

Unicastelo Camilo Castelo Branco  
Campus de Fernandópolis

ELAINE CRISTINA SIQUEIRA

SIMULAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DO  
APORTE DE SEDIMENTOS EM BACIA AGRÍCOLA NO  
MUNICÍPIO DE FERNANDÓPOLIS-SP

SIMULATION OF TIME AND SPACE  
SEDIMENT APORTE IN AGRICULTURAL BOWL  
ON COUNTY FERNANDÓPOLIS-SP

Fernandópolis, SP  
2015

Elaine Cristina Siqueira

SIMULAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DO  
APORTE DE SEDIMENTOS EM BACIA AGRÍCOLA NO  
MUNICÍPIO DE FERNANDÓPOLIS-SP

Orientador: Prof. Dr. Luiz Sergio Vanzela

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Camilo Castelo Branco, como complementação dos créditos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Fernandópolis, SP

2015

## FICHA CATALOGRÁFICA

SIQUEIRA, Elaine Cristina  
S628S Simulação Temporal e Espacial do Aporte de Sedimentos em Bacia Agrícola no  
Município de Fernandópolis - SP / Elaine Cristina Siqueira - São José dos Campos:  
SP / UNICASTELO, 2015.

45f. il.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Sergio Vanzela

Dissertação de Mestrado apresentada no Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental da Universidade Camilo Castelo Branco, para complementação dos créditos para obtenção do título de Mestre em Ciência Ambiental.

1. Declividade. 2. Poluição Difusa. 3. Recursos Hídricos. 4. Uso e Ocupação do Solo.

I. Título

**CDD: 574**

Autorizo, exclusivamente, para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta Dissertação de Mestrado, por processos xerográficos ou eletrônicos.

Assinatura: *Elcsiqueira*

Data: *Fernandópolis, 05 de fevereiro de 2016.*

**TERMO DE APROVAÇÃO**

**ELAINE CRISTINA SIQUEIRA**

**SIMULAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DO APORTE DE SEDIMENTOS  
EM BACIA AGRÍCOLA NO MUNICÍPIO DE FERNANDÓPOLIS-SP**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Camilo Castelo Branco, pela seguinte banca examinadora:



Prof. Dr. Luiz Sergio Vanzela  
(Presidente)



Prof. Dr. Roberto Andreani Junior



Prof. Dr. Osmar Caôn Filho

Fernandópolis - SP, 30 de setembro de 2015.

Presidente da Banca Prof. Dr. Luiz Sergio Vanzela

**DEDICATÓRIA**

A Deus por conceder mais uma conquista.

Aos meus pais Edmur (sempre presente) e Noemia.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por mais uma conquista.

Ao meu orientador Luiz Sergio Vanzela pelo incentivo, confiança depositadoem cada pesquisa, desenvolvimento deste trabalho, sobre tudo a amizade de todos esses anos.

A todos os professores que sempre me auxiliaram, incentivaram em todas as pesquisas realizadas e pelo crescimento da vida profissional.

Aos meus amigos Cristiane AkemiMatumotoUetanabara, IochiroMatumoto, Aparecida Matumoto, Luciana Paula Canhada Pontes Gabriel, José de Genova e Milton Rodrigues Monção.

A Universidade Camilo Castelo Branco, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior.

“Se fui capaz de ver mais longe, é porque me apoiei em ombros de gigantes”.

*Isaac Newton*

## SIMULAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DO APORTE DE SEDIMENTOS EM BACIA AGRÍCOLA NO MUNICÍPIO DE FERNANDÓPOLIS-SP

### RESUMO

A caracterização do aporte de sedimentos em bacias hidrográficas representa uma importante ferramenta para subsidiar projetos de conservação do solo e de manejo de bacias hidrográficas. Assim, este trabalho objetivou realizar uma análise temporal e espacial do aporte de sedimentos em bacia agrícola no afluente no Ribeirão Santa Rita situada em Fernandópolis-SP por meio de simulação com o uso de geoprocessamento. Para isto, realizou-se a simulação do aporte pelo método da Equação Universal de Perda de Solo Modificada para bacias, no período de outubro de 2012 a setembro de 2013. Verificou-se um aporte total de 433,87 t no período avaliado, resultando em uma perda média de solo de  $3,635 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . O período de maior aporte foi de dezembro de 2012 a março de 2013, onde foram produzidos 65,1% do total de sedimentos do período avaliado. No mês mais crítico, em fevereiro de 2013, cerca de 15% da área total da bacia apresentou aportes de sedimentos variando de 2 a  $15 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . A cultura da cana-de-açúcar foi a que mais contribuiu com os aportes, sendo responsável por 92% do total e com média de  $6,343 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  e a cana-de-açúcar com  $0,132 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

**Palavras-chave:** declividade, poluição difusa, recursos hídricos, uso e ocupação do solo.

## **SIMULATION OF TIME AND SPACE SEDIMENT APOORTE IN AGRICULTURAL BOWL ON COUNTY FERNANDÓPOLIS-SP**

### **ABSTRACT**

The characterization of the contribution of sediments in watershed is an important tool in projects to support soil conservation and watershed management. This paper aimed to perform a spatial and temporal analysis of the sediment supply in agricultural watershed in the town of Fernandópolis, in North West São Paulo. In order to do this, there was the simulation of sediment delivery by the method of Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) in watersheds, from October 2012 to September 2013. There was a total of 433.87 t of sediments contribution in the period evaluated, resulting in an average soil loss of 3,635 t ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>. The period of greatest amount of sediments was from December 2012 to March 2013, which produced 65.1% of all sediments. In the most critical month of sediment contribution, February 2013, about 15% of the total watershed area showed sediment contributions ranging from 2 to 15 t ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>. The sugarcane was the largest supporter to the sediment contributions, accounting for 92% of the total and an average of 6,343 t ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>.

**Key-words:** slope, diffuse pollution, water resources, land use and occupation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica em estudo.....	22
Figura 2. Fluxograma da metodologia empregada para a obtenção dos dados de entrada na determinação dos aportes de sedimentos (Y), em 6 etapas (I, II, III, IV, V e VI).....	24
Figura 3. Mapa de declividades da bacia. ....	30
Figura 4. Mapa de uso e ocupação do solo.....	30
Figura 5. Variação da precipitação (P), do aporte de sedimentos (Y), do escoamento superficial (Q), e dos limites de baixo (linha pontilhada verde) e moderado (linha pontilhada vermelha) com risco de erosão nos intervalos considerados.....	33
Figura 6. Distribuição espaço-temporal do aporte de sedimentos da bacia hidrográfica nas classes de risco de erosão da bacia agrícola do afluente do Ribeirão Santa Rita em Fernandópolis – SP. ....	34
Figura 7. Distribuição espacial do aporte de sedimentos da bacia hidrográfica nas classes de risco de erosão da bacia agrícola do afluente do Ribeirão Santa Rita em Fernandópolis – SP.....	35
Figura 8. Distribuição espacial do aporte de sedimentos total do período na bacia hidrográfica (a) e os percentuais de área da bacia dentro de cada classe risco de erosão (b).....	36
Figura 9. Distribuição percentual da área de cada cultura dentro das classes de risco de erosão (a) e perda média de solo por cultura na bacia (b) no período avaliado....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores de $CN_{II}$ adotados para os diferentes usos e ocupações nas uh's	26
Tabela 2. Valores adotados de $C_i$ para cada uso e ocupação do solo na bacia .....	28
Tabela 3. Valores do fator C atribuídos para os usos e ocupações .....	30
Tabela 4. Valores de P atribuídos em função das práticas conservacionistas e declividade do terreno.....	31

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
2. OBJETIVOS .....	15
2.1. Objetivos gerais.....	15
2.2. Objetivos específicos.....	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	16
3.1. Recursos Hídricos e Bacias hidrográficas .....	16
3.2 Aporte de sedimentos em bacias hidrográficas.....	19
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
6. CONCLUSÃO.....	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	40

## 1. INTRODUÇÃO

As ocupações agrícolas das bacias hidrográficas nas últimas décadas têm provocado inúmeros problemas relacionados com a degradação das matas ciliares e a precária conservação do solo, com consequências sobre a redução da disponibilidade e qualidade hídrica (TUNDISI; TUNDISI, 2010). Dentre os principais fatores que causam a degradação hídrica, destaca-se a produção excessiva de sedimentos que está associada aos processos de deslocamento, transporte, deposição e compactação, obedecendo ao sentido natural do terreno (CARVALHO, 2008), o que normalmente é potencializado em locais com modificação constante do uso e ocupação do solo (SCAPIN, 2005).

A cobertura vegetal do solo permite dissipar a energia cinética do impacto direto das gotas da chuva sobre a superfície, diminuindo a desagregação inicial das partículas de solo e, conseqüentemente, a concentração de sedimentos na enxurrada; além disso, a cobertura do solo representa um obstáculo mecânico ao livre escoamento superficial da água, ocasionando diminuição da velocidade e da capacidade de desagregação e transporte de sedimentos (SILVA et al., 2005). Efeitos como este já foram constatados por Donadio; Galbiatti; Paula (2005), que avaliando a influência da vegetação natural remanescente e de atividades agrícolas na qualidade da água em quatro nascentes, concluíram que os períodos de amostragem, assim como as características do solo e seus diferentes usos, influenciam na qualidade da água das sub-bacias.

Assim, o manejo racional das bacias hidrográficas deve permitir minimizar o transporte difuso de sedimentos, pois além de serem constituídos de minerais e matéria orgânica, podem possuir nutrientes e defensivos, os quais degradam a qualidade hídrica e de seu entorno (MILLER et al. 2013).

