas áreas se encontrarem compactados. Souza & Alves (2003) estudando diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho, também observaram menores valores de taxa constante de infiltração nas áreas compactadas.

Solos compactados apresentam menor quantidade de poros, e conseqüentemente, menores valores de infiltração. A compactação do solo é um problema em sistema de pastejo, devido entre outros fatores, ao excesso de animais por área (superpastejo).

Foi observado para a pastagem (P_1), que esta apresenta algumas falhas na cobertura sobre o solo, reflexo da degradação deste, além disso, está ocorrendo erosão laminar (Figura 17).



Figura 17. Pastagem degradada (P_1), no Latossolo.

Para controlar a erosão, é preciso deter não só o escoamento que transporta as partículas de solo, como também, o efeito da dispersão dos agregados do solo, eliminando o desprendimento das partículas causadas pelas gotas de chuva (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2010). Por isso, é importante manter a cobertura vegetal sobre a superfície do solo, sendo o manejo adequado de fundamental importância na prevenção de processos erosivos.

Em pomares, a compactação geralmente ocorre devido ao tráfego intenso de máquinas para as operações de manutenção do pomar. Mas para a área com a cultura da manga (M), isto não ocorreu devido a este fato, uma vez que não há a utilização destas práticas. O que pode ser atribuído a isto, é que nesta área há pastejo de animais, pois o proprietário coloca-os na área para que os mesmos se alimentem das frutas que caem sobre o solo, promovendo assim, uma maior compactação.

Para o Argissolo, as pastagens (P_{arg_1}) e (P_{arg_2}), e a área com fragmento de mata (FM) não diferiram entre si. O menor valor de taxa constante de infiltração foi observado para a pastagem (P_{arg_1}). A área com fragmento de mata (FM) também apresentou um valor baixo de taxa constante de infiltração, devido esta área apresentar alta densidade do solo e baixa macroporosidade.

Quanto à condutividade hidráulica do solo saturado, no Argissolo os valores foram próximos em todos os usos, e assim como para a taxa constante de infiltração e a infiltração acumulada, os valores foram menores quando comparados ao Latossolo.

O maior valor de condutividade hidráulica do solo saturado verificado para o Latossolo foi para a área com cultura anual (CA). Este maior valor de condutividade hidráulica do solo saturado encontrado para a cultura anual também é devido ao revolvimento do solo nesta camada durante o preparo, o que levou ao destorroamento do mesmo, aumentando assim o número de macroporos.

Para o solo cultivado com manga (M), onde se observou o menor valor de condutividade hidráulica saturada, ocorreu o processo contrário por ser uma área bastante compactada. De acordo com Ottoni Filho (2003), a condutividade hidráulica é uma das grandezas pedológicas que mais diz respeito aos processos dinâmicos nos vazios do solo.

Assim como a infiltração de água no solo, a condutividade hidráulica saturada é mais dependente da estrutura do que da textura do solo. De acordo com Mesquita & Moraes (2004), as práticas culturais adotadas alterando a estrutura do solo influenciam diretamente na mesma. Com os distintos usos do solo a porosidade se modifica, paralelamente a isto, deve-se modificar também a condutividade. A magnitude destas modificações estruturais ocasionadas pelo manejo depende da ocorrência e da frequência das operações de práticas agrícolas superficiais e subsuperficiais no solo e, também, do efeito compactante produzido pelo trânsito do maquinário agrícola ou de animais.

Observa-se que a infiltração acumulada, a taxa constante de infiltração e a condutividade hidráulica do solo saturado, apresentaram maiores valores para as pastagens quando comparados às áreas cultivadas com manga (M) no Latossolo e a área com fragmento de mata (FM) no Argissolo, mesmo as pastagens apresentando menores valores de porosidade e maiores de densidade do solo, isso ocorreu devido aos maiores valores de diâmetro médio ponderado (DMP) e maiores percentagens nas classes de agregados de maior tamanho, lhe conferindo uma melhor estrutura do solo. Com isso verifica-se que para o estudo de identificação de áreas suscetíveis à erosão deve-se analisar as propriedades do solo de forma conjunta.

Na Tabela 11 encontram-se os valores de taxa constante de infiltração de água no solo e condutividade hidráulica do solo saturado para os solos da sub-bacia Jardim

Novo Horizonte nas profundidades de 0,10 e 0,20 m. Não houve diferença significativa para a taxa constante de infiltração e condutividade hidráulica do solo saturado para estas profundidades.

Tabela 11. Taxa constante de infiltração e condutividade hidráulica do solo saturado, para os solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, nas profundidades de 0,10 e 0,20 m.

Usos e ocupações dos solos	Taxa constante de infiltração (cm h ⁻¹)		Condutividade hidráulica (cm h ⁻¹)	
	0,10 m	0,20 m	0,10 m	0,20 m
Latossolo Vermelho distrófico				
M	0,07 A*	0,01 A*	0,14 A*	0,02 A*
P ₁	0,07 A*	0,13 A*	0,05 A*	0,14 A*
P ₂	0,36 A*	0,30 A*	0,22 A*	0,19 A*
P ₃	0,12 A*	0,15 A*	0,10 A*	0,10 A*
P ₄	0,25 A*	0,21 A*	0,36 A*	0,27 A*
CA	0,95 A*	0,12 A*	0,70 A*	0,13 A*
CV (%)	78,36	59,40	87,80	59,04
Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico				
FM	0,22 A*	0,13 A*	0,09 A*	0,07 A*
P arg ₁	0,04 A*	0,16 A*	0,14 A*	0,25 A*
CA arg	0,35 A*	0,17 A*	0,05 A*	0,24 A*
P arg ₂	0,16 A*	0,03 A*	0,22 A*	0,06 A*
CV (%)	50,94	66,17	69,15	65,14

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

* As letras são referentes à comparação dos dados transformados para raiz quadrada.

Latossolo: M = Cultura da manga, P₁ = Pastagem, P₂ = Pastagem, P₃ = Pastagem, P₄ = Pastagem, CA = Cultura anual; Argissolo: FM = Fragmento de mata, P arg₁ = Pastagem, CA arg = Cultura anual e P arg₂ = Pastagem.

Os valores de taxa constante de infiltração e condutividade hidráulica do solo saturado foram considerados muito lentos nas profundidades de 0,10 e 0,20 m para todos os usos e em ambos os solos, com exceção a cultura anual (CA) no Latossolo que, para a profundidade de 0,10 m, foi classificado como lento de acordo com a classificação de Soil Survey Staff (1993) (Anexo 2).

Os valores de taxa constante de infiltração e de condutividade hidráulica do solo saturado, nas duas classes de solos, foram menores para as profundidades de 0,10 m e 0,20 m quando comparados com os valores obtidos na superfície do solo, isso ocorreu devido à influência da cobertura vegetal. Aliado a isso, com o aumento da

profundidade, há aumento dos conteúdos de argila e aumento nos valores de densidade do solo, contribuindo também para os menores valores observados para tais profundidades.

As melhores condições físicas foram observadas no Argissolo, sendo a cultura anual (CA arg), o uso que apresentou os maiores valores de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e menor valor de densidade do solo. Estas melhores condições são importantes, pois esta área apresentou o maior conteúdo de silte. De acordo com Brandão et al. (2009), a maior proporção de silte no solo reduz a infiltração, uma vez que esta fração possui baixa potencialidade em formar agregados e estes são relativamente de pequenos diâmetros, sendo facilmente deslocados para camadas inferiores do solo, causando entupimento dos poros.

Apesar das áreas ocupadas com pastagens serem um dos usos mais indicados segundo alguns autores, e também terem apresentado os maiores valores de estabilidade de agregados, estas se encontram em processo de degradação dos solos, sendo as propriedades macroporosidade, porosidade total e densidade do solo, as mais degradadas. Quanto ao solo cultivado com manga (M) e a área com fragmento de mata (FM), estes também apresentaram baixos valores destas mesmas propriedades.

Com relação à permeabilidade dos solos estudados, o Latossolo apresentou melhores valores de infiltração e condutividade hidráulica saturada, mesmo com algumas propriedades físicas degradadas, devido os Latossolos serem solos bastante permeáveis e não apresentarem gradiente textural, o que favorece a permeabilidade.

Observa-se que as melhores condições de permeabilidade foram encontradas para as culturas anuais devido ao preparo do solo. O solo cultivado com a cultura da manga (M) e a área com fragmento de mata (FM) por apresentarem piores condições com relação à macroporosidade dos solos, conseqüentemente apresentaram menor permeabilidade.

O que se deve ressaltar também é que nas áreas com culturas anuais, as quais apresentaram boas condições de permeabilidade, é devido o solo estar preparado no período das coletas, e isso dá a impressão de uma área com boas condições de solo e de manejo, porém estas áreas ficam em pousio durante algumas épocas do ano, devendo-se tomar cuidado com manejo das mesmas. Em locais com solos descobertos associados à degradação de algumas propriedades físicas há maior risco de erosão e degradação do solo.

Com relação à análise química, na Tabela 12 encontram-se os atributos químicos dos solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte para as camadas 0,0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m. Os resultados foram classificados de acordo com Raij et al. (2001) (Anexo 3).

Os valores de pH se enquadraram entre médio e alto, sendo alto para a cultura anual (CA arg) no Argissolo e médio para os demais usos e ocupações nas duas classes de solos na camada de 0,0 a 0,10 m. Na camada de 0,10 a 0,20 m os valores de pH foram muito alto para a cultura anual no Argissolo (CA arg), alto para a cultura anual no Latossolo (CA) e para a pastagem (P arg₂) no Argissolo, médio para as pastagens no Latossolo (P₁), (P₂), (P₃) e (P₄), para a área com fragmento de mata (FM) e a pastagem (P arg₁) no Argissolo, e baixo para a cultura da manga (M) no Latossolo.

Os maiores valores de pH foram observados para as culturas anuais nas duas classes de solos e nas duas camadas avaliadas, sendo o maior valor observado para a cultura anual no Argissolo (CA arg), devido à correção do solo nestas áreas. As culturas anuais não diferiram estatisticamente das pastagens, o que comprova que a correção do solo causou aumento no pH nestes usos e ocupações, pois os diferentes usos no Argissolo diferem da área com fragmento de mata (FM) que apresentou o menor valor de pH, pela ausência de correção nesta área. Estes resultados concordam com os obtidos por Freixo et al. (2002), estudando um Latossolo sob diferentes sistemas de uso e manejo, observaram menor acidez nos solos cultivados em relação ao solo sob vegetação natural de cerrado.

A matéria orgânica (MO) exerce influência nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Nas propriedades físicas estão a densidade do solo, a porosidade, a superfície específica, a estrutura e a retenção de água no solo, além disso, influencia na cor, consistência, permeabilidade, aeração e temperatura. Nas propriedades químicas influi na reação do solo, nos conteúdos de bases trocáveis (SB) e na capacidade de troca catiônica (CTC) (Kiehl, 1979).

Para a matéria orgânica não houve diferença significativa entre os usos nas duas classes de solos e nas duas camadas avaliadas. Comparando-se as duas classes de solos, observa-se que os maiores conteúdos de matéria orgânica foram observados para o Argissolo, isto ocorreu devido ao maior conteúdo de argila, pois geralmente, solos argilosos tendem a apresentar maiores conteúdos de matéria orgânica.

Tabela 12. Atributos químicos dos solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte.

Uso do Solo	pH CaCl ₂	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³ mmol _c dm ⁻³	H+Al	SB	CTC	V %
0,0 – 0,10 m											
Latossolo Vermelho distrófico											
M	5,3 A	17 A*	13 A	1,4 A*	27 AB	9 AB	1 A	25 A	37 AB	62 AB	60 A
P ₁	5,4 A	18 A*	8 AB	1,3 A*	24 AB	11 AB	1 A	21 A	36 AB	57 AB	63 A
P ₂	5,3 A	10 A*	6 B	1,5 A*	18 B	5 B	1 A	16 A	25 B	41 B	59 A
P ₃	5,2 A	18 A*	7 B	1,4 A*	18 B	8 AB	1 A	20 A	28 B	47 B	59 A
P ₄	5,4 A	19 A*	7 B	0,9 A*	33 AB	13 AB	1 A	21 A	46 AB	67 AB	68 A
CA	5,5 A	17 A*	12 A	1,8 A*	43 A	14 A	1 A	23 A	59 A	82 A	70 A
CV (%)	5,35	23,86	27,93	28,79	38,91	39,58	24,21	21,68	37,20	28,22	10,94
Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico											
FM	5,2 B	21 A*	12 B	1,5 A*	52 A*	18 A*	2 A*	28 A	72 A*	100 A*	63 A
P arg ₁	5,5 AB	27 A*	14 B	2,4 A*	99 A*	22 A*	1 A*	27 A	123 A*	149 A*	73 A
CA arg	6,0 A	33 A*	35 A	2,7 A*	148 A*	38 A*	1 A*	27 A	189 A*	215 A*	83 A
P arg ₂	5,3 AB	20 A*	10 B	1,0 A*	49 A*	17 A*	1 A*	27 A	67 A*	93 A*	66 A
CV (%)	8,07	19,04	48,93	43,16	45,09	33,38	30,84	16,61	41,52	31,47	23,05
Latossolo Vermelho distrófico											
M	4,7 B	11 A	8 AB	0,8 A*	20 B	7 AB	2 A	35 A	28 B	63 AB	45 B
P ₁	5,4 A	10 A	7 AB	1,0 A*	22 B	7 AB	1 A	19 B	31 B	49 B	62 A
P ₂	5,4 A	8 A	7 AB	0,9 A*	23 B	4 B	1 A	15 B	27 B	43 B	62 A
P ₃	5,4 A	8 A	6 B	1,5 A*	19 B	8 AB	1 A	15 B	29 B	44 B	65 A
P ₄	5,4 A	13 A	6 B	0,7 A*	30 AB	9 AB	1 A	19 B	40 AB	59 AB	68 A
CA	5,6 A	10 A	10 A	1,0 A*	43 A	12 A	1 A	19 B	56 A	75 A	74 A
CV (%)	5,24	34,02	27,91	35,13	31,07	41,43	23,47	15,85	31,21	22,13	11,16
Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico											
FM	5,2 B	14 A*	14 A*	1,1 A*	49 B*	15 B*	2 A*	25 A	65 B*	89 B	65 B
P arg ₁	5,5 AB	22 A*	11 A*	1,2 A*	92 AB*	22 AB*	1 A*	24 A	115 AB*	138 AB	74 AB
CA arg	6,1 A	25 A*	18 A*	1,7 A*	185 A*	45 A*	1 A*	24 A	231 A*	256 A	90 A
P arg ₂	5,8 AB	18 A*	8 A*	0,4 A*	77 B*	26 AB*	1 A*	21 A	105 AB*	125 AB	80 AB
CV (%)	8,57	28,29	27,48	50,65	35,12	32,23	25,84	23,76	33,30	48,02	16,75

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

* As letras são referentes à comparação dos dados transformados para raiz quadrada.

Latossolo: M = Cultura da manga, P₁ = Pastagem, P₂ = Pastagem, P₃ = Pastagem, P₄ = Pastagem, CA = Cultura anual; Argissolo: FM = Fragmento de mata, P arg₁ = Pastagem, CA arg = Cultura anual e P arg₂ = Pastagem.

De acordo com Scott et al. (1996) a textura influencia o microambiente solo e a mineralização da matéria orgânica de várias formas. À medida que o conteúdo de argila aumenta, a área superficial da matriz mineral do solo e o potencial de estabilização da matéria orgânica do solo aumentam.

A matéria orgânica apresentou conteúdos mais baixos na camada de 0,10 a 0,20 m, em relação à camada superficial, normalmente com o aumento da profundidade há diminuição do conteúdo de matéria orgânica devido à cobertura vegetal sobre o solo.

Observa-se uma relação entre o conteúdo de matéria orgânica e a densidade do solo (Tabela 5), nos usos com maiores conteúdos de matéria orgânica verifica-se menores valores de densidade do solo, pois a densidade do solo aumenta com a diminuição do conteúdo de matéria orgânica, estes resultados concordam com os obtidos por Lopes et al. (2006). A matéria orgânica influi na agregação do solo, melhorando a sua estrutura e conseqüentemente a sua porosidade, diminuindo assim, a densidade do solo.

Além disso, de acordo com Castro Filho & Logan (1991), os mecanismos de formação das diferentes classes de tamanho dos agregados são influenciados pela matéria orgânica, cuja quantidade irá permitir maior ou menor agregação, resultando em menor ou maior perda de solo.

O conteúdo de fósforo (P), para a camada de 0 a 0,10 m, foi alto para a área com fragmento de mata (FM) no Argissolo, médio para a cultura da manga (M) no Latossolo, para a pastagem (P arg₁) e para a cultura anual (CA arg) no Argissolo, e baixo para os demais usos e ocupações. Para a camada de 0,10 a 0,20 m, o conteúdo de fósforo (P) foi alto para a área com fragmento de mata (FM) no Argissolo, médio para a cultura anual (CA arg) no Argissolo e baixo para os demais usos e ocupações.

Observa-se que os conteúdos para a camada de 0,10 a 0,20 m decresceram em relação à camada superficial, e estes resultados concordam com os obtidos por Lopes et al. (2006), o que comprova a baixa mobilidade do fósforo (P).

Os maiores conteúdos de fósforo (P) foram observados para as culturas anuais nas duas classes de solos e para a cultura manga (M) no Latossolo, nas duas camadas avaliadas, e os menores conteúdos para as pastagens, isso ocorreu devido à ausência de adubação quando comparado com as áreas com culturas anuais e perene.

Quanto às bases trocáveis, para a camada de 0 a 0,10 m, o conteúdo de potássio (K^+) foi médio para as culturas anuais nas duas classes de solos (CA e CA arg) e para a pastagem (P arg₁) no Argissolo, e baixo para os demais usos e ocupações. Na camada de 0,10 a 0,20 m foram muito baixo para as pastagens (P₄) no Latossolo e (P arg₂) no Argissolo, baixo para a cultura da manga (M) no Latossolo, para as pastagens (P₁, P₂, P₃) no Latossolo e (P arg₁) no Argissolo, para a cultura anual (CA) no Latossolo e para a área com fragmento de mata (FM) no Argissolo, e médio para a cultura anual (CA arg) no Argissolo.

Para o conteúdo de cálcio (Ca^{+2}), estes foram altos para todos os usos e ocupações nas duas classes de solo e nas duas camadas analisadas. E os de magnésio (Mg^{+2}), na camada de 0 a 0,10 m, foram médios para as pastagens (P₂ e P₃) no Latossolo e alto para os demais usos e ocupações. Na camada de 0,10 a 0,20 foram baixo para a pastagem (P₂) no Latossolo, médio para a cultura da manga (M) e para as pastagens (P₁ e P₃) no Latossolo, e alto para os demais usos e ocupações do solo. Estes altos conteúdos de Ca^{+2} e Mg^{+2} observados foi devido a correção do solo com aplicação de calcário.

Observa-se que os maiores conteúdos para as bases trocáveis foram para as culturas anuais nas duas classes de solo, sendo os menores valores observados para o Latossolo, principalmente para as áreas cultivadas com pastagens. Como verificado para o fósforo (P), as bases também apresentaram os menores conteúdos para as pastagens nas duas classes de solos, evidenciando mais uma vez a ausência de adubação quando comparado às culturas anuais.

Frazão et al. (2008) estudando um Neossolo quartzarênico e Souza & Alves (2003) analisando os atributos químicos de um Latossolo sob diferentes usos e manejos, também observaram menores teores de fósforo (P) e potássio (K) para a pastagem. Portugal et al. (2008) estudando os atributos químicos de um Cambissolo observaram melhores condições químicas do solo nas áreas cultivadas com culturas anuais, e uma baixa fertilidade para a área sob pastagem, concordando com os resultados obtidos neste estudo.

A falta de adubação em pastagens tem levado essas áreas a problemas de degradação do solo, quando há falta de nutrientes neste, as plantas não se desenvolvem com a sua máxima capacidade de produção, isso associado ao pastoreio contínuo de animais levam a problemas como aparecimento de falhas de cobertura sobre o solo, como já mencionado para

a pastagem (P_1), o que propicia o aparecimento da erosão e conseqüentemente, das perdas de solo.

De acordo com Peron & Evangelista (2004), a correção e a adubação do solo devem ser feitas, considerando-se a baixa fertilidade natural dos solos dos cerrados, sendo importante a aplicação de calagem e de adubação, principalmente a fonte de fósforo, com base nas análises de solo e nas exigências nutricionais da forrageira. A calagem e a adubação melhoram a fertilidade do solo, promovem melhor estabelecimento da pastagem, aumentando a densidade de plantas, proporcionando, conseqüentemente, maior cobertura do solo, protegendo-o da erosão.

Não houve diferença significativa para os teores de alumínio (Al^{+3}), apresentando valores próximos nas duas classes de solos e nas duas camadas avaliadas. Estes foram iguais a $1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para todos os usos, com exceção a área com fragmento de mata (FM) no Argissolo, que apresentou o valor de $2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ nas duas camadas avaliadas. Os valores de alumínio (Al^{+3}) dos solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte foram baixos para todos os usos.

Para a acidez potencial ($H + Al$) houve diferença significativa somente para o Latossolo na camada de 0,10 a 0,20 m. Neste solo o maior valor foi observado para a cultura da manga (M) nas duas camadas analisadas. E no Argissolo o maior valor foi encontrado para a área com fragmento de mata (FM) também nas duas camadas analisadas, porém não diferiu estatisticamente dos demais usos no Argissolo (P_{arg1} , CA_{arg} e P_{arg2}).

Para a soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases (V%) os maiores valores encontrados foram para as culturas anuais nas duas classes de solos e nas duas camadas analisadas. No Latossolo os menores valores de SB e CTC foram para a pastagem (P_2), nas duas camadas analisadas, estes valores refletem os baixos teores das bases. Para o V% o menor valor observado foi para as pastagens (P_2) e (P_3) na camada de 0 a 0,10 m, e para a cultura da manga (M) na camada de 0,10 a 0,20 m.

No Argissolo os menores valores de soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica (CTC), na camada de 0 a 0,10 m, foi para a pastagem (P_{arg2}), e saturação por bases (V%) para a área com fragmento de mata (FM). Também foram observados para a área com fragmento de mata (FM), menores valores de SB, CTC e V% na camada de 0,10 a 0,20 m.

Os valores de saturação por bases (V%) não diferiram estatisticamente entre si nas duas classes de solos para a camada de 0 a 0,10 m, sendo alto para a cultura anual (CA arg) e para a pastagem (P arg₁) no Argissolo e médio para os demais usos e ocupações nas duas classes de solos. Na camada de 0,10 a 0,20 m, houve diferença significativa para as duas classes de solos, sendo alto para as culturas anuais (CA) e (CA arg) nas duas classes de solos, e para as pastagens (P arg₁) e (P arg₂) no Argissolo, médio para as pastagens (P₁), (P₂), (P₃) e (P₄) no Latossolo e a área com fragmento de mata (FM) no Argissolo, e baixo para a cultura da manga (M) no Latossolo. Verifica-se que os valores de saturação por bases foram maiores para o Argissolo, devido este ser um solo naturalmente eutrófico.

