



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

**ADRIANO RAUSCH SOUTO**

**IDENTIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO  
AGROPECUÁRIA DO ARENITO CAIUÁ SUJEITOS A  
EROSÃO UTILIZANDO O MODELO AGNPS**

---

LONDRINA  
2009

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**ADRIANO RAUSCH SOUTO**

**IDENTIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO  
AGROPECUÁRIA DO ARENITO CAIUÁ SUJEITOS A  
EROSÃO UTILIZANDO O MODELO AGNPS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito à obtenção do título de Doutor em Agronomia, na área de concentração de Manejo de Água e Solo.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Ralisch

LONDRINA  
2009

ADRIANO RAUSCH SOUTO

**IDENTIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA  
DO ARENITO CAIUÁ SUJEITOS A EROSÃO UTILIZANDO O  
MODELO AGNPS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Agronomia, da Universidade Estadual de  
Londrina

Aprovada em: 06/11/2009

Dr. Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado	EMBRAPA/CNPAP
Dr. Ademir Calegari	IAPAR
Dr. Paulo Henrique Caramori	IAPAR
Dr. Rogério Teixeira de Faria	IAPAR
Prof. Dr. Ricardo Ralisch	UEL
Prof. Dr <sup>a</sup> . Maria de Fátima Guimarães (suplente)	UEL
Dr <sup>a</sup> . Graziela Moraes Cezare Barboza (suplente)	IAPAR

---

Prof. Dr. Ricardo Ralisch  
Orientador  
Universidade Estadual de Londrina

## **DEDICATÓRIA**

Agradeço por este trabalho primeiramente ao Senhor Deus Pai Todo Poderoso, que até aqui me trouxe, que me colocou nesta posição, me deu sabedoria suficiente para chegar àquilo que me objetivei anos atrás e me sustentou e me deu forças.

A meus pais Francisco e Magdalena, minhas irmãs Corina e Miriam, sobrinhos Janaína, Hermes e Íris, aos meus avós Guilherme e Heloisa, Alcides e Josefina pelo afeto, inspiração e os valores dos quais só tenho a me orgulhar e minha esposa Denise Accorsi e meus filhos Maria Vitória e Lucas por estarem presentes em minha vida, cujos sorrisos foram um alento de renovação.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Dr. Ricardo Ralisch pela amizade e confiança demonstrada no desenvolvimento dos trabalhos;

ao Instituto Agrônômico do Paraná pela condição oferecida na realização deste treinamento;

ao Centro de Ciências Agrárias e ao Programa de Pós-Graduação da Agronomia da Universidade Estadual de Londrina – UEL, aos docentes e coordenadores de curso, por dedicarem seu tempo à tarefa de transmitir conhecimento e direcionar esforços;

aos colegas, servidores e biblioteca da UEL, pela preciosa convivência e aprendizagem neste período;

ao corpo técnico do IAPAR, biblioteca, laboratório de solos, transporte, compras e DRH pelo apoio na condução do meu trabalho;

ao técnico agrícola do IAPAR, Ronaldo Rossetto pelo trabalho conjunto, apoio, confiança e amizade ao longo desses anos;

aos operários rurais do IAPAR, João Morais, José Maria Ferreira pelo apoio nos trabalhos de campo;

aos amigos do IAPAR, Ronaldo Rossetto, João Henrique Caviglione, Edino Ferreira da Silva, João Morais, José Maria Ferreira José Reinaldo Zani “in memoriam”, pela contribuição em diferentes etapas do trabalho, e em especial à Graziela Moraes Cezare Barboza e Dalziza de Oliveira;

ao Eng<sup>o</sup>. Kleber G. Vieira – Emater – Altônia, pela integração desta equipe para com os produtores rurais da microbacia e o acompanhamento e das atividades ali desenvolvidas;

ao pesquisador João Henrique Caviglione pelas imagens e mapas gerados neste trabalho;

aos amigos do IAP, Nelson Santos Pereira, Roberto Gonçalves e José Carlos dos Santos que me receberam e me apoiaram no início de minha carreira naquele instituto;

aos observadores Francisco M. Barbosa Neto, Benedito de Oliveira, José Roberto Tardello, Valdemar Toffoli, Antoni Alves Marques Teixeira, que executaram suas tarefas com grande seriedade;

a Área de Engenharia Agrícola – AEA, constituída por Alexandre Leôncio da Silva, Audilei de Souza Ladeira, Augusto Guilherme de Araújo, Eduardo Chibana, José Carlos da Silva, Paulo Roberto de Abreu Figueiredo, Pedro Machado, Rogério Teixeira de Faria, Rubens Siqueira, Ruy Casão Jr. e Milton da Silva Pereira “in memoriam”, pelo companheirismo nestes anos no IAPAR.

SOUTO, A.R. identificação dos sistemas de produção agropecuária do arenito caiuíá sujeitos a erosão utilizando o modelo AGNPS. 2009. 107f. Tese de Doutorado em Agronomia – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

## RESUMO

A cadeia de impactos devido à exploração inadequada dos recursos naturais pela atividade agropecuária gera, entre outros efeitos, a erosão dos solos que provoca pesados prejuízos à sociedade, através da redução da sua capacidade produtiva e a contínua contaminação das águas superficiais com sedimentos, material e matéria orgânica, produtos químicos e nutrientes. A busca por alternativas tecnológicas conservacionistas que permitam desenvolver sistemas integrados de produção, que respeitam o meio ambiente e atendam aos anseios sociais e econômicos é o único caminho para reverter os processos de degradação ambiental e humana, provenientes das atividades agrícolas. Neste contexto, este trabalho se apresenta como proposta de utilização do modelo para a identificação de áreas e atividades que promove a produção de sedimentos em uma microbacia. Parte-se do princípio que tais sedimentos são gerados pelo escoamento superficial de água no solo e pela erosão hídrica, potencialmente afetada pelas reais condições de uso e manejo do solo. Para elaboração deste projeto foram utilizados dados da bacia do ribeirão Inhacanga, localizada no município de Altônia, região noroeste do Estado do Paraná, cujas informações referentes aos eventos meteorológicos foram obtidas por uma rede de estações hidrossedimentológicas. Para estimativa dos sedimentos e nutrientes produzidos foi empregado o modelo matemático Agricultural Non-Point Pollution Source Model – AGNPS, associado às técnicas de Sistemas de Informação Geográfica – SIG, para o mapeamento das áreas de estudo. Compararam-se os dados de produção de sedimentos transportados no rio e de pluviometria obtidos na bacia com os valores estimados pelo modelo, baseados em simulações, que consideraram o mapa de uso e a ocupação do solo em diferentes cenários e os eventos reais de precipitação. Com os resultados obtidos foram identificadas, avaliadas e comparadas às áreas de maior produção de sedimentos geradas pela erosão superficial, correlacionadas com culturas, formas de manejo e práticas conservacionistas empregadas, gerando mapas finais de perdas de solo em uma microbacia hidrográfica rural. A mudança do sistema de cobertura possibilitou a análise e a determinação do papel de cada fator envolvido, na Equação Universal de Perda de Solo – USLE.

**Palavras-chave:** sedimentos, erosão superficial, práticas de manejo do solo, modelo

SOUTO, A.R. Identification of the agricultural production system of the Caiuá sandstone subject to erosion by using AGNPS model. 2009. 107p. Doctorate Thesis in Agronomy – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

### **ABSTRACT**

The series of impacts due to the inadequate exploitation of natural resources by agriculture produces, among other effects, the erosion of the soils, which causes serious damage to the society through the reduction of its productive capacity and the continuous contamination of surface water with sediments, material and organic matter, chemical products and nutrients. The search for conservationist technological alternatives that allow the development of integrated production systems which respect the environment and meet social and economic demands is the only way to reverse the processes of human and environmental degradation stemming from agricultural activities. In this context, this work is a proposal for the use of a model to identify the areas and activities that promote the production of sediments in a hydrographic watershed. It is founded on the principle that such sediments are generated by the surface runoff water to the soil and by the hydric erosion, potentially affected by the real conditions of soil use and management. In order to design this project, data from the Inhacanga river watershed basin, located in the town of Altônia, northwest of the State of Paraná, were used. The information concerning the meteorological events was obtained from a network of hydrosedimentological stations. For the estimate of the sediments and nutrients produced, the mathematical model Agricultural Non-Point Pollution Source Model – AGNPS was used associated with the techniques of the Geographical Information System – GIS in order to map the study areas. The data related to the production of sediments carried in the river and the pluviometry obtained in the bay were compared with the model estimated values, based on simulations, which considered the map of soil use and occupation in different scenarios and the real precipitation events. The results obtained were identified, assessed and compared with the areas of highest sediment production generated by the surface erosion, correlated with cultures, types of management and the employed conservationist practices, generating final maps of soil losses in a rural hydrographic watershed. The change in the coverage system allowed the analysis and the establishment of the role of each factor involved in the Universal Soil Loss Equation – USLE.

**Key words:** sediments, surface erosion, soil management practices, model

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
2.1. Efeito das diferentes formas de uso e manejo do solo sobre os recursos hídricos .....	4
2.1.1. Impacto do uso do solo sobre as águas superficiais .....	4
2.1.2. Sistemas de preparo do solo .....	5
2.1.3. Técnicas de geoprocessamento.....	8
2.1.4. Cálculo da perda de solo e modelos de simulação .....	9
2.1.5. Referências bibliográficas .....	12
<b>3. ARTIGO 1: PRODUÇÃO E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIO INHACANGA, ARENITO CAIUÁ, PR .....</b>	<b>17</b>
3.1. Resumo .....	17
3.2. Abstract.....	17
3.3. Introdução.....	18
3.4. Material e métodos .....	19
3.4.1. Caracterização da área de estudo.....	20
3.4.2. Uso e ocupação do solo na microbacia do rio Inhacanga.....	20
3.4.3. Representação espacial de informação .....	22
3.4.4. Aquisição de dados hidrossedimentológicos.....	23
3.4.4.1. Estações pluviográficas .....	23
3.4.4.2. Estação fluviométrica e fluviográfica.....	23
3.4.4.3. Medição de vazão em rios .....	23
3.4.4.4. Curva-chave da vazão.....	24
3.4.4.5. Estação sedimentométrica e descarga sólida em suspensão.....	24
3.4.4.6. Cálculo da descarga sólida em suspensão .....	25
3.4.4.7. Cálculo da precipitação média.....	25
3.4.4.8. Determinação da umidade do solo.....	26
3.5. Resultados e discussões .....	26
3.5.1. Características físicas da microbacia do rio Inhacanga.....	26

3.5.2. Densidade de drenagem.....	27
3.5.3. Análise hipsométrica .....	27
3.5.4. Perfil longitudinal do leito.....	28
3.5.5. Curva de distribuição de declividade .....	29
3.5.6. Determinação dos volumes precipitados .....	30
3.5.7. Determinação das curvas-chave .....	30
3.5.8. Comportamento da precipitação e vazões máximas e mínimas .....	32
3.5.9. Análise estatística precipitação e produção de sedimentos .....	34
3.5.10. Comportamento da precipitação e descarga sólida mensal .....	35
3.6. Conclusões.....	37
3.7. Referências bibliográficas .....	38

#### **4. ARTIGO 2: IDENTIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO**

##### **AGROPECUÁRIA DO ARENITO CAIUÁ SUJEITOS A EROSÃO UTILIZANDO O**

<b>MODELO AGNPS .....</b>	<b>43</b>
4.1. Resumo .....	43
4.2. Abstract.....	43
4.3. Introdução.....	45
4.4. Material e métodos .....	46
4.4.1. Caracterização da área de estudo.....	46
4.4.2. O modelo AGNPS .....	48
4.4.3. Dados hidrológicos .....	49
4.4.3.1. Aquisição de dados de precipitações .....	49
4.4.3.2. Determinação de $I_{30}$ e $EI_{30}$ .....	50
4.4.3.3. Cálculo da precipitação média.....	52
4.4.3.4. Determinação das vazões líquidas.....	52
4.4.3.5. Determinação da curva-chave .....	53
4.4.3.6. Determinação da descarga sólida .....	53
4.4.4. Representação espacial de informação .....	53
4.4.4.1. Uso e ocupação do solo .....	54
4.4.4.2. Determinação das faixas de declividade.....	61
4.4.4.3. Direção do escoamento superficial.....	63
4.4.4.4. Forma do relevo.....	63
4.4.4.5. Comprimento do declive médio de drenagem no terreno.....	63

4.4.4.6. Levantamento pedológico.....	64
4.4.4.7. Análise granulométrica e grupo hidrológico do solo.....	65
4.4.4.8. Determinação da umidade do solo.....	65
4.4.4.9. Determinação do escoamento superficial pelo número da curva .....	66
4.4.4.10. Fator cobertura vegetal – C .....	67
4.4.4.11. Fator práticas mecânicas – P .....	69
4.4.4.12. Fator erodibilidade do solo – K .....	69
4.4.4.13. Declividade média do canal principal .....	70
4.4.4.14. Coeficiente de rugosidade de Manning .....	71
4.4.4.15. Constante da condição da superfície – CCS.....	71
4.4.4.16. Levantamento dos nutrientes no solo .....	72
4.4.4.17. Aplicação de nutrientes .....	74
4.4.4.18. Demanda química de oxigênio – DQO .....	75
4.4.4.19. Formas de manejo do solo em função das máquinas agrícolas .....	75
4.4.5. Caracterização dos cenários de uso do solo.....	76
4.5. Resultados e discussão.....	77
4.5.1.1. Simulação 1 .....	77
4.5.1.2. Simulação 2 .....	80
4.5.1.3. Simulação 3 .....	83
4.5.1.4. Simulação 4 .....	85
4.5.1.5. Simulação 5 .....	87
4.5.2. Análise estatística da produção de sedimentos observados e estimados .....	91
4.5.3. Estimativa dos sedimentos produzidos por unidade de área .....	93
4.6. Conclusões.....	94
4.7. Referências bibliográficas .....	95

## **5. CONCLUSÕES GERAIS ..... 102**

## **ANEXOS ..... 103**

ANEXO I. – Descrição da classificação da textura do solo segundo sua classe hidrológica.	103
ANEXO II. – Valores do parâmetro CN para bacias rurais .....	104
ANEXO III. – Correção de CN para outras condições iniciais de umidade .....	105
ANEXO IV. – Coeficiente de Manning para canais e áreas cultivadas .....	106
ANEXO V. – Valores do parâmetro – Constante da Condição da Superfície – CCS.....	107

ANEXO VI. – Valores do parâmetro – Demanda Química de Oxigênio – DQO.....	107
ANEXO VII. – Fator disponibilidade de fertilização de acordo com os sistemas de manejo do solo na microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná .....	107

## 1. INTRODUÇÃO

A colonização do Norte do Paraná, e por extensão da sua porção Noroeste, se desenvolveu durante os anos 1940-1960, com a intensa atuação do capital privado, motivado pela onda cafeeira deslocada de São Paulo, na virada do século. A partir de 1950 iniciou a acelerada derrubada das matas nativas, sendo que a extração da madeira tinha sua força econômica, como observado pelo surgimento de madeireiras e serrarias. No início da década de 60, o café, a madeira, outras culturas (algodão, feijão, milho, arroz, amendoim, mandioca e a soja), a pecuária e a falta de máquinas agrícolas sempre exigiram uma numerosa mão de obra, razão pela qual a população rural era tão expressiva. Entretanto, essa situação mudou radicalmente em consequência das geadas (1963, 1964 e 1966), junto com a redução da fertilidade do solo, queda do preço do produto no mercado, dificuldades comerciais internacionais e fitossanitárias, uma política trabalhista inadequada, resultando na erradicação dos cafezais e sua substituição por pastagens destinadas à pecuária de corte em regime extensivo (MUZILLI, 1996; CUNHA et al., 1999; RALISCH, 1999; CRUZ; SILVA, 2003).

A expansão da pecuária abalou a estrutura fundiária e as relações de trabalho no campo, promovendo a concentração da posse da terra e o desaparecimento das pequenas propriedades, fundamentadas no trabalho familiar, gerando o desemprego e o êxodo rural sem precedentes. A população rural passou a emigrar para os centros urbanos ou a procurar outras regiões em fase de colonização. Nesse contexto, além das restrições impostas pelas condições edafoclimáticas, a degradação do solo na região do arenito Caiuá decorreu também das formas de ocupação econômica das terras pelas diferentes atividades de produção e categorias de produtores.

Godoy (2006) e Chicati et al. (2008) observaram que entre o ano de 1970 a 1975 ocorreu à disseminação de um novo conceito agrícola, conhecido como Revolução Verde baseado na produção de grãos soja e trigo, mais especificamente, considerados naquele momento como importantes produtos para exportação. No entanto, como decorrência da mecanização agrícola manejada inadequadamente, o desmatamento acentuado, aliado à falta de assessoria técnica, intensificou-se o assoreamento dos rios e mananciais, a poluição dos cursos de água e os riscos de inundações nas terras baixas. A erosão hídrica tornou-se um

grave problema devido às perdas de sementes, adubos e herbicidas e o conseqüente aumento dos custos de produção.

A região do arenito Caiuá ocupa 3,2 milhões da área total do Paraná de 20 milhões de hectares e, segundo Sá e Caviglione (1999) é uma importante região pecuária com 2,3 milhões de hectares de pastagens representando 36,5% do rebanho bovino do Estado, estimado em 9,6 milhões de cabeças, abrigando 107 municípios. Os solos dessa região se caracterizam pela presença dominante do mineral de quartzo, em que os teores de areia atingem 85% a 90% e possuem níveis críticos de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e, não raro, baixos níveis de matéria orgânica, cerca de 1%, podendo, freqüentemente, ocorrer deficiência de macro e micro nutrientes nas culturas. Apesar da limitação química, apresentam-se predominantemente com característica eutrófica, isto é, sem alumínio livre prejudicial ao desenvolvimento da maioria das culturas. Outrossim, possuem alta suscetibilidade à erosão e devido a sua fragilidade do manejo, encontra-se em adiantado grau de degradação física e química (MARUN; MELLA, 1994; OLIVEIRA et al., 2000).

As conseqüências da erosão hídrica nos solos derivados do arenito Caiuá, região Noroeste do Paraná, deve-se ao uso inadequado do sistema de terraceamento e às características dos sistemas de produção agrícola (Fidalski, 1997a). Esta situação ainda é preocupante, tanto pelo uso impróprio das terras como pelo baixo grau das tecnologias conservacionistas empregadas no manejo das lavouras e pastagens. A erosão que é constituída pelos processos de desagregação do solo, transporte de partículas e sedimentação do material transportado, apesar de ser natural é, na verdade, conseqüência ecológica previsível de um mau uso da terra (DENARDIN et al., 2005).

O Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas – PNMH, instituído pelo governo federal através do Decreto n.º.94.076, executado nos anos de 1987/1997, contribui para uma evolução das práticas mecânicas de controle da erosão, em que a estratégia técnica incluía o Sistema de Plantio Direto – SPD, junto com outras formas de conservação do solo, inclusive adequação de estradas rurais, abastecedouros comunitários, proteção de mananciais e planos integrados de microbacias, servindo de modelo para o Banco Mundial em projetos de desenvolvimento rural conservacionista e combate à pobreza em outros estados e países (FUENTES LLANILLO, 2007).

O PARANÁRURAL – BIRD coordenado pela Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Governo – SEAB, que se iniciou em setembro de 1989, teve como objetivo o controle da erosão hídrica e reversão dos processos de degradação dos recursos naturais renováveis, por meio de alternativas tecnológicas que aumentem a produção vegetal e

a produtividade do solo (SEAB, 1989). O Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, por fazer parte do plano de ação na região do arenito Caiuá, realizou a tipificação dos sistemas de produção predominantes e, com base no diagnóstico para caracterização dos entraves e tendências, elaborou propostas para o adequado manejo e conservação do solo e desenvolvimento rural integrado nas microbacias que participaram do programa.

Na apresentação do diagnóstico de manejo e conservação do solo e da água, participaram integrantes da microbacia e da comunidade de produtores, agentes locais da assistência técnica e extensão rural e as lideranças políticas do município, analisando as propostas como aumento da cobertura vegetal do solo, controle do escoamento superficial, melhoria da infra-estrutura e dos meios de produção (MUZILLI, 1996). A avaliação destes programas mostra que nem sempre cada um dos seus componentes atinge completamente a meta estabelecida, entretanto promovem mudanças comportamentais tanto nos produtores rurais, quanto nos técnicos executores e instituições participantes (ATTANASIO, 2004).