A caracterização do transporte de sedimentos em bacias hidrográficas é de extrema importância para os planos de manejo de bacias hidrográficas (OYARZÚN et al., 2011), permitindo avaliar os impactos das ações humanas e a proposta de soluções (MANGO et al., 2011). Dentre as formas de se avaliar o potencial de sedimentos originados dos processos erosivos, pode-se destacar o aporte de sedimentos, que se refere ao potencial total de perda de solo de uma bacia hidrográfica (SILVA; SHULTZ; CAMARGO, 2003).

O aporte de sedimentos pode ser determinado por vários métodos, dentre os quais, pode-se destacar o da Equação Universal de Perda de Solo Modificada (Modified Universal SoilLossEquation - MUSLE), onde é estimado a partir de variáveis relacionadas ao tipo, declividade e uso e ocupação do solo, além do escoamento superficial e vazão de cheia (CHAVES; PIAU, 2008). Assim, considerando que dentro de uma bacia hidrográfica estas variáveis se integram e possuem grande variabilidade espacial, com o uso de geoprocessamento, é possível mapear os locais de origem dos aportes de sedimentos acima dos toleráveis, permitindo a implantação de propostas de mitigação dos processos erosivos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivos gerais**

Este trabalho teve como objetivo realizar uma simulação temporal e espacial do aporte de sedimentos em bacia agrícola situada no município de Fernandópolis, Noroeste Paulista, por meio de simulação com o uso de geoprocessamento.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Elaborar os mapas de uso e ocupação do solo e de declividade da bacia hidrográfica;
- Determinar a vazão de máxima e o volume de escoamento na bacia hidrográfica;
- Determinar os fatores de erodibilidade do solo, comprimento e grau do declive, uso e manejo do solo e de práticas conservacionistas na bacia hidrográfica;
- Obter os mapas de distribuição espacial e temporal dos aportes de sedimentos.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Recursos Hídricos e Bacias hidrográficas**

A população humana mundial está em constante crescimento, com estimativas mínimas de aumentar em torno de 2 bilhões de habitantes até o ano de 2050 (UNITED NATIONS, 2007). Concomitantemente a este cenário, ocorrerá o aumento do consumo dos recursos naturais e energéticos, exigindo o desenvolvimento de tecnologias, em todas as áreas do conhecimento, que maximizem o uso destes recursos. Dentre os recursos naturais, os hídricos deverão ter atenção especial devido a sua primordial importância no desenvolvimento biológico e econômico.

A água exerce um papel importante no desenvolvimento socioeconômico e ambiental. Mediante esta realidade atribui-se a bacia hidrográfica um elemento que necessita de planejamento e gerenciamento de seu recurso hídrico. A água é um elemento fundamental e limitado para a produção e esta diretamente a qualidade e existência da vida. A qualidade e a disponibilidade hídrica estão diretamente ligadas ao uso e ocupação solo e sua origem (VANZELA; HERNANDEZ; FRANCO, 2010).

As principais fontes de recursos hídricos da terra estão divididas em superficiais e subterrâneas, sendo os principais problemas de sua degradação, aqueles relacionados à alteração de sua qualidade e disponibilidade. Dentre estes, os recursos hídricos superficiais estão mais facilmente sujeitos a degradação porque os fatores que os impactam, são os originados dos processos hidrológicos nas bacias hidrográficas, que são as poluições pontuais ou difusas.

A bacia hidrográfica é definida como uma área que apresenta captação hídrica de maneira natural da precipitação onde seus escoamentos para um ponto em comum, uma saída, sendo composta por vertentes e rede de drenagem constituída por cursos d'água que levam ao único leito (SOUZA; SILVA; DIAS, 2012).

As áreas drenadas por um rio e seus afluentes, delimitadas por divisores de água nas regiões mais altas do relevo, promovem o escoamento das águas pluviais dando forma a bacia hidrográfica. As bacias hidrográficas são sistemas abertos, nos quais a quantidade de água que entra e sai, é influenciada pelo clima e deflúvio respectivamente, tendo seu equilíbrio alterado pelas ações antrópicas. Mas o

sistema tende a compensar as modificações sofridas, recuperando estas alterações em busca do equilíbrio constante (TEODORO et al., 2007).

Para facilitar e viabilizar abordagens sobre os recursos hídricos, as bacias hidrográficas têm sido adotadas como unidades físicas de reconhecimento, caracterização e avaliação. O comportamento de uma bacia hidrográfica ao longo dos anos ocorre por dois fatores: ordem natural, responsáveis pela pré-disposição do meio à degradação ambiental; e antrópicos, onde as atividades humanas interferem de forma direta ou indireta no funcionamento da bacia (SOUZA et al., 2012). Para Carvalho (2008) a proteção da bacia hidrográfica está ligada diretamente ao uso dos recursos hídricos e do solo da área em questão.

O manejo e a preservação de bacias hidrográficas tornaram-se temas de suma importância, sabendo-se que as consequências da falta de conservação e proteção das fontes de água podem contribuir para a contaminação da água superficial e subterrânea; maior concentração de metais pesados; carga orgânica e nitratos nos corpos d'água, potencializando a degradação ambiental. As bacias hidrográficas sofrem intervenção e alteração no que tange a impermeabilização excessiva do solo, onde as mudanças na vazão dos cursos de água, redução das áreas de infiltração das águas pluviais, escoamento superficial mais rápida, aumento na frequência de enchentes, acabam por sua vez, prejudicando a quantidade e qualidade dos recursos hídricos e, conseqüentemente, as condições de vida da população (SOUZA et al., 2012).

As mais eficientes e adequadas medidas de controle de sedimentos são aquelas que atuam efetivamente no controle da erosão, evitando que a mesma ocorra e cheguem ao curso d'água. Desta forma, buscar maneiras de reduzir os depósitos de sedimentos, necessitará de procedimentos que nem sempre são adotados devido seu alto custo (CARVALHO, 2008).

A qualidade e disponibilidade hídrica nas bacias hidrográficas sofrem impactos diretos do uso e ocupação dos solos, que contribuem com sedimentos de origem difusa. Os fatores que influenciam o aporte de sedimentos em bacias hidrográficas, alterando suas características, são os relevos, tipos de solos, climas e usos e ocupação dos solos (VANZELA; HERNANDEZ; FRANCO, 2010), sendo que, dentre esses fatores, a cobertura do solo tem influência decisiva nas perdas de água e solo por erosão (SILVA et al., 2005).

Junto com o escoamento superficial das águas das chuvas para o leito dos mananciais, são carreados sedimentos minerais e orgânicos, suspensos e dissolvidos. Quando o solo é explorado pela agricultura, a quantidade de sedimentos transportados aumenta, pois de acordo com Gomes et al. (2007), a dinâmica do uso e ocupação do solo interfere em alguns de seus atributos físicos, principalmente aqueles influenciados pelo manejo, como a densidade do solo e a matéria orgânica. Ainda, Bertol et al. (2004), afirmam que o preparo convencional do solo por arações e gradagens é caracterizado pela quase completa ausência de cobertura, baixa rugosidade superficial e maior quantidade de partículas prontamente disponíveis para o transporte, além da maior susceptibilidade do solo à erosão em sulcos.

Para Vanzela; Hernandes; Franco (2010), nessas áreas, a alteração dos atributos físicos é caracterizada, sobretudo pela redução da capacidade de infiltração e armazenamento de água promovendo o aumento do escoamento superficial e reduzindo a contribuição para o escoamento subterrâneo, fator importante na disponibilidade de água na época seca.

Em contrapartida, áreas com maior cobertura do solo por resíduos vegetais são menos susceptíveis a erosão, reduzindo a quantidade de sedimentos transportados para o leito dos mananciais. SILVA et al. (2005), ao analisar o efeito da porcentagem de cobertura do solo e da energia cinética decorrente de chuvas simuladas sobre as perdas de solo, verificaram que a cobertura completa do solo evita a desagregação provocada pelo impacto das gotas de chuva e a formação do selamento superficial favorecendo, conseqüentemente, a infiltração da água no solo e a redução do escoamento superficial.

Assim, o conhecimento da relação entre o uso e ocupação do solo e a qualidade e disponibilidade de água dos mananciais é de grande importância na previsão de cenários e, conseqüente, exploração sustentável dos solos, minimizando os impactos ambientais sobre os recursos hídricos. O desmatamento das áreas de preservação permanente, manejo deficiente das culturas, conservação inadequada do solo, uso indiscriminado de defensivos agrícolas e fertilizantes e ausência de administração e planejamento, são fatores relacionados aos problemas nas bacias hidrográficas.

No planejamento integrado dos recursos hídricos nas bacias é importante o conhecimento e levantamento de suas características, dentre as quais podem-se destacar as características fisiográficas, tais como: dimensões, comprimento do leito

principal, coeficiente da forma, coeficiente de escoamento superficial, declividade, entre outras.

A realização de pesquisas e projetos que visem à recuperação e conservação das bacias hidrográficas se faz cada vez mais necessária e viável. O êxito destes trabalhos tem que estar embasado em pesquisas, mapeamentos de áreas, análise de campo, conservação, acompanhamento do uso e ocupação do solo e principais causas e fontes de degradação.

### **3.2 Aporte de sedimentos em bacias hidrográficas**

Os sedimentos podem ser constituídos de partículas orgânicas, quando originados da decomposição da matéria orgânica animal ou vegetal, ou de origem mineral, quando derivados de material rochoso intemperizado. Mas independentemente de sua origem, os sedimentos sofrem erosão, deslocamento, transporte, deposição e compactação, constituindo o ciclo hidrossedimentológico. O aporte desses sedimentos se refere a quantidade que chega aos cursos d'água, sendo este processo intensificado no período chuvoso.