Quanto aos valores de capacidade de troca catiônica (CTC), pode-se afirmar que estes refletiram os conteúdos de matéria orgânica no solo. Pode-se verificar também que, o Argissolo apresentou os maiores valores de CTC, devido além dos maiores conteúdos de matéria orgânica no solo, aos maiores conteúdos de argila presente neste solo.

Estes resultados concordam com Lopes et al. (2006) que também observaram os maiores valores de capacidade de troca catiônica (CTC) para as áreas com maior conteúdo de matéria orgânica e argila, os mesmos salientam que a fração argila é uma componente importante da CTC do solo. Ciotta et al. (2003) observaram que o acúmulo de matéria orgânica promoveu aumento na CTC do solo. De acordo com Bayer & Bertol (1999), a matéria orgânica contribui para a formação de cargas negativas no solo, e assim, a elevação dos teores aumentam a CTC.

No geral, os maiores conteúdos foram atribuídos para as culturas anuais e os menores para as pastagens nas duas classes de solos. Com isso observa-se que esses menores valores encontrados para as pastagens são reflexos de manejo inadequado das mesmas quanto à adubação.

A pastagem (P₂) no Latossolo apresentou o menor teor de bases e conseqüentemente a menor saturação por bases, o que pode ser atribuído à baixa capacidade de troca catiônica (CTC) neste uso do solo, reflexo do baixo conteúdo de matéria orgânica encontrada, além disso, trata-se de um solo com alto conteúdo de areia, o que pode ter contribuído para tais características.

A área com fragmento de mata (FM) no Argissolo apresentou o menor valor de pH, e os maiores teores de alumínio (Al⁺³) e acidez potencial (H+Al), devido à

ausência de adubação nesta área, estes resultados concordam com os obtidos por Carneiro et al. (2009), que também encontraram maiores teores destes quando comparados às áreas manejadas.

A área com a cultura da manga (M) no Latossolo também apresentou baixo valor de pH e o maior teor de acidez potencial (H+Al) para a camada de 0,10 a 0,20 m, também reflexo da ausência de correção do solo, o que pode afetar o desenvolvimento das plantas.

Verifica-se que, com relação às propriedades químicas dos dois solos estudados, o Latossolo apresentou condições menos favoráveis ao desenvolvimento das plantas quando comparado com o Argissolo, devido ser um solo originalmente distrófico, característica dos Latossolos que apresentam baixa fertilidade natural. Com isso observa-se que o Latossolo encontra-se em processo de degradação química, merecendo bastante atenção quanto ao manejo e adubação para que se possa proporcionar um melhor desenvolvimento da vegetação e uma melhor cobertura do solo, evitando assim, a erosão e as perdas de solo.

Diante do exposto, pode-se confirmar o que já havia sido evidenciado anteriormente, que o Argissolo apresenta melhores propriedades físicas e químicas em relação ao Latossolo. Salienta-se que o Latossolo representa 70% da área da sub-bacia, merecendo atenção quanto a seu manejo para que se possa evitar a sua degradação e consequente erosão.

4.1.2. Perdas de solo e deposição de sedimentos

Na Tabela 13 estão os valores simulados pelo modelo LISEM dos componentes do ciclo hidrológico. Os maiores valores observados de interceptação, infiltração e escoamento superficial foram para o evento do dia 28/05/2012, que corresponde a maior intensidade de precipitação igual a $106,68 \text{ mm h}^{-1}$, e precipitação acumulada de 384,09 mm com duração de 8 horas (Tabela 3). Os valores de armazenamento em depressões foram baixos para todos os eventos.

Tabela 13. Componentes do ciclo hidrológico simulados pelo modelo LISEM.

Eventos de precipitação*	Interceptação total	Infiltração total	Armazenamento	Escoamento superficial	Escoamento/ Precipitação
			em depressões		(%)
			(mm)		
15/01/2009	2,02	27,12	0,01	28,88	49,74
28/03/2009	1,92	24,05	0,00	16,45	38,79
10/12/2009	2,01	31,15	0,00	23,47	41,44
01/01/2010	2,03	30,71	0,01	29,49	47,36
20/05/2010	2,02	24,26	0,00	33,16	55,77
20/11/2010	2,05	31,20	0,00	40,66	54,99
08/03/2011	2,06	48,07	0,01	26,05	34,20
12/04/2011	2,05	34,66	0,01	36,10	49,52
12/03/2012	2,01	28,91	0,01	26,22	45,85
28/05/2012	2,08	51,65	0,00	330,32	86,00
Média	2,03	33,18	0,01	59,08	50,37

*Eventos referentes às maiores intensidades de precipitação para o período de 2009 a 2012.

Verifica-se que a interceptação e a infiltração simulada pelo modelo LISEM foram dependentes da precipitação total, pois os maiores valores foram observados para o evento com maior precipitação acumulada, sendo a interceptação igual a 2,08 mm e a infiltração igual a 51,65 mm para este evento. E os menores valores foram observados para o evento com menor precipitação total, com 1,92 mm para a interceptação e 24,05 mm para a infiltração.

De acordo com Gomes (2008) a interceptação depende das características do evento. Os eventos de maior intensidade de precipitação, com maior energia cinética das gotas, promovem a drenagem das folhas durante a precipitação, diminuindo sua capacidade de armazenamento de água pelas folhas.

De acordo com Trancoso et al. (2007), a vegetação de uma bacia hidrográfica participa ativamente do ciclo hidrológico, por meio da evapotranspiração e da interceptação pelo dossel. Os mesmos afirmam que, a retenção de água pela vegetação quebra a energia cinética da gota de chuva e faz com que a água chegue de forma mais lenta à superfície do solo, escorrendo por galhos e troncos, ou caindo em pingos mais lentos, reduzindo a possibilidade de escoamento superficial direto. A vegetação também contribui para a interceptação por meio da serrapilheira sobre a superfície do solo, que também oferece proteção, além de aumentar a capacidade de absorção de água, controlando o escoamento superficial.

Gomes (2008) estudando uma microbacia localizada em São João Del Rei - MG, cultivada com pastagem, café e milho, e uma área com mata, observou para 4 eventos analisados, uma média de interceptação igual a 1,18 mm, menor que a média observada para a sub-bacia Jardim Novo Horizonte, de 2,03 mm. De acordo com o mesmo, este contexto reflete as condições atuais da bacia hidrográfica, devido à taxa de uso e ocupação de seus solos, o estado de degradação de suas pastagens e a falta de mata de cabeceira no terço superior dos morros e entorno de suas nascentes, além da ausência de mata ciliar.

Trancoso et al. (2007) afirmam que, o desmatamento nas bacias hidrográficas ou a substituição de suas matas naturais por cultivos promovem diminuição da interceptação, redução da infiltração e armazenamento de água no solo, e aumento do escoamento superficial.

Além disso, os valores observados por Gomes (2008) para a precipitação total média foi menor que os valores observados para a sub-bacia Jardim Novo Horizonte, sendo de 27,76 e 94,31 mm, respectivamente, o que proporcionou menor interceptação.

Outro fator que interfere na interceptação é a diversidade de vegetação presente na bacia hidrográfica (GOMES, 2008), devido aos diferentes valores de índice de área foliar (IAF) e a fração de solo coberto pela vegetação para os diferentes usos do solo. Os valores de índice de área foliar (IAF) utilizados neste trabalho foram de 2,93; 2,69; 2,8 e 2,38 $m^2 \cdot m^{-2}$, para pastagem, milho, fragmento de mata e manga, respectivamente. Para a fração do solo coberto por vegetação foram de 0,35 para o milho, 0,63 para a manga e 1,0 para a pastagem e a área com fragmento de mata. Na sub-bacia Jardim Novo Horizonte 50% de sua área corresponde à pastagem, o que propiciou uma maior interceptação total.

Para a infiltração, verifica-se que o maior valor foi observado para o evento com maior intensidade de precipitação, precipitação acumulada e interceptação, pois mesmo para este evento com a maior intensidade, a vegetação permite que maior lâmina de água seja interceptada e atinja a superfície do solo, havendo por isso, maior infiltração. De acordo com Pinese Júnior et al. (2008), a infiltração de água das chuvas é favorecida pela cobertura foliar, pois esta amortece parte da água que atingiria o solo por meio da interceptação pelas folhas, liberando lentamente a água para a superfície do solo.

A infiltração de água no solo é de grande importância para a disponibilidade de água, de acordo com Brandão et al. (2009), a água que infiltra no solo reabastece os aquíferos subterrâneos, da qual dependem a vazão dos cursos de água no período de estiagem, o que torna a melhoria das condições de infiltração essencial para o aumento da disponibilidade hídrica. O seu conhecimento é de fundamental importância para o manejo e conservação do solo e da água, por ser determinante na ocorrência do escoamento superficial, responsável por processos indesejáveis como a erosão.

Gomes (2008) estudando uma microbacia com 470 ha, com Latossolo, Cambissolo e solos hidromórficos, observou para 4 eventos analisados, uma média de infiltração igual a 24,44 mm, menor que a média observada para a sub-bacia Jardim Novo Horizonte, de 33,18 mm. Isso ocorreu devido os solos da microbacia estudada por Gomes (2008) se enquadrarem entre textura argilosa a muito argilosa. Solos de textura argilosa possuem, em geral, menor quantidade de macroporos do que os de textura arenosa, apresentando menor permeabilidade.

Para o evento com maior intensidade de precipitação, registrado em 28/05/2012, apenas 15,64% infiltrou. Observa-se para os eventos dos dias 15/01/2009, 20/05/2010, 20/11/2010, 12/04/2011 e 28/05/2012, que a infiltração foi menor que o escoamento superficial, correspondendo aos eventos com as 5 maiores intensidades de precipitação, sendo o dia 28/05/2012 observado a maior intensidade de precipitação, e os dias 20/05/2010, 15/01/2009, 20/11/2010 e 12/04/2011, a segunda, terceira, quarta e a sexta maior intensidade de precipitação, respectivamente.

Estes resultados estão coerentes com o observado para a taxa constante de infiltração. Apesar dos solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte serem de textura média, devido a degradação de algumas propriedades físicas, como a macroporosidade e a porosidade total, a infiltração medida no campo, apresentou taxas de infiltração menores para as profundidades de 0,10 e 0,20 m. Para a profundidade de 0,10 m os valores foram um pouco maiores, sendo moderado, moderado à rápido, e rápido, em relação aos observados para a profundidade de 0,20 m, que foram muito lento e lento, devido aos maiores conteúdos de argila nesta profundidade, e também aos menores conteúdos de matéria orgânica, e maiores valores de densidade do solo, ocasionando para os eventos de maior intensidade, uma menor infiltração.

A relação de dependência entre a infiltração e as propriedades do solo pode ser explicada em função da influência destas sobre uma das mais importantes propriedades do meio poroso relacionada com o movimento de água no solo, que é a condutividade hidráulica, pois a infiltração é diretamente proporcional a esta, portanto, fundamentalmente dependente da sua magnitude (BRANDÃO et al., 2009).

Para a simulação da infiltração foi utilizada a média da condutividade hidráulica saturada das duas profundidades, como já descrito anteriormente. De acordo com alguns autores, dentre eles citam-se Hessel et al. (2003a), Hessel et al. (2006), Rodrigues (2011) e Moro (2011), o modelo LISEM é bastante sensível à condutividade hidráulica e ao teor de água antecedente. Para este estudo, estas variáveis foram medidas no campo, portanto, fornecendo valores confiáveis com relação à infiltração total de água simulado pelo modelo, e como já comentado, estes estão coerentes com os valores medidos.

O escoamento superficial foi dependente da intensidade de precipitação e também da precipitação acumulada, apresentando um valor de 330,32 mm para o evento do dia 28/05/2012, sendo o maior valor observado para o período analisado. De acordo com Pruski (2010), o escoamento superficial tende a crescer com o aumento da intensidade e a duração da precipitação.

Gomes (2008) observou para 4 eventos analisados, com intensidade de precipitação de 8; 34,4; 48 e 52 mm h⁻¹ e precipitação total de 6; 22,3; 34 e 23,9 mm, respectivamente, uma média de escoamento superficial igual a 1,86 mm, inferior à média observada na sub-bacia Jardim Novo Horizonte, de 59,08 mm. Isso ocorreu devido a maior condutividade hidráulica observada para a área estudada por Gomes (2008), sendo a média observada igual a 26,05 mm h⁻¹, e também devido a maior capacidade de armazenamento de água de seus solos, igual a 27 mm. Além disso, as menores intensidades de precipitações e as precipitações totais, quando comparadas à sub-bacia Jardim Novo Horizonte, em que os valores foram superiores.

Rodrigues (2011) utilizando o modelo LISEM para a simulação em uma pequena bacia localizada em Eldorado do Sul - RS, com área de 94,46 ha, com solos do tipo Argissolo, Cambissolo e Planossolo, cultivada com povoamentos de eucalipto e áreas de preservação permanente, observou para 6 eventos analisados, uma média de escoamento

superficial igual a 3,73 mm, também inferior ao valor encontrado para a sub-bacia Jardim Novo Horizonte, devido a cobertura florestal.

Estes maiores valores de escoamento superficial observados em relação aos resultados obtidos em outros trabalhos é devido a sub-bacia Jardim Novo Horizonte possuir maior área que as outras microbacias estudadas, e portanto, maior área de contribuição. Rodrigues (2011) avaliando os processos hidrológicos em uma bacia e sub-bacia observou que o escoamento superficial foi maior para a bacia em relação à sub-bacia, e que estes resultados estão relacionados à área de contribuição das mesmas. De acordo com Silva Júnior et al. (2004), o escoamento oriundo de sub-bacias tende a aflorar mais a jusante, proporcionando aumento no escoamento superficial nas bacias maiores.

Com relação aos eventos analisados, Rodrigues (2011) observou que o evento com maior precipitação total não resultou no maior escoamento superficial, e isso ocorre devido a menor intensidade de precipitação e pelo seu maior tempo de duração, sendo possível perceber que as precipitações mais intensas e mais concentradas são as que geram maiores escoamentos. Estas precipitações com maior duração promovem uma maior infiltração, como observado e comentado anteriormente. Porém, isso ocorre até que a capacidade de infiltração máxima do solo seja atingida, começando assim, o escoamento superficial.

Van Dijk & Kwaad (1996) em estudo realizado em 3 bacias da Holanda utilizando o modelo LISEM, observou que os maiores volumes de escoamento foram registrados durante períodos prolongados de chuva, em que as percentagens de escoamento atingiu quase 60%. Os mesmos afirmam que, maiores valores de escoamentos nem sempre coincidem com períodos mais longos de precipitação, ou seja, os eventos de precipitação mais importantes não são necessariamente os que promovem os maiores escoamentos, isso depende da época do ano, do teor de água antecedente, das condições de solos e do tipo e grau de cobertura vegetal.

A precipitação total média observada para os 10 eventos foi de 94,31 mm (Tabela 3), sendo a média do escoamento superficial de 59,08 mm, portanto, do total médio precipitado 50,37% escoou sobre a superfície do solo (Tabela 13). Hessel et al. (2006) utilizando o modelo LISEM na simulação de duas microbacias no leste africano, com áreas de 570 e 200 ha, uma com Latossolo Vermelho, Cambissolo e Luvisolo, cultivada com milho e

café, e área em pousio, e outra com Luvisolo cultivada com café, milho, feijão e banana, e área com floresta, observaram para 7 eventos, um escoamento baixo de 0,7 e 3,1%, respectivamente. Moro (2011) observou para 10 eventos simulados, uma média de 12,36%.

A sub-bacia Jardim Novo Horizonte apresentou maiores valores de percentagem de escoamento devido à degradação de algumas propriedades físicas do solo, como mencionado anteriormente. Além disso, os solos da sub-bacia apresentaram baixo armazenamento de água no solo, devido à textura média destes, e moderadas taxas de infiltração nas profundidades de 0,10 e 0,20 m, o que contribuiu para maior percentagem de escoamento superficial.

A maior intensidade de precipitação, com $106,68 \text{ mm h}^{-1}$, ocasionou maior percentagem de escoamento, correspondendo ao evento com maior valor de escoamento superficial. A maior intensidade de precipitação promove menor infiltração, pois sob precipitações intensas o solo não consegue infiltrar toda a água precipitada. Além disso, a intensidade de precipitação influi na formação do selamento superficial, causado pelo impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo. Quanto mais intensa for a precipitação, maior será este risco, devido ao maior diâmetro das gotas e, conseqüentemente, maior energia cinética.

De acordo com Pruski (2010), a energia cinética das gotas de chuva tem sido a variável mais comumente associada com a formação do selamento superficial. Bertoni & Lombardi Neto (2010) afirmam que, as gotas de chuva causam uma ação de compactação ao solo, causando rapidamente a perda de sua capacidade de infiltrar água, e isso ocasiona grande volume de enxurrada durante as chuvas mais intensas. Os mesmos salientam que, o volume e a velocidade do escoamento dependem da intensidade, duração e frequência da precipitação, sendo a intensidade o fator pluviométrico mais importante na erosão, dados de precipitações totais ou médias mensais e anuais pouco significam em relação a esta. Os mesmos complementam que, a duração da precipitação é o complemento da intensidade, pois a combinação destas determina a precipitação total do evento.

O armazenamento de água na superfície do solo somente começa a partir do momento em que a intensidade de precipitação supera a velocidade de infiltração da água no solo, e o escoamento superficial inicia quando a capacidade de armazenamento superficial é preenchida (PRUSKI, 2010).

Os valores de armazenamento nas depressões observados para a sub-bacia em estudo foram baixos. Gomes (2008) observou para 4 eventos analisados, uma média de armazenamento nas depressões igual a 0,15 mm, maior que a média observada na sub-bacia Jardim Novo Horizonte, de 0,01 mm.

O armazenamento de água na superfície do solo é dependente da rugosidade superficial, pois de acordo com Pruski (2010), determina a quantidade de água que pode ser mantida na superfície do solo como lâmina armazenada superficialmente, sendo condicionada ao uso e manejo do solo. Os valores utilizados para esta variável neste estudo foram de 0,70; 1,43; 1,36 e 0,73 cm, para a pastagem, milho, fragmento de mata e manga, respectivamente. Observa-se menor valor de rugosidade superficial para a pastagem, e esta representa maior área da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, o que causou um baixo valor de armazenamento de água na superfície.

De acordo com Gomes (2008), a rugosidade superficial aumenta a retenção e a infiltração de água no solo, reduz a velocidade e o volume do escoamento superficial direto e aprisiona os sedimentos da erosão, diminuindo os danos causados pela erosão hídrica, e isto é consequência do preparo e uso do solo e da existência ou não de cobertura morta sobre sua superfície, que promove proteção contra a ação da precipitação.

Na Tabela 14 são apresentados os dados referentes aos valores de desagregação, perdas de solo e deposição de sedimentos estimados pelo modelo LISEM. Observam-se maiores valores de desagregação, deposição e perdas de solo para o evento do dia 28/05/2012, sendo o mesmo evento em que foram observados os maiores valores de escoamento superficial.

Verificou-se em todos os eventos que o processo de erosão dominante na vertente da sub-bacia Jardim Novo Horizonte é a desagregação pelo fluxo, devido aos maiores valores observados em relação à desagregação pela gota de chuva. A desagregação média pela gota de chuva observada para os 10 eventos foi de $0,31 \text{ t ha}^{-1}$, e a desagregação média gerada pelo fluxo foi de $83,52 \text{ t ha}^{-1}$, concordando com os resultados obtidos por Moro (2011), que estudando uma pequena bacia rural localizada no município de Arvorezinha - RS, utilizando o modelo LISEM, também observou que ocorreu maior desagregação pelo fluxo.

Tabela 14. Perdas de solos e deposição de sedimentos simulados pelo modelo LISEM.

Eventos de precipitação*	Desagregação pela gota de chuva	Desagregação pelo fluxo	Deposição de solo	Perdas de solo
	(t ha ⁻¹)			
15/01/2009	0,21	47,93	44,83	3,31
28/03/2009	0,14	28,25	26,86	1,53
10/12/2009	0,17	37,86	35,50	2,53
01/01/2010	0,19	48,20	44,85	3,54
20/05/2010	0,22	57,90	53,93	4,19
20/11/2010	0,28	63,10	58,40	4,98
08/03/2011	0,21	40,70	38,55	2,36
12/04/2011	0,25	55,13	51,19	4,19
12/03/2012	0,20	40,00	37,41	2,79
28/05/2012	1,18	416,16	364,86	52,48
Média	0,31	83,52	75,64	8,19

*Eventos referentes às maiores intensidades de precipitação para o período de 2009 a 2012.

Moro (2011) estudando uma bacia de 119 ha, com solos do tipo Argissolo, Cambissolo e Neossolo, cultivada com tabaco, milho, pastagem e reflorestamento com eucalipto, com áreas de mata nativa e pousio, observou uma média de 0,25 t ha⁻¹ para a desagregação pela gota de chuva e 16,86 t ha⁻¹ pelo fluxo. Takken et al. (1999) utilizando o modelo LISEM para a simulação em uma pequena bacia localizada na Bélgica com área de 290 ha, com solos siltosos cultivada com culturas anuais e hortaliças, com pequenas áreas de floresta e pastagem, também observaram uma desagregação pela gota de chuva maior em relação à desagregação pelo fluxo, sendo igual a 0,43 e 37,97 t ha⁻¹, respectivamente.

Os resultados observados estão coerentes com os obtidos para a estabilidade de agregados dos solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, o qual foi verificado agregados estáveis, principalmente nas áreas cultivadas com pastagens, que representam 50% da área da sub-bacia, o que ocasionou menores valores de desagregação pelo impacto da gota de chuva.

A maior estabilidade dos agregados proporciona maior resistência ao impacto das gotas de chuva. De acordo com Nunes & Cassol (2008), a ação de resistência à desagregação está relacionada com fatores que conferem a estabilidade dos agregados do solo. O uso e o manejo adequados constituem o principal meio de aumentar sua resistência à erosão, uma vez que eles impõem condições físicas à superfície do solo que irão interferir na ação dos agentes erosivos (VOLK et al., 2004).

Com relação às perdas de solo, o valor médio observado para a sub-bacia Jardim Novo Horizonte foi de $8,19 \text{ t ha}^{-1}$. Takken et al. (1999) observaram uma perda de solo de $38,41 \text{ t ha}^{-1}$, Hessel et al. (2003b) observaram perda de solo de $43,22 \text{ t ha}^{-1}$ e Moro (2011) observou perda de solo igual a $17,06 \text{ t ha}^{-1}$. Hessel et al. (2006) estudando duas microbacias, observaram menores valores de perda de solo, de 580 e 85 kg ha^{-1} , respectivamente.