A microbacia do rio Inhacanga, que está localizada no município de Altônia, PR, foi uma das bacias estudadas e monitoradas na ocasião e foi selecionada para este trabalho por ser uma unidade representativa da realidade edafoclimática e sócio-econômica da microrregião homogênea de Umuarama e por dispor da série histórica de dados de uma rede hidrológica composta por estações pluviográficas, fluviométrica, fluviográfica, de sedimentos e de medição de vazão. Desta forma, a presente tese teve como objetivo avaliar uma metodologia que identifique sistemas agrícolas e áreas de maior produção de sedimentos gerados pela erosão superficial, estimados com o uso do modelo AGNPS, baseado nos dados observados nas estações de monitoramento da citada bacia. Os resultados deste trabalho são apresentados na forma de dois artigos científicos, a saber:

- Artigo A: Produção e transporte de sedimentos em suspensão na microbacia hidrográfica do rio Inhacanga, do arenito Caiuá, PR
- Artigo B: Identificação dos sistemas de produção agropecuária do arenito Caiuá sujeitos a erosão utilizando o modelo AGNPS

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Efeito das diferentes formas de uso e manejo do solo sobre os recursos hídricos**

#### **2.1.1. Impacto do uso do solo sobre as águas superficiais**

O gerenciamento dos recursos hídricos desenvolve-se a partir da necessidade da conciliação das atividades e ocupação de uma região, com as respectivas demandas e disponibilidades. Aliado a esta inferência, torna-se necessários o estabelecimento de formas de acompanhamento dos padrões de qualidade das águas, visando regulamentar e controlar os níveis a serem mantidos, dependendo do consumo a que se destina.

A qualidade das águas está baseada no tipo de uso e envolve a avaliação de suas condições físicas, químicas e biológicas, relacionando-se com a sua potencialidade para causar danos à saúde humana e ao sistema aquático. No Brasil, a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA n°.357/05 (BRASIL, 2005) dispõe sobre a classificação dos corpos de água e estabelece diretrizes ambientais para seu enquadramento, definindo as condições e padrões para sua classificação e lançamento de efluentes.

As fontes de contaminação dos mananciais podem ser pontuais ou difusas: as primeiras são aquelas que podem ser identificadas, tratadas e controladas, como o esgoto doméstico, águas residuárias industriais e de animais criados de forma intensiva, enquanto as difusas resultam de um grande número de fontes pontuais individuais, sendo de difícil controle (GONÇALVES et al., 2005). Nos Estados Unidos da América a carga difusa gerada nas áreas rurais está entre as maiores fontes de poluição dos rios e lagos, sendo que as principais atividades agrícolas responsáveis são: a criação de animais e as culturas anuais e perenes através do uso dos diferentes insumos. Os poluentes gerados por estes sistemas de produção são sedimentos, nutrientes, organismos patogênicos, pesticidas e sais, sendo que sua concentração varia de acordo com as características das bacias hidrográficas, dos diferentes eventos de precipitação e as ocorrências ao longo de um mesmo evento (SILVA, 2003).

O controle das fontes difusas de poluição pode apresentar melhorias se forem empregadas práticas adequadas de manejo agrícola, associadas à manutenção da zona ripária, para interceptação do escoamento superficial pela vegetação (ATTANASIO, 2004). Mansor (2005) relata que as cargas difusas estão associadas às precipitações, e que, portanto, chegam aos corpos de águas superficiais de forma intermitente.

O solo é um recurso básico que suporta toda a cobertura vegetal da Terra, mas sofre com o processo erosivo que lhe impõe um desgaste seletivo, alterando seu perfil, modificando sua profundidade, distribuição das partículas, podendo ocorrer na forma laminar, sulcos e voçorocas. A erosão laminar se caracteriza pela remoção de camadas delgadas da superfície, perceptível após uma grande quantidade de solo ter sido removida; a erosão por sulcos caracteriza-se pela formação de pequenas irregularidades no sentido do declive do terreno, fazendo com que o escoamento superficial se concentre nos pontos mais baixos, atingindo volume e velocidade suficientes para formar calhas mais ou menos profundas; e erosões por voçorocas caracterizam-se pela concentração de enxurrada com deslocamento de elevadas quantidades de solo, formando canais de grandes dimensões (PRUSKI; RODRIGUES; SILVA, 2001; CARVALHO et al., 2002).

Em termos globais, a erosão hídrica contabiliza, por ano, aproximadamente  $190 \times 10^9$  t sedimentos, sendo que 10% desse montante são transportados para os oceanos (LAL, 1995). Um exemplo desta degradação ocorre na região do córrego Três Barras, em Marinópolis, SP. O potencial de erosão do solo, aliado às precárias condições de conservação da região, constituem-se nas principais causas de sua degradação, culminando com o carreamento de grandes quantidades de sedimentos, matéria orgânica e insumos agrícolas para o leito dos cursos de águas, no período chuvoso, contribuindo assim para o aumento da concentração de sólidos e nutrientes, assoreamento dos mananciais e a deterioração da qualidade das águas (HERNANDES; VANZELA, 2006).

### **2.1.2. Sistemas de preparo do solo**

O preparo do solo introduzido pelos colonizadores europeus no sul do Brasil, que consiste no revolvimento do solo com a incorporação dos resíduos culturais deixando a superfície do solo desnuda, é inadequado para o relevo e para as condições edáficas e climatológicas do Paraná. O sistema considerado como convencional consiste na realização de uma operação de preparo primário do solo, mais profundo, agressivo e que revolve toda a camada superficial. Usualmente emprega-se para tal os arados, substituídos em alguns casos pelas grades de discos médias e pesadas, em função de sua facilidade e rapidez. Em seguida realizam-se duas ou mais operações de preparo secundário que visam o destorroamento e nivelamento da superfície do solo e, eventualmente, a incorporação de algum insumo na superfície, empregando-se largamente as grades de discos leves para tal. O preparo reduzido ou cultivo mínimo, que se caracteriza pela adoção do escarificador no

preparo primário combinado com o uso racional das duas gradagens leves niveladoras, vem sendo muito empregado no estado do Paraná desde o fim da década de 80 (DERPSCH et al., 1991; CARNEIRO et al., 2009).

Estas práticas contribuem para a redução da cobertura do solo e a capacidade de infiltração da água no perfil, o que acelera o processo erosivo e o depauperamento da capacidade produtiva. As diversas maneiras de preparar o solo alteram diferenciadamente a camada arável no que concerne à disponibilidade de água e nutrientes. O Sistema Plantio Direto - SPD, o preparo convencional e o cultivo mínimo do solo têm sido estudados em diferentes regiões brasileiras e algumas conclusões têm demonstrado que, quanto menos movimento sofre a camada arável do solo por implementos agrícolas, melhores são as condições físicas para o desenvolvimento das culturas (IAPAR, 1981; EMBRAPA, 1993; CASÃO JR et al., 2006).

Para cada condição de solo e operação agrícola existe um equipamento adequado. O solo deve ser tratado com a mínima mobilização, não implicando, com isso, na diminuição da profundidade de operação, mas sim na redução do número das operações, deixando rugosa sua superfície através da manutenção dos resíduos culturais, total ou parcial (CARVALHO FILHO et al., 2007). A forma mais usual de modificar a rugosidade superficial do solo é por meio do preparo. Quando o solo é submetido a um sistema conservacionista, no qual o preparo é realizado com escarificador seguido ou não da gradagem, a superfície apresenta-se mais rugosa do que quando submetido a um sistema de manejo convencional, em que o preparo é executado com arado de discos seguida de gradagens (BERTOL et al., 2006). Ainda segundo os autores, a rugosidade superficial formada por resíduos vegetais, mais resistente no tempo, apresenta menor capacidade de retenção da água de enxurrada na superfície do solo do que rugosidade formada pelo preparo do solo, embora menos persistente no tempo, é composta por microdepressões e microelevações na superfície.

O Sistema Plantio Direto – SPD, que representa a melhor alternativa quanto à redução da mobilização, é definido como uma técnica de implantação e condução de uma cultura com um mínimo de revolvimento do solo, em que os restos culturais permanecem na superfície do terreno e o controle das plantas daninhas pode ser realizado química, mecânica ou biologicamente. A cobertura da superfície proporcionada pelas culturas vegetais ou seus resíduos, tem ação direta e efetiva na redução da erosão hídrica, em virtude da dissipação de energia cinética de impacto das gotas de chuva, a qual diminui a desagregação das partículas do solo e o selamento superficial. A colonização do perfil por raízes contribui para o crescimento da capacidade de retenção de água, elevação dos índices de infiltração, aumento

da porosidade e aeração, aumento da agregação das partículas do solo, reduzindo as perdas de água pela evaporação e a velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, da capacidade erosiva da enxurrada e elevação do teor de matéria orgânica no solo, melhorando sua fertilidade física e química (COGO; LEVIEN; SCHWARZ, 2003; DENARDIN et al., 2005; CALEGARI, 2006; CARNEIRO et al., 2009).

A importância da cobertura permanente do solo é incontestável na melhoria da qualidade do SPD nas condições tropicais, conforme Casão Junior e Siqueira (2006), pois nestas regiões a decomposição da biomassa vegetal é rápida, exigindo bom gerenciamento e planejamento do sistema de produção para que o terreno permaneça constantemente protegido. Para isso é necessário o emprego de um dossel de plantas que apresente características de adaptação ao clima, quantidade adequada de massa produzida, durabilidade e vigor de seu sistema radicular, além de não prejudicar as culturas a serem implantadas. Outro fator importante é a relação entre a quantidade de carbono/nitrogênio da constituição das plantas de cobertura, pois quanto menor for esta relação C/N, mais rápida será a decomposição do material.

No Paraná, mais da metade da área ocupada por culturas de verão permanece em pousio no outono e inverno, ficando à mercê de chuvas erosivas e infestação de invasoras. Os adubos verdes ou culturas de cobertura correspondem à utilização de plantas em rotação, sucessão ou consorciadas a outros cultivos, objetivando a proteção superficial do solo e a manutenção e recuperação das suas propriedades físicas, químicas e biológicas, promovendo uma maior produção de biomassa, com conseqüente aumento do potencial produtivo. Uma determinada espécie de planta utilizada é um componente fundamental que, ao se integrar a um determinado sistema produtivo, deverá ter sido criteriosamente avaliada regionalmente, tanto no seu comportamento, quanto nos seus diferentes potenciais de aproveitamento (CALEGARI, 2006).

Um SPD adequadamente conduzido pode reduzir a erosividade das chuvas, mas não pode ser considerado uma prática isolada de controle da erosão. Para que este se torne efetivamente conservacionista deve obrigatoriamente estar associado às práticas mecânicas de controle da enxurrada, como os terraços. Alguns pesquisadores ao analisarem as perdas de solo e água associadas à erosão entre sulcos, sob chuva simulada, em área cultivada e submetida às adubações mineral e orgânica, observaram que a quantidade de sedimentos totais perdida foi menor na área sob SPD e, concluíram que se torna necessário controlar a enxurrada com a implantação de estruturas mecânicas para sua contenção, mesmo em áreas com este sistema de produção (BERTOL et al., 2007; SANTOS, 2007; DENARDIN, 2009).

Ao avaliar o efeito da chuva sobre o escoamento superficial e o aporte de sedimentos em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal, relacionando-o com o uso e manejo do solo, Chaves e Piau (2008) concluíram que tanto o volume do escoamento como de sedimentos cresceram exponencialmente com o aumento da precipitação, sendo mais acentuado no cenário atual com preparo convencional (PC), seguido dos cenários de plantio direto (PD) e cerrado nativo (CER). Estes resultados corroboram com Cogo, Levien e Schwarz (2003), que relatam que as perdas de solo por erosão hídrica foram mais elevadas no convencional, intermediárias no reduzido, efetuado com escarificador seguida de gradagem niveladora, mais baixas na semeadura direta e confirmam que o SPD auxilia na redução da erosão hídrica, mas não controla a enxurrada. Salienta-se ainda que, a incidência de chuvas com maiores intensidades na época de desenvolvimento das culturas, contribui para o agravamento da erosão hídrica, aliada à quantidade de energia contida nas gotas que atingem o solo (CRUZ, 2006).

### **2.1.3. Técnicas de geoprocessamento**

Os Sistemas de Informação Geográfica – SIG apresentam-se como uma importante ferramenta aplicada à tecnologia computacional orientada geograficamente, sobretudo pelo ganho de recursos e tempo (CALIJURI, 1996). Tecnicamente um SIG é formado por equipamentos eletrônicos, hardware, programados adequadamente, software que permitem manejar uma série de dados espaciais, informação geográfica e realizar análises complexas de acordo com determinados critérios adotados.

Merten et al. (1995) concluíram que o SIG – ArcInfo é uma adequada ferramenta de trabalho para obtenção de mapas de erosão potencial e avaliação de tecnologias conservacionista. Machado (2002) verificou que o uso de modelos simuladores e SIG – ArcView®, permitem, não somente avaliar dados simulados com dados observados, mas também fazer simulações de cenários, visando explorar os possíveis efeitos de variações de uso da terra, no contexto da dinâmica da paisagem. Pereira (2002), ao propor a classificação de sensibilidade ambiental e avaliar a aptidão agrícola das terras na região de Ribeirão Preto, SP, descreve que o SIG – Idrisi Versão 2.0 constituiu numa ferramenta capaz de viabilizar, agilizar e oferecer oportunidades, quanto ao armazenamento, manipulação, transformação, análise e exibição dos dados. Já as informações terrestres e o sensoriamento remoto, foram de grande importância no acompanhamento da dinâmica de uso das terras face às mudanças impostas pela ocupação agrícola. Nesse particular, as imagens de satélite são de grande

utilidade, pois ao mesmo tempo reúnem aspectos de temporalidade e objetos de sua espacialidade.

Outro SIG disponível é o SPRING – 4.1.1 desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, na plataforma Windows. Este software de geoprocessamento permite armazenar, gerenciar, manipular e apresentar dados tabulados e/ou cartográficos de modo georreferenciado, com isso é possível criar mapas temáticos, identificando o uso e a ocupação do solo em uma bacia hidrográfica. Entre os vários softwares existentes nessa linha tecnológica, este merece destaque por ser gratuito e 100% nacional, o que facilita o acesso aos seus operadores. Ribeiro e Campos (2007) concluíram que o SIG – SPRING foi eficiente na determinação da ocupação do solo e das classes de vulnerabilidade a erosão na bacia do Alto do Rio Pardo, Pardinho, SP, e salientaram ainda que, são áreas que apresentaram problemas de poluição das águas, degradação e assoreamento dos rios, devido ao uso intensivo do solo sem conservação adequada, com o plantio de culturas próximas às margens, além da presença de resíduos industriais e orgânicos.

#### **2.1.4. Cálculo da perda de solo e modelos de simulação**

Entre os diversos modelos para a simulação dos processos envolvidos na relação erosão, chuva e escoamento superficial, destaca-se a Equação Universal de Perda de Solo – USLE, desenvolvida originalmente por Wischmeier e Smith (1978) e modificada por Bertoni e Lombardi Neto (1990) para as condições do Brasil, a que permite estimar a quantidade de solo perdido em função da ação dos principais fatores que sabidamente a influenciam, estando assim expressa:

$$A = R K L S C P \quad (1)$$

Em que A é a perda de solo, em  $t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ; R a erosividade da chuva,  $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ; K a erodibilidade do solo,  $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ; L o fator comprimento do declive; S o grau do declive; C o fator cobertura vegetal e P o fator práticas conservacionistas mecânicas. Os fatores R, K, L e S representam as informações mais importantes, pois estão ligadas ao potencial erosivo das chuvas, a natureza do solo, a morfologia e topografia do terreno, respectivamente. Enquanto C e P correspondem à natureza antrópica, estando relacionados à ocupação das terras e às características de cultivo. A equação envolve esses

dois conjuntos de fatores, naturais e antrópicos, que pelo processo multiplicativo entre eles, resulta na perda média anual de solos, por unidade de área (PEREIRA, 2002).

Para caracterização da capacidade de uso das terras, visando fornecer subsídios para elaboração de um plano de manejo sustentável, bem como a aplicação de modelos da avaliação de uso, Donzeli et al. (1996) utilizaram o sistema de geoprocessamento Surface – II, na construção das cartas temáticas para aplicação da USLE, na primeira fase do diagnóstico de erosão nas bacias hidrográficas dos rios Peixe e Paranapanema.

Ao analisar modelos para diagnosticar, avaliar e monitorar os problemas relacionados às atividades agrícolas, Pessoa et al. (1997) verificaram que o Erosion Productivity Impact Calculator – EPIC, baseia-se em componentes físicos como hidrologia, clima, erosão, sedimentação, nutrientes, preparo da área e temperatura do solo, para simular o escoamento superficial, a erosão e o crescimento de plantas, para áreas de até 1 ha; o Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems – CREAMS, possui ampla aplicação em problemas relacionados ao manejo agrícola, modelando a trajetória de químicos através do escoamento superficial e da erosão de partículas, entretanto não fornece a rota dos compostos químicos no perfil de solo e; o Aerial Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation – ANSWERS, simula o movimento de poluentes em microbacias, prevê taxas de escoamento superficial e transporte de sedimentos.

O ANSWERS foi desenvolvido pela Universidade de Purdue, Lafaiete, Indiana e é, basicamente, um modelo de simulação de sedimentos e geração de cargas para um evento de chuva, sendo os nutrientes representados pela simples correlação entre a concentração e o volume de sedimento/carga e, requer que a bacia hidrográfica em estudo seja dividida em elementos de grade com informações dos parâmetros para cada um destes elementos. Essas características impõem a necessidade de um computador de grande desempenho, devido ao volume de informações utilizadas. No entanto, este detalhamento espacial permite uma melhor avaliação da área que se deseja estudar (BORAH; BERA, 2003; SILVA, 2003).

O Water Erosion Prediction Project – WEPP é um modelo de nova tecnologia baseada nos conceitos estocásticos voltados à hidrologia, ciência das plantas, física do solo, infiltração, hidráulica e erosão mecânica (TISCARENO et al., 1992). Brandão (2001) relata que o WEPP prediz a erosão hídrica em duas escalas diferentes. A versão plana analisa o processo erosivo numa dada gleba com características específicas topográficas de comprimento e declividade e a de microbacia, que prevê o aporte de sedimentos ao canal de drenagem. Segundo Silva (2006), tem chamado atenção pela sua consistência e riqueza de

detalhes nas simulações dos fenômenos de erosão em bacias hidrográficas, mas se restringem aos Estados Unidos da América, já que contam com grande volume de informações sobre parâmetros pedológicos e hidrológicos, indispensáveis para alimentação do modelo (SILVA, 2006).

O Soil and Water Assessment Tool – SWAT foi desenvolvido em escala de bacia hidrográfica para prever o impacto de práticas de manejo e ocupação de solo em relação à qualidade da água, sedimentos e produtos químicos (SILVA, 2003; LOPES, 2008). Machado e Vettorazzi (2003) e Machado, Vettorazzi e Xavier (2003) utilizando o SWAT associada à SIG – ArcView®, conseguiram um bom ajuste nos resultados estimados com os dados observados no posto hidrossedimentométrico e compararam cenários de uso e ocupação da microbacia do ribeirão Marins, Piracicaba, SP, com área de 5.973 ha, indicando que as variações no uso da terra podem diminuir a produção de sedimentos.

Mansor (2003) comenta ainda outros modelos de simulação desenvolvidos, como os: Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources – BASINS, na qual a modelagem integra cargas pontuais e difusas de poluição, com interface no SIG ArcView®; Simulator for Water Resources in Rural Basin – SWRRB, que simula componentes hidrológicas, sedimentação, transporte de nutrientes e pesticidas em bacias rurais e Agricultural Non-Point-Source Pollution Model – AGNPS, utilizado para prever cargas de poluentes provenientes de fontes pontuais e difusas em bacias agrícolas.

Entre os modelos supracitados em destaque está o AGNPS, projetado para simular o escoamento superficial, a produção de sedimentos e nutrientes em bacias rurais, comparando os efeitos das práticas de manejo e conservação incorporadas no solo. O AGNPS foi desenvolvido pelo Agricultural Research Service – ARS do United States Department of Agriculture – USDA, em cooperação com a Minnesota Pollution Control Agency – MPCA e a Soil Conservation Service – SCS, podendo ser ativado no ambiente do sistema DOS (YOUNG et al., 1994; SOOD; BHAGAT, 2005).