A quantidade de sedimentos produzidas nas bacias é influenciada por suas características naturais, tais como geologia, cobertura natural, uso do solo, fatores climáticos, dentre outros (MEDEIROS et al., 2011). Mas de acordo com Carvalho (2008), de 70 a 90% de todo aporte de sedimentos pelos cursos d'água acontece nos períodos chuvosos, sendo mais relevantes mediante as precipitações mais intensas.

A expansão agrícola e urbana nas bacias hidrográficas tem proporcionado alterações significativas em sua cobertura, que na maioria das vezes, potencializa a erosão e o aporte de sedimentos (MINELLA; MERTEN, 2011). Alguns fatores contribuem para a retirada natural do solo e sua cobertura, como as diversas atividades antrópicas, que dependendo de sua magnitude e intensidade, altera significativamente o fluxo de sedimentos (MEDEIROS et al., 2011).

A ação antrópica altera, de curto a médio prazo, o uso e manejo do solo, que por sua vez, interfere diretamente na perda do solo em uma bacia hidrográfica, alterando o ciclo hidrossedimentológico. Conforme Pinto et al. (2013) os processos erosivos acontecem de forma natural, por meio da produção, transporte, deposição e

compactação de sedimentos. Quando o uso e manejo dos solos são implantados sem planejamento, podem potencializar tais etapas, aumentando a quantidade de sedimentos no exultório de uma determinada bacia e conseqüentemente reduzindo a produtividade deste solo. Tais problemas geram indiretamente impactos socioeconômicos e ambientais negativos. Dentre os prejuízos pode-se destacar a degradação da fertilidade do solo, alteração da qualidade e habitat hídrico, assoreamento do curso d'água como reservatórios e conseqüentemente a diminuição preocupante da vida útil do corpo d'água (MELO et al., 2009).

Na água, dependendo das características dos sedimentos, pode ocorrer alterações nos aspectos qualitativos dos recursos hídricos, como sua turbidez, promovendo redução da luminosidade hídrica e alteração da fauna e flora aquática. Além disso, se os sedimentos foram constituídos por nutrientes, podem potencializar a produção de algas culminando com a eutrofização.

Sabendo-se que a principal fonte de sedimentos de origem difusa tem origem na erosão hídrica, o conhecimento ampliado dos efeitos oriundos da erosão, faz com que o manejo adequado venha proporcionar maior eficiência e conservação do solo e hídrica (TARTARI et al., 2012).

Assim, a redução e controle do aporte de sedimentos deve prever o controle da erosão por meio de técnicas de manutenção da estabilidade do solo e da redução da intensidade do escoamento superficial, dentre os quais pode-se destacar a preservação da vegetação nativa, o terraceamento e o uso de sistemas de cultivos conservacionistas.

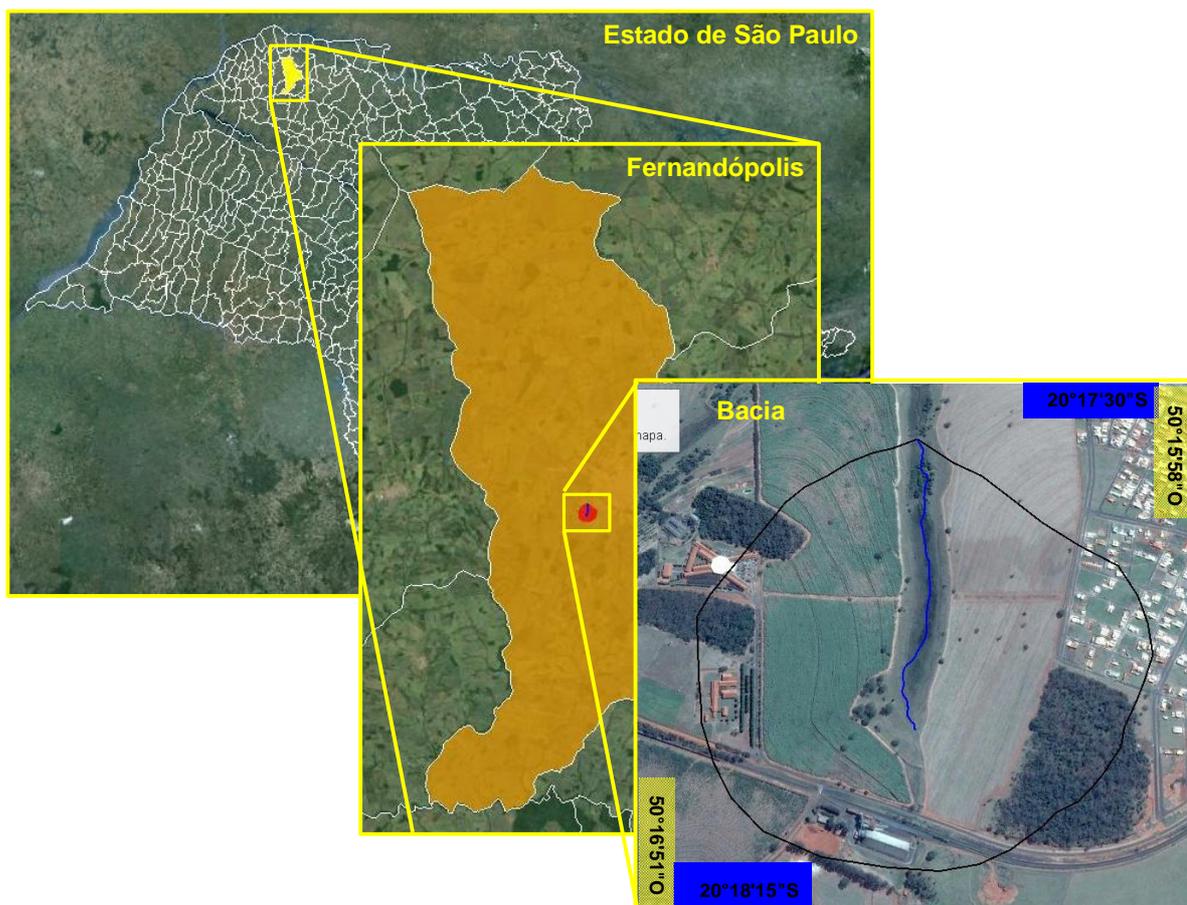
Para Souza & Knoppers (2003) o controle de material em suspensão em recursos hídricos passa por alguns elementos naturais, tais como a geologia, geomorfologia, pedologia, cobertura vegetal natural, uso do solo e fatores climáticos, dentre outros. Mas dentre estes elementos naturais, a cobertura vegetal natural e o uso do solo são os que podem ser conservados e/ou recuperados por técnicas da engenharia de água e solo. Mas para Moreira; Targa; Batista (2006), no planejamento do uso do solo de uma bacia também são necessários estudos de chuvas intensas e de vazões.

Dentre as ferramentas que podem ser utilizadas no manejo de bacias hidrográficas e auxiliar no controle do aporte de sedimentos, destaca-se os modelos que simulam a perda de solo por erosão e o aporte de sedimentos. O modelo MUSLE junto com suas modificações, por exemplo, tem sido adotado para a

estimativa do aporte de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas não monitoradas (SILVA et al., 2011), permitindo a análise da produção de sedimentos com a simulação em diferentes cenários. O resultado desses estudos permite que os gestores de bacias hidrográficas antecipem ações mitigadoras de possíveis impactos a serem gerados pelas atividades socioeconômicas, se constituindo em ferramenta imprescindível aos manejos de bacias hidrográficas.

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido em uma bacia agrícola localizada no município de Fernandópolis - SP, com área total de 1,309 km<sup>2</sup> e afluente do Ribeirão Santa Rita, localizada entre as coordenadas 20°17'30" e 20°18'15" Sul e 50°15'58" e 50°16'51" de longitude Oeste (Figura 1).



**Figura 1.** Mapa de localização da bacia hidrográfica em estudo.

A metodologia empregada para a simulação do aporte de sedimentos com o uso de geoprocessamento foi a da Equação Universal de Perda de Solo Modificada para bacias hidrográficas (EUPSm).

O modelo da EUPS modificada é derivado da EUPS clássica, cuja equação é descrita segundo Williams (1975), como:

$$Y = 89,6 \cdot (Q \cdot q_p)^{0,56} \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

, em que:

Y – aporte de sedimentos em determinado intervalo de tempo (t);

Q – volume de escoamento superficial em determinado intervalo de tempo ( $m^3$ );

$q_p$  – vazão de máxima ( $m^3 s^{-1}$ );

K – fator de erodibilidade do solo ( $MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}$ );