Moro (2011) classificou as perdas de solo para cada evento analisado pelo modelo LISEM, sendo considerado que, perdas de solo menor que 1 t ha^{-1} é baixa, de 1 a 10 t ha^{-1} é média, de 10 a 100 t ha^{-1} é alta, e maior que 100 t ha^{-1} é muito alta. Considerando esta classificação, observa-se para as perdas de solo da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, que estas foram médias para 9 dos 10 eventos analisados, e alta para o evento do dia 28/05/2012. Esta alta perda de solo, observada para este evento, corresponde ao dia com maior escoamento superficial, desagregação pelo impacto da gota de chuva e pelo fluxo, sendo o evento com maior intensidade de precipitação e maior precipitação acumulada.

Para a deposição, foi observado para a sub-bacia Jardim Novo Horizonte, um valor médio igual a $75,64 \text{ t ha}^{-1}$. Takken et al. (1999) observaram um valor de deposição de $17,46 \text{ t ha}^{-1}$. Moro (2011) observou um valor de deposição de $11,85 \text{ t ha}^{-1}$. Hessel et al. (2003b) observaram valor de deposição igual a $45,05 \text{ t ha}^{-1}$.

De acordo com a classificação de Moro (2011) observa-se que a deposição de solo na sub-bacia Jardim Novo Horizonte, foram altas para 9 dos 10 eventos analisados, e muito alta para o evento do dia 28/05/2012, correspondendo aos maiores valores de desagregação dos solos ocorridas neste evento.

Observa-se para a sub-bacia Jardim Novo Horizonte alta deposição mesmo para os eventos de baixa intensidade de precipitação, confirmando o fato do assoreamento dos cursos de água para esta sub-bacia. Verifica-se que a maior parte da produção de sedimentos gerados pela desagregação ficam depositados nos leitos dos cursos de água da sub-bacia, e pequena parte é perdida para fora dela, o que caracteriza o estado de assoreamento dos seus corpos de água.

Quanto à concentração dos sedimentos gerados durante os eventos simulados pelo modelo LISEM, estes estão na Tabela 15. Estes valores se referem à concentração dos sedimentos totais, em suspensão e em arraste.

Tabela 15. Concentração dos sedimentos simulados pelo modelo LISEM.

Eventos de precipitação*	Intensidade I (mm h⁻¹)	Precipitação total (mm)	CSS média g L⁻¹	CSS máxima g L⁻¹
15/01/2009	28,96	58,05	22,49	50,60
28/03/2009	23,47	42,41	18,61	44,63
10/12/2009	21,64	56,64	20,99	48,02
01/01/2010	26,67	62,26	22,75	51,67
20/05/2010	34,90	59,46	23,47	53,50
20/11/2010	27,74	73,94	25,52	50,93
08/03/2011	19,36	76,17	15,42	47,17
12/04/2011	23,62	72,89	24,32	49,79
12/03/2012	19,05	57,18	22,09	45,56
28/05/2012	106,68	384,09	30,09	65,05

*Eventos referentes às maiores intensidades de precipitação para o período de 2009 a 2012.

Observa-se que a concentração de sedimentos está diretamente relacionada à precipitação e ao escoamento superficial, pois para os eventos com maior intensidade de precipitação e maior escoamento, foram observados as maiores concentrações de sedimentos (CSS máxima e média).

Rodrigues (2011) também observou que as maiores concentrações de sedimentos durante os eventos foram registradas naqueles de maior intensidade e volume de precipitação. De acordo com Pereira et al. (2003), a concentração de sedimentos oriundos da erosão hídrica está diretamente relacionada à precipitação e ao escoamento superficial, concordando com os resultados observados neste trabalho.

Observa-se que a produção e a deposição de sedimentos estão relacionadas com o escoamento superficial para todos os eventos analisados, pois os maiores valores de desagregação, perdas de solo, deposição e concentração de sedimentos foram superiores nos eventos com maiores valores de escoamento superficial.

Na Figura 18 está o mapa de perdas de solo da sub-bacia Jardim Novo Horizonte. De acordo com o mapa, pode-se observar que, os processos erosivos ocorrem em regiões próximas aos cursos de água.

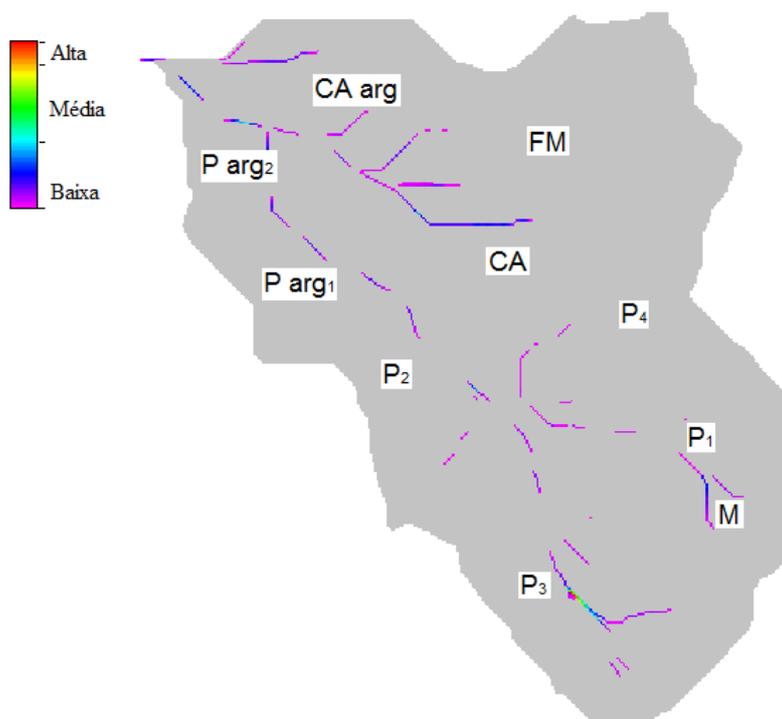


Figura 18. Mapa de perdas de solo dos resultados simulados pelo modelo LISEM.

Para todos os eventos, os processos que causam baixas perdas de solo ocorrem em toda a sub-bacia, os que causam médias perdas de solo ocorrem em pequenas áreas próximas à foz. Na parte superior, nas proximidades da nascente ocorrem entre média e alta perda de solo. No geral, a sub-bacia Jardim Novo Horizonte apresentou entre baixa e média perda de solo.

Na parte superior do mapa onde foi observada maiores perdas de solo, corresponde à área cultivada com a pastagem (P_3) no Latossolo, próxima à nascente (Figura 19a), a área próxima à foz, é cultivada com a pastagem (P_{arg2}) no Argissolo (Figura 19b), sendo observada alta e média perda de solo, respectivamente, em pequenos pontos do mapa. No período de coletas de solos não foram observadas para estas áreas indícios de erosão, mas devido à degradação de algumas propriedades físicas destas áreas, o modelo LISEM gerou um maior risco.

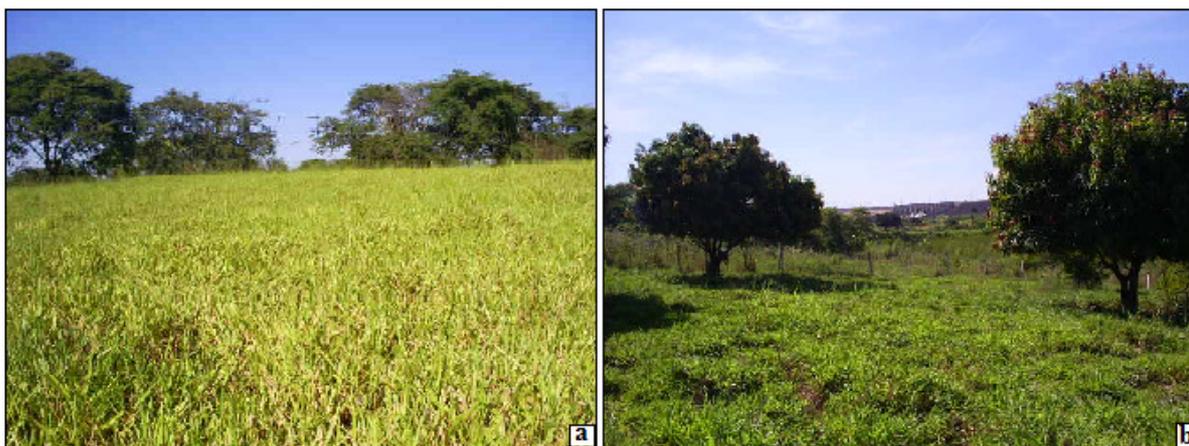


Figura 19. Locais apontados pelo mapa com alta e média perda de solo: a) pastagem (P_3) no Latossolo, b) pastagem (P_{arg_2}) no Argissolo.

Na pastagem (P_3), na qual foi observada alta perda de solo, foi verificado um dos menores valores de macroporosidade e porosidade total, maior densidade do solo, menor capacidade de armazenamento de água no solo, e menor diâmetro médio ponderado (DMP) em relação às outras pastagens, além disso, está em uma área com declividade entre 5 e 10%, e em alguns pontos, entre 10 e 15%.

De acordo com Bertoni & Lombardi Neto (2010), o tamanho e a quantidade de material arrastado pela água dependem da velocidade com que ela escorre, e esta velocidade é resultante do comprimento do lançante e do grau de declive do terreno. O maior comprimento de rampa faz com que aumente o caminho a ser percorrido, e por isso, as águas se tornam mais volumosas e a velocidade do escoamento aumenta progressivamente, e essa maior energia resultante se traduz em maior erosão (SILVA et al., 2007).

Com relação às observações durante as coletas, foi verificado somente para a área sob a pastagem (P_1) indícios de erosão, do tipo laminar, em processo inicial, e esta área no mapa está caracterizada como baixo potencial à perdas de solo, isso ocorreu devido à degradação da pastagem e manejo inadequado desta área.

Observa-se que as maiores perdas de solo apontadas pelo mapa e a observada em campo foram para as pastagens, devendo-se tomar medidas quanto ao manejo destas áreas, uma vez que representa 50% da área da sub-bacia.

Na Figura 20 está o mapa de deposição de sedimentos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, verifica-se que o processo de deposição predominou no canal fluvial e nas áreas próximas a este.

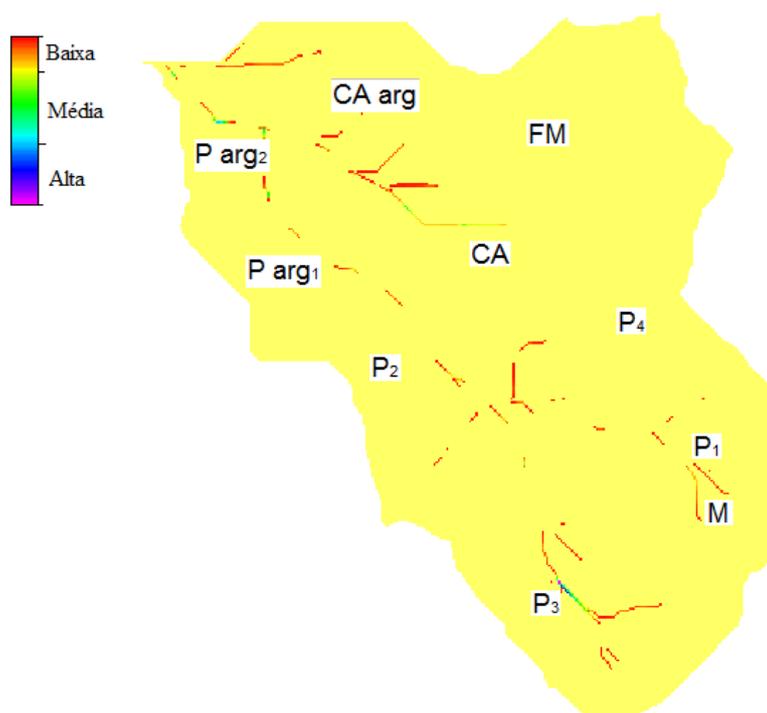


Figura 20. Mapa de deposição de solo dos resultados simulados pelo modelo LISEM.

A deposição foi baixa em toda a sub-bacia, sendo média em pequenos pontos do mapa próximos à área cultivada com cultura anual (CA) no Latossolo, entre média e alta em pequenas áreas próximas à foz na pastagem (Parg₂) no Argissolo, e alta na parte superior próxima a nascente, na pastagem (P₃) no Latossolo. Assim como para as perdas de solo, a sub-bacia Jardim Novo Horizonte apresentou valores de deposição entre baixa e média.

Observa-se que o mapa de deposição apresentou semelhanças com o mapa de perdas de solos, com exceção à área próxima à cultura anual (CA) no Latossolo, que apresentou baixas perdas de solo, porém média deposição. Esta área cultivada com milho (CA) apresentou boas condições físicas do solo, mas como já comentado, isso ocorreu devido ao preparo do solo, o que proporcionou maior macroporosidade e porosidade total. Porém,

apresentou menor valor de diâmetro médio ponderado (DMP), e a cultura ainda não havia sido implantada (Figura 21), além disso, esta apresenta declives entre 5 e 10%, e em alguns pontos, entre 10 e 15%.



Figura 21. Área cultivada com milho, no Latossolo.

Moro (2011) observou que, os mapas distribuídos de perdas de solo e deposição indicaram que os valores mais elevados estão ocorrendo nas áreas mais declivosas, e também próximas ao canal fluvial, assim como observado neste trabalho.

O modelo LISEM havia sido utilizado por outros autores em pequenas bacias, até o momento, não há relatos de sua utilização em bacias maiores. A utilização do modelo na sub-bacia Jardim Novo Horizonte foi satisfatória, pois os resultados obtidos estão coerentes com os dados das propriedades dos solos analisados. Além disso, os mapas gerados pelo modelo apontaram de forma adequada e coerente os locais suscetíveis aos processos erosivos, podendo-se afirmar que este é uma importante ferramenta para estudos diagnósticos de degradação ambiental em bacias hidrográficas, devido refletir resultados para um evento isolado de precipitação.

Vale ressaltar que não foi realizada a calibração do modelo LISEM, pois não foi objetivo do presente trabalho avaliar o modelo e sim estimar e identificar as áreas

da sub-bacia suscetíveis aos processos erosivos. Galharte (2011) utilizando o modelo SWAT, também não realizou a calibração, mas assim como observado neste trabalho, o modelo propiciou a identificação das áreas críticas relacionadas tanto ao escoamento superficial quanto à produção de sedimentos, concluindo que esses modelos de simulação podem ser utilizados na identificação das áreas vulneráveis aos efeitos indesejáveis causados por processos erosivos em bacias hidrográficas.

4.2. Sub-bacia Dois Córregos, Selvíria - MS

4.2.1. Propriedades dos solos

Na Tabela 16 estão as distribuições de tamanho de partículas e classes texturais dos solos da sub-bacia Dois Córregos, nas camadas de 0,0 a 0,10; 0,10 a 0,20 m e 0,80 a 1,0 m.

A textura foi classificada de acordo com a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SANTOS et al., 2013). Os solos da sub-bacia Dois Córregos são de textura arenosa, as classes texturais na camada de 0,0 a 0,10 m estão enquadradas na classe areia, e na camada de 0,10 a 0,20 m, estão classificadas entre areia franca para as áreas com eucalipto (E_2) e (EN_2), e a pastagem (P_1), e para as outras áreas, são classificadas como arenosa. Na camada de 0,8 a 1,0 m, estão classificadas entre areia para as áreas com os eucaliptos (E_1) e (EN_4), e areia franca para os demais usos no Latossolo. As áreas com as pastagens (P_1) e (P_3) estão classificadas como franco-arenosa confirmando que estas estão no Argissolo.

De acordo com o Mapa Pedológico do Estado de Mato Grosso do Sul (IBGE), na área de estudo constam o Latossolo e o Argissolo, em que, metade da área da sub-bacia está com Argissolo, porém pelos resultados de distribuições de tamanho de partículas verificados, somente as áreas com as pastagens (P_1) e (P_3) estão no Argissolo. Essa discrepância ocorre devido ao efeito de escala, uma vez que em estudos detalhados, como coletas em bacias hidrográficas, podem-se encontrar diferenças com o Mapa de Solos, uma vez que este apresenta escala maior.

Tabela 16. Distribuições de tamanho de partículas e classes texturais dos solos da sub-bacia Dois Córregos.

Usos e ocupações dos solos	Argila	Areia	Silte	Classes texturais
	(g kg ⁻¹)			
Camada 0,0 a 0,10 m				
Latossolo Vermelho distrófico				
P ₂	61	899	40	Areia
E ₁	60	905	35	Areia
E ₂	78	874	48	Areia
E ₃	68	899	33	Areia
EN ₁	84	883	33	Areia
EN ₂	78	877	45	Areia
EN ₃	79	875	46	Areia
EN ₄	67	886	47	Areia
Argissolo Vermelho distrófico				
P ₁	77	876	47	Areia
P ₃	61	898	41	Areia
Camada 0,10 a 0,20 m				
Latossolo Vermelho distrófico				
P ₂	72	882	46	Areia
E ₁	66	899	35	Areia
E ₂	97	857	46	Areia franca
E ₃	88	874	38	Areia
EN ₁	95	864	41	Areia
EN ₂	102	846	52	Areia franca
EN ₃	85	872	43	Areia
EN ₄	81	873	46	Areia
Argissolo Vermelho distrófico				
P ₁	98	855	47	Areia franca
P ₃	70	890	40	Areia
Camada 0,80 a 1,0 m				
Latossolo Vermelho distrófico				
P ₂	106	853	41	Areia franca
E ₁	85	875	40	Areia
E ₂	129	817	54	Areia franca
E ₃	124	826	50	Areia franca
EN ₁	122	824	54	Areia franca
EN ₂	139	805	56	Areia franca
EN ₃	131	819	50	Areia franca
EN ₄	99	855	46	Areia
Argissolo Vermelho distrófico				
P ₁	170	770	60	Franco-arenosa
P ₃	159	769	72	Franco-arenosa

Latossolo: P₂ = Pastagem, E₁ = Eucalipto, E₂ = Eucalipto, E₃ = Eucalipto, EN₁ = Eucalipto novo, EN₂ = Eucalipto novo, EN₃ = Eucalipto novo e EN₄ = Eucalipto novo. Argissolo: P₁ = Pastagem e P₃ = Pastagem.

De acordo com Bertoni & Lombardi Neto (2010), a textura do solo e o tamanho das partículas que o compõem são um dos fatores que influenciam na maior ou menor quantidade de solo arrastado pela erosão. A textura influi na capacidade de infiltração e de absorção de água da precipitação, interferindo no potencial de escoamento superficial do solo e em relação à maior ou menor coesão entre as partículas (VIERO, 2004).

Desta forma, ainda de acordo com Viero (2004), solos com textura arenosa são porosos, permitindo a rápida infiltração da água da precipitação e dificultando o escoamento superficial. Apesar disso, como possuem pequena quantidade de partículas argilosas, que atuam como uma ligação entre as partículas maiores, estes solos apresentam maior facilidade para a remoção das partículas, mesmo quando submetidos a pequenas taxas de escoamento superficial.

Com relação à porosidade, na Tabela 17 encontram-se os valores de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade dos solos da sub-bacia Dois Córregos para as camadas de 0,0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m.

Para macroporosidade houve diferença significativa somente para o Latossolo na camada de 0,0 a 0,10 m. Os maiores valores de macroporosidade no Latossolo foram observados para a área com eucalipto (E_3) na camada de 0,0 a 0,10 m. Para a camada de 0,10 a 0,20 m, os maiores valores foram observados para a área com eucalipto (E_3) e com a pastagem (P_2). No Argissolo a pastagem (P_3) apresentou os maiores valores nas duas camadas analisadas, mas não diferiu estatisticamente da pastagem (P_1). Nos dois solos, as áreas com maiores teores de areia apresentaram maior macroporosidade.

Prevedello (2012) comparando as propriedades do solo sob campo nativo e eucalipto, observou para a camada superficial, maior macroporosidade para a área cultivada com eucalipto. O mesmo afirma que, em povoamentos florestais o aporte de matéria orgânica, devido à grande quantidade de serapilheira que se acumula na superfície, favorece a ação de organismos do solo, e conseqüentemente, resulta em maior agregação e estruturação das partículas do solo, com a formação de macroporos sendo favorecida.

Tabela 17. Macroporosidade, microporosidade, porosidade total, e densidade dos solos da sub-bacia Dois Córregos.

Usos e ocupações dos solos	Macroporosidade	Microporosidade	Porosidade total	Densidade do solo
	----- (m ³ m ⁻³) -----			(kg dm ⁻³)
Camada 0,0 a 0,10 m				
Latossolo Vermelho distrófico				
P ₂	0,10 AB*	0,24 B	0,33 A	1,61 A
E ₁	0,13 AB*	0,24 B	0,37 A	1,59 A
E ₂	0,11 AB*	0,25 AB	0,36 A	1,58 A
E ₃	0,15 A*	0,24 B	0,39 A	1,58 A
EN ₁	0,12 AB*	0,25 AB	0,38 A	1,55 A
EN ₂	0,07 B*	0,28 A	0,35 A	1,62 A
EN ₃	0,08 AB*	0,27 AB	0,35 A	1,58 A
EN ₄	0,09 AB*	0,27 AB	0,36 A	1,53 A
CV (%)	16,30	7,51	7,60	4,04
Argissolo Vermelho distrófico				
P ₁	0,07 A*	0,28 A	0,35 A	1,58 A
P ₃	0,15 A*	0,22 B	0,37 A	1,50 A
CV (%)	37,92	12,55	19,99	8,48
Camada 0,10 a 0,20 m				
Latossolo Vermelho distrófico				
P ₂	0,14 A*	0,21 C	0,35 A	1,55 A
E ₁	0,12 A*	0,23 BC	0,36 A	1,61 A
E ₂	0,10 A*	0,27 AB	0,36 A	1,59 A
E ₃	0,14 A*	0,26 BC	0,39 A	1,57 A
EN ₁	0,10 A*	0,26 BC	0,36 A	1,60 A
EN ₂	0,07 A*	0,30 A	0,37 A	1,58 A
EN ₃	0,09 A*	0,26 B	0,35 A	1,60 A
EN ₄	0,11 A*	0,26 B	0,37 A	1,55 A
CV (%)	20,55	8,30	7,31	2,90
Argissolo Vermelho distrófico				
P ₁	0,08 A*	0,26 A	0,35 A	1,57 A
P ₃	0,11 A*	0,24 A	0,36 A	1,61 A
CV (%)	18,02	6,00	8,21	2,73

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

* As letras são referentes à comparação dos dados transformados para raiz quadrada.