O AGNPS executa suas funções através de uma cadeia de células que obedecem a um sistema matricial, na qual são determinadas as condições de fluxo pela identificação das células, aliado a um conjunto de números ordenados seqüencialmente, em que os processos simulados em cada célula alimentam as células adjacentes. Os componentes básicos incluem: hidrologia, erosão, transporte químico e sedimentos. O modelo trabalha com um simples evento de chuva, presumindo ser uniforme os padrões de precipitação, sendo que sua execução ocorre em três estágios, baseados em parâmetros de informação para cada célula. Os cálculos iniciais são realizados no primeiro estágio e inclui estimativas da erosão

do solo, volume e tempo do fluxo de escoamento superficial, nível de poluentes solúveis que deixam à bacia. No segundo estágio, calcula-se o volume do escoamento superficial que deixa a célula e a produção de sedimentos gerada na célula primária. O fluxo de sedimentos e nutrientes através da bacia se realiza no terceiro estágio. Os componentes hidrológicos calculados como o volume e pico do escoamento superficial são estimados utilizando o método da curva número - CN da SCS (YOUNG et al., 1989). O pico do escoamento é estimado com base na área de drenagem, declividade do canal, volume do escoamento e a relação comprimento e largura da bacia hidrográfica (ARAKERE; MOLNAU, 1994). A erosão e o transporte de sedimentos são computados em cinco classes (argila, silte, areia, e em pequenos e grandes agregados) e são estimados usando-se a USLE (WISCHMEIER; SMITH, 1978). No transporte, o sedimento é encaminhado de célula para célula através da bacia até a saída. O nitrogênio, o fósforo e a Demanda Química de Oxigênio - DQO são estimados em toda a bacia, baseados nas relações adaptadas pelo modelo CREAMS.

Ao utilizarem o AGNPS para avaliar o escoamento superficial e os sedimentos produzidos em duas pequenas bacias hidrográficas na Bavaria, Alemanha, Grunwald e Norton (1999) descrevem que, onde não são realizados trabalhos de monitoramento hidrossedimentométrico, a incerteza dos resultados é alta. Kirnak (2002) ao comparar a predição de erosão do solo com os modelos WEPP e AGNPS utilizando o SIG ArcInfo, na bacia Rock Creek, Ohio, EUA, concluíram que a previsão do fluxo de escoamento para ambos, foi melhor que a de sedimentos, apesar deste último ser capaz de simular sua distribuição e a concentração de poluentes agrícolas em diferentes pontos da bacia. Isso se deve à forma quadrada e uniforme das células, a qual possibilita sua análise em qualquer ponto da bacia (MACHADO, 2002; GARG; CHAUBEY; HAGGARD, 2003). Segundo Silva (2003) os resultados podem ser de eventos individuais de chuva e, de acordo com Brandão (2001), Kirnak (2002), Wang e Cui (2005), para bacias da grandeza de 2.000 km<sup>2</sup>.

### **2.1.5. Referências bibliográficas**

ARAKERE, A MOLNAU, M. Performance of AGNPS in the Pacific Northwest. Paper n.94-2156. **American Society of Agricultural Engineers**. Saint Joseph, p.1-16, 1994.

ATTANASIO, C.M. **Plano de manejo integrado de microbacias hidrográficas com uso agrícola: uma abordagem hidrológica na busca da sustentabilidade**. 2004. 193p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - ESALQ - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BERTOL, O.J. et al. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida a adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.781-792, 2007.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.

BORAH, D.K.; BERA, M. Watershed-Scale Hydrologic and Nonpoint-Source Pollution Models: review of mathematical bases. **American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v.46, n.6, p.1553-1566, 2003.

BRANDÃO, D. **Risco de degradação dos recursos hídricos na bacia do ribeirão Pinhal - Limeira (SP): uma proposta metodológica**. 2001. 85p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BRASIL. Resolução nº. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 17 mar. 2005, 23p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res5/res35705.pdf>>. Acesso em: 21 de jun. 2008.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura. In: CASÃO JR, R.; SIQUEIRA, R.; METHA, Y.R.; PASSINI, J.J. (Ed.). **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR, Foz do Iguaçu: ITAIPU, 2006. p.55-73.

CALIJURI, M.L. **Curso de Sistema de Informação Geográfica**. EESC - Universidade de São Paulo. São Carlos, 1996. 115p.

CARNEIRO, C.E.A. et al. Efeitos dos sistemas de manejo sobre o carbono orgânico total e carbono residual de um latossolo vermelho eutroférico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.30, n.1, p.5-10, 2009.

CARVALHO, D.F. et al. Perdas de solo e águas em um Argissolo Vermelho Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.385-389, 2002.

CARVALHO F<sup>o</sup>; A. et al. Métodos de preparo do solo: alterações da rugosidade do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.229-237, 2007.

CASÃO JR, R. et al. (Ed.). **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR, Foz do Iguaçu: ITAIPU, 2006. 200p.

CHAVES, H.M.L.; PIAU, L.P. Efeito da variabilidade da precipitação e do uso e manejo do solo sobre o escoamento superficial e o aporte de sedimentos em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.333-343, 2008.

CHICATI, M.L. et al. Caracterização de alguns atributos do solo e sua correlação com a paisagem em uma porção do noroeste do Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.30, supl., p.719-424, 2008.

COGO, N.P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R.A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declividade e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.743-753, 2003.

CUNHA, J.E.; CASTRO, S.S.; SALOMÃO, F.X.T. Comportamento erosivo de um sistema pedológico de Umuarama, noroeste do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.943-951, 1999.

DENARDIN, J.E. et al. **Manejo de enxurrada em sistema plantio direto**. Porto Alegre: Fórum Estadual de Solo e Água, 2005. 88p.

DERPSCH, R. et al. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: GTZ - IAPAR, 1991. 272p.

DONZELI, P.L. et al. Diagnóstico de erosão e plano de manejo de bacias hidrográficas utilizando geoprocessamento e modelos de previsão: Evolução da metodologia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador, **Anais...** Salvador: INPE, 1996, p.145-146.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. **Plantio Direto no Brasil**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1993. 166p.

GARG, V.; CHAUBEY, I.; HAGGARD, B.E. Impact of calibration watershed on runoff model accuracy. **American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v.46, n.5, p.1347-1353, 2003.

GONÇALVES, C.S. et al. Qualidade da água em uma microbacia de cabeceira situada em região produtora de fumo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.3, p.391-399, 2005.

GRUNWALD, S.; NORTON, L.D. An AGNPS - based runoff and sediment yield model for two small watersheds in Germany. **American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v.42, n.6, p.1723-1731, 1999.

HERNANDES, F.B.T.; VANZELA, L.S. Diagnóstico da disponibilidade de água e de transporte de sedimentos do córrego Três Barras, Marinópolis, SP. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 16., 2006, Goiânia, **Anais...** Goiânia, 2006. p.1-6.

IAPAR. Fundação Instituto Agrônomo do Paraná. **Plantio direto no Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1981. 244p. (Informe da Pesquisa, n°23).

KIRNAK, H. Comparison of erosion and runoff predicted by WEPP and AGNPS models using a geographic information system. **Journal Agricultural for Turk**, Saliurfa, v.26, p.261-268, 2001.

LAL, R. Global soil erosion by water and carbon dynamics. In: LAL, R.; KLIMBE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B.A. (Ed.). **Soils and Global Change**, Advanced in Soil Science. Florida: CRC/Lewis Publishers, 1995. p.130-142.

- LOPES, N.H.Y. **Análise da produção de águas e sedimentos em microbacias experimentais com o modelo SWAT**. 2008. 154p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- MACHADO, R.E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. 2002. 152p. Tese (Doutorado em Agronomia) - ESALQ - Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- MACHADO, R.E.; VETTORAZZI, C.A.; XAVIER, A.C. Simulação cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.727-733, 2003.
- MACHADO, R.E.; VETTORAZZI, C.A. Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do ribeirão dos Marins (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.735-741, 2003.
- MANSOR, M.T.C. **Potencial de poluição de águas superficiais por fontes não pontuais de fósforo na bacia hidrográfica do ribeirão de Pinhal, Limeira – SP**. 2005. 171p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - FEAGRI - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- MARUN, F.; MELLA, S.C. Recuperação de pastagens no noroeste do Paraná através da sucessão de culturas por um ano. Londrina: IAPAR, 1994. 15p. (Informe da Pesquisa, 111).
- MERTEN, G.H. et al. **El uso del modelo USLE para determinar mapas de erosion potencial y actual en las Microcuencas Pilotos de Agua Grande y Córrego do Pensamento, Mamborê, Paraná, Brasil**. Santiago, Proyecto Regional GCP/RLA/107/JPN/IAPAR/EMBRAPA/FAO, 1995. 43p. (Documento Campo 6).
- MUZILLI, O. Plano integrado para manejo e conservação do solo em microbacia hidrográfica - piloto: a experiência do Paraná na região do arenito Caiuá. In: CONGRESSO BRASILEIRO E ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 8., 1990, Londrina, **Anais...** Londrina: IAPAR, 1996. p.97-119.
- PEREIRA, L.C. **Aptidão agrícola das terras e sensibilidade ambiental: proposta metodológica**. 2002. 122p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - FEAGRI - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- PESSOA., M.C.P.Y. et al. **Principais modelos matemáticos e simuladores utilizados para análise de impactos ambientais das atividades agrícolas**. Jaguariúna: Embrapa - CNPMA, 1997. 83p. (Documentos, 8).
- PRUSKI, F.F.; RODRIGUES, L.N.; SILVA, D.D. Modelo hidrológico para estimativa do escoamento superficial em áreas agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.2, p.301-307, 2001.
- RALISCH, R. **Análise comparativa do desempenho de três equipamentos de preparo do solo na descompactação de um Latossolo roxo**. 1999. 104p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Botucatu.

RIBEIRO, F.; CAMPOS, S. Vulnerabilidade à erosão do solo da região do Alto do Rio Pardo, Pardinho, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.6, p.628-636, 2007.

SÁ, J.P.G.; CAVIGLIONE, J.H. Arenito Caiuá, capacidade de lotação de pastagens. Londrina: IAPAR, 1999. 15p. (Informe da Pesquisa, n°.132).

SANTOS, D.S. **Redistribuição e qualidade dos solos e sedimentos agrícolas em vertentes com mata ciliar**: estudo de caso de Goiatuba (GO), Brasil. 2007. 103p. Dissertação (Mestrado Solos e Nutrição de Plantas) - ESALQ - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SEAB. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. **Manual operativo do fundo de manejo e conservação dos solos e controle da poluição**. Curitiba: SEAB, 1989. 105p.

SILVA, A.L. **A utilização do modelo WinHSFP no estudo de cargas difusas de poluição da bacia do ribeirão da Estiva, SP**. 2003. 179p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

SOOD, C.; BAGHAT, R.M. Interface geographical information systems and pesticide model. **Current Science**, Bangalore, v.89, n.8, p.1362-1370, 2005.

TISCARENO, M.L. et al. Sensitivity analysis of the WEPP watershed model for rangeland conditions. **American Society of Agricultural Engineers**, Charlotte, North Carolina. 21-24 June, 1992. paper n° 922018.

YOUNG, R.A. et al. AGNPS: A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankey, v.44, n.2, p.168-173, 1989.

YOUNG, R.A. et al. **Agricultural non-point source pollution model, version 4.03**. AGNPS USER'S GUIDE. Washington, US Department of Agriculture Conservation Research, 1994. 103p.

WANG, X.; CUI, P. Support soil conservation practices by identifying critical erosion areas within an American watershed using GIS-AGNPS model. **Journal of Spatial Hydrology**, Cape Canaveral, v.5, n.2, p.31-44, 2005.

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

### **3. ARTIGO 1: PRODUÇÃO E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIO INHACANGA, ARENITO CAIUÁ, PR**

#### **3.1. Resumo**

O objetivo foi estimar a produção e transporte de sedimentos em suspensão no rio Inhacanga, da bacia hidrográfica do rio Piquiri, em Altônia, PR, visando avaliar a qualidade dos processos agrícolas. O monitoramento foi realizado com uma rede de estações hidrossedimentológicas. A microbacia de 21,5 km<sup>2</sup> apresenta forma alongada, com baixa densidade de drenagem, predominando a perda de solo por escoamento superficial. O relevo é plano em 55% da área, com declividade menor que 5% e as de maior valor, ocupam um pequeno espaço. O perfil longitudinal apresentou variações no gradiente, indicando a presença de corredeiras e remansos. A precipitação média mensal foi de 127 mm, de 1991 a 1995, variando de 0 a 348 mm. Obteve-se a correlação entre chuvas intensas, produção de sedimentos e umidade do solo, com coeficiente de determinação ( $r^2$ ) de 0,85. A descarga sólida média foi de 20,6 t mês<sup>-1</sup>, correspondendo a 14,5 t km<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>, sendo que os picos coincidiram com as épocas de preparo das culturas de verão, tratadas com técnicas convencionais. As correções nas estradas rurais não reduziram a perda de solo, mostrando que o manejo das culturas é indispensável.

**Palavras-chave:** microbacia, índices físicos, monitoramento, qualidade dos processos agrícolas

#### **3.2. Abstract**

##### **Production and carriage of sediments in suspension in the Inhacanga River in a hydrographic watershed at Caiuá Sandy Rock formation, Paraná State, Southern Brazil**

The objective of this work was to estimate the production and carriage of sediments in suspension in the Inhacanga River, which belongs to the hydrographic basin of the Piquiri river, in the city of Altônia-PR, aiming to evaluate the quality of the agricultural processes. The monitoring was performed by a network of hydrosedimentological stations. The 21.5 km<sup>2</sup> watershed has an elongated shape, with low drainage density, prevailing soil losses by runoff. The relief is plane in 55% of the area, prevailing slopes of 5% or smaller. Steep slopes occupy a small percentage of the space. The longitudinal profile presented variations in the gradient, indicating the presence of rapids and dams. The average monthly precipitation was 127 mm from 1991 to 1995, varying from 0 to 348 mm. A correlation between intense rains, production of sediments and soil moisture was obtained, with a coefficient of determination ( $r^2$ ) of 0.85. The average solid discharge was 20.6 t month<sup>-1</sup>, corresponding to the specific production of 14.5 t km<sup>-2</sup> year<sup>-1</sup>, whose peaks coincided with the periods of soil tillage for the summer crops using conventional techniques. Modifications made in the country roads did not reduce soil loss, showing that crop management is very important.

**Key words:** watershed, physical indexes, monitoring, quality of agricultural processes

### 3.3. Introdução

Os rios são ambientes lóticos ou de água corrente, ecossistemas que apresentam renovação constante e efeito de transporte para vários tipos de substâncias. Em condições naturais não chegam a possuir concentrações tão elevadas de substâncias nutritivas quanto os lagos, lânticos. Por outro lado, são suscetíveis às influências do meio e por essa razão possuem características muito variáveis, como nas vazões de escoamento, que sofrem alterações em função das atividades humanas realizadas na bacia hidrográfica, o que torna o ambiente aquático muito instável. Assim, as águas dos rios são reflexos de algumas características das bacias de drenagem, como litologia, geomorfologia, solo, clima e ação antrópica (CRUZ, 2003) e podem ser empregados na avaliação da adequação dos sistemas de produção adotados na bacia.

A erosão e o escoamento superficial são resultados de um mau uso da terra, uma vez que libera e movimentada partículas de solo e, dependendo da carga de sedimentos e da capacidade de transporte, causará o deslocamento ou a deposição (PRUSKI; RODRIGUES; SILVA, 2001). Este fato foi constatado por Castro e Bofinger (2004) no córrego Borboleta, Marechal Cândido Rondon, PR, em solo argiloso, que devido à intensa atividade agrícola produziu elevados valores de sólidos dissolvidos totais,  $768 \text{ mg l}^{-1}$  superior ao permitido pela Resolução n.º.357/05 do CONAMA (BRASIL, 2005) que estabelece a concentração de  $500 \text{ mg l}^{-1}$ , para rios de classe 1 a 3.

Na determinação de sólidos em suspensão na bacia experimental do rio Pardo, Botucatu, SP, Conte e Leopoldo (1999) concluíram que a perda de solo estava associada às formas de preparo do terreno, tornando-se necessário implantar matas ciliares e práticas conservacionistas adequadas. Cogo, Levien e Schwarz (2003) avaliaram que as perdas por erosão hídrica foram mais elevadas no sistema convencional de plantio, reduzidas no cultivo mínimo e mais baixas no sistema denominado pelos autores de semeadura direta. Esses resultados corroboram com os valores do aporte de sedimentos e do escoamento superficial estimado por Chaves e Piau (2008), que foram mais acentuados no convencional, seguido do direto e do cerrado nativo.

Por outro lado, as diferentes formas de ocupação e manejo das culturas também influenciam na qualidade das águas, como observado por Castro e Bofinger (2004), no córrego 16 de Janeiro, Palotina, PR, em solo arenoso, teores de nitrogênio de  $110 \text{ mg l}^{-1}$ ,

que consideraram ser provenientes dos resíduos gerados pela criação de bovinos. Gonçalves et al. (2005) determinaram quantidades de fósforo no Arroio Lino, Agudo, RS, acima do padrão da classe 3, pela Resolução n.º.357/05 do CONAMA (BRASIL, 2005) caracterizando um ambiente aquático como contaminado e sujeito a processos de eutrofização. Isto se deve à disponibilidade deste elemento no solo, indicando que se poderia diminuir a adubação fosfatada nas lavouras por pelo menos três safras.

Em locais de uso múltiplo como no córrego Bonifácio, Jundiaí, SP, Romitelli (2006) constatou conflitos entre produtores de hortaliças irrigadas e os usos doméstico e industrial nos meses de menores índices de vazão, concluindo que se torna necessário um plano de gestão considerando a capacidade de produção de água. Silva (2003) relata que uma dificuldade na gestão dos recursos hídricos é a pouca disponibilidade de séries históricas de vazão, cuja deficiência se deve ao fato de solicitarem uma tecnologia cara e exigente, com mão-de-obra especializada, onerosa e tempo. Esta ausência de dados dificulta o uso da regionalização de vazões, que consiste na transferência de parâmetros de uma bacia para outra de características climáticas semelhantes.

Além da necessidade de verificação hidrológica, Bur (1997) afirma que é importante que haja também, uma afinidade sazonal entre os diversos eventos que ocorrem nas áreas estudadas, isto é, se acontecem na mesma época e frequência, sendo então utilizado como medida de similaridade entre bacias hidrográficas. Barbosa et al. (2005) descrevem que esta técnica se baseia em um conjunto de procedimentos e métodos estatísticos que visam explorar ao máximo os valores existentes, buscando-se a estimativa para um outro local. Em geral, consideram as características físicas da bacia por explicarem sua distribuição espacial.

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo estimar a perda de solo na microbacia hidrográfica do rio Inhacanga, na região do arenito Caiuá, PR, baseado na avaliação dos sedimentos transportados na linha de água e associada às precipitações ocorridas, nas reais condições de uso e manejo do solo, no período de 1991 a 1995 e, com isto, propor uma forma sistêmica de se avaliar os sistemas de produção agrícola adotados numa microbacia.

### **3.4. Material e métodos**

### **3.4.1. Caracterização da área de estudo**

A microbacia do rio Inhacanga está localizada no município de Altônia, ocupando 21,5 km<sup>2</sup>, com perímetro de 22,4 km, entre as coordenadas geográficas 23°52'20" a 23°57'10" sul e 53°45'50" a 53°48'52" oeste, sendo um dos afluentes do rio Xambê, pertencente à bacia hidrográfica do rio Piquiri. Segundo dados do IAPAR (2009), a precipitação média anual no município de Umuarama é de 1.620mm e Palotina 1.632 mm. Nos meses de julho e agosto, período de inverno, ocorre os maiores riscos de estiagens, sendo que as geadas concentram-se nesta época (CUNHA et al., 1999). O clima predominante na região é mesotérmico subtropical úmido, correspondendo ao tipo climático Cfa da classificação de Köppen, onde a temperatura dos meses mais quentes é superior a 22°C e, dos mais frios é inferior a 18°C, com umidade relativa do ar entre 70 e 75% (CAVIGLIONE et al., 2000). A vegetação primária é do tipo floresta tropical subperenifólia, apresentando árvores de porte médio a alto. Muzilli (1996) descreve que a cobertura de florestas na ocasião do monitoramento era bastante restrita, da ordem de 2% da área total, sendo raras as matas ciliares e de preservação permanente.

A área empregada para este estudo foi selecionada em função dos sérios problemas de conservação do solo, com erosão laminar nas áreas de café e algodão e em sulcos nas pastagens devido à má cobertura, adoção de práticas inadequadas, ao caminhamento do gado no sentido do declive e junto às margens (MUZILLI, 1996) e, por dispor de informações necessárias que permitam realizar o diagnóstico quantitativo da produção de sedimentos, servindo de referência para o direcionamento das ações futuras que visam reduzir as perdas de solo.

### **3.4.2. Uso e ocupação do solo na microbacia do rio Inhacanga**

O critério de divisão fundiária tomou como referência a linha de drenagem natural com 8,3 km, dispondo as propriedades no sentido perpendicular. Na microbacia encontram-se inseridos 158 produtores, nas categorias: empresário rural (63%) e familiar (37%), ocupando 102 estabelecimentos, com área média de 17 hectares, como exibido na Figura 1 (MUZILLI, 1996).