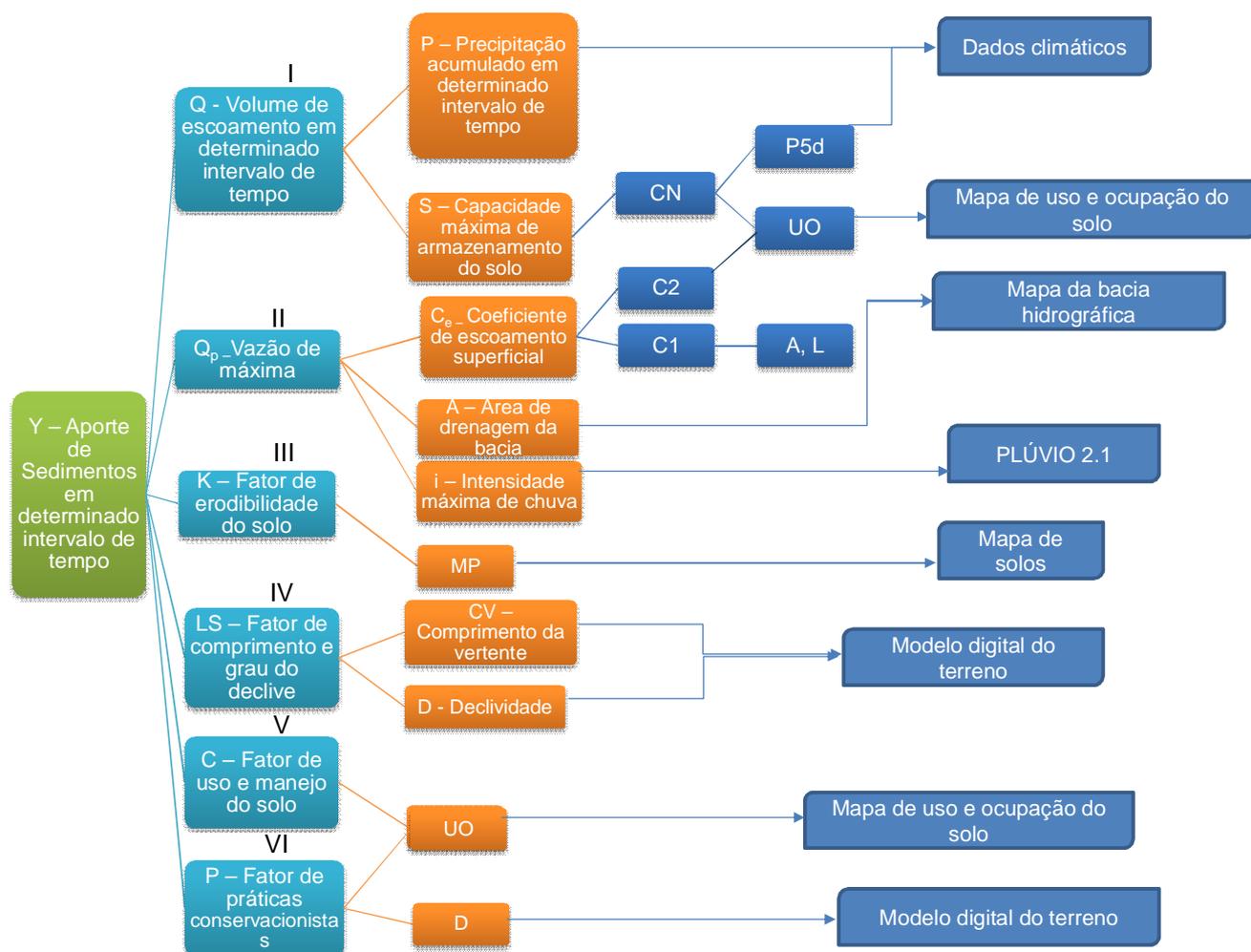
LS – fator de comprimento e grau do declive (adimensional);

C – fator de uso e manejo do solo (adimensional);

P – fator de práticas conservacionistas (adimensional).

Este modelo não necessita de relações empíricas adicionais de aporte de sedimentos como o adotado pelo modelo clássico e sua principal vantagem é ser aplicável a eventos isolados de precipitação, resultando em previsões mais precisas e concretas (ARAÚJO JÚNIOR, 2003).

A base de dados para a obtenção de todos os coeficientes e variáveis de entrada do modelo foram obtidos do banco de dados climáticos do município de Fernandópolis (CIIAGRO, 2014), do software PLÚVIO 2.1 (SILVA et al., 1999), do mapa de solos do Estado de São Paulo (OLIVEIRA et al., 1999) e dos mapas físicos, de declividades e de uso e ocupação do solo elaborados por geoprocessamento. Na Figura 2 está o fluxograma que apresenta um resumo geral da metodologia empregada na determinação dos aportes de sedimentos na bacia.



**Figura 2.** Fluxograma da metodologia empregada para a obtenção dos dados de entrada na determinação dos aportes de sedimentos (Y), em 6 etapas (I, II, III, IV, V e VI).

Os cálculos dos aportes de sedimentos foram realizados individualmente para as unidades hidrológicas (uh's) com área equivalente a pixels de resolução geométrica de 2,5 m, ou seja, com área de 6,25 m<sup>2</sup>. Estas unidades hidrológicas são constituídas da combinação de tipo, declividade, uso e ocupação do solo.

O cálculo do volume de escoamento superficial (etapa I do fluxograma da Figura 2) foi realizado pela seguinte expressão:

$$Q = Q' \cdot AP \cdot 10^{-3} \quad (2)$$

, em que:

Q – volume de escoamento superficial do pixel ( $m^3$ );

Q' – escoamento superficial (mm);

AP – área do pixel ( $m^2$ );

O escoamento superficial foi determinado de acordo com o método do SoilConservation Service (PRUSKI; BRANDÃO. SILVA,2003), a partir da seguinte expressão:

(3)

$$Q' = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{(P + 0,8 \cdot S)}$$

, em que:

Q' – escoamento superficial (mm);

P – precipitação acumulada em determinado intervalo de tempo (mm);

S – capacidade máxima de armazenamento do solo (mm);

A equação acima é válida para a situação de “ $P > 0,2S$ ”. Para as situações em que “ $P \leq 0,2S$ ”, o valor de “Q” foi igual a zero. Os valores de “P” foram obtidos a partir dos dados disponíveis no banco de dados do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas da estação automática de Fernandópolis, localizada a 500 m da bacia estudada. Já o valor de “S” foi determinado pela seguinte expressão:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4)$$

, em que:

S – capacidade máxima de armazenamento do solo (mm);

CN – número da curva corrigido com a umidade antecedente do solo;

O número da curva foi corrigido com a umidade antecedente do solo, a partir das equações:

- a)  $CN = 0,0077 CN_{II}^2 + 0,1694CN_{II} + 2,1658$  ( $r^2 = 0,9978$ ), para precipitação acumulada dos últimos 5 dias (P5d) inferior a 35,0 mm;
- b)  $CN = CN_{II}$ , para precipitação acumulada dos últimos 5 dias (P5d) entre 35,0 e 52,5 mm;
- c)  $CN = -0,0067CN_{II}^2 + 1,596 CN_{II} + 6,9307$  ( $r^2 = 0,9000$ ), para precipitação acumulada dos últimos 5 dias (P5d) superior a 52,5 mm;

Os valores de  $CN_{II}$  adotados para os diferentes usos e ocupações do solo das uh's estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Valores de  $CN_{II}$  adotados para os diferentes usos e ocupações nas unidades hidrológicas.

Descrição	$CN_{II}$
Pastagem	79
Área construída	92
Várzeas	79
Matas	52
Culturas perenes	76
Cana-de-açúcar	76
Estradas pavimentadas	98

Fonte: PRUSKI; BRANDÃO; SILVA (2003).

O cálculo da vazão máxima proporcionada pelas uh's (etapa II do fluxograma da Figura 2) foi determinado pela seguinte expressão:

$$q_p = \frac{q_p' \cdot AP}{A} \quad (5)$$

, em que:

$q_p$  – vazão máxima da uh ( $m^3 s^{-1}$ );

$q_p'$  – vazão máxima da bacia hidrográfica ( $m^3 s^{-1}$ );

AP – área do pixel ( $m^2$ );

A – área de drenagem da bacia hidrográfica ( $m^2$ ).

O cálculo da vazão máxima da bacia hidrográfica ( $q_p'$ ) foi realizado pelo método Racional (DAEE, 2005), a partir da seguinte expressão:

(6)

$$q_p' = 0,1667 \cdot C \cdot i \cdot A$$

, em que:

$q_p$  – vazão máxima ( $m^3 s^{-1}$ );

C- coeficiente de escoamento superficial;

i – intensidade máxima de chuva ( $mm h^{-1}$ );

A – área de drenagem da bacia (ha).

O coeficiente de escoamento superficial ( $C_e$ ) da bacia foi determinado pela seguinte expressão:

$$C_e = \left( \frac{2}{1+F} \right) \cdot \left( \frac{C2}{C1} \right) \quad (7)$$

, em que:

$C_e$  – coeficiente de escoamento superficial da bacia;

F – fator de forma da bacia;

C1 – coeficiente de forma da bacia;

C2 – coeficiente volumétrico de escoamento;

O fator de forma (F) foi determinado pela seguinte expressão:

$$F = \frac{L}{2 \cdot \left( \frac{A}{\pi} \right)^{0,5}} \quad (8)$$

, em que:

F – fator de forma da bacia;

A – área de drenagem da bacia hidrográfica ( $km^2$ );

L – comprimento do talvegue principal (km).

O coeficiente de forma (C1) foi determinado pela seguinte expressão:

$$C1 = \frac{4}{2 + F}$$

O coeficiente volumétrico de escoamento (C2) foi determinado pela seguinte expressão:

$$C2 = \frac{\sum C_i \cdot A_i}{A} \quad (9)$$

, em que:

C2 – coeficiente volumétrico de escoamento;

C<sub>i</sub> – coeficiente volumétrico de escoamento do uso e ocupação “i”;

A<sub>i</sub> - área total do uso e ocupação “i” (km<sup>2</sup>);

A – área de drenagem da bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>).

O coeficiente volumétrico de escoamento (C<sub>i</sub>) foi atribuído para cada uso e ocupação do solo conforme a Tabela 2.

**Tabela 2.** Valores adotados de C<sub>i</sub> para cada uso e ocupação do solo na bacia.

Descrição	C <sub>i</sub>
Pastagem	0,25
Área construída	0,70
Várzeas	0,25
Matas	0,20
Culturas perenes	0,30
Cana-de-açúcar	0,35
Estradas pavimentadas	0,70

Fonte: DAEE (2005).