Latossolo: P₂ = Pastagem, E₁ = Eucalipto, E₂ = Eucalipto, E₃ = Eucalipto, EN₁ = Eucalipto novo, EN₂ = Eucalipto novo, EN₃ = Eucalipto novo e EN₄ = Eucalipto novo. Argissolo: P₁ = Pastagem e P₃ = Pastagem.

De acordo com a classificação de Kiehl (1979), os valores de macroporosidade que estão abaixo dos adequados para o bom desenvolvimento das plantas são as áreas cultivadas com os eucaliptos (EN₂), (EN₃) e (EN₄) no Latossolo, na camada de 0,0 a 0,10 m, e para a camada de 0,10 a 0,20 m, as áreas com os eucaliptos (EN₂) e (EN₃). No Argissolo, a pastagem (P₁) também apresentou para as duas camadas baixos valores de macroporosidade, abaixo dos valores adequados.

Os solos arenosos possuem elevada macroporosidade, sua compactação tem que ser extremamente alta para haver redução drástica dessa porosidade (DEDECEK & GAVA, 2005). De acordo com Souza & Alves (2003), valores inferiores a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, tornam-se críticos para o crescimento e desenvolvimento radicular das plantas, contribuindo para o aumento da erosão hídrica, devido à vulnerabilidade do solo ao impacto das gotas de chuva. Além disso, Spera et al. (2006) afirmam que, a redução da macroporosidade tende a se refletir na porosidade total e no aumento da densidade do solo.

Estas áreas com eucaliptos que apresentaram menores valores de macroporosidade correspondem àquelas recém-transplantadas, e que anteriormente estavam com o solo exposto. De acordo com Volk (2002), solos desprovidos de cobertura ficam expostos à ação do impacto das gotas de chuva, podendo causar o selamento e adensamento de sua superfície, propiciando assim, a redução da macroporosidade, e conseqüentemente redução da quantidade de poros. Além disso, estas áreas haviam sido utilizadas com pastagens degradadas há alguns anos.

Para a microporosidade houve diferença significativa para o Latossolo nas duas camadas avaliadas, e para o Argissolo somente para a camada de 0,0 a 0,10 m. Observam-se maiores valores para o eucalipto (EN_2) no Latossolo e para a pastagem (P_1) no Argissolo, nas duas camadas avaliadas.

Os menores valores observados para o Latossolo foram para as áreas com eucalipto (E_1) e (E_3) e a pastagem (P_2) para a camada de 0,0 a 0,10 m, e a área com a pastagem (P_2), na camada de 0,10 a 0,20 m. No Argissolo, o menor valor foi observado para a pastagem (P_3), nas duas camadas. Nos dois solos, as áreas com maiores teores de areia apresentaram menor microporosidade, e devido os solos da sub-bacia Dois Córregos serem arenosos, os valores de microporosidade foram baixos.

Com relação à porosidade total, não houve diferença significativa. Os valores foram próximos nas duas classes de solos, além disso, observa-se que todos os usos estão abaixo das condições ideais, que de acordo com Kiehl (1979) deve ser de $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

As alterações causadas na porosidade do solo, além de modificar as taxas de trocas gasosas, alteram a disponibilidade de água para as plantas (FERREIRA et al., 2010). Além disso, de acordo com Reichert et al. (2007), a redução da porosidade ocorre nos macroporos, que são responsáveis pela permeabilidade do solo.

Quanto à densidade do solo, os valores não diferiram estatisticamente entre si nas duas classes de solos, e foram próximos para todos os usos. Para Reinert & Reichert (2006), valores de densidade do solo associados ao estado de compactação com alta probabilidade de oferecer riscos ao desenvolvimento das plantas, situa-se em torno de $1,65 \text{ kg dm}^{-3}$ para solos arenosos, assim, as áreas cultivadas com a pastagem (P_2) e o eucalipto (EN_2) no Latossolo na camada de 0,0 a 0,10 m, o eucalipto (E_1) no Latossolo e a pastagem (P_3) no Argissolo na camada de 0,10 a 0,20 m merecem atenção quanto ao manejo, pois estão próximas deste risco. De acordo com Ferreira et al. (2010), a maior densidade do solo nas áreas do cerrado é decorrente do efeito do pisoteio do gado e do uso de máquinas agrícolas.

Martins et al. (2002) observaram que, as camadas compactadas nos povoamentos de eucaliptos possivelmente ocorreram por ocasião do preparo do solo na área onde foram implantados, permanecendo ao longo dos anos. Estes povoamentos florestais não são capazes de recuperar a condição natural do solo. Estas camadas compactadas influenciam negativamente no crescimento do sistema radicular das plantas, na absorção de nutrientes pelo impedimento do fluxo de água no solo, além de reduzir a disponibilidade de água (menor armazenamento).

A área cultivada com a pastagem (P_3), na camada de 0,0 a 0,10 m, apresentou menor valor de densidade do solo, e os maiores valores de macroporosidade e porosidade total, porém, esta área apresenta compactação subsuperficial, pois a densidade do solo está próxima ao risco de compactação na camada de 0,10 a 0,20 m, apresentando o maior valor de densidade do solo para esta camada.

Pires et al. (2006) também observaram em sistema de pastagem plantada, maiores valores de densidade do solo na camada 0,10 a 0,20 m, e que isso ocorreu devido ao efeito do pisoteio de animais, o que é atenuado em profundidades maiores. As condições físicas de subsuperfície também são importantes, pois influenciam o movimento de água e gases no seu interior, e conseqüentemente, o escoamento superficial, crescimento inicial das raízes e desenvolvimento posterior das plantas (VOLK et al., 2004).

A estrutura original do solo é modificada sempre que este sofre intervenção antrópica, portanto, um dado conjunto de medidas adotado pelo produtor resultará em diferentes níveis de qualidade da estrutura do solo manejado, estes diferentes níveis de qualidade da estrutura do solo estão relacionados com maior ou menor resistência ao processo

erosivo. O processo de recuperação da estrutura do solo é muito difícil, e de resposta lenta, isso se faz com práticas mecânicas e biológicas associadas, visando criar condições para que o solo volte a garantir boa cobertura vegetal (VOLK, 2002).

A área cultivada com a pastagem (P_1) apresentou baixos valores de macroporosidade, com $0,07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e porosidade total, com $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, e densidade do solo de $1,58 \text{ kg dm}^{-3}$, apresentando restrições ao desenvolvimento das plantas sob estas condições, e para esta área também foi verificado durante as coletas de campo, que além do grau de degradação da pastagem (Figura 22a), esta apresenta erosão em sulcos em diversos pontos em estágio avançado (Figura 22b).

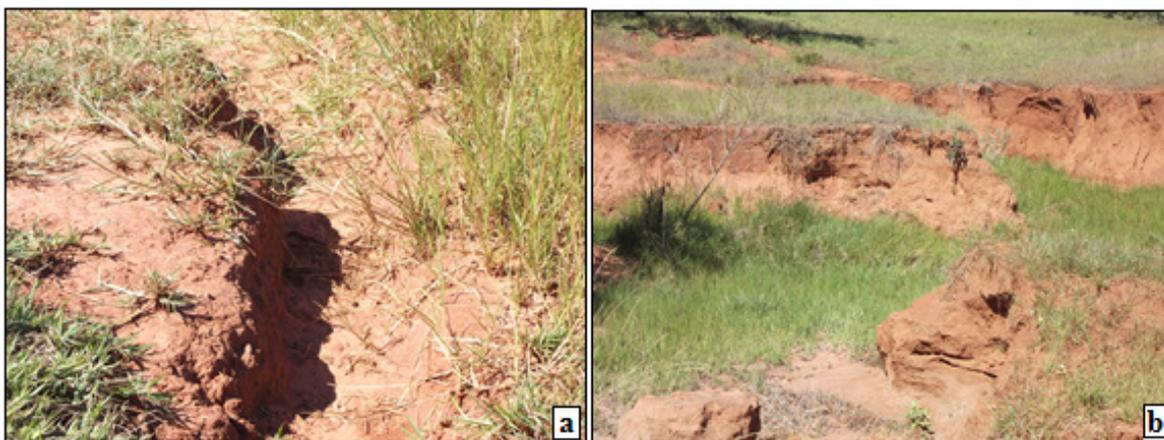


Figura 22. Área cultivada com pastagem (P_1): a) pastagem degradada, b) erosão em sulcos.

Domingues et al. (1998) observaram que, a origem de uma parte das ocorrências de erosão em sulcos, rasos e extensos foi atribuída ao pisoteio do gado. Endres et al. (2006), também observaram processos erosivos intensos de erosão em sulcos em áreas sob pastagem, com presença mais marcante nas pastagens cultivadas. Os mesmos afirmam que, as pastagens são unidades vegetais que melhoram as condições estruturais do solo e diminuem o processo erosivo pelo aumento da superfície rugosa, entretanto, esses benefícios somente são observados quando essa cultura é conduzida adequadamente.

Para Bertoni & Lombardi Neto (2010), as pastagens, embora em intensidade um pouco menor que as florestas, fornecem grande proteção ao solo contra a erosão, e seu manejo pode afetar grandemente seu valor como cobertura do solo contra a

erosão. Para um adequado manejo das pastagens, ainda de acordo com os mesmos, algumas medidas devem ser tomadas, como manter a fertilidade do solo em nível adequado para o desenvolvimento das pastagens, evitar o superpastejo, e em pastos recém estabelecidos, não devem ser pastoreados até que as plantas tenham desenvolvido um sistema radicular que permita suportar o pisoteio.

De acordo com Cantalice et al (2005), a erosão em sulcos constitui a segunda fase evolutiva do processo físico da erosão hídrica, que é marcada pela mudança da forma do escoamento, de difuso, sobre a superfície do solo, para a concentração do fluxo em pequenas depressões da superfície do solo. Quando isso ocorre, a lâmina de escoamento desenvolve maior tensão de cisalhamento pelo aumento de espessura, elevando a capacidade do escoamento em desagregar o solo.

Bertoni & Lombardi Neto (2010) afirmam que, na sua fase inicial, os sulcos podem ser desfeitos com as operações normais de preparo do solo, porém em fase mais avançada dificultam o trabalho de máquinas agrícolas. Os mesmos complementam que, estes resultam em sérios prejuízos para a produtividade do solo.

Na Tabela 18 estão os valores da capacidade de armazenamento de água nos solos da sub-bacia Dois Córregos, nas camadas de 0,0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m. Houve diferença significativa somente para a camada de 0,0 a 0,10 m para as duas classes de solos. No Latossolo os maiores valores de armazenamento de água no solo foram observados para a pastagem (P_2), e no Argissolo os maiores valores foram observados para a pastagem (P_1), nas duas camadas analisadas. Estas áreas que apresentaram os maiores valores de armazenamento de água, também apresentaram maior microporosidade.

Observam-se baixos valores de capacidade de armazenamento de água nos solos devido estes serem de textura arenosa. Dentre os fatores que afetam o armazenamento de água no solo, a textura e a estrutura são os principais. Prevedello (2012) observou maior armazenamento nas áreas com maior quantidade de poros. Diante disso, outro fator que pode ter ocasionado o baixo armazenamento de água nos solos da sub-bacia Dois Córregos, além da textura, foi devido à baixa porosidade total observada em todos os usos, pois a baixa porosidade proporciona menor permeabilidade ocasionando menor disponibilidade de água para ser armazenada.

Tabela 18. Capacidade de armazenamento de água dos solos da sub-bacia Dois Córregos.

Usos e ocupações dos solos	Capacidade de armazenamento de água no solo (mm)	
	0,0 a 0,10 m	0,10 a 0,20 m
Latossolo Vermelho distrófico		
P ₂	8,95 A	7,62 A*
E ₁	6,73 AB	7,50 A*
E ₂	8,74 A	7,06 A*
E ₃	5,73 AB	6,48 A*
EN ₁	4,85 B	5,02 A*
EN ₂	5,52 AB	5,13 A*
EN ₃	4,81 B	4,86 A*
EN ₄	6,98 AB	6,90 A*
CV (%)	27,24	17,03
Argissolo Vermelho distrófico		
P ₁	10,57 A	10,83 A*
P ₃	7,95 B	8,32 A*
CV (%)	13,69	19,75

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

* As letras são referentes à comparação dos dados transformados para raiz quadrada.

Latossolo: P₂ = Pastagem, E₁ = Eucalipto, E₂ = Eucalipto, E₃ = Eucalipto, EN₁ = Eucalipto novo, EN₂ = Eucalipto novo, EN₃ = Eucalipto novo e EN₄ = Eucalipto novo. Argissolo: P₁ = Pastagem e P₃ = Pastagem.

Com relação à dinâmica de água em uma bacia, o baixo armazenamento de água no solo desta tem como consequência dois aspectos, primeiro relacionado à cobertura vegetal, pois a menor disponibilidade de água para a vegetação causa baixo desenvolvimento, proporcionando pouca proteção à superfície do solo. Além disso, quanto menor a capacidade de um solo em armazenar água, maior será o escoamento superficial deste.

Na Tabela 19 estão os valores de percentagem de cada classe de agregados para os solos da sub-bacia Dois Córregos, nas camadas de 0,0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m. Para a classe de agregados, entre 6 a 4 mm, foi observado para as pastagens (P₂) no Latossolo e (P₁) no Argissolo maiores valores, porém estes valores foram próximos entre os diferentes usos. Observa-se para todos os usos, que estes apresentaram maior percentagem nesta classe de tamanho, podendo-se afirmar que o eucalipto propiciou a formação de agregados maiores apresentando valores próximos às áreas cultivadas com pastagens.

Tabela 19. Percentagem das classes de agregados estáveis em água para os solos da sub-bacia Dois Córregos.

Usos e ocupações dos solos	Classes de agregados (mm)					
	6 a 4 mm	4 a 2 mm	2 a 1 mm	1 a 0,5 mm	0,5 a 0,25 mm	<0,25 mm
Camada 0,0 a 0,10 m						
----- % -----						
Latossolo Vermelho distrófico						
P ₂	91,22 A	5,26 A*	0,34 A*	0,25 A*	0,46 A*	2,46 B*
E ₁	84,39 A	9,09 A*	1,14 A*	1,20 A*	0,94 A*	3,24 AB*
E ₂	83,94 A	8,31 A*	0,74 A*	0,65 A*	0,89 A*	5,47 A*
E ₃	81,58 A	10,39 A*	0,67 A*	0,74 A*	1,23 A*	5,39 A*
EN ₁	88,78 A	6,69 A*	0,34 A*	0,37 A*	0,59 A*	3,23 AB*
EN ₂	88,02 A	5,96 A*	0,39 A*	0,71 A*	0,83 A*	4,08 AB*
EN ₃	81,13 A	13,57 A*	0,70 A*	0,53 A*	0,73 A*	3,34 AB*
EN ₄	87,56 A	7,61 A*	0,37 A*	0,37 A*	0,68 A*	3,40 AB*
CV (%)	7,14	23,54	42,97	45,28	25,25	17,64
Argissolo Vermelho distrófico						
P ₁	91,44 A	3,29 B*	0,28 B*	0,23 B*	1,41 A*	3,35 B*
P ₃	83,36 B	9,61 A*	0,68 A*	0,66 A*	0,95 A*	4,73 A*
CV (%)	5,29	20,53	24,10	33,16	64,52	20,90
Camada 0,10 a 0,20 m						
----- % -----						
Latossolo Vermelho distrófico						
P ₂	93,18 A	3,55 B*	0,31 B*	0,22 B*	0,53 B*	2,20 B*
E ₁	79,91 AB	11,21 A*	1,42 AB*	1,29 AB*	1,72 AB*	4,44 AB*
E ₂	78,96 B	9,27 A*	1,92 A*	1,85 AB*	2,31 AB*	5,69 A*
E ₃	81,36 AB	7,43 AB*	1,33 AB*	2,15 A*	2,41 A*	5,31 A*
EN ₁	84,60 AB	6,93 AB*	1,32 AB*	1,72 AB*	1,50 AB*	3,92 AB*
EN ₂	82,38 AB	7,28 AB*	1,40 AB*	1,76 AB*	2,26 A*	4,92 A*
EN ₃	88,38 AB	6,42 AB*	0,61 AB*	0,61 AB*	0,94 AB*	3,04 AB*
EN ₄	90,17 AB	5,55 AB*	0,32 B*	0,32 AB*	0,58 B*	3,05 AB*
CV (%)	7,90	20,09	39,81	46,55	36,17	16,82
Argissolo Vermelho distrófico						
P ₁	93,35 A	3,15 B*	0,20 B*	0,19 B*	0,43 B*	2,68 A*
P ₃	81,12 B	9,52 A*	1,13 A*	0,86 A*	1,46 A*	5,91 A*
CV (%)	5,70	18,26	37,59	41,66	27,20	27,53

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

* As letras são referentes à comparação dos dados transformados para raiz quadrada.

Latossolo: P₂ = Pastagem, E₁ = Eucalipto, E₂ = Eucalipto, E₃ = Eucalipto, EN₁ = Eucalipto novo, EN₂ = Eucalipto novo, EN₃ = Eucalipto novo e EN₄ = Eucalipto novo. Argissolo: P₁ = Pastagem e P₃ = Pastagem.

De acordo com Lima (1996), os plantios florestais com eucalipto são responsáveis por melhorias nas condições de solo, que conseqüentemente, beneficia as suas propriedades físicas. O mesmo complementa que, que o eucalipto promove uma maior macro agregação do solo em comparação com áreas agrícolas e outras espécies florestais.

Na Tabela 20 estão os valores de diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados estáveis em água para os solos da sub-bacia Dois Córregos, para as camadas de 0,0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m. Houve diferença significativa somente para a camada de 0,10 a 0,20 m, nas duas classes de solos.

Tabela 20. Diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados estáveis em água para os solos da sub-bacia Dois Córregos.

Usos e ocupações dos solos	Diâmetro médio ponderado (mm)	
	0,0 a 0,10 m	0,10 a 0,20 m
Latossolo Vermelho distrófico		
P ₂	4,73 A	4,78 A
E ₁	4,53 A	4,38 AB
E ₂	4,47 A	4,28 B
E ₃	4,42 A	4,34 AB
EN ₁	4,65 A	4,48 AB
EN ₂	4,60 A	4,39 AB
EN ₃	4,48 A	4,63 AB
EN ₄	4,62 A	4,69 AB
CV (%)	3,92	5,27
Argissolo Vermelho distrófico		
P ₁	4,69 A	4,77 A
P ₃	4,48 A	4,38 B
CV (%)	3,90	4,14

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

Latossolo: P₂ = Pastagem, E₁ = Eucalipto, E₂ = Eucalipto, E₃ = Eucalipto, EN₁ = Eucalipto novo, EN₂ = Eucalipto novo, EN₃ = Eucalipto novo e EN₄ = Eucalipto novo. Argissolo: P₁ = Pastagem e P₃ = Pastagem.

Os maiores valores de diâmetro médio ponderado (DMP) foram observados para as pastagens (P₂) no Latossolo e (P₁) no Argissolo para as duas camadas avaliadas. No geral, os valores estão próximos para todos os usos nas duas classes de solos, devido aos maiores valores na classe de agregados de maior tamanho verificados para todos os usos. Os solos da sub-bacia Dois Córregos são estáveis em água, pois para todos os usos foram observados valores de DMP maiores que 4 mm.

Kato et al. (2010) também observaram o mesmo, estudando um Latossolo sob diferentes coberturas. Os mesmos observaram alta estabilidade dos agregados nas áreas de pastagem e eucalipto, verificando valores próximos entre os dois usos.

As gramíneas bem manejadas atuam na agregação do solo principalmente pela renovação periódica do sistema radicular e pela uniformidade de distribuição dos exsudados no solo, que estimulam a atividade microbiana, cujos produtos atuam na formação e estabilização dos agregados (SILVA & MIELNICZUK, 1997).

No caso do eucalipto, de acordo com Kato et al. (2010), o que favorece a formação de agregados estáveis, é a contribuição da serapilheira, uma vez que, nas florestas de eucaliptos, grande quantidade de material orgânico não decomposto fica sobre a superfície do solo, sendo posteriormente decomposto e fornecido ao solo.

Na Tabela 21 encontram-se os valores dos teores de água nos solos antecedente às avaliações de infiltração de água e condutividade hidráulica saturada para as camadas de 0,0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m. Os valores de teor de água no solo antecedente às avaliações foram baixos em todos os usos e ocupações.

Tabela 21. Teores de água nos solos antecedente às avaliações de infiltração de água e condutividade hidráulica do solo saturado.

Usos e ocupações dos solos	Teores de água nos solos ($m^3 m^{-3}$)	
	0,0 a 0,10 cm	0,10 a 0,20 m
Latossolo Vermelho distrófico		
P ₂	0,04	0,05
E ₁	0,03	0,04
E ₂	0,04	0,06
E ₃	0,07	0,04
EN ₁	0,04	0,06
EN ₂	0,12	0,08
EN ₃	0,09	0,14
EN ₄	0,05	0,06
Argissolo Vermelho distrófico		
P ₁	0,07	0,08
P ₃	0,05	0,06

Latossolo: P₂ = Pastagem, E₁ = Eucalipto, E₂ = Eucalipto, E₃ = Eucalipto, EN₁ = Eucalipto novo, EN₂ = Eucalipto novo, EN₃ = Eucalipto novo e EN₄ = Eucalipto novo. Argissolo: P₁ = Pastagem e P₃ = Pastagem.

Na Tabela 22 encontram-se os valores de taxa constante de infiltração de água no solo e condutividade hidráulica do solo saturado para os solos da sub-bacia Dois Córregos, nas suas superfícies. Houve diferença significativa para a taxa constante de infiltração somente para o Latossolo. De acordo com a classificação de Soil Survey Staff

(1993) (Anexo 2), a taxa constante de infiltração foi rápida para a pastagem (P₂) e para os eucaliptos (EN₁), (EN₂), (EN₃) e (EN₄) no Latossolo, moderada à rápida para as pastagens (P₁) e (P₃) no Argissolo, e moderada para os eucaliptos (E₁), (E₂) e (E₃) no Latossolo.

Tabela 22. Taxa constante de infiltração e condutividade hidráulica do solo saturado, para os solos da sub-bacia Dois Córregos, nas suas superfícies.

Usos e ocupações dos solos	Taxa constante de infiltração (cm h ⁻¹)	Condutividade hidráulica (cm h ⁻¹)
Latossolo Vermelho distrófico		
P ₂	70,39 A*	21,84 A*
E ₁	10,07 B*	6,72 B*
E ₂	11,56 B*	3,40 B*
E ₃	9,73 B*	3,32 B*
EN ₁	34,61 AB*	12,84 AB*
EN ₂	48,58 AB*	19,08 AB*
EN ₃	49,76 AB*	25,48 A*
EN ₄	45,82 AB*	23,24 A*
CV (%)	38,60	40,83
Argissolo Vermelho distrófico		
P ₁	18,21 A*	7,40 A*
P ₃	21,65 A*	10,72 A*
CV (%)	58,50	67,39

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

* As letras são referentes à comparação dos dados transformados para raiz quadrada.