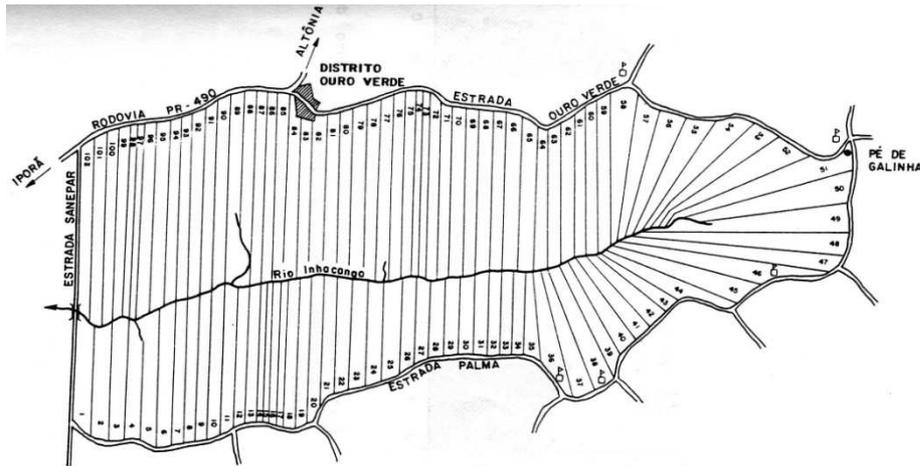


Figura 1. – Divisão fundiária da microbacia hidrográfica do rio Inhaçanga, Altônia, Paraná

Na microbacia do rio Inhaçanga a cafeicultura ocupava em 1989, mais de 52% da área, com 32% de pastos e o restante com pequenas culturas (MUZILLI, 1996). Com a erradicação dos cafeeiros para o cultivo de lavouras anuais e pastagens, ocorreu uma mudança de uso do solo, que se deu inicialmente nos segmentos inferiores das pendentes, sendo o topo a última etapa a ser alterada, por riscos de geadas. Entretanto, devido à estrutura dos lotes agrícolas, estreitos, construiu-se um sistema de terraceamento descontínuo entre propriedades, evidenciando a individualização das práticas conservacionistas, tornando-os ineficientes (FIDALSKI, 1997a). As formas de uso da terra no período observado foram determinadas através da interpretação de imagens orbitais do LANDSAT-TM, fornecidas pelo Laboratório Integrado de Sensoriamento Remoto do Paraná (IAP/LISERP) e Senagro, na escala 1:20.000, como apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. – Distribuição do uso e ocupação na microbacia do rio Inhaçanga, Altônia, Paraná

Culturas	Proporção de uso e ocupação em relação à área da bacia (%)			
	Setembro* 1990	Agosto 1993	Dezembro 1994	Setembro 1995
Algodão	4,28	0,00	15,58	0,00
Amora	0,00	0,34	0,34	0,46
Café	44,84	15,86	13,88	6,09
Capoeira / mata	9,18	6,93	6,86	6,91
Pastagens	41,70	62,36	54,69	62,70
Reflorestamento	0,00	2,54	2,49	2,23
Solo descoberto	0,00	11,97	6,16	21,61
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: IAP/LISERP (1994)\*; Senagro (1996)

### 3.4.3. Representação espacial de informação

O mapeamento da microbacia hidrográfica do rio Inhacanga foi iniciado a partir das informações do Instituto Ambiental do Paraná – IAP, pela restituição aerofotogramétrica, na escala 1:100.000. A projeção para o georeferenciamento de dados espaciais foi a Universal Transversal de Mercator – U.T.M., baseada no Datun – SAD – 69. Para isso, utilizou-se o mapa gerado pela Divisão de Serviço Geográfico do Ministério do Exército, folha SF.22–Y–C–IV, escala 1:10.000, Pérola, situado entre as coordenadas - eixo x: 214.000 e 218.000 m e eixo y: 7.357.000 e 7.348.000 m.

O levantamento planialtimétrico com curvas de nível de 10 em 10 m, o divisor de águas, os recursos hídricos, as estações de monitoramento e o mapa de solos foram digitalizados em SIG - ArcGis, gerando arquivos “vector” e transformados para “raster”, como apresentado nas Figuras 2 e 3, respectivamente (PAREDES, 1994; CALIJURI, 1996).

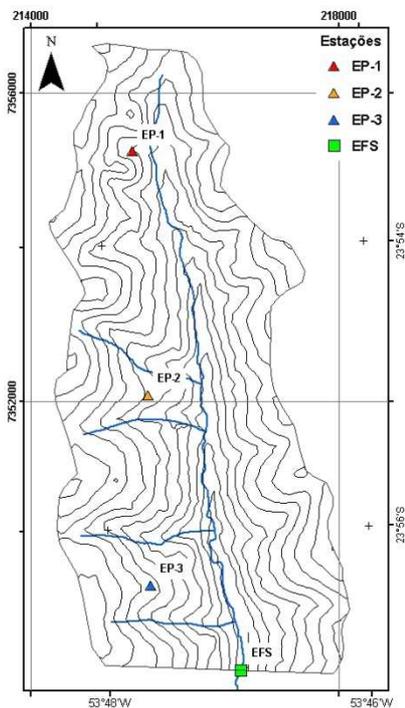


Figura 5. – Mapa planialtimétrico com as estações de monitoramento, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

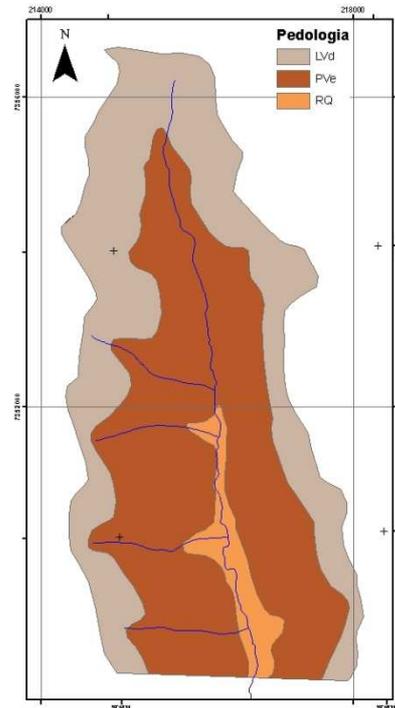


Figura 6. – Mapa de solos da microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Muzilli (1996) estimou as principais unidades pedológicas na microbacia, levando em conta as condições de topografia e relevo, sendo sua caracterização realizada com base no levantamento de reconhecimento de solos do Estado do Paraná, elaborado pelo SNLCS/EMBRAPA (1984), posteriormente corrigido por EMBRAPA (1999). As classes predominantes são: Latossolos Vermelhos Distróficos argissólicos (LVd), na situação de relevo plano e suave, declividade < 3%, ocupando 30% da microbacia; Argissolos Vermelhos Eutrófico abruptivos (PVe), localizados nas encostas com pendentes pronunciadas, declividade < 8%, adjacentes à rede de drenagem, com 65% da área e; Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ), nas baixadas e fundos de vale, tornando-se ondulada nas cabeceiras de vertentes e nas meia-encostas, em 5% da área.

#### **3.4.4. Aquisição de dados hidrossedimentológicos**

##### **3.4.4.1. Estações pluviográficas**

O monitoramento hidrossedimentológico foi realizado de agosto de 1991 a dezembro de 1995. Para captar as águas das chuvas utilizou-se pluviógrafos, modelo HC, com superfície de 200 cm<sup>2</sup>, que registram continuamente a precipitação, localizados na nascente, seção média e na parte final da microbacia (EP1, 2 e 3). Com a seleção dos eventos de precipitação utilizou-se a metodologia de Cataneo et al. (1982), na qual os valores de intensidade máxima da chuva em 30 minutos ( $I_{30}$ ) e os totais precipitados foram calculados pelo registro gráfico, pluviograma.

##### **3.4.4.2. Estação fluviométrica e fluviográfica**

Para que se obtenha um registro contínuo das vazões é necessário que se possa estabelecer uma relação da vazão e o nível da água no rio. Para medir a variação dos níveis de água no rio Inhacanga, instalaram-se réguas graduadas, escalonadas ao longo da seção transversal de escoamento (EFS). Para o registro contínuo empregou-se o linígrafo de pressão LNG – 16 – SM, onde a pena gravava em diagramas apropriados, as oscilações dos níveis no transcorrer do tempo (TUCCI, 1993).

##### **3.4.4.3. Medição de vazão em rios**

Nos cursos de água o método para a medição da vazão foi o baseado no conhecimento da velocidade do fluxo, ao longo de uma seção transversal nas diferentes verticais, como sugerido por Pereira, Neto e Tucci (2003). Para determinação das velocidades utilizou-se o micromolinete Teleoyne Gurley – Price, equipado com conchas que giram quando colocadas contra o sentido da corrente, obtendo-se a velocidade de rotação, que está relacionada com a de fluxo através da seguinte fórmula:

$$V = a N + b \quad (1)$$

Em que  $N$  = número de voltas durante um intervalo de tempo,  $a = 0,2847$  e  $b = 0,06782$ . Para contar os impulsos gerados pelo micromolinete foi utilizado um contador-giros, com contador eletrônico e cronômetro integrado, sendo o tempo de medição de 50 segundos, conforme calibração do equipamento.

O micromolinete foi utilizado empregando-se uma haste graduada, com o operador ficando em pé no leito do rio, medição a vau. A seção transversal foi materializada através de um cabo graduado, entre margens, onde foram determinadas as diferentes profundidades. Para verticais mais profundas que 1 metro, a partir da superfície, foram adotadas leituras a 20% e 80% e calculou-se a média. Para inferiores a 1 metro, mediu-se a velocidade a 60% da profundidade. Considerou-se, então, a vazão ( $Q$ ) como a soma das vazões parciais ( $q_i = a_i v_i$ ) que atravessaram as áreas de influência ( $a_i$ ) com diferentes velocidades ( $v_i$ ),  $Q = \sum q_i$  (LINSLEY; FRANZINI, 1978; TUCCI, 1993).

#### **3.4.4.4. Curva-chave da vazão**

A curva-chave, que é uma relação entre o nível da água de um rio e a sua descarga líquida, permitiu quantificar as vazões instantâneas por uma leitura contínua das cotas diárias (JACCON; CUDO, 1989). No período realizaram-se oitenta e cinco medições das vazões líquidas na seção transversal do rio Inhacanga, onde com o emprego de uma haste graduada e o operador ficando em pé no leito do rio, é realizada a medição a vau, sendo que para seu ajuste foram utilizadas planilhas eletrônicas do software da Microsoft® Office Excel 2003.

#### **3.4.4.5. Estação sedimentométrica e descarga sólida em suspensão**

Para a determinação da concentração de sedimentos em suspensão empregou-se o amostrador UDSH – 48, por meio de amostras integradas na profundidade (VESTENA; LUCINI; KOBİYAMA, 2008). As coletas eram realizadas no momento das leituras dos níveis as 7:00 e 17:00 horas (BRASIL, 1970b; BRASIL, 1970c; CARVALHO et al., 2000). Aliado a essas atividades, instalou-se o coletor de estágio único, proposto por Carvalho (1994) composto por garrafas de 1 litro, contendo dois tubos, um para admissão da amostra e outro para saída de ar, montado em diversos níveis, possibilitando a amostragem fora dos horários programados. As amostras diárias foram encaminhadas ao Laboratório de Solos do IAPAR em Londrina – PR, onde a metodologia de análise para determinação da concentração total foi a evaporação (AWWA, 1989).

#### 3.4.4.6. Cálculo da descarga sólida em suspensão

Para o cálculo da descarga sólida ou transporte do material sólido em suspensão nas águas dos rios, utilizou-se a seguinte equação:

$$Q_{ss} = 0,0864 Q_l C_s \quad (2)$$

Em que,  $Q_{ss}$  é a descarga sólida em suspensão,  $t \text{ dia}^{-1}$ ,  $Q_l$  a vazão líquida,  $m^3 s^{-1}$ ,  $C_s$  a concentração de sedimentos em suspensão,  $mg l^{-1}$  e, uma constante de transformações de unidades, igual a 0,0864 (CARVALHO, 1994; AQUINO et al., 2003).

#### 3.4.4.7. Cálculo da precipitação média

O estabelecimento da lâmina média de chuva foi através do método do Polígono de Thiessen (TUCCI, 1993), o qual consiste em dar pesos aos totais precipitados em cada aparelho, proporcionais à área de influência de cada estação, como exposto na Tabela 2.

Tabela 2. – Aplicação do método de Thiessen na microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Estação Pluviográfica	Altitude (m)	Área do polígono interno a bacia (ha)	Área de influência (%)
EP1	370	639,12	29,71
EP2	325	758,51	35,26
EP3	307	753,57	35,03
Área Total		2.151,20	100,00

#### 3.4.4.8. Determinação da umidade do solo

A umidade do solo foi determinada em função da série histórica de dados de precipitação das estações pluviográficas, sendo a lâmina média obtida pelo Polígono de Thiessen, como apresentado na Tabela 2 e a valores estabelecidos na Tabela 3. As condições consideradas foram as seguintes:

- Classe I – esta é a condição em que os solos da bacia estão secos, porém com umidade suficiente para serem satisfatoriamente arado e cultivado;
- Classe II – nesta situação os solos da bacia estão com umidade média, correspondem à umidade na capacidade de campo;
- Classe III – nesta condição a bacia está com seus solos praticamente saturados em consequência de chuvas nos cinco dias anteriores aos eventos.

Tabela 3. – Condições de umidade em função da precipitação total nos cinco dias anteriores aos eventos selecionados, considerando a estação do ano

Classe	Precipitação nos 5 dias anteriores aos eventos (mm)	
	Estação seca	Estação úmida
I	0 - 13	0 - 36
II	13 a 28	36 a 53
III	> 28	> 53

Fonte: YOUNG et al. (1994); MACHADO (2002); BHUYAN; MANKIN; KOELLIKER (2003)

### 3.5. Resultados e discussões

#### 3.5.1. Características físicas da microbacia do rio Inhacanga

O rio Inhacanga é composto pela formação de um único curso, que aliado à conformação geológica, apresenta sinuosidade fraca, leito arenoso e baixa profundidade da lâmina de água. No ordenamento dos canais que reflete o grau de ramificação ou bifurcação, classificou-se como pouco ramificado de segunda (2<sup>a</sup>) ordem, segundo critérios introduzidos

por Horton e modificados por Strahler (TUCCI, 1993). As características fisiográficas são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. – Características fisiográficas da microbacia hidrográfica do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	21,51
Perímetro (km)	22,44
Comprimento do rio principal (km)	8,32
Comprimento total dos cursos de água (km)	15,16
Coefficiente de compacidade (K <sub>c</sub> )	1,35
Fator de forma (K <sub>f</sub> )	0,32
Altitude máxima (m)	425,00
Altitude média (m)	350,00
Altitude mínima (m)	275,00
Densidade de drenagem (km km <sup>-2</sup> )	0,70
Declividade entre foz e nascente (m m <sup>-1</sup> )	0,01202
Declividade equivalente (m m <sup>-1</sup> )	0,00830
Declividade média da bacia (m m <sup>-1</sup> )	0,04715
Ordem da bacia (Strahler)	2 <sup>a</sup> ordem

Por se tratar de uma bacia do tipo alongada, elíptica, com coeficiente de compacidade (K<sub>c</sub> = 1,35) afastado da unidade, é pouco susceptível a enchentes, haja vista a reduzida possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda sua extensão, afastando-se da condição ideal da circular, na qual todo o deflúvio se dá num só local. O fator de forma baixo (K<sub>f</sub> = 0,32) indica que a contribuição dos tributários atinge o curso de água principal em vários pontos e segundo Villela e Mattos (1975), as formas alongadas possuem menor concentração do deflúvio.

### 3.5.2. Densidade de drenagem

A densidade de drenagem é expressa pela relação entre o comprimento total dos cursos de água e a área da bacia hidrográfica. Este índice varia inversamente com a extensão da rede fluvial e, portanto, fornece uma boa indicação da sua eficiência, sendo obtido o valor de 0,7 km km<sup>-2</sup>. Verifica-se em Villela e Mattos (1975) que pode variar de 0,5 km km<sup>-2</sup> a 3,5 km km<sup>-2</sup> ou mais, para as excepcionalmente bem drenadas, indicando portanto, baixa capacidade, ou seja, o escoamento ocorre sobre a superfície do solo.

### 3.5.3. Análise hipsométrica

A análise hipsométrica representa a variação da elevação do terreno da bacia hidrográfica com referência ao nível médio do mar, em que o meio do gráfico mostra que porcentagem da área de drenagem encontra-se acima ou abaixo das várias elevações. O relevo predominante é suave ondulado e plano, com altitudes entre 275 e 425 metros (Figura 4). Na curva hipsométrica representada na Figura 5, podem-se observar poucas variações de elevação, o que não interfere no regime de escoamento natural (Santos et al, 2006). Tonello (2005) descreve que esta análise pode ser utilizada para identificar locais de maior produção de sedimentos e no estudo das perspectivas de assoreamento de reservatórios.

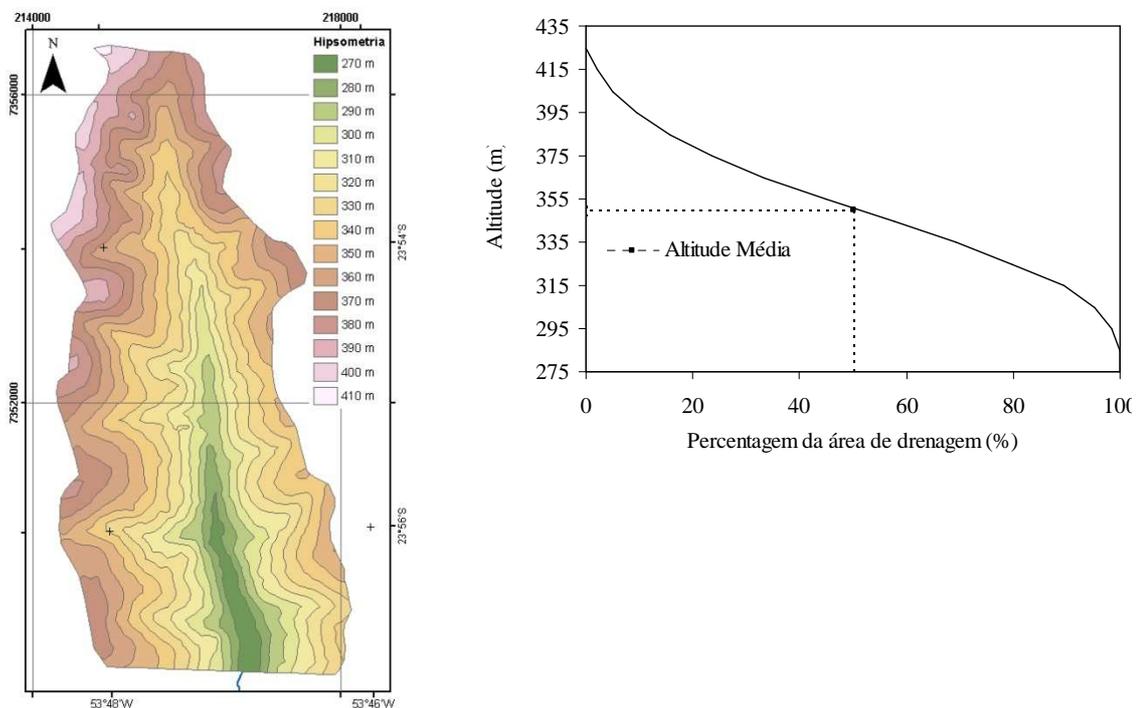


Figura 4 e 5. – Modelo de elevação digital do terreno e curva hipsométrica da microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

### 3.5.4. Perfil longitudinal do leito

Oliveira (2006) descreve que dentre os fatores que influenciam o escoamento fluvial está o perfil longitudinal, representado na forma gráfica de uma curva côncava para cima, como na Figura 6, onde se podem constatar variações no gradiente, indicando a presença de locais com corredeiras e outros com remansos.

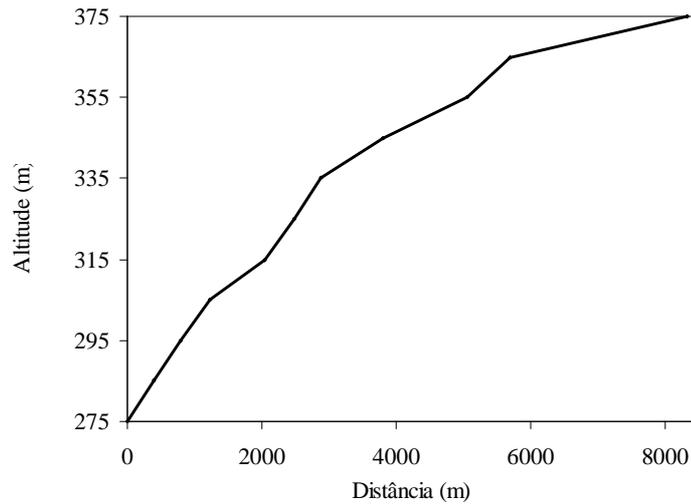


Figura 6. – Perfil longitudinal do leito do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

### 3.5.5. Curva de distribuição de declividade

Determinou a declividade média de 4,7%, que de acordo com Villela e Mattos (1975), resulta numa redução dos picos de enchente. Os resultados indicam que 55% da área possuem relevo plano inferior a 5% de declive, sendo que as de maior valor ocupam um pequeno espaço, como observado na Figura 7. Segundo Ferreira et al. (2007) estas informações são preciosas para aferir sobre a velocidade de escoamento e, conseqüentemente, definição do melhor manejo em função do potencial de erosão.'