A intensidade máxima de chuva (i) foi determinada utilizando o método da equação de intensidade, duração e frequência de chuvas, com o auxílio do software PLÚVIO 2.1 (SILVA et al., 1999). A equação para a localização da bacia hidrográfica estudada foi:

$$i = \frac{1732.921 \cdot T^{0,118}}{(24,990 + tc)^{0,814}} \quad (10)$$

, em que:

$i$  – intensidade máxima de chuva ( $\text{mm h}^{-1}$ );

$T$  – período de retorno (anos), considerado 10 anos;

$tc$  – tempo de concentração (min).

O valor do fator de erodibilidade do solo ( $K$ ) (etapa III do fluxograma da Figura 2) adotado para toda a bacia hidrográfica, considerando que se tratam de Argissolos conforme o mapa pedológico do Estado de São Paulo (OLIVEIRA et al., 1999), foi de  $0,04 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

O fator de grau e comprimento do declive ( $LS$ ) (etapa IV do fluxograma da Figura 2) foi obtido para as unidades hidrológicas, segundo BERTONI & LOMBARDI NETO (1999), utilizando a seguinte expressão:

$$LS = 0,00984 \cdot CV^{0,63} \cdot D^{1,18} \quad (11)$$

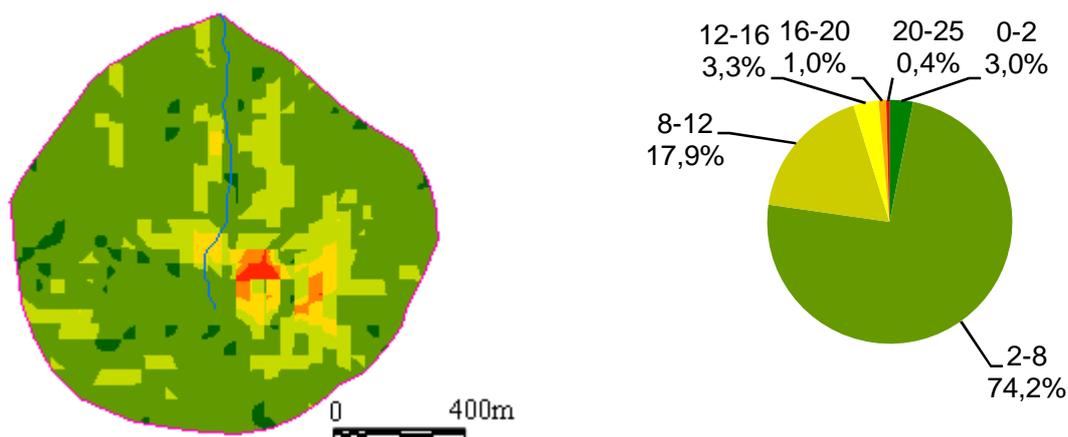
, em que:

$LS$  – fator de comprimento e grau do declive (m);

$CV$  – comprimento da vertente (m);

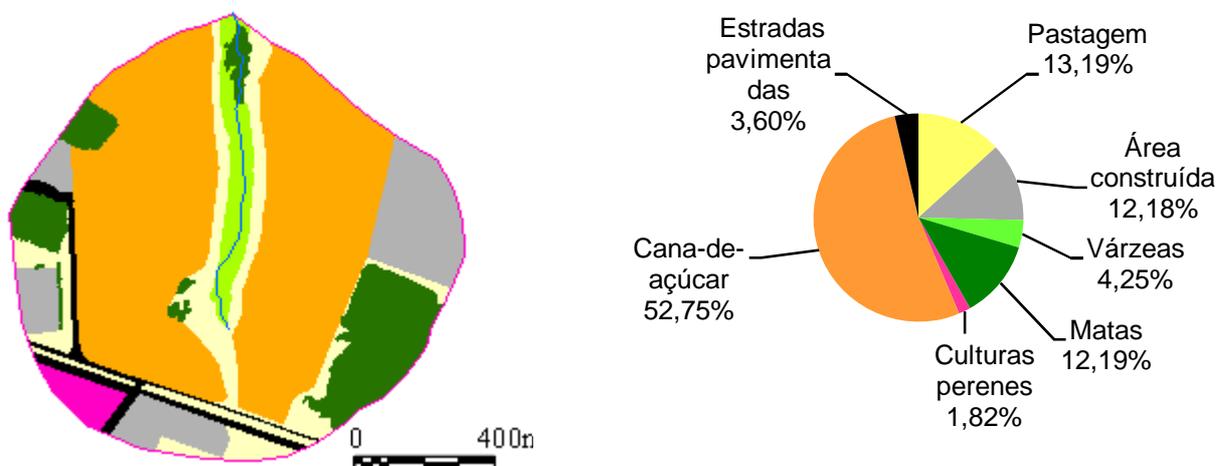
$D$  – declividade (%).

O comprimento da vertente ( $CV$ ) foi considerado como o comprimento do escoamento, obtido a partir do modelo digital do terreno (MDT) do satélite ASTER (NASA, 2010) utilizando a ferramenta “flowlength” do software ArcGIS 10.1. A declividade foi determinada a partir do mapa de declividades gerado do mesmo MDT, utilizando a ferramenta “slope” do software ArcGIS 10.1 (Figura 3).



**Figura 3.** Mapa de declividades da bacia.

O fator de uso e manejo do solo (C) (etapa V do fluxograma da Figura 2) foi atribuído para as unidades hidrológicas, de acordo com o uso e ocupação do solo (Figura 4), seguindo as recomendações de Silva; Shultz; Camargo (2003), conforme a Tabela 3.



**Figura 4.** Mapa de uso e ocupação do solo.

**Tabela 3.** Valores do fator C atribuídos para os usos e ocupações.

Descrição	Fator C
Pastagem	0,070
Áreas construídas	0,000
Várzeas	0,010
Matas	0,001
Culturas perenes	0,200
Cana-de-açúcar	0,300
Estradas pavimentadas	0,000

O mapa de uso e ocupação do solo foi elaborado por digitalização manual e interpretação visual das classes, utilizando a imagem da DigitalGlobe, com data de passagem de 12/09/2011 e resolução geométrica de 1 m.

O fator de práticas conservacionistas (P)(etapa VI do fluxograma da Figura 2) foi atribuído para as unidades hidrológicas (uh's), de acordo com o tipo de prática de conservação do solo adotada e a declividade do terreno, seguindo as recomendações de Silva; Shultz; Camargo (2003), conforme a Tabela 4.

**Tabela 4.** Valores de P atribuídos em função das práticas conservacionistas e declividade do terreno.

Descrição	Declividade média (%)	Fator P
Pastagem com terraceamento	1	0,12
	5	0,12
	10	0,12
Áreas construídas (morro abaixo)	1	0,45
	5	0,45
	10	0,45
Várzeas(cordões de vegetação permanente)	1	0,30
	5	0,25
	10	0,30
	14	0,35
Matas (cordões de vegetação permanente)	5	0,10
	10	0,12
Culturas perenes com terraceamento	5	0,10
	10	0,12
Cana-de-açúcar com terraceamento	1	0,12
	5	0,10
	10	0,12
	14	0,14
Estradas pavimentadas (morro abaixo)	1	0,45
	5	0,45
	10	0,45

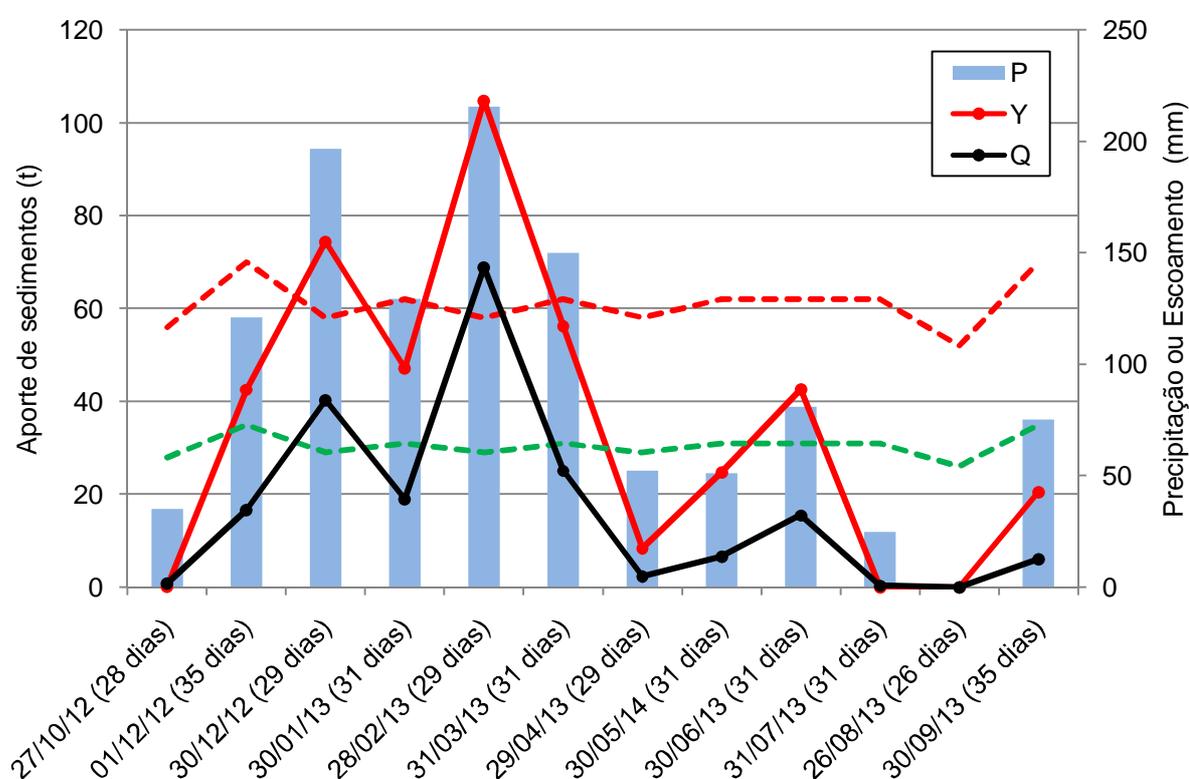
Fonte: Adaptado Silva; Shultz; Camargo (2003).