Latossolo: P₂ = Pastagem, E₁ = Eucalipto, E₂ = Eucalipto, E₃ = Eucalipto, EN₁ = Eucalipto novo, EN₂ = Eucalipto novo, EN₃ = Eucalipto novo e EN₄ = Eucalipto novo. Argissolo: P₁ = Pastagem e P₃ = Pastagem.

Para a condutividade hidráulica do solo saturado houve diferença significativa somente para o Latossolo. A condutividade hidráulica saturada foi classificada como rápida para o eucalipto (EN₃) no Latossolo, moderada à rápida nos eucaliptos (EN₁), (EN₂) e (EN₄) no Latossolo, moderada para as pastagens (P₁) e (P₃) no Argissolo e o eucalipto (E₁) no Latossolo, e lenta a moderada para os eucaliptos (E₂) e (E₃) no Latossolo, de acordo com a classificação de Soil Survey Staff (1993) (Anexo 2).

Com relação à infiltração acumulada, na Figura 23 estão apresentados os gráficos da infiltração média acumulada em função do tempo para a superfície do solo. No geral, os valores da correlação R², estão próximos de 1, o que mostra um bom ajuste da curva aos pontos experimentais.

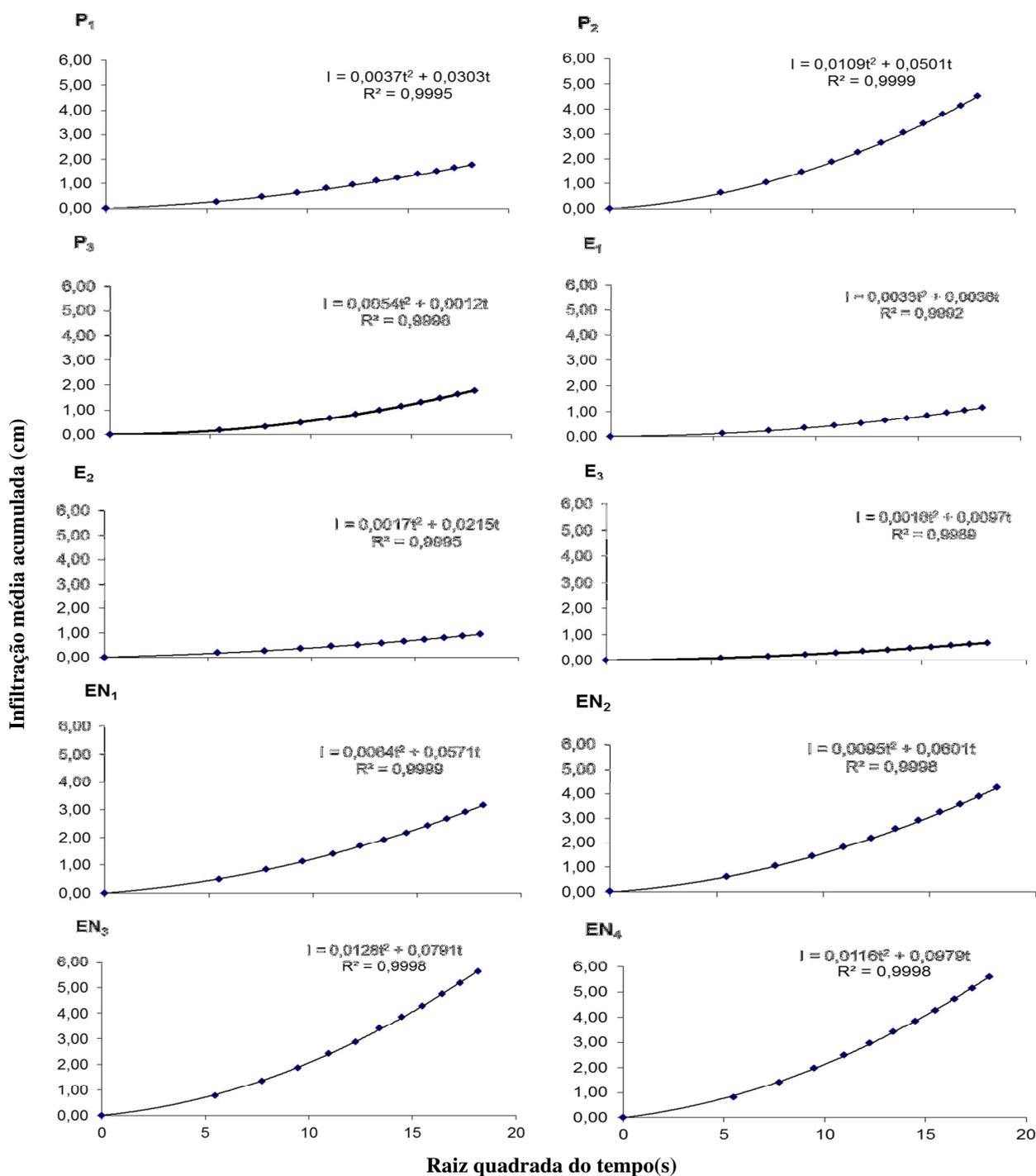


Figura 23. Infiltração média acumulada (cm) em função da raiz quadrada do tempo (s), para o os solos da sub-bacia Dois Córregos, sendo os usos no Latossolo – pastagem (P₂), eucaliptos com 5 anos (E₁), (E₂), (E₃) e eucaliptos aos 6 meses (EN₁), (EN₂), (EN₃) e (EN₄), e no Argissolo – as pastagens (P₁) e (P₃).

A pastagem (P₂) no Latossolo apresentou a maior taxa de infiltração de água no solo e um dos maiores valores de condutividade hidráulica saturada e infiltração acumulada. Esta área apresentou o menor valor de porosidade total e um dos maiores valores de densidade do solo, porém, devido ao maior diâmetro médio ponderado (DMP) e um dos maiores teores de areia, esta apresentou taxa de infiltração rápida. Suzuki et al. (2012) também observaram para uma área cultivada com eucalipto, em que apresentou maior valor de condutividade hidráulica saturada mesmo apresentando baixa macroporosidade e alta densidade do solo.

De acordo com Mesquita & Moraes (2004), isso ocorre devido a presença de um megaporo, que afetará pouco a macroporosidade, mas muito a condutividade hidráulica saturada, pois promove maior continuidade dos poros, proporcionando maior permeabilidade.

Pode-se observar que, em estudos diagnósticos de suscetibilidade à erosão e perdas de solo, uma característica isolada não explica ou pouco diz sobre este processo complexo, devendo-se levar em consideração à ação de todas as propriedades do solo em conjunto. De acordo com Reichert et al. (2007), é importante que se avalie não apenas uma propriedade física do solo, mas o conjunto delas que possam auxiliar no diagnóstico do solo, evitando dessa forma, conclusões ou interpretações errôneas.

Observa-se que as áreas cultivadas com eucalipto recém transplantado apresentaram maiores valores de taxa constante de infiltração, infiltração acumulada e condutividade hidráulica saturada, em relação as outras áreas cultivadas com eucalipto. Isso ocorreu devido ao efeito do preparo do solo, que havia sido realizado recentemente. De acordo com Volk et al. (2004), o preparo convencional do solo, na condição de recém efetuado, induz a maior rugosidade superficial, e com isso, maior capacidade de infiltração, resultando em retardamento do escoamento superficial.

Os menores valores de taxa constante de infiltração, condutividade hidráulica saturada e infiltração acumulada, foram observadas para as áreas cultivadas com eucalipto de 5 anos, sendo o eucalipto (E₃) a área que apresentou os menores valores. Esta área apresentou os maiores valores de macroporosidade e porosidade total, porém, o menor valor

de diâmetro médio ponderado (DMP), e, além disso, por ser um solo arenoso, apresenta menor estabilidade, lhe proporcionando maior suscetibilidade à erosão.

As áreas cultivadas com eucalipto de 5 anos foram cultivadas anteriormente com pastagens mal manejadas que ficaram ao longo do tempo degradadas. Essa degradação associada às características do solo proporciona maiores condições para que ocorram processos erosivos, sendo a causa da formação da voçoroca presente neste local (Figura 24) e do assoreamento dos canais.

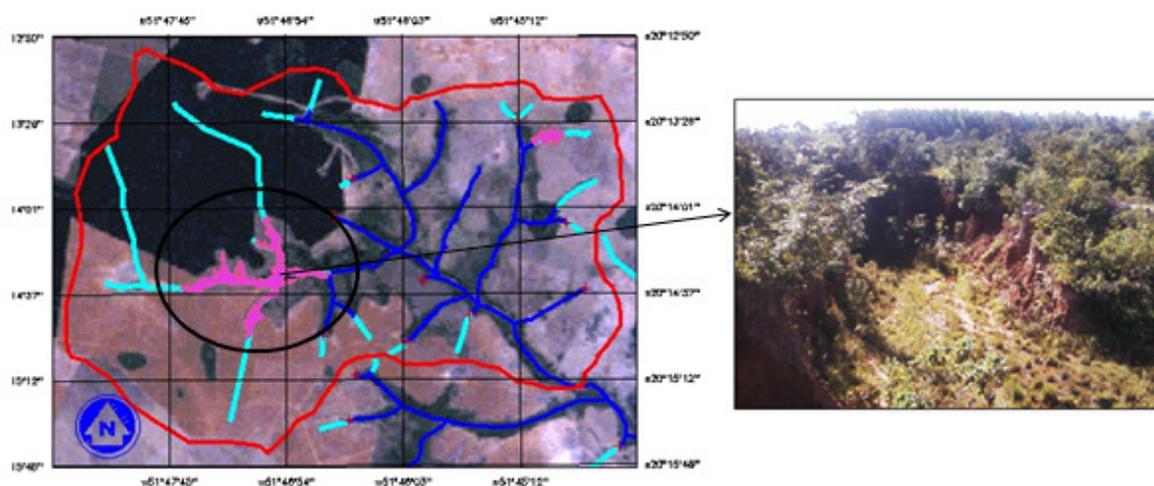


Figura 24. Voçoroca próxima às áreas cultivadas com eucalipto de 5 anos.

O cultivo de eucalipto melhorou as condições desta área, uma vez que este proporciona melhor cobertura ao solo. Segundo Suzuki et al. (2012), o eucalipto apresenta grande potencial para recuperação da estrutura do solo, pois os mesmos observaram características físicas semelhantes à floresta.

Gomez et al. (2003) estudando uma pequena bacia com 29 km² na Nova Zelândia, relatam que a erosão foi aumentada com a conversão da área de mata para pasto e que 48% dos sedimentos gerados pela erosão entre 1950 e 1988 foi armazenada ao longo do canal. Esta situação foi amenizada pelo reflorestamento que começou em 1962 e a quantidade de sedimentos diminuiu 62% quando a floresta se tornou estabelecida.

De acordo com Valentin et al. (2005), mesmo sob cobertura vegetal, estas áreas com voçorocas levam um longo tempo para serem recuperadas. Para Bertoni &

Lombardi Neto (2010), o controle da voçoroca, além de difícil é muito caro, sendo essencial efetuar as medidas para prevenir a sua formação. A maioria dos trabalhos de controle de voçorocas consiste em estabilizar a superfície das grotas por meio da vegetação. Uma voçoroca recuperará uma cobertura vegetativa natural se for protegida adequadamente e se estiver em uma área cuja vegetação cresça rapidamente.

Os mesmos complementam que, todos os sistemas de controle de voçorocas se baseiam no estabelecimento de uma vegetação protetora, porém, quando em estágio de erosão avançado, é mais difícil conseguir a cobertura vegetal necessária, devido a declividade ser alta e a superfície do solo ter sido desgastada e sofrido com impactos das gotas de chuva que produziram condições adversas à sobrevivência de plantas.

Nestas áreas são necessárias outras formas de recuperação, como por exemplo, a bioengenharia de solos com a combinação de recomposição da vegetação e a utilização de estruturas para conter os processos erosivos. Segundo Holanda et al. (2008), a bioengenharia de solos destaca-se como método facilitador do desenvolvimento da vegetação além de ser eficiente como ferramenta para diminuição na taxa de erosão.

De acordo com Guerra et al. (2010), essas voçorocas ramificadas, como é o caso desta presente próxima à nascente da sub-bacia Dois Córregos, estão relacionadas com as cabeceiras de drenagem. Na região dos cerrados, a estabilidade das encostas vem sendo comprometida pelos processos erosivos relacionados com a água da precipitação, desde o escoamento laminar, assim como, pelo escoamento em fluxo concentrado, ocasionando erosão nas vertentes recobertas em sua maioria pela pastagem degradada, e estas profundas e enormes voçorocas ativam as frentes erosivas remontantes nas cabeceiras de drenagem.

Resende et al. (2007) complementa que, as bacias no domínio dos Latossolos, em relevo plano e suave ondulado apresentam uma rede de drenagem mais espaçadas em razão da menor densidade de drenagem, entretanto nas bordas das chapadas desses domínios a dissecação é severa. Nestas áreas a erosão é remontante, ou seja, a erosão é muito intensa e a rocha está próxima à superfície, o que evidencia a instabilidade dos solos o que coloca em risco as cabeceiras dos rios.

Na Tabela 23 encontram-se os valores de taxa constante de infiltração de água no solo e condutividade hidráulica do solo saturado para os solos da sub-bacia Dois Córregos nas profundidades de 0,10 e 0,20 m.

Tabela 23. Taxa constante de infiltração e condutividade hidráulica do solo saturado, para os solos da sub-bacia Dois Córregos, nas profundidades de 0,10 e 0,20 m.

Usos e ocupações dos solos	Taxa constante de infiltração (cm h ⁻¹)		Condutividade hidráulica (cm h ⁻¹)	
	0,10 m	0,20 m	0,10 m	0,20 m
Latossolo Vermelho distrófico				
P ₂	0,81 A*	1,06 AB*	0,74 A*	0,70 A*
E ₁	1,06 A*	2,13 A*	0,82 A*	0,32 A*
E ₂	0,72 A*	1,00 B*	0,50 A*	0,74 A*
E ₃	0,85 A*	1,46 AB*	0,48 A*	0,72 A*
EN ₁	0,83 A*	1,08 AB*	0,35 A*	2,02 A*
EN ₂	0,54 A*	0,85 B*	0,14 A*	0,71 A*
EN ₃	0,68 A*	0,82 B*	0,94 A*	1,47 A*
EN ₄	0,98 A*	1,31 AB*	2,10 A*	1,15 A*
CV (%)	21,34	21,08	68,22	61,32
Argissolo Vermelho distrófico				
P ₁	0,22 B*	0,23 B*	0,51 A*	0,12 B*
P ₃	1,02 A*	1,13 A*	0,85 A*	0,85 A*
CV (%)	38,75	33,79	61,51	39,97

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

* As letras são referentes à comparação dos dados transformados para raiz quadrada.

Latossolo: P₂ = Pastagem, E₁ = Eucalipto, E₂ = Eucalipto, E₃ = Eucalipto, EN₁ = Eucalipto novo, EN₂ = Eucalipto novo, EN₃ = Eucalipto novo e EN₄ = Eucalipto novo. Argissolo: P₁ = Pastagem e P₃ = Pastagem.

Para a taxa constante de infiltração, houve diferença significativa somente para o Argissolo na profundidade de 0,10 m, e para as duas classes de solos para a profundidade de 0,20 m. De acordo com a classificação de Soil Survey Staff (1993), a taxa constante de infiltração foi muito lenta para a pastagem (P₁) e lenta para os demais usos nas duas profundidades.

Com relação à condutividade hidráulica do solo saturado, houve diferença significativa somente para o Argissolo na profundidade de 0,20 m, esta foi na profundidade de 0,10 m, muito lenta para os eucaliptos (E₃), (EN₁) e (EN₂) no Latossolo e

lenta para os demais usos, na profundidade de 0,20 m, foi muito lenta para o eucalipto (E₁) no Latossolo e para a pastagem (P₁) no Argissolo, e lenta para os demais usos.

A área cultivada com a pastagem (P₃) no Argissolo apresentou maior permeabilidade para a superfície e nas profundidades de 0,10 e 0,20 m em relação à pastagem (P₁), e isso é preocupante, pois esta área, como comentado, apresenta erosão em estágio avançado, devido à degradação de suas propriedades físicas.

Do ponto de vista de física do solo os diferentes usos e manejos apresentaram valores semelhantes para macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, observando que para estas propriedades, os solos da sub-bacia Dois Córregos estão em processo de degradação. Para o diâmetro médio ponderado (DMP), os valores também estão próximos em todos os usos, e são solos estáveis em água, pois apresentaram maiores valores na classe de agregados de maior tamanho.

Os solos da sub-bacia Dois Córregos possuem baixa capacidade de armazenamento de água, porém boa permeabilidade, sendo mais permeáveis em relação aos solos da sub-bacia Jardim Novo Horizonte, devido a textura arenosa, e isso é importante, pois a degradação dos solos desta sub-bacia é maior, apresentado baixos valores de porosidade total e altos valores de densidade do solo, sendo estes abaixo dos valores adequados para o bom desenvolvimento das plantas.

Na Tabela 24 encontram-se os atributos químicos dos solos da sub-bacia Dois Córregos para as camadas de 0,0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m. Os resultados foram classificados de acordo com Raij et al. (2001) (Anexo 3).

Os valores de pH foram muito baixos para os eucaliptos (E₁), (E₂), (E₃), (EN₁) e (EN₃) para o Latossolo e para a pastagem (P₃) no Argissolo, e baixo para os demais usos na camada de 0,0 a 0,10 m. Para a camada de 0,10 a 0,20 m, foram muito baixos para os eucaliptos (E₁), (E₂) e (E₃) no Latossolo e para a pastagem (P₃) no Argissolo, e baixo para os demais usos.

Tabela 24. Atributos químicos dos solos da sub-bacia Dois Córregos.

Uso do Solo	pH CaCl ₂	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³ mmol _c dm ⁻³	H+Al	SB	CTC	V %
0,0 – 0,10 m											
Latossolo Vermelho distrófico											
P ₂	4,35 AB	14 A	4 A	1,0 A*	6 AB*	3 AB*	4 AB*	21 A	10 AB*	31 A	31 AB
E ₁	4,16 AB	11 A	4 A	1,0 A*	3 B*	2 AB*	8 AB*	25 A	6 BC*	31 A	19 B
E ₂	4,08 B	14 A	4 A	0,6 A*	2 B*	1 B*	10 A*	31 A	4 C*	35 A	12 C
E ₃	4,15 AB	16 A	4 A	0,9 A*	2 B*	2 AB*	7 AB*	26 A	5 BC*	31 A	17 BC
EN ₁	4,12 AB	14 A	4 A	1,0 A*	2 B*	2 AB*	7 AB*	25 A	5 BC*	30 A	16 BC
EN ₂	4,60 A	16 A	4 A	0,8 A*	7 A*	4 A*	2 B*	20 A	12 A*	32 A	35 A
EN ₃	4,19 AB	13 A	4 A	0,6 A*	4 AB*	4 A*	6 AB*	25 A	8 AB*	33 A	24 AB
EN ₄	4,36 AB	14 A	4 A	0,3 A*	5 AB*	3 AB*	6 AB*	22 A	9 AB*	30 A	28 AB
CV (%)	5,57	20,70	13,52	25,50	24,06	23,17	26,07	25,11	17,98	19,93	32,28
Argissolo Vermelho distrófico											
P ₁	4,51 A	13 A	4 A	0,8 A*	7 A*	4 A*	3 A*	19 A	12 A*	31 A	36 A
P ₃	3,99 B	9 A	3 A	0,7 A*	2 B*	1 B*	5 A*	21 A	5 B*	26 A	18 B
CV (%)	4,77	25,64	19,64	25,69	26,66	21,09	30,03	15,92	23,33	17,82	32,86
0,10 – 0,20 m											
Latossolo Vermelho distrófico											
P ₂	4,40 AB	15 A	5 A	1,0 A*	5 A*	4 A*	3 A*	21 A	10 A*	31 A	32 A
E ₁	4,21 AB	13 A	5 A	1,1 A*	3 A*	3 A*	4 A*	23 A	7 A*	31 A	25 A
E ₂	4,10 B	19 A	5 A	0,8 A*	3 A*	3 A*	6, A*	30 A	7 A*	38 A	22 A
E ₃	4,18 AB	16 A	4 A	1,4 A*	2 A*	3 A*	5 A*	23 A	7 A*	30 A	24 A
EN ₁	4,33 AB	14 A	5 A	1,2 A*	4 A*	4 A*	4 A*	23 A	8 A*	31 A	27 A
EN ₂	4,60 AB	15 A	4 A	0,9 A*	6 A*	5 A*	2 A*	18 A	12 A*	30 A	39 A
EN ₃	4,54 AB	16 A	7 A	0,9 A*	5 A*	5 A*	3 A*	24 A	12 A*	35 A	33 A
EN ₄	4,63 A	15 A	4 A	0,7 A*	5 A*	5 A*	3 A*	20 A	10 A*	30 A	35 A
CV (%)	5,73	29,14	27,24	20,26	29,06	18,70	36,06	31,16	18,06	23,89	29,83
Argissolo Vermelho distrófico											
P ₁	4,41 A	15 A	5 A	1,0 A*	7 A*	5 A*	2 A*	22 A	13 A*	35 A	36 A
P ₃	4,22 A	10 A	5 A	0,9 A*	4 A*	4 A*	6 A*	22 A	8 A*	30 A	27 A
CV (%)	4,84	28,07	30,33	24,92	28,60	25,97	29,37	19,61	19,77	22,93	23,24

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

* As letras são referentes à comparação dos dados transformados para raiz quadrada.

Latossolo: P₂ = Pastagem, E₁ = Eucalipto, E₂ = Eucalipto, E₃ = Eucalipto, EN₁ = Eucalipto novo, EN₂ = Eucalipto novo, EN₃ = Eucalipto novo e EN₄ = Eucalipto novo. Argissolo: P₁ = Pastagem e P₃ = Pastagem.

Freitas (2000) também observou pH baixo em povoamento de eucalipto, na ordem de 4,9 na camada de 0 a 0,10 m, e de 4,6 na camada de 0,10 a 0,20 m, concordando com os resultados obtidos neste trabalho. Chaer & Tótola (2007) também observaram elevada acidez em solos sob vegetação natural e eucalipto, os mesmos complementam que estas áreas apresentaram teores de areia superiores a 900 g kg^{-1} , atribuindo este efeito à textura destes solos. Os solos da sub-bacia Dois Córregos também são arenosos e apresentam altos teores de areia, conforme descrito na Tabela 16.