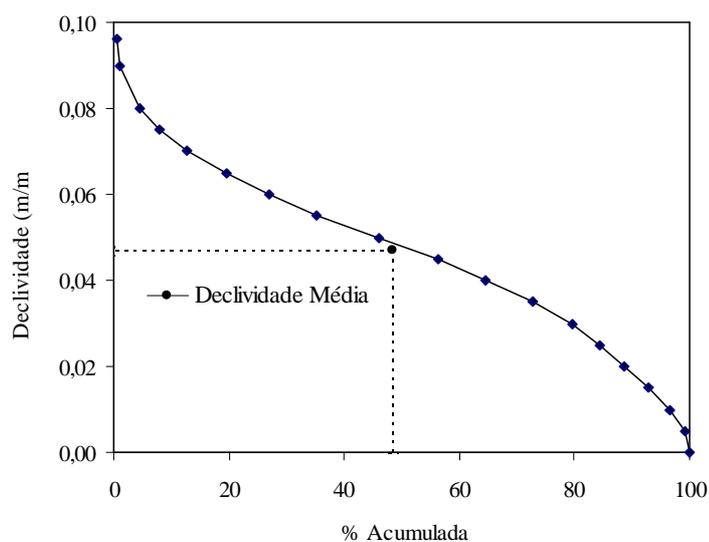


Figura 7. – Curva de distribuição de declividade da microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

### 3.5.6. Determinação dos volumes precipitados

As precipitações médias coletadas nas estações do rio Inhacanga, Altônia e do IAPAR nos municípios de Umuarama e Palotina, com séries históricas de 4, 31 e 34 anos, respectivamente, foram de 127, 136 e 137 mm  $mês^{-1}$ , conforme Figura 8. Verificaram-se no período de 1991 a 1995, que em 47,2% dos eventos observados, os valores se encontravam superiores a 127 mm. As mínimas foram de 0 e 10 mm em agosto de 1993 e 1994; e 21 e 25 mm, em maio e agosto de 1995. A máxima foi de 348 mm em maio de 1992, sendo este também, o ano do maior volume com 1.786 mm. Os resultados confirmam as considerações feitas por Muzilli (1996), no que se refere aos períodos de maior potencialidade erosiva das chuvas entre novembro e março, sendo que no período de inverno ocorrem os maiores riscos de estiagem, sobretudo em julho e agosto.

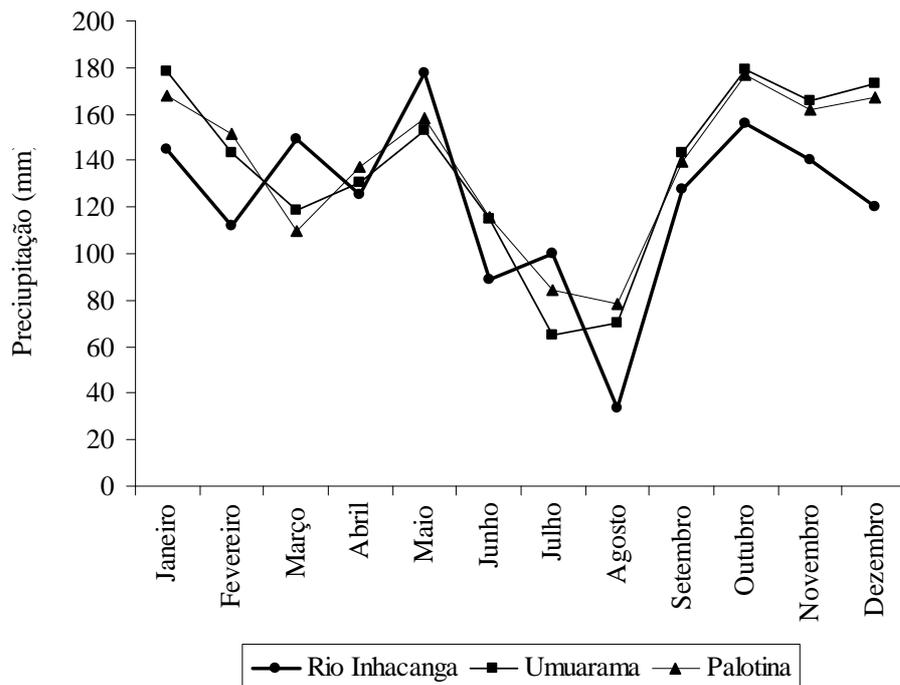


Figura 8. – Precipitações médias ocorridas na microbacia do rio Inhacanga, Altônia (1991 a 1995), e nos municípios de Umuarama (1974 a 2005) e Palotina (1971 a 2005), Paraná

### 3.5.7. Determinação das curvas-chave

Com os resultados das medições de vazão foram determinadas duas curvas-chave, sendo a primeira para o período de agosto 1991 a maio 1993 (Figura 9) e a segunda de junho 1993 a dezembro 1995 (Figura 10). Isto se deve ao assoreamento da calha do rio e a

instalação de uma nova régua, conseqüentemente, alteração da seção transversal de escoamento.

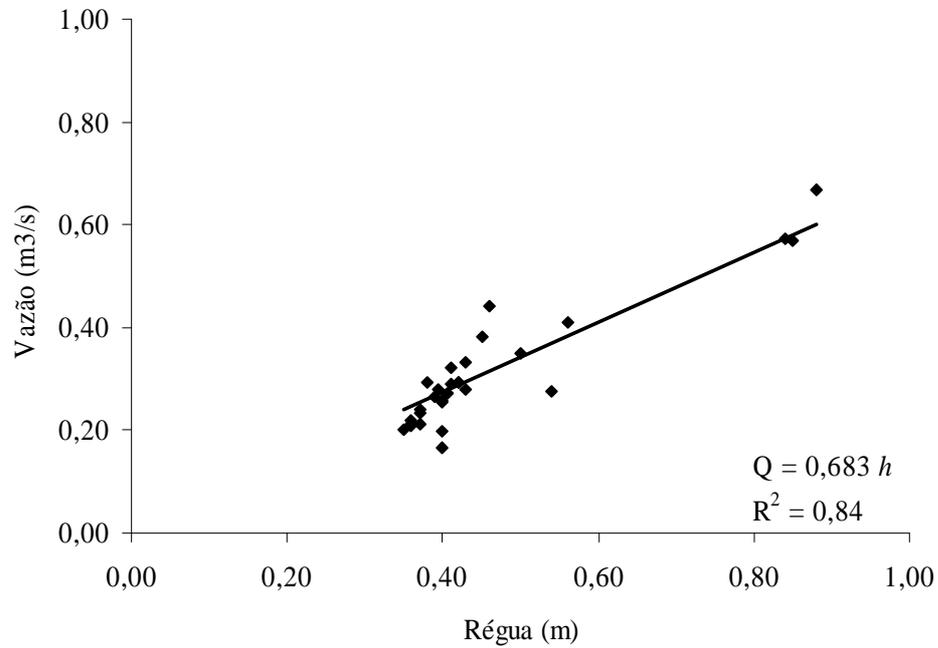


Figura 9. – Correlação entre réguas linimétricas e vazão no rio Inhacanga, Altônia, Paraná - Curva Chave 1991 – 1993

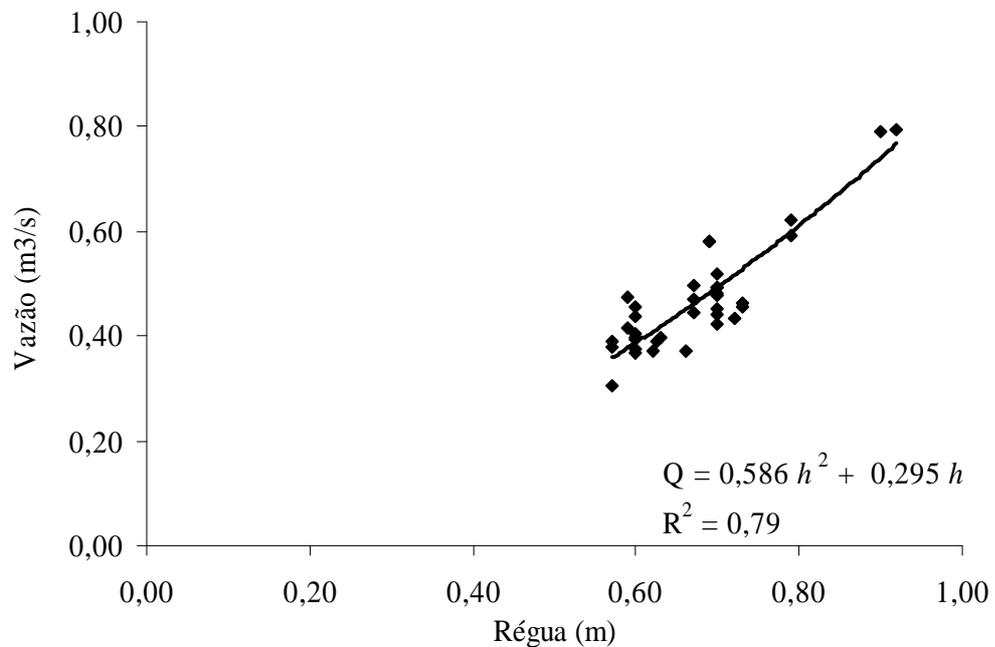


Figura 10. – Correlação entre réguas linimétricas e vazão no rio Inhacanga, Altônia, Paraná - Curva Chave 1993 – 1995

### 3.5.8. Comportamento da precipitação e vazões máximas e mínimas

Quanto às vazões, determinou-se que em 47% do período elas permaneceram acima da média de  $0,27 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , quando as chuvas foram superiores a  $127 \text{ mm mês}^{-1}$ . As vazões máximas observadas são apresentadas na Tabela 5, sendo que, em todas estas situações, os solos se encontravam com umidade entre a capacidade de campo e a saturação, promovendo picos no escoamento fluvial, como observado na Figura 11. Mello et al. (2007) ao realizarem a simulação do deflúvio e vazão de pico em uma microbacia experimental com área de  $0,013 \text{ km}^2$ , em Lavras, MG, descrevem como variável fundamental a umidade do solo. Isto se deve à forte relação de causa-efeito, pois quanto maior a umidade do solo, menor será a capacidade de infiltração e como consequência, aumentará a geração do fluxo.

Tabela 5. – Precipitação mensal e vazões máximas da microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Ano	Mês	Precipitação mensal ( $\text{mm mês}^{-1}$ )	Vazões máximas ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ )
1991	Dezembro	265	0,59
1992	Maio	348	0,74
1992	Outubro	186	0,61
1993	Outubro	90	0,61
1994	Junho	124	0,45
1995	Outubro	185	0,59

Salienta-se ainda que, em outubro de 1993, apesar de baixa precipitação, as vazões líquidas continuaram elevadas, devido ao precipitado no mês anterior, setembro, com  $166 \text{ mm}$ , alimentando o lençol freático e mantendo o escoamento das águas nos rios.

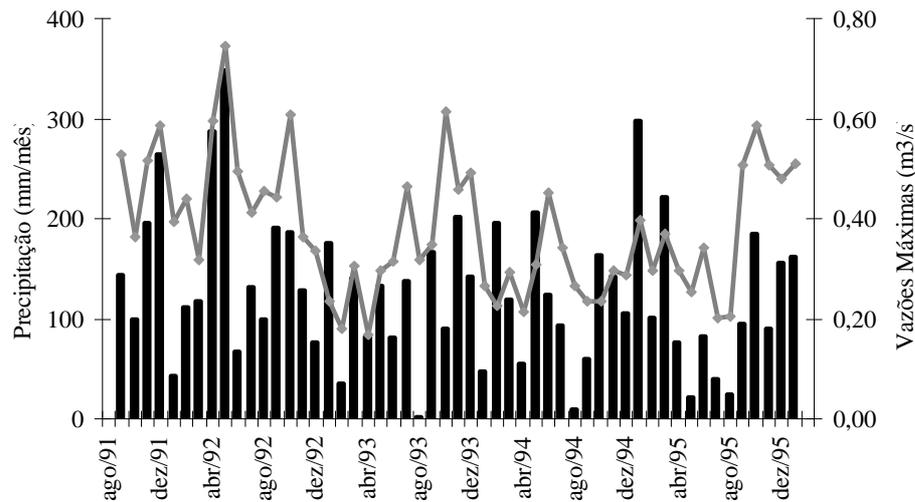


Figura 11. – Precipitação mensal (barras) e vazões máximas (linha) da microbacia do rio Inhacanga, em Altônia, Paraná, entre agosto de 1991 e dezembro de 1995

As vazões mínimas são apresentadas na Tabela 6, sendo que nestas condições os solos se encontravam secos. Em 1994 ocorreu a menor precipitação anual com 1.321 mm, sendo que, somente em quatro meses do ano, esta foi superior a  $127 \text{ mm mês}^{-1}$ , sendo que neste ano, de acordo com a Tabela 3, os solos permaneceram secos em 68% do período, na capacidade de campo em 18% e, saturado em 14% do tempo. Este fato promoveu maior infiltração das águas da chuva, alimentando o lençol freático e reduzindo o escoamento superficial e, conseqüentemente, uma contribuição mais lenta no rio Inhacanga, como observado na Figura 12.

Tabela 6. – Precipitação mensal e vazões mínimas da microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Ano	Período	Precipitação média acumulada ( $\text{mm mês}^{-1}$ )	Vazões mínimas ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ )
1993	Fevereiro a maio	98	0,14
1994	Abril a maio	131	0,15
1995	Abril a agosto	49	0,15

Em áreas urbanas esta situação foi observada por Borges et al. (2003) que, ao estudarem a eficiência da implantação de interceptores de esgoto no córrego Jaboticabal, Jaboticabal, SP, concluíram que a qualidade das águas melhorou, mas não o suficiente para despoluí-lo, principalmente no período de baixa vazão e, salientam que a implantação de práticas agrícolas que favoreçam a permeabilidade do solo, aumentando a quantidade de água infiltrada, permitirá maior regularidade dos mananciais.

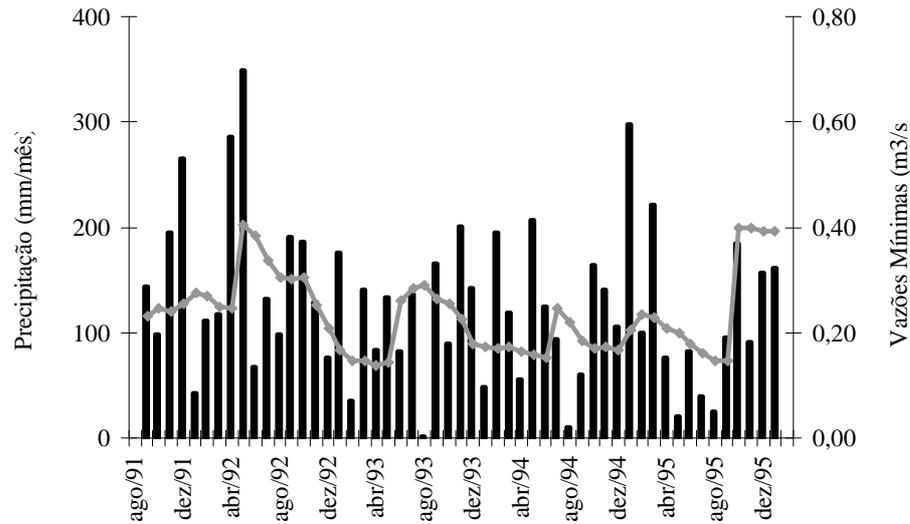


Figura 12. – Precipitação mensal (barras) e vazões mínimas (linha) da microbacia do rio Inhacanga, em Altônia, Paraná, entre agosto de 1991 e dezembro de 1995

### 3.5.9. Análise estatística precipitação e produção de sedimentos

Os solos da microbacia do rio Inhacanga foram classificados como arenosos e, para análise da correlação entre chuvas intensas e produção de sedimentos em suspensão, foram utilizadas planilhas eletrônicas do software da Microsoft® Office Excel 2003. A correlação apresentou dependência polinomial, cuja equação é apresentada na Figura 13, com coeficiente de determinação de 0,85. O teste F foi significativo ao nível de 5% de probabilidade (BUSSAB, 1988).

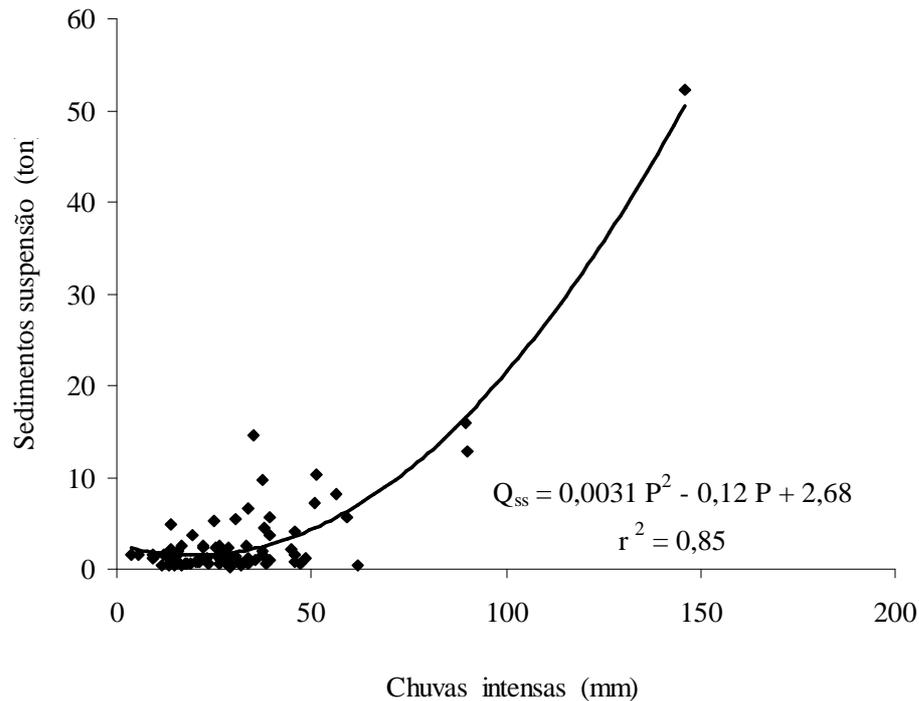


Figura 13. – Correlação entre chuvas intensas (P) e produção de sedimentos em suspensão da microbacia (Q<sub>ss</sub>) do rio Inhacanga, Altônia, Paraná, entre agosto de 1991 e dezembro de 1995

### 3.5.10. Comportamento da precipitação e descarga sólida mensal

A descarga sólida observada no período de monitoramento foi de 226,80 t ano<sup>-1</sup>, correspondendo a uma média 20,6 t mês<sup>-1</sup>. Para uma área de 21,5 km<sup>2</sup>, obteve-se a produção específica de sedimentos em suspensão de 11,5 t km<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>, que segundo Carvalho et al. (2000) é considerada baixa, contudo, equivale a perda de quase 1 cm de solo. Este resultado corrobora também com Lima et al. (2004), na bacia do rio Piquiri, com valores de Q<sub>ss</sub> entre 43 a 135 t km<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>, classificados como de baixa a moderada. Santos et al. (2006) ao utilizarem técnicas de modelagem e geoprocessamento para estimar a produção de sedimentos na bacia experimental Jatobá, PE, concluíram que o potencial de perdas de solo encontra-se entre baixo e muito baixo, com valores da ordem de 3,95 t km<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>.

Todavia, estes valores não podem ser adotados como premissa para o rio Inhacanga, pois, segundo Teodoro et al. (2007) trata-se de uma bacia de 2ª ordem, que se constitui como área frágil e quando ameaçada por perturbações, pode haver comprometimento da dinâmica de seu funcionamento, devido à delicada relação de interdependência dos fatores bióticos (seres vivos, vegetação) e abióticos (pH, temperatura) haja vista que, as de 1ª ordem são nascentes.

Os resultados demonstram que o maior pico de descarga sólida foi no mês de maio de 1992, devido a alteração do sistema de produção agrícola, com a redução das culturas perenes e aumento das anuais e pastagens, como observado nas Tabelas 1 e 7.