Depois de calculados os aportes de sedimentos para as unidades hidrológicas (uh's), determinaram-se os totais para bacia em todos os períodos avaliados, pela soma dos aportes de todas as unidades hidrológicas da bacia. Ao todo foram simulados os aportes de sedimentos do período de 27/10/2012 a 30/09/2013 em intervalos aproximados de 30 dias. Em seguida, quando necessário, os dados foram convertidos de toneladas por ano ( $t \text{ ano}^{-1}$ ) para toneladas por hectare por ano ( $t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ). A classificação do risco de erosão seguiu as utilizadas por Lagrotti (2000),

sendo: < 1 (Muito baixo), 1 – 2 (Baixo), 2 – 5 (Moderado), 5 – 10 (Alto) e >10 (Muito Alto).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aporte de sedimentos total da bacia hidrográfica no período estudado foi de 433,87 t, o que correspondeu a uma média de  $3,635 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , sendo considerado um valor de moderado risco de erosão (entre de 2 e  $5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ). Entretanto, quando se analisa os totais mensais pode-se observar que alguns valores ultrapassaram o limite de moderado risco de erosão (acima de  $5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) atingindo um alto risco de erosão, conforme observado na Figura 5.



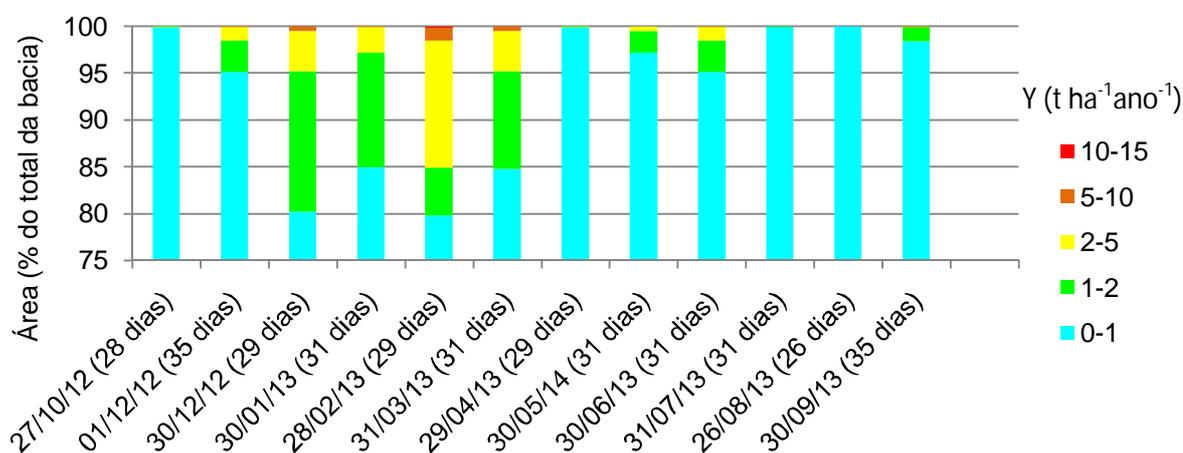
**Figura 5.** Variação da precipitação (P), do aporte de sedimentos (Y), do escoamento superficial (Q), e dos limites de baixo (linha pontilhada verde) e moderado (linha pontilhada vermelha) com risco de erosão nos intervalos considerados.

Resultados obtidos por diversos autores em diferentes bacias hidrográficas brasileiras, mostraram valores médios variando de  $2,0$  a  $50 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (AVANZI; 2013; SILVA et al., 2008; SILVA et al., 2011; VALLE JUNIOR et al., 2010; TEN CATEN; MINELLA; MADRUGA, 2012). Entretanto, na maioria dos casos, o método empregado na simulação foi o da Equação Universal de Perda de Solo

(EUPS) clássico, que considera a erosividade de chuva como um valor constante para a região de interesse.

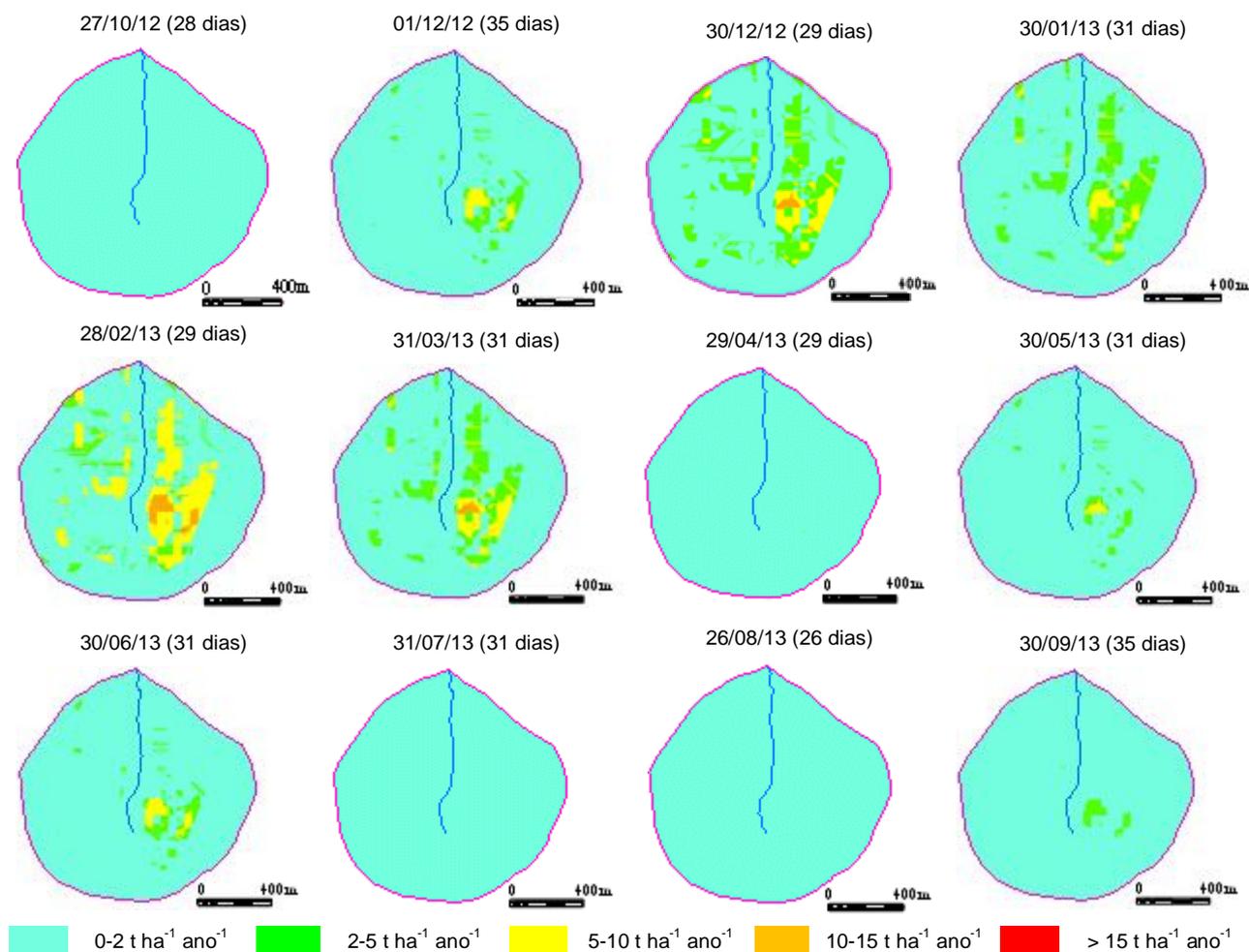
O período mais crítico no aporte de sedimentos foi entre dezembro e março, com valores oscilando entre 47,15 e 104,81 t (4,664 a 11,083 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). O aporte neste período correspondeu a 65,1% do avaliado para a bacia, fato este que pode ser explicado pela maior concentração do escoamento superficial, que neste mesmo período crítico, correspondeu a 76,0% de um total de 420,1 mm no mesmo ano.

Com relação à distribuição espaço-temporal, observou-se que no período mais crítico (31/01/2013 a 28/02/2013), 15% da área total da bacia apresentou aportes de sedimentos variando de 2 a 15 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 6), sendo que 1,52% da bacia apresentaram de alto a muito alto risco de erosão (acima de 5 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>).