Os valores de matéria orgânica não apresentaram diferença significativa para as duas classes de solos. Observam-se baixos valores de matéria orgânica para todos os usos e ocupações, menores que os observados para a sub-bacia Jardim Novo Horizonte. Estes baixos valores de matéria orgânica para os solos da sub-bacia Dois Córregos refletem a textura arenosa destes, pois há uma relação entre a matéria orgânica e argila, como comentado anteriormente.

De acordo com Barreto et al. (2006), em solos tropicais e subtropicais de baixa fertilidade natural, a matéria orgânica tem grande contribuição na fertilidade, aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), melhoria nas características químicas, físicas e biológicas, sendo de fundamental importância na manutenção da sustentabilidade. Para Gomide et al. (2011), o teor de matéria orgânica assume importante papel na manutenção de ambientes de baixa fertilidade natural e não fertilizados, portanto, práticas que favoreçam ou incrementem os teores de matéria orgânica devem ser estimuladas.

Os teores de fósforo (P) não apresentaram diferença significativa nas duas classes de solos e os valores estão próximos em todos os usos. Estes foram muito baixo para as pastagens nos dois solos, e baixo para os demais usos, na camada de 0,0 a 0,10 m. Na camada de 0,10 a 0,20 m, foram muito baixo para as pastagens (P_2) no Latossolo e (P_3) no Argissolo, e baixo para os demais usos e ocupações. Estes baixos teores de fósforo para as pastagens refletem a falta de adubação fosfatada destas áreas. Estes resultados concordam com os obtidos por Centurion et al. (2001), que também observaram menores teores de fósforo para área cultivada com pastagem.

Para as áreas com eucalipto, Chaer & Tótola (2007) também observaram baixos teores de fósforo, os mesmos sugerem que isso ocorreu devido a serapilheira. De acordo com os mesmos, a serapilheira promove altas taxas de decomposição,

resultando na produção de ácidos orgânicos de baixo peso molecular que podem ser translocados para baixo da camada explorada pelas raízes, e isto acarretaria a remoção do fósforo (P) do processo de ciclagem ativa.

Com relação às bases, assim como observado para o fósforo, os teores de potássio (K) foram próximos em todos os usos, e não houve diferença significativa entre eles. Estes foram muito baixos para os eucaliptos (E₂), (EN₃) e (EN₄) no Latossolo e baixo para os demais usos, na camada de 0,0 a 0,10, e muito baixo para o eucalipto (EN₄) no Latossolo e baixo para os demais usos na camada de 0,10 a 0,20 m.

Para os teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) houve diferença significativa para as duas classes de solos somente na camada de 0,0 a 0,10 m. Os teores de cálcio (Ca) foram baixos para os eucaliptos (E₁), (E₂), (E₃) e (EN₁) no Latossolo e a pastagem (P₃) no Argissolo e médio para os demais usos na camada de 0,0 a 0,10 m, e baixos para os eucaliptos (E₁), (E₂) e (E₃) no Latossolo e médio para os demais usos para a camada de 0,10 a 0,20 m. Para o magnésio (Mg) os teores foram baixos para todos os usos na camada de 0,0 a 0,10 m, médios para os eucaliptos (EN₂), (EN₃) e (EN₄) no Latossolo e a pastagem (P₁) no Argissolo, e baixo para os demais usos, na camada de 0,10 a 0,20 m.

Observam-se baixos teores de fósforo (P) e bases trocáveis, principalmente o potássio (K), em todos os usos. Para as áreas com pastagens, isso ocorre devido a falta de adubação nestas áreas. Com relação às áreas cultivadas com eucalipto, de acordo com Zalamena (2008), há uma dificuldade para a melhoria das propriedades químicas em sistemas de uso do solo que não recebem adições externas de produtos a base desses nutrientes. Souza & Alves (2003) observaram que, a utilização do solo com pastagem e também com seringueira há mais de 16 anos, não aumentou os valores de fósforo (P) e bases em relação ao cerrado nativo.

Os teores de alumínio (Al⁺³) foram baixos para a pastagem (P₂) e o eucalipto (EN₂) no Latossolo e para a pastagem (P₁) no Argissolo e alto para os demais usos, na camada de 0,0 a 0,10 m. Na camada de 0,10 a 0,20 m foi alto para os eucaliptos (E₂) e (E₃) no Latossolo e a pastagem (P₃) no Argissolo, e baixo para os demais usos.

Os solos brasileiros, em sua maioria, são intemperizados, apresentando acidez e elevados teores de alumínio, o que traz sérios problemas para o desenvolvimento do

sistema radicular das plantas, as quais limitam o aproveitamento de água e nutrientes adicionados ao solo por meio de fertilizantes (SOUZA et al., 2008).

Há uma relação entre a acidez do solo e o teor de alumínio, de acordo com Wendling (2012), a acidificação do solo tem, como consequência, o aumento da solubilidade dos compostos de alumínio, o que ocasiona o aumento da concentração de alumínio na solução do solo, provocando toxidez às plantas.

Para a acidez potencial (H + Al) não houve diferença significativa para as duas classes de solos. Verificam-se maiores valores para o Latossolo, sendo observados para a área cultivada com o eucalipto (E₂) o maior valor nas duas camadas avaliadas. Paes et al. (2013) também observaram para o eucalipto maiores valores de acidez potencial, e estes maiores valores refletem os baixos teores de bases trocáveis, uma vez que a adubação destas áreas foi realizada somente na implantação do eucalipto.

Para a soma de bases (SB) e saturação por bases (V%), houve diferença significativa para as duas classes de solos somente para a camada de 0,0 a 0,10 m. Os maiores valores de soma de bases (SB) foram observados para o eucalipto (EN₂) na camada de 0,0 a 0,10 m, e para (EN₂) e (EN₃), na camada de 0,10 a 0,20 m, no Latossolo. Estes valores refletem a adubação destas áreas no transplântio das mudas de eucalipto, uma vez que, havia sido recém implantadas na área. No Argissolo os maiores valores de soma de bases (SB) foram observados para a pastagem (P₁) nas duas camadas avaliadas.

Os valores de saturação por bases (V%) foram muito baixos para os eucaliptos (E₁), (E₂), (E₃), (EN₁) e (EN₃) no Latossolo e para a pastagem (P₃) no Argissolo, e baixo para os demais usos na camada de 0,0 a 0,10 m. Foram muito baixo para os eucaliptos (E₁), (E₂) e (E₃) no Latossolo, e baixo para os demais usos na camada de 0,10 a 0,20 m, estes baixos valores são devido os solos da sub-bacia Dois Córregos serem distróficos.

Para a capacidade de troca catiônica (CTC) não houve diferença significativa para as duas classes de solos. Os valores foram próximos para todos os usos, sendo estes baixos, reflexo dos baixos conteúdos de matéria orgânica dos solos e devido estes serem bastante arenosos.

Os solos da sub-bacia Dois Córregos apresentaram baixa fertilidade. De acordo com Oliveira & Yokoyama (2003), nas regiões de clima tropical e subtropical, é comum a ocorrência de solos ácidos, caracterizados por pH reduzido, baixos teores de matéria

orgânica, baixos teores de cálcio e magnésio trocáveis, baixo índice de saturação por bases, e relativamente elevados teores de alumínio trocável.

Os maiores teores de alumínio e acidez potencial ($H + Al$) foram observadas para a área com eucalipto (E_2). De acordo com Zaia & Gama-Rodrigues (2004), solos sob povoamentos florestais (espécies de eucaliptos) apresentam acidez elevada e baixa fertilidade para a profundidade de 0,0 a 0,20 m, porém este comportamento não classifica os solos de reflorestamento como degradados, pois todo o sistema funciona com base na ciclagem de nutrientes, a reserva de nutrientes está nos resíduos vegetais que fornece gradativamente para a planta.

Observa-se baixos teores das bases, capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%), fósforo e baixo pH para todos os usos e ocupações. Isso devido, além da textura arenosa e dos baixos teores de matéria orgânica deste, aos processos erosivos que ocorreram nesta área. Gomide et al. (2011) observaram que, o voçorocamento ocasionou decréscimo acentuado na fertilidade do solo, expresso principalmente pela redução do teor das bases e CTC, além de promover perdas no estoque de matéria orgânica do solo. De acordo com os mesmos, nesses ambientes devido a remoção da vegetação e presença de pastagem degradada, há menor ciclagem de nutrientes e aumento de perdas por lixiviação.

4.2.2. Perdas de solo e deposição de sedimentos

Na Tabela 25 estão os valores simulados pelo modelo LISEM dos componentes do ciclo hidrológico. Os maiores valores observados de interceptação, infiltração e escoamento superficial foram para o evento do dia 28/05/2012, que corresponde a maior intensidade e precipitação acumulada.

A interceptação média observada para os eventos analisados foi de 1,71 mm, sendo o maior valor observado de 1,76 mm para o dia 28/05/2012. Assim como para sub-bacia Jardim Novo Horizonte, os valores de interceptação foram dependentes da precipitação total, sendo os maiores e os menores valores observados para os eventos com maior e menor precipitação total (Tabela 3), respectivamente. Os valores de interceptação foram menores do que os observados para a sub-bacia Jardim Novo Horizonte.

Tabela 25. Componentes do ciclo hidrológico simulados pelo modelo LISEM.

Eventos de precipitação*	Interceptação total	Infiltração total	Armazenamento		Escoamento superficial	Escoamento/ Precipitação (%)
			em depressões (mm)			
15/01/2009	1,71	54,47	0,01		1,47	2,53
28/03/2009	1,62	40,40	0,01		0,01	0,92
10/12/2009	1,70	54,21	0,00		0,12	0,21
01/01/2010	1,72	57,47	0,00		3,04	4,89
20/05/2010	1,71	53,05	0,00		4,29	7,22
20/11/2010	1,74	66,47	0,00		4,15	5,62
08/03/2011	1,74	73,72	0,00		0,73	0,95
12/04/2011	1,74	67,87	0,01		2,36	3,24
12/03/2012	1,70	53,99	0,00		0,05	0,08
28/05/2012	1,76	148,59	0,00		233,69	60,85
Média	1,71	67,02	0,00		24,99	8,65

*Eventos referentes às maiores intensidades de precipitação para o período de 2009 a 2012.

Os valores utilizados para o índice de área foliar (IAF) foram de 2,93; 2,75 e 1,58 $m^2 m^{-2}$ para pastagem, eucalipto com 5 anos e eucalipto aos seis meses, respectivamente. Para a fração do solo coberto pela vegetação foram de 1,0 para a pastagem; 0,82 para o eucalipto com 5 anos e 0,10 para o eucalipto aos 6 meses.

Este menor valor de interceptação ocorreu devido aos valores de índice de área foliar (IAF) e fração do solo coberto pela vegetação, pois o eucalipto apresenta valores menores em relação à pastagem, e devido a sub-bacia Dois Córregos estar ocupada 50% com eucalipto, os valores de interceptação foram menores em comparação à outra sub-bacia. Deve-se salientar que dos 7 locais avaliados com eucalipto, 4 estão ocupados com eucalipto recém transplantado, o que contribuiu para tais resultados.

A média de interceptação foi maior que o valor observado por Gomes (2008), de 1,18 mm, devido a maior parte da sub-bacia Dois Córregos ser ocupada por eucalipto. De acordo com Oleriano & Dias (2007), a regularidade do dossel faz com que a interceptação das gotas de chuva seja uniforme em plantações florestais.

A infiltração média observada foi de 67,02 mm, sendo o maior valor observado para o evento do dia 28/05/2012, com 148,59 mm, e o menor valor foi para o evento do dia 28/03/2009, com 40,4 mm, correspondendo ao evento com menor precipitação acumulada. Mesmo para os eventos com menor precipitação acumulada, observa-se altos valores de infiltração, devido os solos da sub-bacia Dois Córregos serem arenosos.

Gomes (2008) observaram valor de infiltração média igual a 24,44 mm em estudo em uma microbacia com solos de textura argilosa, sendo este valor menor que os observados para os solos da sub-bacia Dois Córregos, e menor que o valor verificado para o evento do dia 28/03/2009, com menor infiltração, de 40,4 mm, confirmando a importância da textura na infiltração de água no solo.

Observa-se que do total médio precipitado 71,06% foi infiltrado nos solos da sub-bacia Dois Córregos, e, com exceção ao evento com maior intensidade de precipitação, para todos os eventos foram observados maiores valores de infiltração em relação ao escoamento superficial. Estes resultados simulados estão coerentes com os resultados obtidos na avaliação de infiltração observada no campo, no qual foi constatado que os solos apresentaram boa permeabilidade. Além disso, os baixos valores de teor de água antecedente (Tabela 21) também contribuíram para a maior infiltração de água no solo.

O maior valor de escoamento superficial foi observado para o evento do dia 28/05/2012, com 233,69 mm. Observam-se baixos valores de escoamento superficial para os outros eventos, devido às altas taxas de infiltração. Somente neste evento de maior intensidade, o escoamento superficial foi maior que a infiltração.

O escoamento superficial médio observado para os 10 eventos foi de 24,99 mm, sendo menor que os valores observados para a sub-bacia Jardim Novo Horizonte, e maior que os valores observados por Gomes (2008) e Moro (2011), de 1,86 e 3,73 mm, respectivamente.

Com relação ao volume de escoamento, este foi baixo, correspondendo a 8,65% do total precipitado, devido a boa permeabilidade dos solos da sub-bacia Dois Córregos. Hessel et al. (2006), também observaram escoamento baixo para duas microbacias, de 0,7 e 3,1%. Moro (2011) observou uma média de 12,36%, e Van Dijk & Kwaad (1996), observaram que as percentagens de escoamento atingiram quase 60% do total precipitado.

Para que ocorra escoamento superficial, a intensidade de precipitação tem que ser maior que a capacidade de infiltração de água do solo, como os solos da sub-bacia Dois Córregos apresentam boa permeabilidade, os eventos analisados geraram baixo escoamento superficial, devido estes apresentarem intensidade de precipitação abaixo ou próxima à capacidade de infiltração do solo. De acordo com Bertoni & Lombardi Neto (2010),

os solos arenosos, com espaços porosos grandes, durante uma precipitação de pouca intensidade, pode absorver toda a água, não havendo nenhum dano.

Por isso, apesar da degradação de algumas propriedades físicas dos solos da sub-bacia Dois Córregos, esta apresentou baixos valores de percentagem de escoamento superficial, devido a boa permeabilidade dos solos.

Não houve valores de armazenamento em depressões para a maioria dos eventos, somente para os dias 15/01/2009, 28/03/2009 e 12/04/2011, o armazenamento nas depressões apresentou valor de 0,01 mm, sendo baixos para esses eventos. Dentre os eventos avaliados, estes apresentam média intensidade (entre 20 e 30 mm h⁻¹), e curta duração, entre 3 e 5 horas. Observa-se o efeito da intensidade e da duração da precipitação no armazenamento de água nas depressões, sabe-se que este depende da rugosidade superficial do solo, de acordo com Paz González & Castro (1996), os menores valores de rugosidade é influenciado pelo volume e intensidade de chuvas, e também pelo tipo de manejo do solo.

O impacto das gotas de chuva diretamente sobre o solo faz com que a rugosidade da superfície diminua. Isso ocorre devido ao efeito da energia cinética das gotas que, ao incidir diretamente sobre o solo, parcialmente ou totalmente descoberto, dependendo do tipo de manejo, diminui as microelevações da superfície do solo (Bertol et al., 2006).

Como já comentado, o armazenamento de água nas depressões depende da rugosidade superficial, os valores utilizados foram 0,7; 1,36 e 0,7 cm para a pastagem, eucalipto com 5 anos e eucalipto aos 6 meses. Observam-se maiores valores para as áreas com eucalipto, devido aos resíduos da vegetação na superfície do solo. Na sub-bacia Dois Córregos o uso predominante é o eucalipto com 50% do total de sua área, sendo dos 7 locais amostrados, 4 ocupados com eucalipto recém transplantado, entretanto, devido aos menores valores de rugosidade para o eucalipto aos 6 meses, não houve valores de armazenamento de água nas depressões.

Além disso, de acordo com Correa (2010), a rugosidade superficial resultante dos resíduos vegetais apresenta menor capacidade de armazenar água na superfície do solo do que a rugosidade resultante do preparo do solo, ainda que a rugosidade do solo seja menos durável do que a rugosidade do resíduo, ela é composta por microdepressões e microelevações na superfície do solo, e o mesmo não acontece com a rugosidade do resíduo.

Na Tabela 26 são apresentados os dados referentes aos valores de desagregação, perdas de solos e deposição de sedimentos estimados pelo modelo LISEM. Observa-se que os maiores valores de desagregação, deposição e perdas de solo foram para o evento do dia 28/05/2012, sendo o mesmo evento em que foram observados os maiores valores de escoamento superficial, interceptação e infiltração.

Tabela 26. Perdas de solos e deposição de sedimentos simulados pelo modelo LISEM.

Eventos de precipitação*	Desagregação pela gota de chuva	Desagregação pelo fluxo	Deposição de solo	Perda de solo
	(t ha ⁻¹)			
15/01/2009	0,79	0,67	1,46	0,00
28/03/2009	0,40	0,01	0,41	0,00
10/12/2009	0,57	0,11	0,68	0,00
01/01/2010	0,79	1,66	2,44	0,01
20/05/2010	0,89	3,19	4,08	0,00
20/11/2010	1,10	2,86	3,96	0,00
08/03/2011	0,57	0,23	0,80	0,00
12/04/2011	0,96	1,03	1,98	0,01
12/03/2012	0,47	0,02	0,49	0,00
28/05/2012	7,37	360,31	353,40	14,30
Média	1,39	37,01	36,97	1,43

*Eventos referentes às maiores intensidades de precipitação para o período de 2009 a 2012.

A desagregação média pelas gotas de chuva observada para os 10 eventos foi de 1,39 t ha⁻¹, e para a desagregação média pelo fluxo foi observado valor de 37,01 t ha⁻¹. Para os eventos dos dias 15/01/2009, 28/03/2009, 10/12/2009, 08/03/2011 e 12/03/2012, o processo de erosão dominante na vertente da sub-bacia estudada foi a desagregação pelas gotas de chuva, devido aos maiores valores em relação à desagregação pelo fluxo, correspondendo aos eventos com menores intensidades de precipitação. Nos outros eventos a desagregação pelo fluxo foi dominante.

Nestes eventos de menores intensidades e curta duração a desagregação pelas gotas de chuva é maior, mas à medida que aumenta a precipitação acumulada e a intensidade de precipitação, a desagregação causada pelo fluxo tende a predominar, devido ao aumento na taxa de desagregação das partículas de solo, aumentando o volume e a velocidade do fluxo, e assim, maior desagregação causada por este. Além disso,

ocorre a saturação da camada superficial do solo diminuindo assim, a infiltração de água, e consequentemente, aumentando o escoamento superficial.

De acordo com Oliveira et al. (2005), o impacto das gotas que ocorre na fase inicial da erosão hídrica, fornece energia cinética capaz de desestruturar as partículas de solo, mas possui baixa capacidade de transporte de sedimentos. A segunda fase da erosão hídrica é marcada pela remoção de camada superficial do solo, sendo esta associada ao escoamento superficial, que possui pequena capacidade de desestruturação e alta capacidade de transporte.

Estes maiores valores observados para a desagregação pelas gotas de chuva é devido a cobertura do solo, pois como já comentado, para a fração do solo coberto pela vegetação foram utilizados os valores de 1,0 para a pastagem; 0,82 para o eucalipto com 5 anos e 0,10 para o eucalipto aos 6 meses. A sub-bacia Dois Córregos é ocupada em sua maior parte por eucalipto, sendo 4 locais com eucalipto recém transplantado, o que proporcionou uma menor cobertura em relação à pastagem.

De acordo com Pruski (2010), em áreas com menor cobertura vegetal, a maior parte da desagregação ocorre pelo impacto das gotas das chuvas, sendo a quantidade de solo desestruturado aumentada com a intensidade da precipitação, a velocidade e o tamanho das gotas. Além disso, Silva et al. (2011) analisando diferentes sistemas de manejo observaram que, os sistemas com eucalipto apresentaram perdas de solo maiores nos primeiros anos de sua implantação, decrescendo durante os anos, assim, períodos iniciais após o plantio são mais críticos devendo-se ter maiores cuidados com o manejo do solo nesse período.

Para as perdas de solo, foi observada uma média de $1,43 \text{ t ha}^{-1}$, sendo o maior valor observado para o evento do dia 28/05/2012, com $14,30 \text{ t ha}^{-1}$. Foram observados maiores valores de perdas de solo para a sub-bacia Jardim Novo Horizonte. Hessel et al. (2003b), Takken et al. (1999) e Moro (2011) também observaram perdas de solo maiores, de 43,22; 39 e $17,06 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente. Hessel et al. (2006) estudando duas microbacias, observaram menores valores de perdas de solo, de 580 e 85 kg ha^{-1} , respectivamente.

As maiores perdas de solo observadas para o evento do dia 28/05/2012 é consequência do maior escoamento superficial, desagregação pelas gotas de chuva e pelo fluxo. De acordo com a classificação de Moro (2011), as perdas de solo observadas para os solos da sub-bacia Dois Córregos foi alta para o evento do dia 28/05/2012. Para os eventos dos

dias 01/01/2010 e 12/04/2011 foram muito baixas, abaixo de 1 t ha^{-1} , e para os outros eventos não houve perdas de solo.

Além disso, a mesma é ocupada em maior parte por eucalipto, Martins et al. (2003), observaram menores perdas de solo para o eucalipto quando comparadas à outros cultivos. Os mesmos complementam que, isso ocorre devido à proteção que este uso proporciona ao solo, interceptando as gotas de chuva pela copa e também pela serapilheira, e ao menor revolvimento do solo, e estas perdas de solo diminuem com o avanço da idade das plantas.

Silva et al. (2011) observaram que, os usos pastagem e eucalipto foram favoráveis no controle da erosão hídrica, sendo a pastagem menos eficiente que o eucalipto na redução das perdas de solo, contudo, mais promissora na retenção e infiltração de água. Pires et al. (2006) avaliando diferentes sistemas de manejo de uma floresta de eucalipto, observaram que todos os sistemas de manejo de eucalipto apresentaram perdas de solo muito inferiores ao valor limite de tolerância.

Com relação à deposição, foi observado um valor médio igual a $36,97 \text{ t ha}^{-1}$, sendo o maior valor observado para o evento do dia 28/05/2012, de $353,40 \text{ t ha}^{-1}$, devido aos maiores valores de desagregação dos solos observados para este evento. Hessel et al. (2003b), Takken et al. (1999) e Moro (2011), observaram valores de deposição de $45,05$; $17,46$ e $11,85 \text{ t ha}^{-1}$ respectivamente.