Tabela 7. – Precipitação mensal e produção de sedimentos em suspensão do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Ano	Período	Precipitação mensal (mm mês <sup>-1</sup> )	Produção sedimentos suspensão (t mês <sup>-1</sup> )
1991	Dezembro	265	58,0
1992	Maio	348	193,6
	Outubro	186	57,4
1993	Janeiro	176	26,0
1994	Abril	55	2,5
1995	Março	221	38,0
	Outubro	185	23,9

Ainda quanto às perdas de solo, verificou-se que em 19% do período, estas permaneceram acima de 20,6 t mês<sup>-1</sup>, quando as vazões foram superiores a 0,27 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, o que demonstra que há necessidade da adoção de práticas conservacionistas de solo e água. Observou-se também, que elevados valores da descarga sólida coincidiram com as épocas de preparo nas culturas de verão (setembro/outubro), tratadas com técnicas convencionais de plantio, sendo que no inverno (abril/maio) destacava-se o pousio, como exposto na Figura 14.

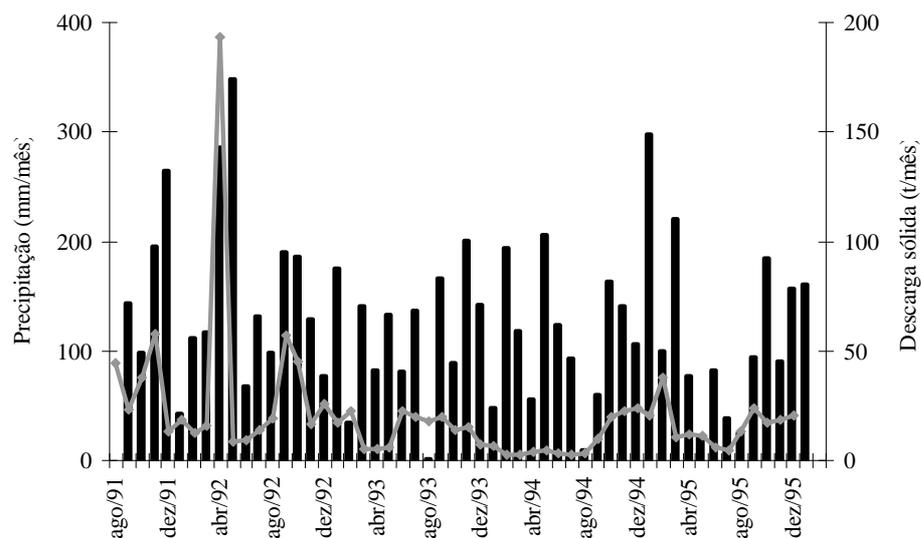


Figura 14. – Precipitação (barras) e descarga sólida (linha) da microbacia do rio Inhacanga, em Altônia, Paraná, entre agosto de 1991 e dezembro de 1995

Segundo a ANEEL (2001), de abril de 1996 a julho de 1998 os sólidos totais na estação Balsa Santa Maria, rio Piquiri, à montante da desembocadura do rio Xambrê, variaram de 8 a 340 mg l<sup>-1</sup>. Em Lima et al. (2004) são apresentadas as concentrações de sedimentos em suspensão de 1996 a 2001, no mesmo ponto de coleta, com valores entre 46 a 140 mg l<sup>-1</sup>. Estes resultados confirmam os obtidos no rio Inhacanga que variaram de 5 a 133 mg l<sup>-1</sup>.

É importante ressaltar que na microbacia em estudo, no período de 1990 a 1992, foram adequados 10,4 km das estradas rurais que apresentavam riscos de degradação, inclusive a estrada divisora dos municípios de Altônia e Iporã, denominada Estrada Sanepar que, segundo Muzilli (1996), apresentava sérios problemas de conservação, com voçorocas nas margens e cabeceiras da ponte, pois corta a microbacia no sentido perpendicular às águas.

Segundo dados da SEAB (1995) as linhas de ação previstas, tais como aumento da cobertura vegetal, controle do escoamento superficial, melhoria da infraestrutura e sistematização do uso do solo, tiveram sua realização comprometida, devido à pequena contrapartida financeira dos beneficiários, já que os produtores reduziram seus investimentos. Attanasio (2004) relata que estes programas nem sempre atingem a meta estabelecida, entretanto promovem mudanças comportamentais tanto nos produtores rurais, quanto nos técnicos executores e instituições.

Apesar das poucas ações implementadas na microbacia com a eliminação de pontos críticos de concentração de escoamento e escoamento das águas, através do terraceamento e correções nas estradas e carreadores, com taludes e caixas de retenção, não foi constatada uma redução da descarga sólida do rio Inhacanga, indicando que o monitoramento é uma valiosa ferramenta para avaliar a implantação de programas de manejo dos solos, servindo como recurso para induzir a adoção das práticas adequadas nas propriedades agrícolas.

### **3.6. Conclusões**

O rio Inhacanga apresentou as vazões mínimas no inverno, período de seca, mas com picos de descarga sólida quando dos eventos de alta precipitação, comprometendo assim a qualidade da água e potencializando a redução da disponibilidade hídrica.

As características fisiográficas se mostraram condizentes com as respostas hidrológicas e foram importantes na avaliação das condições do fluxo das águas.

A microbacia hidrográfica do rio Inhacanga apresenta baixa densidade de drenagem, predominando a perda de solo por escoamento superficial.

As correlações obtidas entre chuvas intensas e produção de sedimentos foram significativas, sendo a umidade do solo importante nesta avaliação.

As correções realizadas nas estradas rurais não reduziram as perdas de solo, mostrando que o adequado manejo do solo e das culturas é indispensável, haja vista a hierarquia fluvial desta microbacia.

O monitoramento hidrossedimentológico composto pelos dados de chuva, registro das vazões e a concentração de sedimentos, foi eficiente na avaliação dos impactos ambientais das atividades agropecuárias.

### 3.7. Referências bibliográficas

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Diagnóstico da situação do monitoramento da qualidade da água da bacia do Prata em território brasileiro. Brasília, 2001. 88p.

AQUINO, R.F.; CARVALHO, N.O.; DOMINGUEZ, J.M.L. Carga de sedimentos em suspensão produzida pela bacia do rio Itapicuru. In: CONGRESSO SOBRE PLANEJAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, 2., 2003, Recife, **Anais...** Recife: ABRH, 2003. p.1-5.

ATTANASIO, C.M. **Planos de manejo integrados em microbacias hidrográficas com uso agrícola: uma abordagem hidrológica na busca da sustentabilidade**, 2004. 193p. Tese (Doutorado em Agronomia) - ESALQ - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

AWWA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 17.ed. Washington: AWWA/ASCE/APA, 1989.

BARBOSA, S.E.S. et al. Geração de modelos de regionalização de vazões máximas, médias de longo período e mínimas de sete dias para a bacia do rio do Carmo, Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.10, n.1, p.64-71, 2005.

BORGES, M.J.; GALBIATTI, J.A.; BELLINGIERI, P.A. Qualidade hídrica do córrego Jaboticabal sob a ação de interceptores de esgoto, em diferentes épocas do ano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.3, p.521-531, 2003.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. DNAEE. Normas e recomendações hidrológicas. **Pluviometria**. [s.l.], Brasília, 1970a.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. DNAEE. Normas e recomendações hidrológicas. **Pluviometria**. [s.l.], Brasília, 1970b.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. DNAEE. Normas e recomendações hidrológicas. **Sedimentometria**. [s.l.], Brasília, 1970c.

BRASIL. Resolução nº. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 17 mar. 2005, p.23. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res5/res35705.pdf>>. Acesso em: 21 de jun. 2008.

BUR, D.H. Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.202, p.212-230,1997.

BUSSAB, W.O. **Análise de variância e regressão: uma introdução**. 2.ed. São Paulo: Atual, 1988. 147p.

BHUYAN, S.J.; MANKIN, K.R.; KOELIKER, J.K. Watershed-scale AMC selection for hydrologic modeling. **American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.46, n.2, p.303-310, 2003.

CALIJURI, M.L. **Curso de Sistemas de Informações Geográficas**. EESC - Universidade de São Paulo. São Carlos, 1996. 115p.

CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia prática**. CPRM: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A., 1994. 372p.

CARVALHO, N.O. et al. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Brasília: ANEEL, 2000. 106p.

CASTRO, A.M.C.; BOFINGER, J. Qualidade das águas dos córregos Borboleta e 16 de Janeiro nos municípios Marechal Candido Rondon e Palotina - PR. **Revista Varia Scientia**, Cascavel, v.4, n.8, p.57-69, 2004.

CAVIGLIONE, J.H. et al. **Cartas Climáticas do Paraná**. IAPAR, Londrina, 2000. CD-Rom.

CATANEO, A.; CASTRO, Fº.C.; ACQUAROLE, R.M. Programa para cálculo de índices de erosividade de chuvas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.6, p.236-239, 1982.

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 de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.333-343, 2008.

COGO, N.P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R.A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declividade e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.743-753, 2003.

CONTE, M.L.; LEOPOLDO, P.R. Transporte de sólidos em suspensão na bacia experimental do rio Pardo - Região de Botucatu/SP. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.14, n.1, p.1-11, 1999.

CRUZ, L.B.S. **Diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do rio Uberaba – MG**. 2003. 181p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CUNHA, J.E.; CASTRO, S.S.; SALOMÃO, F.X.T. Comportamento erosivo de um sistema pedológico de Umuarama, noroeste do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, p.943-951, 1999.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço nacional de levantamento e conservação de solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Paraná**. Rio de Janeiro. Boletim Técnico 57. 1984. 791p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília. 1999. 427p.

FERREIRA, D.S. et al. Utilização de dados de sensoriamento remoto para obtenção das características físicas da Bacia Hidrográfica do Córrego João Pedro em Linhares – Espírito Santo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis, **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p.3343-3348.

FIDALSKI, J. Diagnóstico de manejo e conservação do solo e da água na região noroeste do Paraná. **Revista Unimar Ciências Agrárias**, Maringá, v.19, n.3, p.845-851, 1997a.

FUENTES LLANILLO, R. **Indicadores de sustentabilidade da produção familiar mecanizada de grãos em modalidades de plantio direto no norte do Paraná, Brasil**. 2007. 129p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

GONÇALVES, C.S. et al. Qualidade da água em uma microbacia de cabeceira situada em região produtora de fumo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.3, p.391-399, 2005.

IAPAR. Fundação Instituto Agrônômico do Paraná. Médias históricas em estações do IAPAR. Londrina, 2009. Disponível em: <[http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias\\_Historicas/Palotina.htm](http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Palotina.htm)>. Acesso em: 16 de nov. 2009.

IAPAR. Fundação Instituto Agrônômico do Paraná. Médias históricas em estações do IAPAR. Londrina, 2009. Disponível em: <[http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias\\_Historicas/Umuarama.htm](http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Umuarama.htm)>; Acesso em: 16 de nov. 2009.

JACCON, G.; CUDO, K.J. **Hidrologia curva-chave: análise e traçado**. Brasília: DNAEE, 1989. 273p.

LIMA, J.E.F.W. et al. Diagnóstico hidrossedimentológico da bacia do rio Piquiri. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. (Boletim de Pesquisa em Desenvolvimento n°.134). 25p. Disponível em: <[http://bbeletronica.cpac.embrapa.br/2004/bolpd/bolpd\\_134.pdf](http://bbeletronica.cpac.embrapa.br/2004/bolpd/bolpd_134.pdf)>. Acesso em: 21 de jun. 2008.

LINSLEY, R.K.; FRANZINI, J.B. **Engenharia de recursos hídricos**. São Paulo: Mcgraw-Hill do Brasil, 1978. 798p.

MACHADO, R.E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**, 2002. 152p. Tese (Doutorado em Agronomia) - ESALQ - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MELLO, C.R.; LIMA, J.M.; SILVA, A.M. Simulação do deflúvio e vazão de pico em microbacia hidrográfica com escoamento efêmero. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.4, p.410-417, 2007.

MUZILLI, O. Plano integrado para manejo e conservação do solo em microbacia hidrográfica – piloto: a experiência do Paraná na região do arenito Caiuá. In: CONGRESSO BRASILEIRO E ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 8., 1990, Londrina, **Anais...** Londrina: IAPAR, 1996. p.97-119.

OLIVEIRA, F.A. **Estudo do aporte sedimentar em suspensão na baía da Babitonga sob a ótica da geomorfologia**. 2006. 286p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

PAREDES, E.A. **Sistema de informação geográfica - princípios e aplicações**. São Paulo: Érica, 1994. 675p.

PEREIRA, R.S.; NETO, A.S.; TUCCI, C.E.M. **Princípios da hidrometria**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 2003. p.1-16. Disponível em: <<http://www.iph.ufrgs.br/posgrad/disciplinas/hip01/Cap13-Hidrometria.pdf>>. Acesso em: 4 de Fev. 2009.

PRUSKI, F.F.; RODRIGUES, L.N.; SILVA, D.D. Modelo hidrológico para estimativa do escoamento superficial em áreas agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.2, p.301-307, 2001.

ROMITELLI, L.H. **Diagnóstico ambiental de um trecho do córrego Bonifácio, APA Jundiá-SP**. 2006. 78p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SANTOS, C.A.G; SILVA, R.M.; AGUIAR, L.M.C. Estimativa de produção de sedimentos na bacia experimental Jatobá a partir de técnicas de modelagem e geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2006, São Paulo, **Anais...** São Paulo: ABRH, 2006. p.1-15.

SEAB. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Avaliação do impacto sócio-econômico do PR-Rural nas categorias de agricultores e de monitoramento da água nas microbacias hidrográficas - piloto. Londrina, 1995. 74p.

SILVA, C.L. Análise estatística das características de vazão do córrego Capetinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.311-317, 2003.

TEODORO, W.L.I. et al. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, Araraquara, v.20, p.137-156, 2007.

TONELLO, K.C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG**. 2005. 69p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1993. 943p.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo: Mcgraw-Hill do Brasil, 1977. 509p.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil., 1975. 245p.

YOUNG, R.A. et al. **Agricultural non-point source pollution model, version 4.03. AGNPS USER'S GUIDE**. Washington, US Department of Agriculture Conservation Research, 1994. 103p.

## **4. ARTIGO 2: IDENTIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA DO ARENITO CAIUÁ SUJEITOS A EROSÃO UTILIZANDO O MODELO AGNPS**

### **4.1. Resumo**

Os modelos matemáticos de simulação consistem em importante ferramenta para avaliar os impactos da atividade agrícola sobre os recursos hídricos visando reduzir a degradação do meio ambiente. Esses modelos permitem identificar áreas sujeitas aos processos erosivos em função do uso e manejo do solo, ao nível de bacias hidrográficas, que constituem a escala ideal para tais investigações. O objetivo deste trabalho foi, a partir de dados de produção de sedimentos observados em campo, aplicar o modelo matemático AGNPS, associado às técnicas de SIG-ArcGis, para prever e avaliar a produção de sedimentos sob determinadas condições de clima e manejo do solo. Foram coletados dados climatológicos, de produção de sedimentos e relativos aos sistemas de produção agrícola da microbacia do rio Inhacanga, em Altônia, Paraná. Simulou-se a produção de sedimentos em diferentes cenários, comparando-se os dados estimados aos medidos durante uma seqüência anos de cultivos agrícolas, sob diferentes intensidades de chuva. As áreas com risco de erosão foram identificadas, bem como suas causas e o rearranjo na sua localização em função das alterações no sistema de produção agrícola. Constatou-se que a suscetibilidade à erosão aumentou à medida que as áreas ocupadas por culturas perenes foram substituídas por culturas anuais e pastagens. O aumento dos valores estimados de produção de sedimentos foi proporcional ao aumento da umidade do solo e ao produto da energia pela intensidade de chuva, o índice  $EI_{30}$ . O sistema convencional de manejo do solo resultou no carregamento contínuo de sedimentos para o rio, independentemente da espécie cultivada.

**Palavras-chave:** erosão hídrica, manejo do solo, modelo AGNPS

**Identification of agricultural production systems of the Caiuá sandstone subject to erosion by using the model AGNPS**

### **4.2. Abstract**

Mathematical models are important tools to evaluate the impacts of agricultural production on water bodies, aiming to reduce environmental degradation. Such models allow the identification of areas subject to erosive processes as a function of soil use and management, at the watershed level, which is the ideal scale for such investigations. The objective of this work was to adjust the AGNPS mathematical model, in association with the use of Geographical Information System techniques, to predict and evaluate the sediment production rate under specific conditions of climate and soil management. Weather data were collected and the production of sediments and agricultural production were measured at the Inhacanga river watershed, in Altônia, Southern Brazil. Sediment production was estimated for different scenarios, comparing the results to the measured data during several agricultural seasons, under a variety of precipitation events. The areas prone to erosion were identified, as well as their causes and relationship with the changes occurred in the soil use. It was discovered that sediment production increased as the watershed faced a reduction in area used for perennial

crops and a consequent increase in areas occupied by annual crops and pastures. Sediment production increased also as a direct function of the increase in soil moisture and the product of energy by the intensity of rainfall, the  $EI_{30}$  index. The conventional soil tillage techniques resulted in continuous sediments carriage to the river, independently of growing stages.

**Key words:** soil erosion, soil management, sediments production, runoff, AGNPS model.

### 4.3. Introdução

O processo erosivo consiste de três eventos seqüenciais: desprendimento, arraste e deposição das partículas de solo. É um fenômeno natural, mas vem sendo cada vez induzido e agravado pela ação do homem, seja pela urbanização mal planejada, seja pelas práticas inadequadas de manejo agrícola. Estas aceleram e intensificam a degradação do solo, alterando suas propriedades e causando a diminuição da capacidade de infiltração, aumento do escoamento superficial, redução da capacidade produtiva e assoreamento do leito dos cursos de água (ALVAREZ; PIMENTA, 1998; CARVALHO et al., 2002; FUJIHARA, 2002; PANACHUKI et al., 2005).

Os rios são os principais agentes de transporte de sedimentos e a avaliação da descarga sólida é importante para caracterização da bacia hidrográfica, pois quantifica os impactos do manejo do terreno, de acordo com as alterações antrópicas (VESTENA; LUCINI; KOBIYAMA, 2008). As características de quantidade e qualidade dos sedimentos transportados aos rios, além de informar o estado da bacia, apresentam grande relevância para a manutenção de ecossistemas e planejamento dos recursos hídricos (SOUZA et al., 2006). O monitoramento dos rios e o acompanhamento de seus sedimentos podem ser empregados para avaliar a qualidade dos sistemas de produção agrícola adotados em toda a bacia hidrográfica que, aliado ao SIG, possibilitam e identificam áreas problemáticas.

Diante disso, torna-se fundamental o conhecimento das técnicas de manejo e preparo do solo e seus efeitos, uma vez que, no sistema convencional, o constante revolvimento causa um impacto imediato na alteração da sua estrutura e das propriedades físicas, químicas e biológicas, resultando na degradação da matéria orgânica (CALEGARI, 2006). O Sistema Planto Direto – SPD tem se caracterizado por manter a maior parte da superfície do terreno coberta e protegida com resíduos culturais, promovendo a retenção de água mais induzindo a infiltração e a redução da capacidade de transporte de agregados, e conseqüentemente, maior controle na perda de solo (BERTOL et al., 2007).

Estimar a erosão é essencial para avaliar as práticas adequadas de conservação do solo, sendo útil para determinar os impactos, antes mesmo da adoção na área de determinada cultura ou manejo agrícola. Infelizmente, é muito dispendioso e impraticável monitorar a erosão em toda a bacia hidrográfica, daí a necessidade de predizê-la com o uso de modelos (GRILO; ENAMI, 2006). A idéia é determinar nos locais específicos dentro de uma

microbacia, as áreas que apresentam maior potencial na produção de sedimentos e nutrientes gerados pela erosão superficial, possibilitando sua identificação em grandes áreas geográficas (YOUNG et al., 1989).

Para quantificar a produção de sedimentos gerados pela erosão superficial, Souto e Crestana (2000) concluíram que o AGNPS, aliado ao SIG – Idrisi, apresentou-se como um instrumento de grande utilidade na identificação de áreas críticas, pois permitiu a alteração e a comparação de cenários de uso e ocupação, gerando mapas finais de erosão, além de avaliar as alternativas tecnológicas que visam a redução dos impactos ambientais das atividades agrícolas. Ao estudarem o escoamento superficial utilizando o AGNPS em cinco bacias hidrográficas com áreas de 3,9 a 625,0 km<sup>2</sup>, Garg, Chaubey e Haggard (2003) utilizaram o SIG – ArcView® para determinar o uso, a cobertura, o tipo de solo, o modelo de elevação digital do terreno e as divisas.