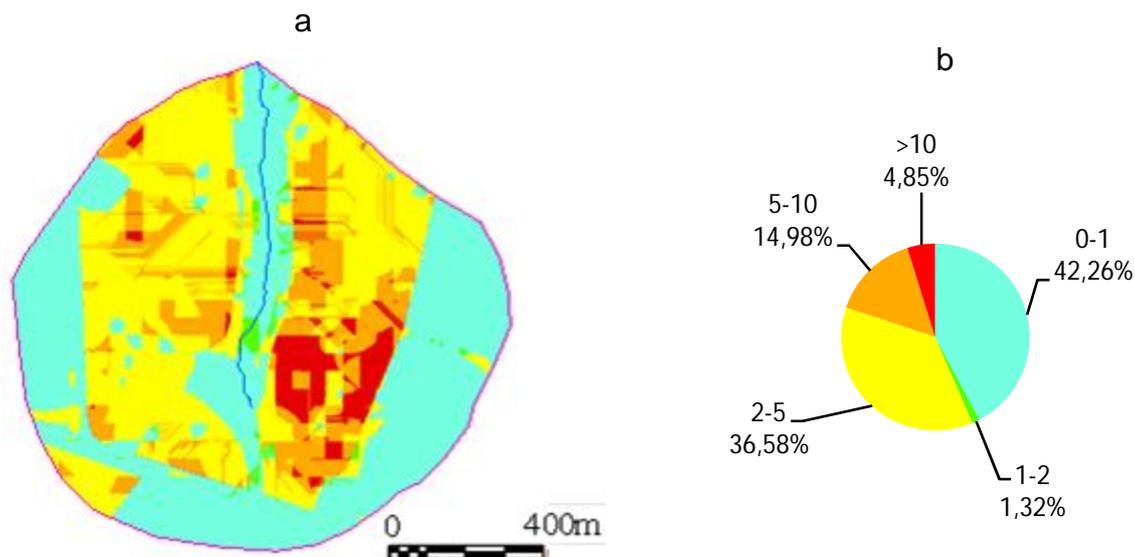
**Figura 6.** Distribuição espaço-temporal do aporte de sedimentos da bacia hidrográfica nas classes de risco de erosão da bacia agrícola do afluente do Ribeirão Santa Rita em Fernandópolis – SP.

O período de menor aporte de sedimentos foi de 01/07/13 a 26/08/13, onde os aportes se mantiveram abaixo de 1 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, ou seja, com muito baixo risco de erosão. Na Figura 7 estão apresentadas as variabilidades espaciais dos aportes de sedimentos dentro das classes de risco de erosão nos períodos avaliados.



**Figura 7.** Distribuição espacial do aporte de sedimentos da bacia hidrográfica nas classes de risco de erosão da bacia agrícola do afluente do Ribeirão Santa Rita em Fernandópolis – SP.

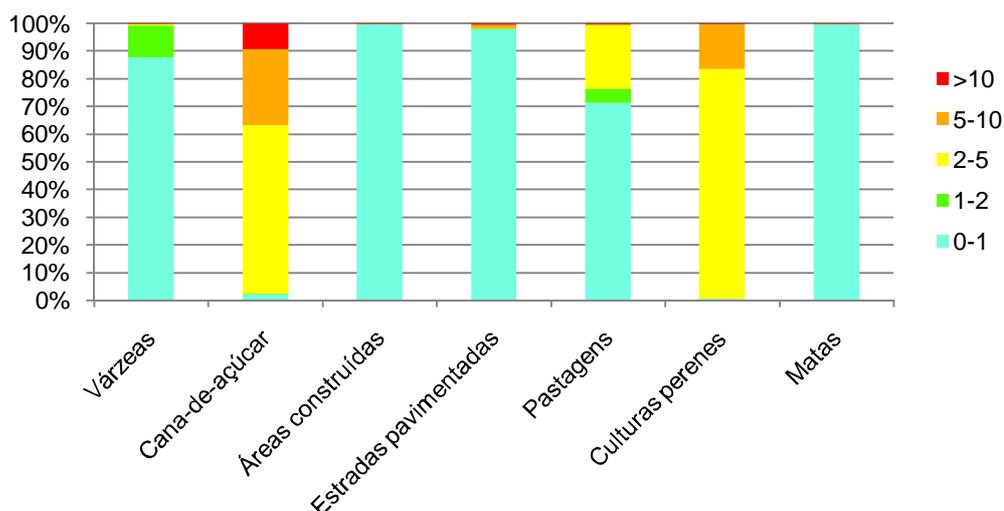
Observa-se que a área mais crítica, com maior concentração de altos aportes de sedimentos, localiza-se na região sudeste da bacia, onde o solo é explorado com cana-de-açúcar em declividades entre 20 e 50%. Observa-se que do aporte total de sedimentos no período, 19,83% da área total (23,63 ha) contribuiu com aportes classificados como de alto a muito alto risco de erosão (acima de 5 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) (Figura 8).



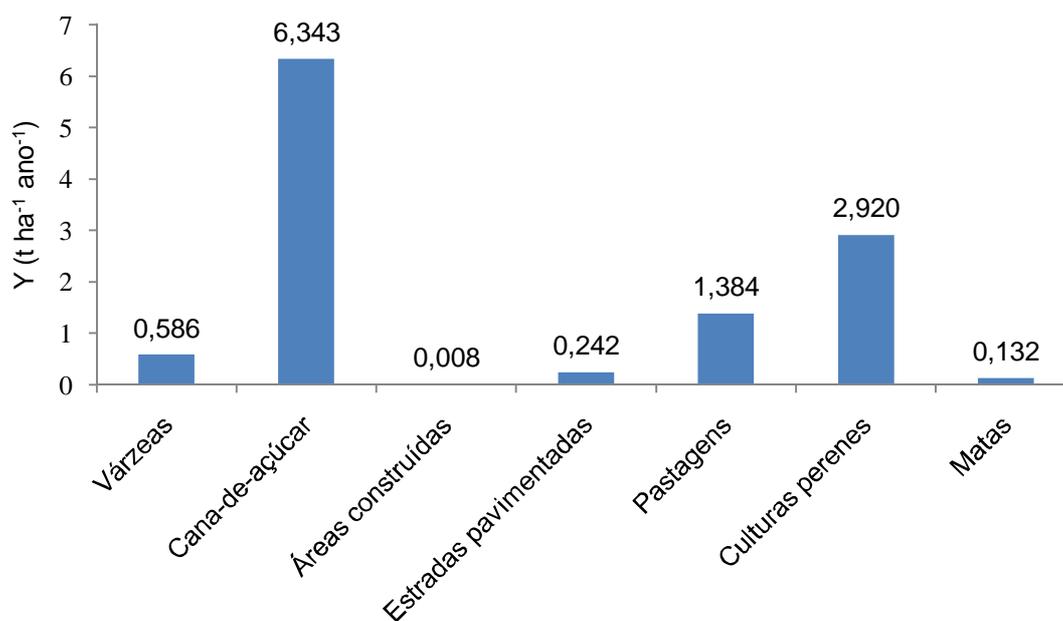
**Figura 8.** Distribuição espacial do aporte de sedimentos total do período na bacia hidrográfica (a) e os percentuais de área da bacia dentro de cada classe de risco de erosão (b).

AVANZI et al. (2013), que avaliaram as perdas de solo de uma bacia florestada pela EUPS na Região de Planície da Costa Brasileira, obtiveram risco variando de alto a extremo em 8,7% da área total da bacia. Comparando este resultado com o obtido neste trabalho, observa-se que a bacia afluenta do Ribeirão Santa Rita apresentou maiores aportes de sedimentos, o que já era esperado, já que somente 12,19% da área é ocupada por matas nativas.

A ocupação que proporcionou maior aporte de sedimentos foi o cultivo de cana-de-açúcar, que contribuiu com 92,12% do aporte total na bacia. Dos 62,8 ha de cana-de-açúcar que ocupam a bacia, 36,7% resultaram em aportes de sedimentos superiores a  $5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (Figura 9), produzindo uma média de  $6,343 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (Figura 10).



**Figura 9.** Distribuição percentual da área de cada cultura dentro das classes de risco de erosão ao longo do período avaliado.



**Figura 10.** Perda média de solo por cultura na bacia (b) no período avaliado.

WEILL & SPAROVEK (2008), que estudaram o tempo de vida dos solos da microbacia do Ceveiro em Piracicaba - SP, observaram que nas áreas de cultura da cana-de-açúcar as taxas de perdas superam as taxas de renovação do solo, com perda do horizonte superficial, em geral o mais fértil e rico em matéria orgânica. Áreas de cana-de-açúcar, em função do alto fluxo de maquinários e de pessoas, normalmente apresentam compactação excessiva do solo e degradação das

propriedades físicas, favorecendo o potencial da ação hídrica como agente erosivo (FERNANDES et al., 2013).

A segunda ocupação agrícola de maior aporte total de sedimentos no período foram foíàs pastagens, que ocupando uma área de 13,2% da bacia foram responsáveis por 5,02% do aporte total de sedimentos no período avaliado e um aporte médio de  $1,384 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Por sua vez, as culturas perenes mesmo proporcionando apenas 1,46% do total de aporte de sedimentos em 1,82% da área da bacia, apresentaram uma perda de solo de  $2,920 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , demonstrando o seu potencial relativo de produção de sedimentos. Estes resultados são semelhantes aos obtidos por SILVA et al. (2008), para a sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela no Sul de Minas Gerais, que obtiveram perdas máximas de solo de  $0,945 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para pastagem e  $3,943 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para o eucalipto.

De acordo com estes resultados, os aportes de sedimentos originados das áreas agricultadas na bacia afluyente do Ribeirão Santa Rita, estão bem acima das perdas de solo proporcionadas pelas matas nativas. A perda de solo observada para as matas nativas foi de  $0,132 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , que está de acordo com os resultados obtidos por MARTINS et al. (2003) em diferentes tipos de solo, que obtiveram valores variando de 0,06 a  $0,13 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

## 6. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos pode-se concluir que, no intervalo de tempo analisado, a bacia hidrográfica agrícola do afluente do Ribeirão Santa Rita em Fernandópolis – SP, proporcionou 433,87 t de aporte total de sedimentos, resultando em uma perda média de solo de  $3,635 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , sendo de moderado risco de erosão. O período de maior aporte de sedimentos foi de 30/12/2012 e 31/03/2013, onde foram produzidos 65,1% do total de sedimentos do período avaliado.