De acordo com a classificação de Moro, para 4 eventos, dos dias 28/03/2009, 10/12/2009, 08/03/2011 e 12/03/2012 a deposição foi baixa. Para 5 eventos foi média, nos dias 15/01/2009, 01/01/2010, 20/05/2010, 20/11/2010 e 12/04/2011. E para o evento do dia 28/05/2012 foi classificada como muito alta. Assim como para a sub-bacia Jardim Novo Horizonte, verifica-se que a maior parte da produção de sedimentos gerados pela desagregação ficam depositados nos leitos dos cursos de água, sendo pequena parte perdida para fora dela.

Na Tabela 27 estão os valores da concentração dos sedimentos gerados durante os eventos simulados pelo modelo LISEM. Observam-se baixos valores de concentração de sedimentos, consequência das baixas perdas de solo.

Tabela 27. Concentração dos sedimentos simulados pelo modelo LISEM.

Eventos de precipitação*	Intensidade I (mm h⁻¹)	Precipitação total (mm)	CSS média mg L⁻¹	CSS máxima mg L⁻¹
15/01/2009	28,96	58,05	0,27	2,12
28/03/2009	23,47	42,41	0,02	0,05
10/12/2009	21,64	56,64	0,28	0,85
01/01/2010	26,67	62,26	0,80	5,04
20/05/2010	34,90	59,46	1,94	12,07
20/11/2010	27,74	73,94	0,90	4,06
08/03/2011	19,36	76,17	0,10	0,90
12/04/2011	23,62	72,89	0,24	1,51
12/03/2012	19,05	57,18	0,00	0,00
28/05/2012	106,68	384,09	30,74	103,88

*Eventos referentes às maiores intensidades de precipitação para o período de 2009 a 2012.

A maior concentração de sedimentos foi observada para o evento do dia 28/05/2012, com 103,88 mg L⁻¹, para este evento foi observada a maior média de concentração de sedimentos, de 30,74 mg L⁻¹. A concentração de sedimentos está relacionada à precipitação e ao escoamento superficial, pois para os eventos com maior intensidade de precipitação e maior escoamento, apresentaram maiores valores de concentração de sedimentos. O evento de menor intensidade de precipitação, no dia 12/03/2012, com 19,05 mm h⁻¹, não apresentou valores de concentração de sedimentos, confirmando este fato.

Foram observados baixa produção de sedimentos para a maioria dos eventos, somente para o evento com maior intensidade de precipitação, com 106,68 mm h⁻¹, a produção de sedimentos e a deposição foram maiores. A sub-bacia Dois Córregos é vegetada em sua maior parte com eucalipto, o que propiciou maior estabilidade para os solos desta área, refletindo nos menores valores observados.

Comparando com os resultados obtidos para a sub-bacia Jardim Novo Horizonte, que apresentou maior produção de sedimentos e deposição, é devido a mesma ser 50% vegetada com pastagem, e apesar deste tipo de cobertura ser benéfica para conter processos erosivos, estas áreas estão degradadas o que proporcionou maiores valores de desagregação do solo.

Na Figura 25 está o mapa de perdas de solo da sub-bacia Dois Córregos. Observa-se para todos os eventos que as áreas mais suscetíveis aos processos

erosivos são as regiões próximas aos cursos de água, Rodrigues (2011) também observou que os processos erosivos ocorrem predominantemente próximo ao canal fluvial.

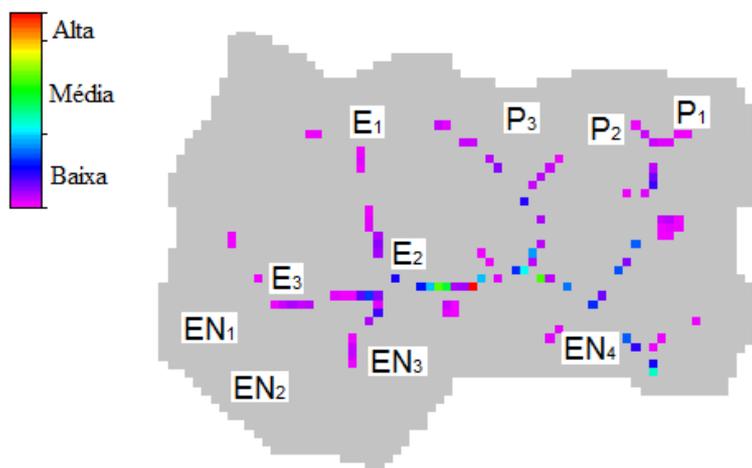


Figura 25. Mapa de perdas de solo dos resultados simulados pelo modelo LISEM.

Foi observada baixa perda de solo na maior parte da sub-bacia, e em pequeno ponto próximo à foz a perda de solo observada foi média, e entre média e alta, em pequenos pontos, à jusante da área cultivada com eucalipto (E₂) no Latossolo, próximo à voçoroca. Observa-se que neste local, as perdas de solo são baixas, porém segue o traçado ramificado da voçoroca (Figura 26). Esta baixa perda de solo apontada no mapa é devido ao eucalipto, como já comentado, a implantação deste melhorou as condições do solo, proporcionando menores perdas para este local.

Para a área cultivada com a pastagem (P₁) foi observado durante as coletas de campo, erosão laminar e em sulcos em diversos pontos. No mapa de perdas de solo, este local está classificado como baixa perda de solo, mas devido o manejo inadequado da pastagem, a erosão está ocorrendo. Verificou-se que, durante as coletas de campo, na região entre as pastagens (P₁) e (P₂) há uma voçoroca, este local foi identificado pelo mapa de perdas de solo (Figura 27), também sendo classificado como baixa perda de solo.

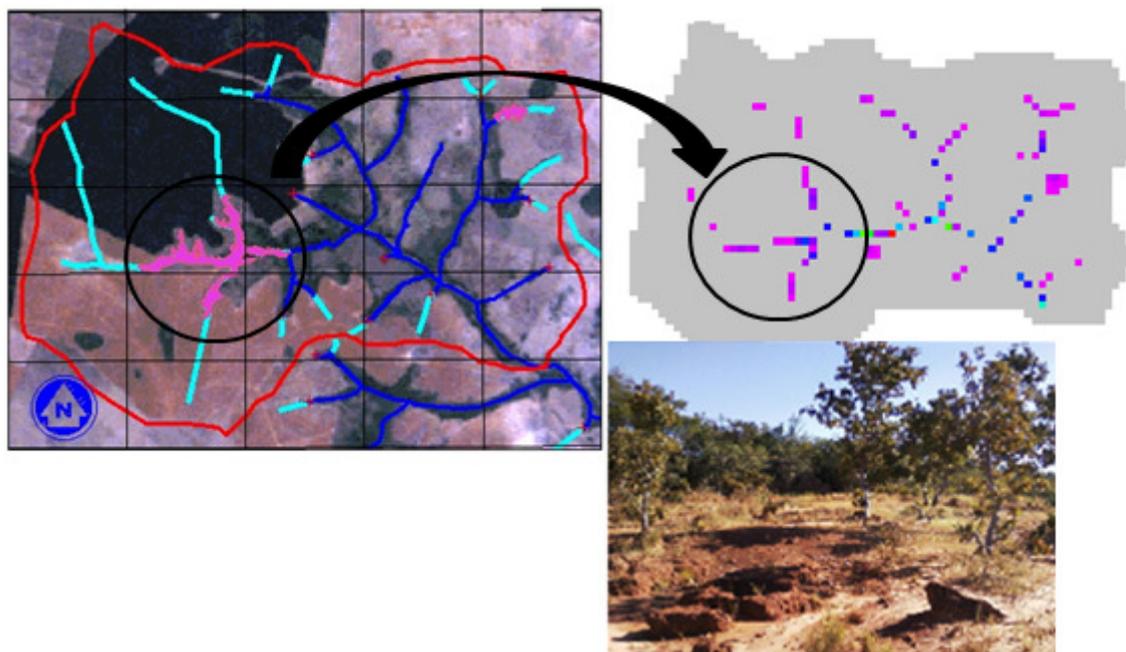


Figura 26. Voçoroca apontada pelo mapa de perdas de solo, e aspecto do ambiente dentro da voçoroca.

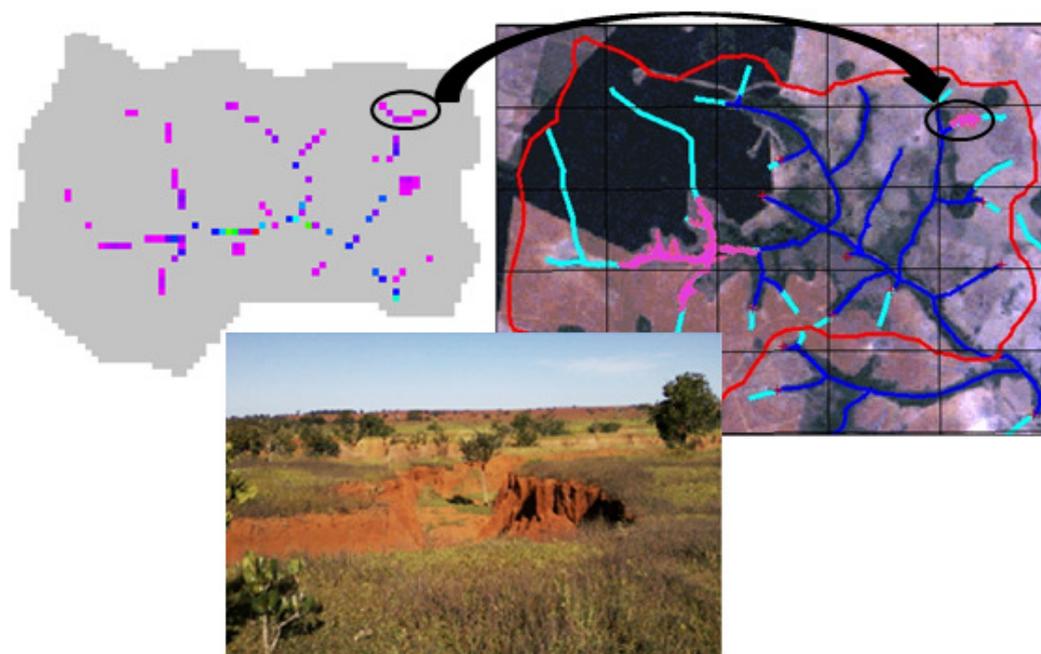


Figura 27. Voçoroca presente entre as pastagens (P_1) e (P_2), e o local apontado no mapa.

Diante disso, observa-se que, mesmo uma área que não apresenta suscetibilidade, se manejada de forma incorreta os processos erosivos iniciam. De acordo com Moro (2011), solos mal manejados possibilitam a ocorrência de processos erosivos severos.

Na Figura 28 está o mapa de deposição de sedimentos da sub-bacia Dois Córregos, verifica-se que o processo de deposição predominou no canal fluvial e nas áreas próximas a ele, sendo baixa na maior parte da sub-bacia, média e alta em alguns pontos próximos à pastagem (P_1) no Argissolo e ao eucalipto (E_2) no Latossolo.

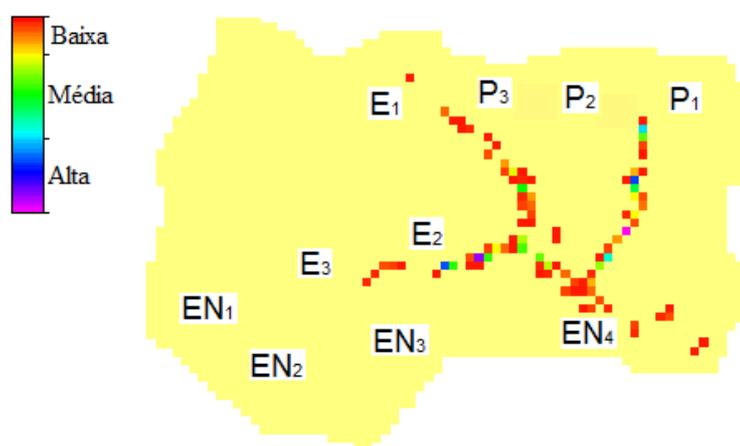


Figura 28. Mapa de deposição de solo dos resultados simulados pelo modelo LISEM.

Com relação à área cultivada com eucalipto (E_2), esta apresentou um dos menores valores de permeabilidade e diâmetro médio ponderado (DMP), o que proporcionou maior suscetibilidade à erosão, como apontado no mapa de perdas de solo, e consequentemente, deposição. Para a área cultivada com a pastagem (P_1), foi observado degradação da pastagem e do solo, o que contribuiu para a deposição em um pequeno ponto no curso de água próximo a esta área.

A sub-bacia Dois Córregos apresentou baixos valores de perdas de solo e deposição de sedimentos para os eventos analisados, vale lembrar que, estes resultados levam em consideração somente o escoamento superficial. De acordo com Valentin et al.

(2005), a erosão resulta não só do escoamento superficial, mas também do fluxo de subsuperfície.

De acordo com Rodrigues (2000), as voçorocas são fenômenos de evolução complexa, em que tanto os fluxos superficiais quanto os subsuperficiais, bem como os diversos tipos de movimentos de massa podem atuar isolada ou conjuntamente na sua formação e evolução. Baccaro & Silva (1997) constataram a contribuição dos fluxos subsuperficiais no desencadeamento e avanço das frentes de erosão por voçorocamento.

Como já relatado, o modelo LISEM não simula o escoamento subsuperficial, sendo uma limitação para analisar as perdas de solo da sub-bacia Dois Córregos, uma vez que, devido às características do solo desta, este escoamento tenha contribuído para a formação da voçoroca. Devido a este fato, o modelo LISEM pode não haver simulado de forma adequada os processos erosivos, pois o escoamento subsuperficial pode ter contribuído de forma significativa para as perdas de solo nesta área, não sendo levado em consideração nestas condições.

Para os mapas de perdas de solo e deposição de sedimentos gerados pelo modelo, estes apontaram os locais suscetíveis à erosão de forma adequada, pois foram coerentes com as observações de campo. O modelo LISEM foi uma ferramenta de grande importância para a localização das áreas suscetíveis aos processos erosivos na sub-bacia Dois Córregos, porém para a quantificação das perdas de solos e deposição de sedimentos, devido este não simular o escoamento subsuperficial, o mesmo pode ter subestimado estes processos.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos conclui-se que:

- O processo de degradação pode ser identificado nas duas sub-bacias hidrográficas pela deterioração nas propriedades físicas (macroporosidade, porosidade total e densidade do solo) e químicas do solo.
- Há maiores perdas de solos e deposição de sedimentos na sub-bacia Jardim Novo Horizonte.
- O eucalipto propicia maior proteção aos solos da sub-bacia Dois Córregos.
- O modelo LISEM é eficiente para a localização de áreas suscetíveis aos processos erosivos nas duas sub-bacias avaliadas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE NETO, V. R.; SANTOS, V. A. H. F.; GARCIA, M. N.; RODRIGUES, R. A.; FRANCISKIEVICZ, D.; SANTOS, J. P. Índice de área foliar em mudas clonais de *Eucalyptus* sp. **Scientific Electronic Archives**, v.2, p.6-9, 2013.

ANGERS, D. A.; MEHUYS, G. R. Aggregate stability to water. In: CARTER, M. R., ed. **Soil sampling and methods of analysis**. Florida: Lewis Publishers, 2000. p.529-539.

ANTONINO, A. C. D.; JARAMILLO, R. A.; SOUZA, E. S.; MACIEL NETTO, A.; CARNEIRO, C. J. G.; MONTENEGRO, A. A. A. Determinação da condutividade hidráulica e da sorvidade de um solo com infiltrômetro a disco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, p.247-253, 2001.

ASTON, A. R. Rainfall interception by eight small trees. **Journal of Hydrology**, v.42, p.383-396, 1979.

AVANZINI, J. C. **Modelagem do escoamento superficial e erosão hídrica em uma microbacia hidrográfica na região dos tabuleiros costeiros**. 2005. 68f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2005.

BACCARO, C.A.D.; SILVA, E.P. Os processos de voçorocamento na bacia do ribeirão Douradinho. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 7, 1997, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Tec. Art Editora Ltda, 1997. p.481.

BALDISSERA, G. C. **Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil and Water Assessment Tool), para a bacia hidrográfica do rio Cuiabá/MT.** 2005. 132f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT, 2005.

BARRETO, A. C.; LIMA, F. H. S.; FREIRE, M. B. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Caatinga**, v.19, p.415-425,2006.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo Húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase a matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.687-694, 1999.

BEASLEY, R. P. **Erosion and sediment pollution control.** 1. ed. Ames: Iowa State University Press. 1972. 320p.

BELINASSO, T. B. **Monitoramento hidrossedimentométrico e avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica urbana de encosta.** 2002. 341f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2002.

BERTOL, I.; AMARAL, A. J.; VÁZQUEZ, E. V.; GONZÁLEZ, A. P.; BARBOSA, F. T.; BRIGNONI, L. F. Relações da rugosidade superficial do solo com o volume de chuva e com a estabilidade de agregados em água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.543-553, 2006.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** 7. ed. São Paulo: Editora Ícone, 2010. 355p.

BORDAS, M. P.; SEMMELMANN, F. R. Elementos de engenharia de sedimentos. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2001. p.915-943.

BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. S. **Infiltração da água no solo.** 3. ed. Viçosa: UFV, 2009. 120p.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, v.124, p.3-22, 2005.

BROOKS, K. N.; FFOLLIOT, P. F.; GREGERSEN, H. M.; THAMES, J. L. **Hidrology and the management of watersheds**. Ames: Iowa State University Press, 1991. 392p.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132p.

CANTALICE, J. R. B.; CASSOL, E. A.; REICHERT, J. M.; BORGES, A. L. O. Hidráulica do escoamento e transporte de sedimentos em sulcos em solo franco-argilo-arenoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, 597-607, 2005.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PEREIRA, H.S.; AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, p. 147-157, 2009.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 599p.

CASTRO FILHO, C.; LOGAN, T. J. Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. **Soil Science Society American Journal**, v.55, p.1407-1413, 1991.

CASTRO, M. M. T; MIRÁS AVALOS, J. M. Simulación del riesgo de erosión en una cuenca agrícola con el modelo LISEM: influencia de la dirección de laboreo y medidas agronómicas. **Cadernos Laboratorio Xeolóxico de Laxe**, v.27, p.89-102, 2002.

CECONI, D. E.; POLETTO, I.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F. Influência do uso do solo nas propriedades físicas na microbacia hidrográfica do Lageado Biguá, Alecrim-RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31, 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. CD-ROM.

CENTURION, J. F.; CARDOSO, J. P.; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, p.254-258, 2001.

CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1381-1396, 2007.

CHAVES, R. A.; REIS, M. G. F.; REIS, G. G.; PEZZOPANE, J. E. M.; XAVIER, A.; MONTE, M. A. Dinâmica de cobertura de dossel de povoamentos de clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden submetidos a desrama artificial e desbaste. **Revista Árvore**, v.31, p.989-998, 2007.

CIOTTA, M. N.; BAYER, M.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, v.33, p.1161-1164, 2003.

CORREA, I. M. C. **Rugosidade da superfície de um Cambissolo húmico relacionada ao tipo de preparo sob chuva natural**. 2010. 55f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, 2010.

DEDECEK, R. A.; GAVA, J. L. Influência da compactação do solo na produtividade da rebrota de eucalipto. **Revista Árvore**, v.29, p.383-390, 2005.

DE ROO, A. P. J.; WESSELING, C. G.; RITSEMA, C. J. LISEM: a single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. I: theory, input and output. **Hydrological Processes**, v.10, p.1107-1117, 1996.

DE ROO, A. P. J.; JETTEN, V. G. Calibrating and validating the LISEM model for two data sets from the Netherlands and South Africa. **Catena**, v.37, p.477-493, 1999.

DOMINGUES, E. N.; ROSSI, M.; MATTOS, I. F. A.; ABE, K.; KITADA, M. Tipologia e distribuição dos processos erosivos na microbacia do Ribeirão água da cachoeira, em Paraguaçu Paulista, SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.141-149, 1998.

DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois Latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.505-517, 2004.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212p.

ENDRES, P. F., PISSARRA, T. C. T., BORGES, M. J., POLITANO, W. Quantificação das classes de erosão por tipo de uso do solo no Município de Franca – SP. **Engenharia Agrícola**, v.26, p.200-207, 2006.

FAGUNDES, J. L.; FONSECA, D. M.; MISTURA, C.; MORAIS, R. V.; VITOR, C. M. T.; GOMIDE, J. A.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; CASAGRANDE, D. R.; COSTA, L. T. Características morfogênicas e estruturais do capim-braquiária em pastagem adubada com nitrogênio avaliadas nas quatro estações do ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.21-29, 2006.

FERREIRA, L. **Simulação hidrológica utilizando o modelo TOPMODEL em bacias rurais, estudo de caso na bacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins - Seção Monjolinho, SP**. 2004. 205f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2004.

FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v.31, p.913-932, 2010.

FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G.; TOSTES, R. Propriedades físicas e matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo e cerrado nativo. **Bioscience**, v.24, p.24-30, 2008.

FILIZOLA, H. F.; GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. **Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise de qualidade ambiental: solo, água e sedimentos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 169p.

FRAZÃO, L. A.; PÍCCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no cerrado mato-grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.641-648, 2008.

FREITAS, R. A. **Estudo da biomassa e do conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden plantado em solo sujeito a arenização, no município de Alegrete, RS**. 2000. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.425-434, 2002.

GALHARTE, C.A. **Estimativa do escoamento superficial e da produção de sedimentos em áreas de atividades agrossilvipastoris, no Estado de São Paulo, em função da mudança de uso e cobertura do solo**. 2011. 206 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

GARDIMAN JÚNIOR, B. S.; COUTO, D. R.; SOUZA, F. B. C.; SANTOS JÚNIOR, G. N.; SANTOS, A. R. Perda de solo por erosão hídrica em áreas de preservação permanente na microbacia hidrográfica córrego do horizonte, Alegre, Espírito Santo. **Engenharia Ambiental**, v.9, p.21-34, 2012.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. B. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 340p.

GILO, E. G.; SILVA JÚNIOR, C. A.; TORRES, F. E.; NASCIMENTO, E. S.; LOURENÇÃO, A. S. Comportamento de híbridos de milho no cerrado sul-matogrossense, sob diferentes espaçamentos entre linhas. **Bioscience Journal**, v.27, p.908-914, 2011.

GOLLANY, H. T.; SCHUMACHER, T. E.; EVENSON, P. D.; LINDSTROM, M. J.; LEMME, G. D. Aggregate stability of an eroded and desurfaced Typic Argiustoll. **Soil Science American Journal**, v.55, p.811-816, 1991.

GOMES, N. M. **Aplicação do LISEM (Limburg Soil Erosion Model) para simulação hidrológica em bacia hidrográfica tropical**. 2008. 191f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola/Engenharia de Água e Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2008.

GOMEZ, B., BANBURY, K., MARDEN, M., TRUSTRUM, N. A., PEACOCK, D. H., HOSKIN, P. J. Gully erosion and sediment production, Te Weraroa Stream, New Zealand. **Water Resources Research**, v.39, p.1187, 2003.