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo: a) comparar os resultados estimados com observados em uma série temporal de monitoramento hidrossedimentológico; b) aplicar o modelo AGNPS e técnicas de SIG – ArcGis na microbacia hidrográfica do rio Inhacanga, região do arenito Caiuá, PR, em função dos sistemas agrícolas, considerando diferentes cenários de uso e ocupação do solo, em anos subsequentes, sob chuva natural, para determinação de áreas de produção de sedimentos gerados pela erosão do solo; c) identificar as áreas críticas de produção de sedimentos na microbacia.

## **4.4. Material e métodos**

### **4.4.1. Caracterização da área de estudo**

A área de estudo foi a microbacia do rio Inhacanga localizada na região noroeste do Estado do Paraná, no município de Altônia, PR, inserida na bacia do rio Piquiri, entre as coordenadas geográficas 53°48'52" W e 23°57'10" S a 53°45'50" W e 23°52'20" S, com área de 21,51 km<sup>2</sup>, perímetro de 22,44 km, onde encontram-se inseridas 158 unidades de produção agrícola, como apresentado na Figura 1. No ordenamento dos canais, que reflete o grau de ramificação dos cursos de água dentro de uma bacia hidrográfica, classificou-se como

de segunda ordem, segundo critérios introduzidos por Horton em 1945 e modificado por Strahler em 1957, citado por Tucci (1993).

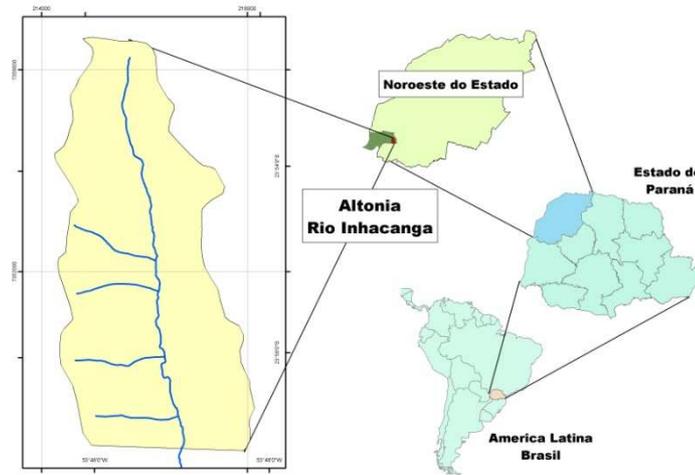


Figura 1. – Localização da microbacia hidrográfica rio Inhaçanga, Altônia, Paraná

O clima da região, segundo a classificação de Köppen é mesotérmico Cfa, subtropical úmido, com temperatura média é de 22°C, com umidade relativa do ar oscilando entre 70 e 75% (CAVIGLIONE et al., 2000). Segundo dados do IAPAR (2009) a precipitação média anual no município de Umuarama é de 1620mm e Palotina 1632 mm, com uma evaporação de 1523 mm, 1106 mm, respectivamente. A maior potencialidade erosiva das chuvas ocorre entre novembro e março. Nos meses de julho e agosto, período de inverno, ocorre os maiores riscos de estiagens, sendo que as geadas concentram-se nesta época (IAPAR, 1991; CUNHA et al., 1999).

O relevo predominante é suave ondulado e praticamente plano na microbacia, com altitudes entre 275 e 425 m. A vegetação primária é do tipo floresta tropical subperenifólia, apresentando árvores de porte médio a alto. Muzilli (1996) descreve que a cobertura de florestas era bastante restrita, da ordem de 2% da área total, sendo raras as matas ciliares e de preservação permanente.

O material geológico constitui-se de rochas eruptivas básicas, formação Serra Caiuá, do grupo São Bento, período Juro-Cretáceo. As classes predominantes são: Latossolos Vermelhos Distróficos argissólicos (LVd), na situação de relevo plano e suave, declividade < 3%, ocupando 30% da área; Argissolos Vermelhos Eutrófico abruptícos (PVe), localizados nas encostas com pendentes pronunciadas, declividade < 8%, adjacentes à rede de drenagem, em 65% e; Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQ), nas baixadas e fundos de

vale, tornando-se ondulada nas cabeceiras de vertentes e nas meia-encostas, com 5% (EMBRAPA, 1984; MUZILLI, 1996; EMBRAPA, 1999).

#### 4.4.2. O modelo AGNPS

Para a determinação das áreas de erosão superficial empregou-se a versão 5.0 do AGNPS, a qual estima a produção e o transporte de sedimentos e nutrientes, em função de componentes hidrológicos, uso da terra, tipo de solo, formas de manejo e prática mecânica conservacionista, operando com parâmetros de características gerais da bacia e coeficientes específicos para cada célula, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. – Dados de entrada do modelo AGNPS

Hidrologia	n.	Dado	
Entrada da bacia	1	Identificação da bacia	
	2	Área da célula (km <sup>2</sup> )	
	3	Número total de células	
	4	Precipitação	
	5	Índice de erosão - EI <sub>30</sub>	
Informações do fluxo	1	Número da célula	
	2	Aspecto (indica uma das 8 possibilidades da drenagem)	
	3	Número da célula receptora da drenagem	
	4	Canal indicador (presença de um canal dentro da célula)	
Caracterização hidrológica	5	Curva número (CN) da SCS	
	6	Declividade do terreno (%)	
	7	Declividade do canal (%)	
	8	Declividade das paredes do canal (%)	
	9	Forma do declive (uniforme, convexo ou côncavo)	
	10	Comprimento do declive médio da drenagem	
	11	Coefficiente da rugosidade de Manning	
	12	Fator terraços (presença de terraços dentro da célula)	
	Coeficiente de erosão do solo	13	Fator práticas (P) – USLE
		14	Fator cobertura (C) – USLE
		15	Fator erodibilidade do solo (K) – USLE
		16	Constante da condição da superfície
17		Textura do solo (areia, silte, argila, turfa)	
18		Fontes pontuais	
19		Fontes de voçorocas (t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	
Dados químicos	20	Características físico-químicas	
	21	Fator disponibilidade de fertilização (%)	
	22	Fator incorporação (% de fertilização)	
	23	Fator demanda química de oxigênio (mg l <sup>-1</sup> )	

Fonte: YOUNG et al. (1989, 1994, 1995); FRAGOSO (2008)

O modelo apresenta como resultado a descarga líquida, sólida e os sedimentos produzidos em cada célula, como observado na Tabela 2. Na determinação das vazões utilizou-se uma ferramenta que possibilita a alteração da calha do rio de acordo com sua forma, triangular (T) e retangular (R). Esta avaliação foi necessária, haja vista as alterações observadas na seção transversal de escoamento no período monitorado. Quanto à forma do hidrograma unitário adotou-se o triangular, como sugerido por Young et al. (1994).

Tabela 2. – Dados de saída do modelo AGNPS

Hidrologia	Volume do escoamento
	Vazão de pico ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )
	Fração do escoamento gerado dentro da célula
Sedimento	Carga de sedimento (t)
	Concentração de sedimentos
	Distribuição granulométrica das partículas de sedimentos (%)
	Erosão superficial ( $\text{t km}^2$ )
	Quantidade depositada (%)
	Sedimento gerado dentro da célula (t)
	Taxa de erosão por tamanho de partícula
	Taxa de descarga sólida por tamanho de partícula
Química	Nitrogênio
	Massa associada aos sedimentos ( $\text{kg m}^2$ )
	Concentração de material solúvel ( $\text{mg l}^{-1}$ )
	Massa de material solúvel
	Fósforo
	Massa associada aos sedimentos ( $\text{kg m}^2$ )
	Concentração de material solúvel ( $\text{mg l}^{-1}$ )
	Massa de material solúvel
	Demanda química de oxigênio
	Concentração ( $\text{mg l}^{-1}$ )
Massa ( $\text{kg m}^2$ )	

Fonte: YOUNG et al. (1989, 1994, 1995); FRAGOSO (2008)

#### 4.4.3. Dados hidrológicos

##### 4.4.3.1. Aquisição de dados de precipitações

O monitoramento hidrossedimentológico foi realizado de agosto de 1991 a dezembro de 1995. Para captar as águas das chuvas utilizou-se pluviógrafos, modelo HC, com superfície de  $200 \text{ cm}^2$ , que registram continuamente a precipitação, localizados na nascente, seção média e na parte final da microbacia (EP1, 2 e 3), como podem ser observadas na

Figura 2. Os locais escolhidos, permitiam o acesso em qualquer época do ano. A operação das estações e a troca do papel gráfico foram realizadas diariamente às 7:00 horas, quando da ocorrência de chuva (BRASIL, 1970a).



Figura 2. – Localização das estações de monitoramento rio Inhacanga, Altônia, Paraná  
 Fonte: Imagem Digital Globe – Google (2009, Acesso em 08/09/09)

#### 4.4.3.2. Determinação de $I_{30}$ e $EI_{30}$

Com a seleção das chuvas erosivas foi possível estudar as variações das precipitações ao longo das tormentas e através dos diagramas gerados, foram determinados os valores de intensidade máxima da chuva em 30 minutos ( $I_{30}$ ) e os totais precipitados, de acordo com Cabeda (1976) e Cataneo, Castro F<sup>o</sup> e Acquarole (1982). A determinação do índice de erosividade das chuvas –  $EI_{30}$ , foi realizado através de duas metodologias a seguir descritas, sendo adotado o maior valor determinado nos eventos selecionados.

##### 4.4.3.2.1 Energia cinética da chuva – $E_c$

A estimativa da energia cinética da chuva foi determinada pelo sistema métrico decimal – SMD, utilizando Carvalho et al. (1994) e Tommaselli, Freire e Carvalho, (1999).

$$E_c = 0,119 + 0,0873 \log_{10} I_{30} \quad (1)$$

Em que,  $E_c$  = energia cinética da chuva, MJ .mm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>;  $I_{30}$  = intensidade máxima em 30 minutos, mm h<sup>-1</sup>.

No sistema métrico internacional – SMI, com a equação em Bertoni e Lombardi Neto, (1990).

$$E_c = 12,14 + 8,88 \log_{10} I_{30} \quad (2)$$

Em que,  $E_c$  = energia cinética da chuva, toneladas m ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>;  $I_{30}$  = intensidade máxima em 30 minutos, mm h<sup>-1</sup>.

#### 4.4.3.2.2. Índice de erosividade das chuvas – $EI_{30}$

O fator  $EI_{30}$  foi determinado no sistema métrico decimal – SMD, por Cabeda (1976), com a seguinte equação:

$$EI_{30} = E_c I_{30} 10^{-3} \quad (3)$$

Em que,  $EI_{30}$  = energia e intensidade, ton m ha<sup>-1</sup> mm h<sup>-1</sup>;  $E_c$  = energia cinética da chuva, ton m ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>;  $I_{30}$  = intensidade máxima em 30 minutos, mm h<sup>-1</sup>.

No sistema métrico internacional – SMI, utilizando Castro Filho (1982), com a seguinte equação:

$$EI_{30} = [28,814 + (10,800 + 7,896 \lg I_{30}) P_s] I_{30} 10^{-3} \quad (4)$$

Em que,  $I_{30}$  = intensidade máxima em 30 minutos, mm h<sup>-1</sup>;  $P_s$  = precipitação, mm.

#### 4.4.3.3. Cálculo da precipitação média

O estabelecimento da lâmina média de chuva e do  $EI_{30}$  foi através do método do Polígono de Thiessen (TUCCI, 1993), o qual consiste em dar pesos aos totais precipitados em cada aparelho, proporcionais à área de influência de cada estação, como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. – Aplicação do método de Thiessen na microbacia do rio Inhacanga, Altônia, PR

Estação Pluviográfica	Altitude (m)	Área do polígono interno a bacia (ha)	Área de influência (%)
EP1	370	639,12	29,71
EP2	325	758,51	35,26
EP3	307	753,57	35,03
Área Total		2.151,20	100,00

#### 4.4.3.4. Determinação das vazões líquidas

Para medir a variação dos níveis de água, instalaram-se réguas graduadas, escalonadas ao longo da seção transversal de escoamento do rio Inhacanga (EFS). Para o registro contínuo empregou-se o linígrafo de pressão LNG – 16 – SM, onde a pena gravava em diagramas apropriados, as oscilações do nível da água no rio no transcorrer do tempo (TUCCI, 1993).

O método para a medição da vazão dos rios foi baseado no conhecimento das velocidades do fluxo, ao longo de uma seção transversal, nas diferentes verticais como sugerido por Pereira, Neto e Tucci (2003). Para determinação das velocidades utilizou-se o micromolinete Teleoyne Gurley – Price, equipado com conchas que giram quando colocadas contra o sentido da corrente, obtendo-se a velocidade de rotação, que está relacionada com a de fluxo através da seguinte fórmula:

$$V = a N + b \quad (5)$$

Em que,  $N$  = número de voltas durante um intervalo de tempo,  $a = 0,2847$  e  $b = 0,06782$ . Para contar os impulsos gerados pelo micromolinete foi utilizado um conta-giros, com contador eletrônico e cronômetro integrado, sendo o tempo de medição de 50 segundos, conforme calibração do equipamento.

#### 4.4.3.5. Determinação da curva-chave

A curva-chave, que é uma relação entre o nível da água de um rio e a sua descarga líquida, permitiu quantificar as vazões instantâneas por uma leitura contínua das cotas diárias (JACCON; CUDO, 1989). No período realizaram-se oitenta e cinco medições das vazões líquidas na seção transversal do rio Inhacanga, onde com o emprego de uma haste graduada e o operador ficando em pé no leito do rio, é realizada a medição a vau, sendo que para seu ajuste foram utilizadas planilhas eletrônicas do software da Microsoft® Office Excel 2003.

#### 4.4.3.6. Determinação da descarga sólida

Para a determinação da concentração de sedimentos em suspensão empregou-se o amostrador UDSH – 48, por meio de amostras integradas na profundidade (VESTENA; LUCINI; KOBİYAMA, 2008). As coletas eram realizadas no momento das leituras dos níveis as 7:00 e 17:00 horas (BRASIL, 1970b; BRASIL, 1970c; CARVALHO et al., 2000). As amostras diárias foram encaminhadas ao Laboratório de Solos do IAPAR em Londrina, PR, onde a metodologia de análise para determinação da concentração total foi à evaporação (AWWA, 1989). Para o cálculo da descarga sólida ou transporte do material sólido em suspensão nas águas dos rios, utilizou-se a seguinte equação:

$$Q_{ss} = 0,0864 Q_l C_s \quad (6)$$

Em que,  $Q_{ss}$  é a descarga sólida em suspensão,  $t \text{ dia}^{-1}$ ,  $Q_l$  a vazão líquida,  $m^3 s^{-1}$ ,  $C_s$  a concentração de sedimentos em suspensão,  $mg l^{-1}$  e, uma constante de transformações de unidades, igual a 0,0864 (CARVALHO, 1994; AQUINO et al., 2003). Após a seleção dos eventos de precipitação ocorridos na região, correlacionaram-se os resultados com os diagramas gerados nas estações fluviométricas, fluviográfica e a concentração de sedimentos.

#### 4.4.4. Representação espacial de informação

O estudo iniciou-se a partir das informações do mapa topográfico elaborado pelo Instituto Ambiental do Paraná – IAP, pela reconstituição do terreno a partir de fotos aéreas de 1980, na escala 1:100.000. A projeção adotada para o georeferenciamento de dados

espaciais foi a oficial no Brasil, denominada Universal Transversal de Mercator – U.T.M. e baseada no Datun – SAD – 69. Para isso, foi utilizado o mapa gerado pela Divisão de Serviço Geográfico do Ministério do Exército, folha SF.22–Y–C–IV, escala 1:10.000, município de Pérola, situado entre: Coordenada Este (eixo x) 214.000 e 218.000 metros e Coordenada Norte (eixo y) 7.357.000 e 7.348.000 metros.

Para levantamento dos dados geográficos da microbacia hidrográfica, realizou-se a planificação ambiental através do SIG – ArcGis. Este sistema permitiu que mapas existentes em papel fossem convertidos para a forma digital. Esta técnica empregou um aparelho eletromagnético e eletrostático denominado mesa digitalizadora e um cursor que registrou a localização da coordenada correspondente. Os mapas vetoriais foram construídos na forma poligonal, por linhas, arcos, pontos e nós no espaço XYZ, onde X e Y seriam as coordenadas cartesianas e Z seria o atributo da imagem, que pode ser o código de uma classe temática (ASSAD et al., 1993).

#### **4.4.4.1. Uso e ocupação do solo**

As formas de uso da terra foram determinadas pelo Laboratório Integrado de Sensoriamento Remoto do Paraná – LISERP (1994), do Instituto Ambiental do Paraná – IAP e Sensoriamento Remoto S/C Ltda. – SENAGRO (1996), a partir de imagens multiespectrais digitais, obtidas pelo sensor TM do satélite LANDSAT 5 – INPE, bandas 3B, 4G e 5R, nos seguintes períodos: a) setembro de 1990; b) agosto de 1993; c) dezembro de 1994; e) setembro de 1995; f) abril de 1996, na escala 1:20.000. Esses mapas foram digitalizados e manipulados no SIG – ArcGis, gerando arquivos “vector” e transformados para a forma “raster” (PAREDES, 1994; CALIJURI, 1996). As classes de uso foram: algodão, amora, café, capoeiras, matas, milho, pastagens, reflorestamento e solo descoberto, ou seja, sem cobertura vegetal.

Análoga a esta estrutura, construiu-se a imagem no formato matricial, linhas e colunas, formando uma grade células. A microbacia foi subdividida em 21 linhas por 10 colunas, com resolução de 402,25 x 402,25 metros, 16,189 ha (40 acres), totalizando 159 células. Com o objetivo de aumentar a precisão, todas as células foram subdivididas em quatro vezes, com as dimensões de 201,17 x 201,17 metros e área unitária de 4,04 ha (10 acres), formando, então, 42 linhas por 20 colunas, com 636 células, atendendo assim as solicitações do modelo (YOUNG et al., 1994; BRANNAN; HAMLETT, 1998). Entretanto, com a montagem dessa

matriz constatou-se também, a presença de células localizadas na parte exterior ao divisor de águas, que foram definidas como área externa.

Para determinação dos parâmetros de entrada do modelo em cada célula nas diferentes culturas existentes, utilizou-se média ponderada em função da área ocupada, de acordo com a legenda específica de cada um dos mapas adotados (SUTTLES et al., 2003). Assim, uma célula pode ter em sua área interna 10% de florestas, 60% de pastagens, 5% de culturas anuais e 25% de solo descoberto. Posteriormente, no banco de dados em planilhas do software da Microsoft® Office Excel 2003 foram definidos os valores para cada célula com mais de uma forma de uso, sendo então, adotada na estrutura matricial aquela que possuía maior cobertura, em termos da área. Após isso, elaboraram-se planilhas para os períodos subsequentes com diferentes usos em cada célula, estabelecendo assim uma correlação entre as respectivas células, uso e ano.

#### **4.4.4.1.1. Imagem formato vetorial e matricial - 1990**

As imagens com as diferentes culturas na microbacia do rio Inhacanga, em formato vetorial e matricial, para setembro de 1990, são apresentadas nas Figuras 3 e 4, com suas respectivas áreas de uso e ocupação totais e relativas na Tabela 4.

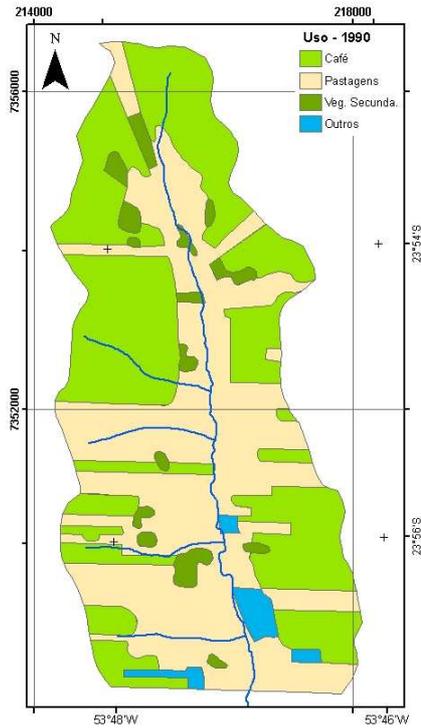


Figura 3. – Mapa vetorial do uso e ocupação do solo – 1990, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

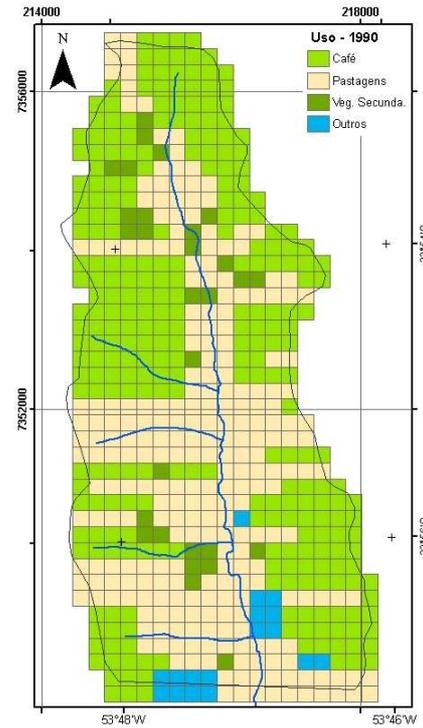


Figura 4. – Mapa matricial do uso e ocupação do solo – 1990, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Tabela 4. – Distribuição do uso e ocupação do solo na microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná – setembro – 1990

Legenda	Escala – sem escala		
	Culturas	Área de uso e ocupação	Área de uso e ocupação em relação a área total
		(ha)	(%)
	Algodão	92,07	4,28
	Café	964,60	44,84
	Veg. Secundária	49,05	2,28
	Mata	148,43	6,90
	Pastagens	897,05	41,70
<b>Total</b>		<b>2.151,20</b>	<b>100,00</b>

Fonte: LISERP/IAP (1994)

#### 4.4.4.1.2. Imagem formato vetorial e matricial – 1993

As imagens com as diferentes culturas na microbacia do rio Inhacanga, para agosto de 1993, são apresentadas nas Figuras 5 e 6, com suas respectivas áreas de uso e ocupação totais e relativas na Tabela 5.