No período mais crítico de aporte de sedimentos, em fevereiro de 2013, cerca de 15% da área total da bacia apresentou aportes de sedimentos variando de 2 a  $15 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , sendo que 1,5% da bacia apresentaram aportes variando de alto a muito alto risco de erosão (acima de  $5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ). A área mais crítica é a região sudeste da bacia, onde o solo é ocupado por cana-de-açúcar em declividades variando de 20 a 50%. A cultura da cana-de-açúcar foi a que mais contribuiu com os aportes de sedimentos, sendo responsável por 92,1% do total e média de  $6,343 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO JÚNIOR, G. J. L. D. de. Aplicação dos modelos EUPS e MEUPS na bacia do Ribeirão Bonito (SP) através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. 2003. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, São José dos Campos, 2003.

AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; NORTON, L. D.; BESKOW, S.; MARTINS, S. G. Spatial distribution of water erosion risk in a watershed with eucalyptus and Atlantic Forest. **Ciências e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 5, p. 427-434, oct. 2013.

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; CASSOL, P. C.; AMARAL, A. J.; BARBOSA, F. T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um Inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.485-494, 2004.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 4ª ed. São Paulo: Ícone, 1999. 355p.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2ed., ver., atual. e ampliada. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 73 p.

CHAVES, H. M. L.; PIAU, L. P. Efeito da variabilidade da precipitação pluvial e do uso e manejo do solo sobre o escoamento superficial e o aporte de sedimento de uma bacia hidrográfica do Distrito Federal. **Revista Brasileira Ciências do Solo** [online]. , vol.32, n.1, 2008, p. 333-343.

CIIAGRO. CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS. **Dados climáticos da estação agrometeorológica de Fernandópolis - SP**. Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline>>. Acesso em: 15 nov. 2014.

DAEE. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Guia prático para o projeto de pequenas obras hidráulicas**. São Paulo: DAEE, 2005. 116p.

DONADIO, N. M. M.; GALBIATTI, J. A.; PAULA, R. C. de. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico, São Paulo, Brasil. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.1, p.115-125, 2005.

FERNANDES, R. P.; SILVA, R. W. C.; SALEMI, L. F.; ANDRADE, T. M. B.; MORAES, J. M. Geração de escoamento superficial em uma microbacia com cobertura de cana-de-açúcar e floresta ripária. **Revista Ambiental & Água**, Taubaté, v. 8, n. 3, p. 178-190, Dec. 2013.

GOMES, N. M.; FARIA, M. A.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; VIOLA, M. R. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo associados ao uso e ocupação da paisagem. **Rev. Bras. Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.4, p.427-435, 2007.

LAGROTTI, C. A. A. **Planejamento agroambiental do município de Santo Antonio do Jardim, SP; Estudo de caso na microbacia hidrográfica do córrego do jardim**. Campinas; FEAGRI/UNI-CAMP, 2000, 115p. TesesDoutorado.

MANGO, L. M., MELESSE, A. M., McCLAIN, M.E., GANN, D., SETEGN, S. G. Land use and climate change impacts on the hydrology of the upper Mara River Basin, Kenya: results of a modeling study to support better resource management. **Hidrology and Earth System Sciences**. 2011;15(7):2245-2258 DOI 10.5194/hess-15-2245-2011.

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 (ES). **Revista Brasileira Ciências do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 395-403, June. 2003.

MEDEIROS, P. R. P.; KNOPPERS, B; SOUZA, W. F. L.; OLIVEIRA, E. N. Aporte de material em suspensão no baixo Rio São Francisco (SE/AL), em diferentes condições hidrológicas. **Braz. J. Aquat. Sci. Technol.**, 2011, 15(1): 42-53.

MELO, R. O.; CANTALICE, J. R. B.; ARAÚJO, A. M.; CUNHA FILHO, M. Produção de sedimento suspenso de uma típica bacia hidrográfica semi-árida. **VII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**, 13, 2009. Campo Grande, Oeste: Mato Grosso do Sul.

MILLER, J. R.; MACKIN, G.; LECHLER, P.; LORD, M.; LORENTS, S. Influence of basin connectivity on sediment source, transport, and storage within the Mkabela Basin, South Africa. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, 17, 761-781, 2013.

MINELLA, J. P. G. ; MERTEN, G. H. **Monitoramento de bacias hidrográficas para identificar fontes de sedimentos em Suspensão**. Ciência Rural, Santa Maria, v.41, n.3, p.424-432, mar, 2011.

MOREIRA, D. W.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T. **Relação entre chuvas intensas, vazões máximas e sedimentação do ribeirão Itaim, Taubaté, SP**. Rev. Bieclên, Taubaté, v. 12, n.1-2, p. 44-52, Jan/ Jun. 2006.

NASA. United States National Aeronautics and Space Administration. **ASTER Global Digital Elevation Map Announcement**. Pasadena: NASA, 2010. Disponível em: <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>. Acesso em: agosto de 2011.

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida. **Instituto Agrônomo/ EMBRAPA Solos**. Campinas. 1999. 64p.

OYARZÚN, C.E.; GODOY, R.; STAELENS, J.; DONOSO, P.J.; VERHOEST, N.E.C. Seasonal and annual throughfall and stemflow in Andean temperate rainforests. **Hydrol. Process.**, West Sussex, v.25, p.623-633, 2011.

PINTO, C. S. B.; FERNANDES, N. F.; BHERING, S. B. **Modelagem hidrossedimentológica e manejo do solo: aplicação do SWAT na bacia de drenagem experimental do córrego Barro Branco, RJ**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16, Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D. **Escoamento superficial**. Viçosa: UFV, 2003. 88p.

SCAPIN, J. **Caracterização do transporte de sedimentos em um pequeno rio urbano na cidade de Santa Maria – RS**. Dissertação de mestrado da Universidade Federal de Santa Maria. 2005. 38 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Santa Maria, Rio Grande do Sul.

SILVA, V.A.; MOREAU, M.S.; MOREAU, A.M.S.; REGO, N.A.C. Uso da terra e perda de solo na bacia hidrográfica do Rio Colônia, Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, 2011.15(3):310-315.

SILVA, C. R.; CHAVES, H. M. L.; CAMELO, A. P. Calibração e Validação da Equação Universal de Perda de Solos Modificada (Musle) Utilizando dados Hidrossedimentológicos Locais. R. Bras. Ci. Solo, 35:1431-1439, 2011.

SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; CURI, N.; OLIVEIRA, P. M. Simulação da variabilidade espacial da erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica de Latossolos no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira Ciências do Solo** [online]. 2008, vol.32, n.5, p. 2125-2134.

SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; AMORIM, R. S. S.; PAIVA, K. W. N. Efeito da cobertura nas perdas de solo em um Argissolo Vermelho-Amarelo utilizando simulador de chuva. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.2, p.409-419, 2005.

SILVA, A. M.; SHULTZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: Rima, 2003. 140p.

SILVA, D. D.; VALVERDE, A. D. L.; PRUSKI, F. F.; GONÇALVES, R. A. B. Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade-duração-freqüência da precipitação para o Estado de São Paulo. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.7, n.2, p.70-87, 1999.

SOUZA, A. C. M.; SILVA, M. R. F. SILVA; DIAS, N. S. Gestão de recursos hídricos: o caso da bacia hidrográfica APODI/MOSSORÓ (RN). **IRRIGA**, v. 1, n. 01, p. 280, 2012.

SOUZA, W.L.F.; KNOPPERS, B. Fluxos de água e sedimentos a costa leste do Brasil: relações entre a tipologia e as pressões antrópicas. **Geoch. Bras.** p. 57-74, 2003.

TARTARI, D. T.; NUNES, M. C. M.; SANTOS, F. A. S.; FARIA JUNIOR, C. A.; SERAFIM, M. E. Perda de solo e água por erosão hídrica em Argissolo sob diferentes densidades de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Agroecologia**. 7(3): 85-93 (2012).

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D. COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**. n. 20, 2007.

TEN CATEN, A.; MINELLA, J. P. G.; MADRUGA, P. R. A. Desintensificação do uso da terra e sua relação com a erosão do solo. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 9, p. 1006-1014, sept. 2012.

TUNDISI, J. D.; TUNDISI, T. M. **Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos Recursos Hídricos**. Biota Neotropica. v.10, n.4, p.67-75, 2010.

UNITED NATIONS. The world population prospects: the 2006 revision. New York: Department Social and Economics Affairs, **Population Division**, 2007. Disponível em: <http://www.un.org/esa/population/publications/wpp2006/wpp2006.htm>. Acesso em: 05 abr 2013.

VALLE JUNIOR, R. F.; GALBIATTI, J. A.; MARTINS FILHO, M. V.; PISSARRA, T.C. T. Potencial de erosão da bacia do Rio Uberaba. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 897-908, oct. 2010.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 55-64, Jan. 2010.

WEILL, M. A. M.; SPAROVEK, G. Estudo da erosão namicrobacia do Ceveiro (Piracicaba, SP): II - Interpretação da tolerância de perda de solo utilizando o método do Índice de Tempo de Vida. **Revista Brasileira Ciências do Solo** [online]. 2008, vol.32, n.2, p. 815-824.

WILLIAMS, J. R. **Sediment yield prediction with universal equation using runoff energy factor. In: Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources.** USDA-ARS Handbook S-40, 1975. 118-124 p.