GOMIDE, P. H. O.; SILVA, M. L. N.; SOARES, C. R. F. S. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.567-577, 2011.

GONÇALVES, C. S.; RHEINHEIMER, D. S.; PELLEGRINI, J. B. R.; KIST, S. L. Qualidade da água numa microbacia hidrográfica de cabeceira situada em região produtora de fumo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.391-399, 2005.

GOVERS, G. Empirical relationships on the transporting capacity of overland flow. **IAHS**, publication 189, p.45-63, 1990.

HAYNES, R. J.; SWIFT, R. S. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. **European Journal of Soil Science**, v.41, p.73-83, 1990.

HERNANDEZ, F. B. T.; LEMOS FILHO, M. A. F.; BUZETTI, S. **Software HIDRISA e o balanço hídrico de Ilha Solteira**. Ilha Solteira: UNESP/FE/IS – Área de Hidráulica e Irrigação, 1995. 45p. (Série Irrigação, 01).

HESSEL, R.; JETTEN, V.; BAOYUAN, L.; YAN, Z.; STOLTE, J. Calibration of the LISEM model for a small Loess Plateau catchment. **Catena**, v.54, p.235-254, 2003a.

HESSEL, R.; MESSING, I.; LIDING, C.; RITSEMA, C.; STOLTE, J. Soil erosion simulations of land use scenarios for a small Loess Plateau catchment. **Catena**, v.54, p.289-302, 2003b.

HESSEL, R.; JETTEN, V.; GUANCHUI, Z. Estimating Manning's for steep slopes. **Catena**, v.54, p.77-91, 2003c.

HESSEL, R.; BOSCH, R. V. D.; VIGIAK, O. Evaluation of the LISEM soil erosion model in two catchment in the East African Highlands. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.31, 469-486, 2006.

HOLANDA, F. S. R.; ROCHA, I. P.; OLIVEIRA, V. S. Estabilização de taludes marginais com técnicas de bioengenharia de solos no Baixo São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p. 570-575, 2008.

HÖLZEL, H.; DIEKKRÜGER, B. Predicting the impact of linear landscape elements on surface runoff, soil erosion, and sedimentation in the Wahnbach catchment, Germany. **Hydrological Processes**, v.26, p.1642-1654, 2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de Solos do Estado de Mato Grosso do Sul, 1987.

INÁCIO, E. S. B.; CANTALICE, J. R. B.; NACIF, P. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; BARRETO, A. C. Quantificação da erosão em pastagem com diferentes declividades na microbacia do Ribeirão Salomea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p.355-360, 2007.

JETTEN, V. **LISEM user manual, version 2.x**. Netherlands: Utrecht University, 2002. 48p.

KATO, E.; RAMOS, M. L. G.; VIEIRA, D. F. A.; MEIRA, A. D.; MOURÃO, V. C. Propriedades físicas e carbono orgânico de um Latossolo Vermelho Amarelo do cerrado, sob diferentes coberturas vegetais. **Bioscience Journal**, v.26, p.732-738, 2010.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262p.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.857-867, 2002.

KVAERNO, S. H.; STOLTE, J. Effects of soil physical data sources on discharge and soil loss simulated by the LISEM model. **Catena**, v.97, p.137-149, 2012.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2. ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1996. 301p.

LIMA, J. M.; NÓBREGA, J. C. A.; MELLO, C. R. **Erosão do solo e seu controle (teoria e prática)**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2003. 91p.

LOPES, E. L. N.; FERNANDES, A. R.; GRIMALDI, C.; RUIVO, M. L. P.; RODRIGUES, T. E.; SARRAZIN, M. Características químicas de um Gleissolo sob diferentes sistemas de uso, nas margens do rio Guamá, Belém, Pará. **Ciências Naturais**, v.1, p.127-137, 2006.

MACHADO, R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. 2002. 154f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2002.

MAGRINI, A.; SANTOS, M. A. **Gestão ambiental de bacias hidrográficas**. Rio de Janeiro: Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais, 2001. 271p.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.873-882, 2007.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob diferentes povoamentos florestais. **Cerne**, v.8, p.32-41, 2002.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; FONSECA, S.; MARQUES, J. J. G. S. M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.395-403, 2003.

MATOS, E. S.; MENDONÇA, E. S.; LEITE, L. F. C.; GALVÃO, J. C. C. Estabilidade de agregados e distribuição de carbono e nutrientes em Argissolo sob adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1221-1230, 2008.

MELLO, C. R. **Estudo hidrológico em microbacia hidrográfica com regime de escoamento efêmero**. 2003. 133f. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2003.

MERRITT, W. S.; LETCHER, R. A.; JAKEMAN, A. J. A review of erosion and sediment transport models. **Environmental Modelling & Software**, 18:761-799, 2003.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, v.34, p.963-969, 2004.

MINELLA, J. P. G. **Utilização de técnicas hidrossedimentométricas combinadas com a identificação de fontes de sedimentos para avaliar o efeito do uso e do manejo do solo nos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica rural no Rio Grande do Sul.** 2007.162f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2007.

MIRANDA, E. E. (Coord.). **Brasil em Relevô.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 22 out. 2013.

MORO, M. **Avaliação do modelo LISEM na simulação dos processos hidrossedimentológicos de uma pequena bacia rural localizada nas encostas basálticas do Rio Grande do Sul.** 2011. 123f. Tese (Doutorado em Engenharia/Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011.

NUNES, M. C. M.; CASSOL, E. A. Estimativa da erodibilidade em entressulcos de Latossolos no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2839-2845, 2008.

OLERIANO, E. S.; DIAS, H. C. T. A dinâmica da água em microbacias hidrográficas reflorestadas com eucalipto. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL, 1, 2007, Taubaté. **Anais...** Taubaté: IPABHi, 2007. p.215-222.

OLIVEIRA, J. B. Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico. **Boletim do Instituto Agrônomo de Campinas, IAC**, Campinas, n.45, 1999. 112p.

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo** – legenda expandida. Campinas: IAC, 1999. 63p.

OLIVEIRA, I. P.; YOKOYAMA, L. P. Implantação e condução do Sistema Barreirão. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. **Integração lavoura - pecuária.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 2003. p.265-302.

OLIVEIRA, L. F. C.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F. Rotina computacional para a

determinação da velocidade de sedimentação das partículas do solo em suspensão no escoamento superficial. **Engenharia Agrícola**, v.25, p.126-136, 2005.

OLIVEIRA, T. K.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; HIGASHIKAWA, E. M. Desempenho silvicultural e produtivo de eucalipto sob diferentes arranjos espaciais em sistema agrossilvipastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.60, p.1-9, 2009.

ONSTAD, C. A. Depressional storage on tilled soil surfaces. **Transactions of the ASAE**, v.27, p.729-732, 1984.

OTTONI FILHO, T. B. Uma classificação físico-hídrica dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p. 211-222, 2003.

PAES, F. A. S. V.; LIMA, A. M. N.; HAKAMADA, R. E.; BARROS, N. F. Impacto do manejo dos resíduos da colheita, do preparo do solo e da adubação na produtividade de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1081-1090, 2013.

PAIVA, F. M. L. **Estudo comparativo entre três modelos de base física na modelagem hidrossedimentológica em microbacias na região semi-árida paraibana**. 2008. 175f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2008.

PARANHOS, R. M. **Avaliação de metodologia para estimativa de produção de sedimentos em uma pequena bacia rural de encosta**. 2003. 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2003.

PAZ GONZÁLEZ, A.; CASTRO, M. T. T. Medida del microrrelieve del suelo y estimación de la retención hídrica en depresiones de la superficie. **Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe**, v.21, p.829-842, 1996.

PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; MATOS, A. T. Desprendimento e arraste do solo pelo escoamento superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p. 423-429, 2003.

PERON, A. J.; EVANGELISTA, A. R. Degradação de pastagens em regiões de Cerrado. **Ciência Agrotécnica**, v.28, p. 655-661, 2004.

PINESE JÚNIOR, J. F.; CRUZ, L. M.; RODRIGUES, S. C. Monitoramento de erosão laminar em diferentes usos da terra. **Revista Sociedade & Natureza**, v.20, p.157-175, 2008.

PIRES, L. S.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LEITE, F. P.; BRITO, L. F. Erosão hídrica pós plantio em florestas de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.687-695, 2006.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. V.; COSTA, L. M.; SANTOS, B. C. M. Atributos químicos e físicos de um Cambissolo háplico distrófico sob diferentes usos na zona da mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.249-258, 2008.

PREVEDELLO, J. **Dinâmica do armazenamento e da disponibilidade de água em Argissolo sob eucalipto e campo nativo**. 2012. 120f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal/Silvicultura), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2012.

PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e da água: práticas mecânicas para o controle de erosão hídrica**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2010. 279p.

QUEIROZ, H. A. **Caracterização fisiográfica e de alguns atributos físicos e químicos dos solos da microbacia Jardim Novo Horizonte, em Ilha Solteira, SP**. 2008. 61f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Sistema de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, SP, 2008.

RAHIMY, P. Effects of soil depth spatial variation on runoff simulation, using the LISEM, a case study in Faucon catchment, France. **Soil & Water Research**, v.7, p.52-63, 2012.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise Química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RAMOS, V. H. V.; PINTO, A. C. Q.; GOMES, A. C. Avaliação de sete porta-enxertos mono e poliembriônicos sob quatro cultivares de mangueira no cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.23, p.622-629, 2001.

RANZINI, M. Modelagem hidrológica de uma microbacia com mata atlântica: simulação do Corte Raso. In: RODRIGUES, V. A.; BUCCI, L. A. **Manejo de microbacias hidrográficas: experiências nacionais e internacionais**. Botucatu: FEPAF, 2006. p.103-119.

RAWLS, W. J.; BRAKENSIEK, D. L.; SONI, B. Agricultural management effects on soil water process Part I: soil water retention and Green and Ampt infiltration parameters. **Transitions of the ASAE**, v.26, p.1747-1752, 1983.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Apostila didática. UFSM, Santa Maria, 2006. 18p.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.5, p.49-134, 2007.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; PORTER, J. P. Revised Universal Soil Loss Equation. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.45, p.30-33, 1991.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia: Base para distinção de ambientes**. 5. ed. UFLA, Lavras, 2007. 322p.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E. In situ measurement of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity, and the α - parameter using the Guelph permeameter. **Soil Science**, v.140, p.292-302, 1985.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: EESC-USP, 1998. 840p.

RODRIGUES, M. F. **Monitoramento e modelagem dos processos hidrossedimentológicos em bacias hidrográficas florestais no sul do Brasil**. 2011. 202f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal/Silvicultura) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2011.

RODRIGUES, T. T. **Caracterização e Erodibilidade dos solos de uma voçoroca na região de Ouro Preto, Minas Gerais. Rio de Janeiro**. 2000. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2000.

SANTOS, E. H. M. **Descarga de sedimentos transportados em suspensão por três rios da bacia hidrográfica do Alto Rio Grande**. 1998. 58f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 1998.

SANTOS, C. A. G.; SILVA, R. M.; SRINIVASAN, V. S. Análise das perdas de água e solo em diferentes coberturas superficiais no semi árido da Paraíba. **Revista Okara: Geografia em debate**, v.1, p.16-32, 2007.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. 100p.

SCHLOTZHAVER, S. D.; LITTELL, R. C. **SAS: System for elementary statistical analysis**. 2. ed. Cary: SAS Institute, 1997. 905p.

SCOTT, N. A.; COLE, C. V.; ELLIOTT, E. T.; HUFFMAN, A. A. Soil textural control on decomposition and soil organic matter dynamics. **Soil Science Society America Journal**, v. 60, p.1102-1109, 1996.

SILVA, W.; SILVA, A. A.; SEDIYAMA, T.; FREITAS, L. H. L. Altura e diâmetro de *Eucalyptus citriodora* e *E. grandis*, submetidos a diferentes teores de água em convivência com *Brachiaria Brizantha*. **Floresta**, v.27, p.3-16, 1997.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.113-117, 1997.

SILVA, D. D.; PAIVA, K. W. N.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; AMORIM, R. S. S. Escoamento superficial para diferentes intensidades de chuva e porcentagens de cobertura num Podzólico Vermelho Amarelo com preparo e cultivo em contornos. **Engenharia Agrícola**, v.21, p.12-22, 2001.

SILVA, F. A. M. **Parametrização e modelagem do balanço hídrico em sistema de plantio direto no cerrado brasileiro**. 2004. 193f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola/Água e Solo) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2004.

SILVA JÚNIOR, O. B.; TUCCI, C. E. M.; CASTRO, N. M. R.; GOLDENFUM, J. A. Efeito do uso de solo nos eventos de cheia em micro e meso escalas: bacia do Potiribu. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.9, p.153-164, 2004.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, v.35, p.544-552, 2005.

SILVA, P. M. O. **Modelagem do escoamento superficial e da erosão hídrica na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela, Alto Rio Grande, MG**. 2006. 155f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, MG, 2006.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográfica**. 2. ed. São Carlos: Editora Rima, 2007. 158p.

SILVA, M. A.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; AVANZINI, J. C.; LEITE, F. P. Sistemas de manejo em plantios florestais de eucalipto e perdas de solo e água na região do valo do rio doce, MG. **Ciência Florestal**, v.21, p.765-776, 2011.

SILVEIRA, A. L. L. A. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2001. p.35-52.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington: Soil Conservation Service – United States Department of Agriculture. Gov. Print. Office, 1993. 437p. (Handbook, 18).

SOUSA, A. M. L.; SOUZA, P. J. O. P.; VITORINO, M. I. Avaliação do IAF para uso na estimativa de produtividade da manga: Estudo de caso em Cuiarana, Pará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. CD-ROM.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.18-23, 2003.

SOUZA, M. C. M. R.; MONTEIRO, R. N. F.; SANTOS, F. R. M.; CAMELO, F. M. B.; SALES, M. L. M.; NUNES, P. J. F. Avaliação dos teores de alumínio encontrados em análises de solo no município de Ibiapina, CE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE O USO MÚLTIPLO DA ÁGUA, 1, 2008, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: EMBRAPA, 2008. P.78-82.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Avaliações de alguns atributos físicos de solo em sistemas de produção de grãos, envolvendo pastagens sob plantio direto. **Revista Científica Rural**, v. 9, p. 23-31, 2006.

SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers & Graphics*, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

STHALER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **American Geophysical Union**, Transactions, v.38, p.913-920, 1957.

SUZUKI, L. E. A. S.; LIMA, C. L. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; PILLON, C. N. Condição estrutural de um Argissolo no Rio Grande do Sul, em floresta nativa, em pastagem cultivada e em povoamentos com eucalipto. **Ciência Florestal**, v.22, p.833-843, 2012.

TAKKEN, I.; BEUSELINCK, L.; NACHTERGAELE, J.; GOVERS, G.; POESEN, J.; DEGRAER, G. Spation evaluation of a physically-based distributed erosion model (LISEM). **Catena**, v.37, p.431-447, 1999.

TRANCOSO, R.; CARNEIRO FILHO, A.; TOMASELLA, J. Amazônia, deflorestamento e água. **Ciência Hoje**, v.40, p.31-37, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2004. 943p.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2005. 678p.

UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURAL – USDA. **Water erosion prediction project (WEPP)**. West Laffayette, 1995. (Technical documentation NSERL, Report n.10).

VALENTIN, C.; POESEN, J.; LI, Y. Gully erosion: Impacts, factors and control. **Catena**, v.63, p.132-153, 2005.

VAN DIJK, P. M.; KWAAD, F. J. P. M. Runoff generation and soil erosion in small agricultural catchments with loess-derived soils. **Hydrological processes**, v.10, p.1049-1059, 1996.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society America Journal**, v.44, p.892-898, 1980.

VANZELA, L. S. Caracterização da microbacia do cinturão verde de Ilha Solteira – para fins de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32, 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2003. CD/ROM.

VESTENA, L. R.; LUCINI, H.; KOBAYAMA, M. Monitoramento automático da concentração de sedimentos em suspensão na bacia hidrográfica do Caeté, Alfredo Wagner, SC. In: WORKSHOP REGIONAL DE GEOGRAFIA E MUDANÇAS AMBIENTAIS, 1, 2007, Guarapuava. **Anais...** Guarapuava: Unicentro, p.61-70, 2007.

VIEIRA, S. R.; REYNOLDS, W. D.; TOPP, G. C. Spatial variability of hydraulic properties in a highly structured clay soil. In: WIERANGA, P. J.; BACHELET, D. **Of flow and transport models for the unsaturated zone**. Las Cruces: Department of Agronomy and Horticulture, New Mexico State University, 1988. p.471-483.

VIERO, A. C. **Análise da geologia, geomorfologia e solos no processo de erosão por voçorocas: Bacia do Taboão, RS**. 2004. 124f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, 2004.

VOLK, L. B. S. **Erosão hídrica relacionada a condições físicas de superfície e subsuperfície do solo, induzidas por formas de cultivo e de manejo dos resíduos culturais**. 2002. 79f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, 2002.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.763-774, 2004.

WENDLING, G. F. D. **Formas de alumínio em solo submetidos a diferentes manejos e rotações de culturas**. 2012. 84f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2012.

XAVIER, A. C. **Estimativa da dinâmica do índice de área foliar em uma microbacia hidrográfica por meio de técnicas de sensoriamento remoto**. 2000. 111f. Tese (Doutorado

em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2000.

ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.842-852, 2004.

ZALAMENA, J. **Impacto do uso da terra nos atributos químicos e físicos de solos do rebordo do plantato, RS**. 2008. 79f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008.

ZHANG, R. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. **Soil Science Society America Journal**, v.61, p.1024-1030, 1997.

ANEXOS

Anexo 1. Parâmetros de Van Genuchten para 12 classes texturais e valores de sucção de 0,5 a 6,0 cm.

Textura	h_0							
	-0,5	-1,0	-2,0	-3,0	-4,0	-5,0	-6,0	
Arenosa	2,9	2,5	1,8	1,3	0,9	0,7	0,5	
Areia franca	3,0	2,8	2,5	2,2	1,9	1,6	1,4	
Franco-arenosa	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,1	4,1	
Franco	5,6	5,8	6,4	7,0	7,7	8,4	9,2	
Siltosa	8,1	8,3	8,9	9,5	10,1	10,8	11,5	
Franco-siltosa	7,2	7,5	8,1	8,7	9,4	10,1	10,9	
Franco-argilo-arenosa	3,3	3,6	4,3	5,2	6,3	7,6	9,1	
Franco-argilosa	6,0	6,2	6,8	7,4	8,0	8,7	9,5	
Franco-argilo-siltosa	8,1	8,3	8,7	9,1	9,6	10,1	10,6	
Argilo-arenosa	3,4	3,6	4,2	4,8	5,5	6,3	7,2	
Argilo-siltosa	6,2	6,3	6,5	6,7	6,9	7,1	7,3	
Argilosa	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,1	5,3	

Adaptado de Van Genuchten (1980).

Anexo 2. Classes de permeabilidade do solo à água (cm h^{-1}).

Classe	Permeabilidade
Rápida	> 25,4
Moderada a rápida	25,4 – 12,7
Moderada	12,7 – 6,35
Lenta a moderada	6,35 – 2,0
Lenta	2,0 – 0,5
Muito lenta	< 0,5

Adaptado de Soil Survey Staff (1993).

Anexo 3. Classificação química do solo.

Classe	P resina				Al	K	Ca	Mg	pH	V%
	Teores	Florestais	Perenes	Anuais Hortaliças						
Muito baixo	0 – 2	0 – 5	0 - 6	0 - 10		0,0 - 0,7			< 4,3	0 - 25
Baixo	3 – 5	6 – 12	7 - 15	10 - 25	< 5	0,8 - 1,5	0 - 3	0 - 4	4,4 - 5,0	26 - 50
Médio	6 – 10	13 – 30	16 - 40	25 - 60		1,6 - 3,0	4 - 7	5 - 8	5,1 - 5,5	51 - 70
Alto	10 – 20	31 – 60	41 - 80	61 - 120	> 5	3,1 - 6,0	> 7	> 8	5,6 - 6,0	71 - 90
Muito alto	> 20	> 60	> 80	> 120		> 6,0			> 6,0	> 90

Raij et al. (2001).

Anexo 4. Dados de entrada do modelo LISEM para a sub-bacia Jardim Novo Horizonte.

Parâmetros	Usos do solo			
	Pastagem	Milho	Fragmento de mata	Manga
Profundidade das avaliações (mm)	200	200	200	200
*Condutividade hidráulica (mm h⁻¹)	1,76	2,78	0,80	0,80
*Umidade antecedente (cm cm⁻³)	0,154	0,163	0,145	0,155
*Diâmetro médio ponderado (D₅₀) (µm)	161,53	186,17	169,63	145,57
*Umidade de saturação (cm cm⁻³)	0,392	0,398	0,430	0,340
**Índice de área foliar (IAF) (m m⁻²)	2,93	2,69	2,80	2,38
**Altura da vegetação (m)	0,20	1,82	6,00	3,55
**Fração do solo coberto por vegetação	1,00	0,35	1,00	0,63
**Coesão da raízes (kPa)	3,32	0,22	1,45	2,08
**Rugosidade (cm)	0,70	1,43	1,36	0,73
**Coef. de Manning	0,23	0,10	0,30	0,30
**Coesão do solo (kPa)	3,55	3,00	12,40	3,73
***Tensão na frente de molhamento (cm)	10,59	6,24	12,50	11,50

*Parâmetros avaliados

**Parâmetros pesquisados na literatura

***Parâmetro calculado

Anexo 5. Dados de entrada do modelo LISEM para a sub-bacia Dois Córregos.

Parâmetros	Usos do solo		
	Pastagem	Eucalipto com 5 anos	Eucalipto aos 6 meses
Profundidade das avaliações (mm)	200	200	200
*Condutividade hidráulica (mm h⁻¹)	6,28	5,97	11,10
*Umidade antecedente (cm cm⁻³)	0,058	0,047	0,080
* Diâmetro médio ponderado (D₅₀) (um)	223,37	223,51	220,63
*Umidade de saturação (cm cm⁻³)	0,353	0,372	0,361
** Índice de área foliar (IAF) (m m⁻²)	2,93	2,75	1,58
**Altura da vegetação (m)	0,20	21,17	0,68
**Fração do solo coberto por vegetação	1,00	0,82	0,10
**Coesão da raízes (kPa)	3,32	10,0	3,32
**Rugosidade (cm)	0,70	1,36	0,70
**Coef. de Manning	0,23	0,30	0,23
**Coesão do solo (kPa)	3,55	12,4	3,55
***Tensão na frente de molhamento (cm)	5,43	4,70	5,02

*Parâmetros avaliados

**Parâmetros pesquisados na literatura

***Parâmetro calculado