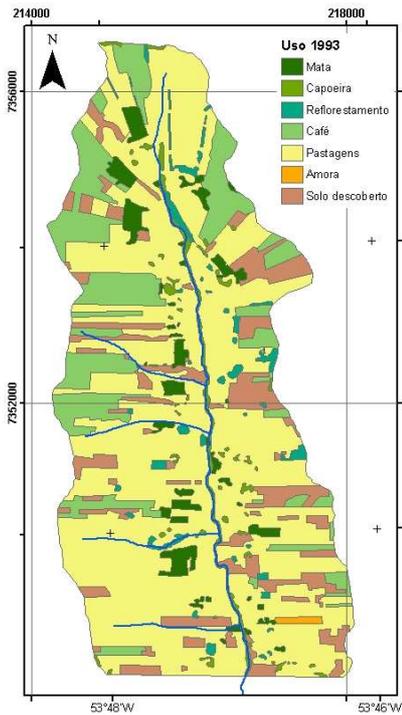


Figura 5. – Mapa vetorial do uso e ocupação do solo – 1993, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

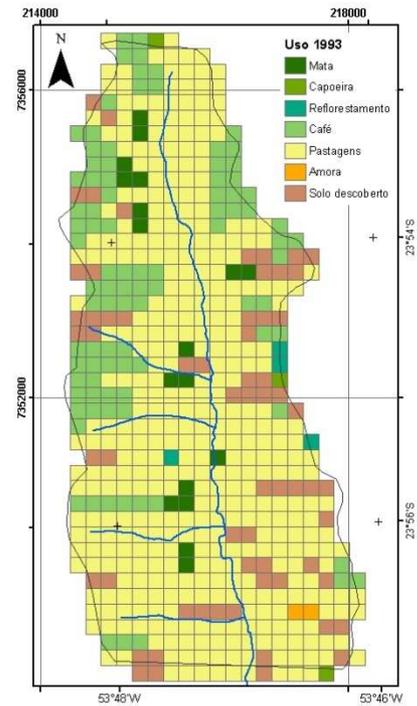


Figura 6. – Mapa matricial do uso e ocupação do solo – 1993, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Tabela 5. – Distribuição do uso e ocupação do solo na microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná – agosto – 1993

Legenda		Escala – sem escala	
	Culturas	Área de uso e ocupação (ha)	Área de uso e ocupação em relação a área total (%)
	Amora	7,31	0,34
	Café	341,18	15,86
	Capoeira	51,41	2,39
	Mata	97,66	4,54
	Pastagens	1.341,49	62,36
	Reflorestamento	54,64	2,54
	Solo descoberto	257,50	11,97
	<b>Total</b>	<b>2.151,20</b>	<b>100,00</b>

Fonte: SENAGRO (1996)

#### 4.4.4.1.3. Imagem formato vetorial e matricial - 1994

As imagens com as diferentes culturas na microbacia do rio Inhacanga, para dezembro de 1994, são apresentadas nas Figuras 7 e 8, com suas respectivas áreas de uso e ocupação totais e relativas na Tabela 6.

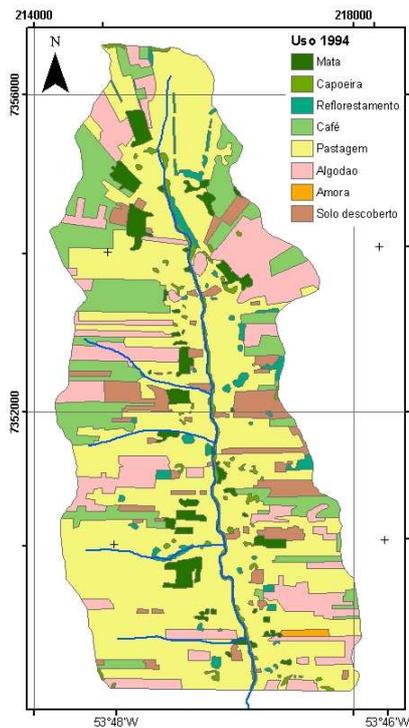


Figura 7. – Mapa vetorial do uso e ocupação do solo – 1994, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

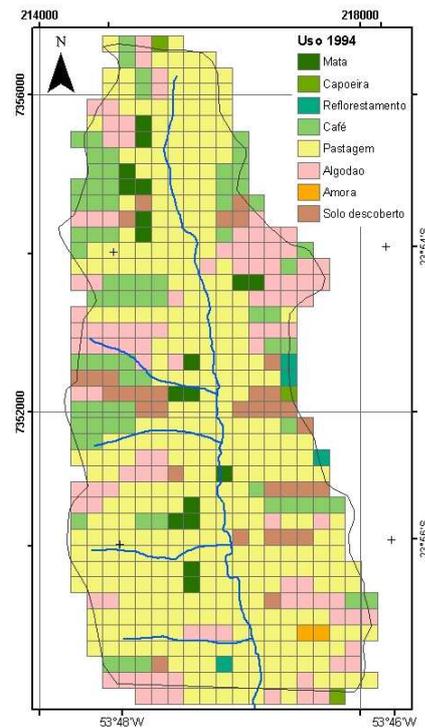


Figura 8. – Mapa matricial do uso e ocupação do solo – 1994, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Tabela 6. – Distribuição do uso e ocupação do solo na microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná – dezembro – 1994

Legenda		Escala – sem escala	
	Culturas	Área de uso e ocupação (ha)	Área de uso e ocupação em relação a área total (%)
	Algodão	335,16	15,58
	Amora	7,31	0,34
	Café	298,59	13,88
	Capoeira	47,33	2,20
	Mata	100,25	4,66
	Pastagens	1.176,49	54,69
	Reflorestamento	53,56	2,49
	Solo descoberto	132,51	6,16
	<b>Total</b>	<b>2.151,20</b>	<b>100,00</b>

Fonte: SENAGRO (1996)

#### 4.4.4.1.4. Imagem formato vetorial e matricial – 1995

As imagens com as diferentes culturas na microbacia do rio Inhacanga, para setembro de 1995, são apresentadas nas Figuras 9 e 10, com suas respectivas áreas de uso e ocupação totais e relativas na Tabela 7.

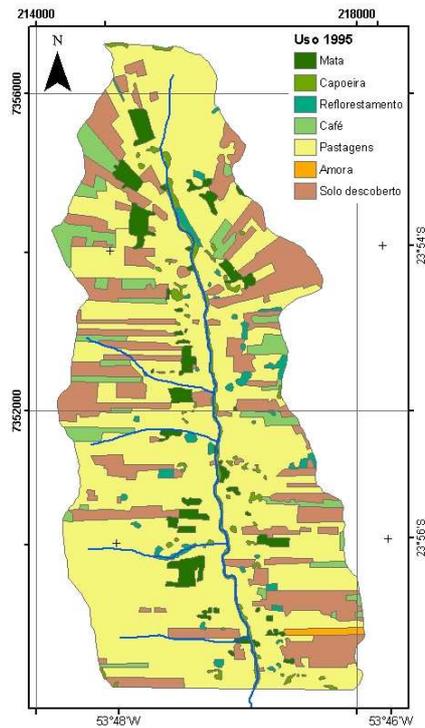


Figura 9. – Mapa vetorial do uso e ocupação do solo – 1995, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

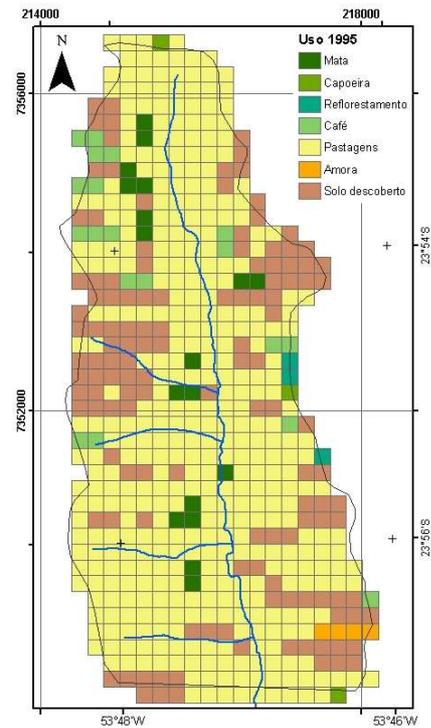


Figura 10. – Mapa matricial do uso e ocupação do solo – 1995, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Tabela 7. – Distribuição do uso e ocupação do solo na microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná – setembro – 1995

Legenda		Escala – sem escala	
	Culturas	Área de uso e ocupação (ha)	Área de uso e ocupação em relação a área total (%)
	Amora	9,90	0,46
	Café	131,01	6,09
	Capoeira	48,62	2,26
	Mata	100,03	4,65
	Pastagens	1.348,80	62,70
	Reflorestamento	47,97	2,23
	Solo descoberto	464,87	21,61
	<b>Total</b>	<b>2.151,20</b>	<b>100,00</b>

Fonte: SENAGRO (1996)

#### 4.4.4.1.5. Imagem formato vetorial e matricial – 1996

As imagens com as diferentes culturas na microbacia do rio Inhacanga, para abril de 1996, são apresentadas nas Figuras 11 e 12, com suas respectivas áreas de uso e ocupação totais e relativas na Tabela 8.

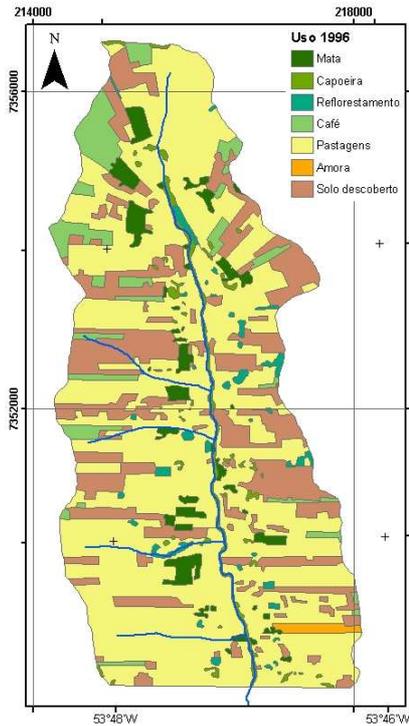


Figura 11. – Mapa vetorial do uso e ocupação do solo – 1996, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

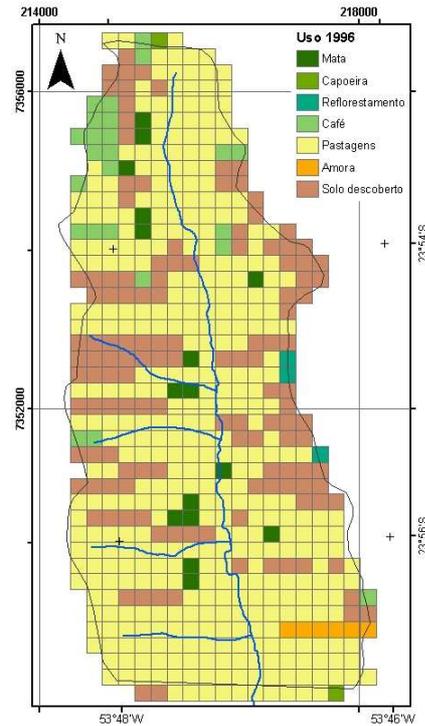


Figura 812 – Mapa matricial do uso e ocupação do solo – 1996, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Tabela 8. – Distribuição do uso e ocupação do solo na microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná – abril – 1996

Legenda		Escala – sem escala	
Culturas	Área de uso e ocupação	Área de uso e ocupação em relação a área total	
	(ha)	(%)	
	Amora	14,20	0,66
	Café	132,52	6,16
	Capoeira	48,19	2,26
	Mata	100,03	4,65
	Pastagens	1.331,57	61,90
	Reflorestamento	40,87	1,90
	Solo descoberto	483,80	22,47
<b>Total</b>		<b>2.151,20</b>	<b>100,00</b>

Fonte: SENAGRO (1996)

#### 4.4.4.2. Determinação das faixas de declividade

##### 4.4.4.2.. Carta declividade

O mapa planialtimétrico com curvas de nível de 10 em 10 metros, de contorno da bacia e dos cursos de água elaborado pelo Instituto Ambiental do Paraná – IAP, obtido a partir da restituição aerofotogramétrica, na escala 1:100.000, foi digitalizado em SIG – ArcGis, gerando arquivos na forma “vector” e transformados para a forma “raster” (PAREDES, 1994; CALIJURI, 1996). A carta declividade foi determinada pela interpolação da imagem “raster” das curvas de nível e com a declividade (%), estabelecida pelas seguintes faixas de declive: a) 0,0 – 3%, b) 3,1 – 6,0%, c) 6,1 – 12,0%, d) >12,0%. As faixas de declividade são expostas nas Figuras 13 e 14. A área de influência de cada classe é apresentada na Tabela 9.

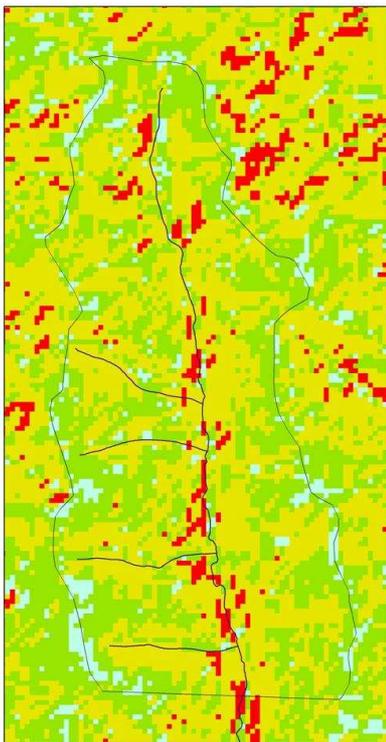


Figura 13. – Imagem da faixa declividade do terreno segundo a USLE, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

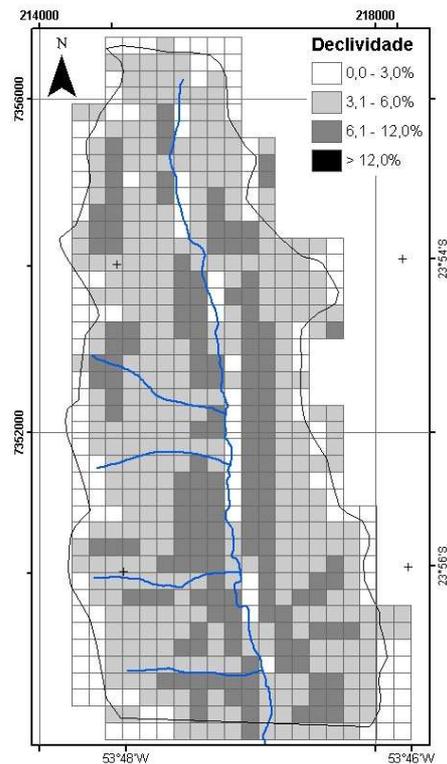


Figura 14. – Imagem matricial da faixa declividade segundo a USLE, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Tabela 9. – Distribuição da declividade e área de influência na microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Legenda			Escala – Sem escala		
	Classe	Declividade (%)		Classe	Área de influência (%)
	1	0,0 – 3,0		1	21,07
	2	3,1 – 6,0		2	53,77
	3	6,1 – 12,0		3	25,16
	4	> – 12,0		4	0,00

#### 4.4.4.2.2. Modelo de elevação digital do terreno

O modelo de elevação digital do terreno foi obtido pela interpolação da imagem “raster” das curvas de nível com a reclassificação da carta de declividade, delimitando as faixas de altitude. A imagem vetorial das curvas de nível e o modelo de elevação digital do terreno são apresentados nas Figuras 15 e 16.

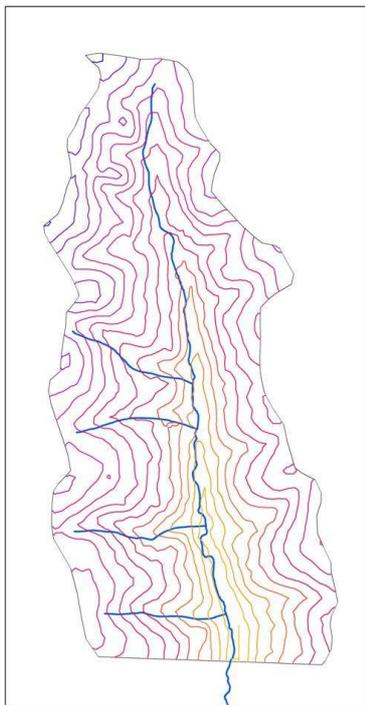


Figura 15. – Imagem vetor das curvas de nível, divisor e cursos de água, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

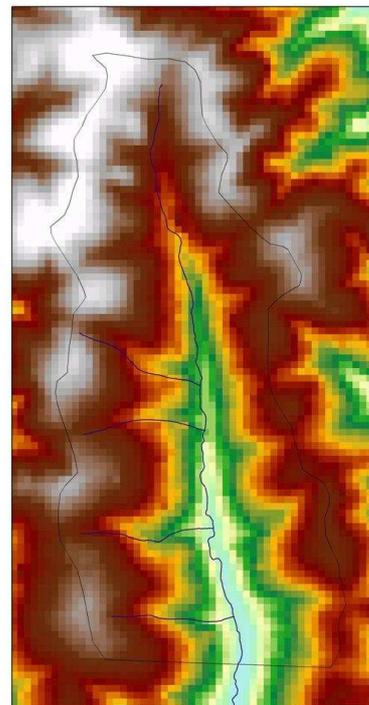


Figura 16. – Imagem Modelo de elevação digital do terreno, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

#### **4.4.4.3. Direção do escoamento superficial**

O escoamento superficial foi definido em função das características da drenagem e relevo, com auxílio do SIG – ArcGis e do mapa topográfico na escala 1:7.500. As condições de fluxo foram definidas pela identificação das células e a direção da drenagem. O sentido foi calculado através do método determinístico de oito células vizinhas, que considera apenas uma das oito possíveis direções de escoamento para cada uma das células, sendo que o escoamento tenderá a fluir para a maior declividade encontrada na superfície do terreno. Os números da convenção indicam a direção do escoamento: 1 – norte; 2 – nordeste; 3 – leste; 4 – sudeste; 5 – sul; 6 – sudoeste; 7 – oeste; e 8 – noroeste.

#### **4.4.4.4. Forma do relevo**

Em relação à forma em perfil as vertentes podem ser côncavas, convexas e retilíneas. As côncavas são mais suscetíveis ao desenvolvimento de erosão do solo, pois concentram o fluxo do escoamento superficial. A convexa em planta provoca divergência do escoamento, sendo menos suscetíveis a erosão acelerada. A determinação da forma do relevo em cada célula, foi resultado do estudo de dois mapas: um baseado na sobreposição do mapa “raster” declividade com o “vetor” cotas e o mapa topográfico, em escala 1:7.500. Esse último quadriculado em células conforme os padrões de Young et al. (1994).

#### **4.4.4.5. Comprimento do declive médio de drenagem no terreno**

O comprimento do declive médio foi determinado através da direção do fluxo percorrendo cada célula e em função da forma do terreno (retilínea, côncavo e/ou convexo). Segundo Young et al. (1994), uma maneira de simplificar os cálculos foi dividir o maior comprimento do declive em três segmentos iguais e utilizar o cálculo do cateto oposto em função da declividade. Para a forma convexa, aplicou-se à primeira terça parte do segmento um gradiente de 2%, a segunda um gradiente de 7%, e à última terça parte o gradiente de 12%. Para a forma côncava, aplicou-se à primeira terça parte do segmento um gradiente de 12%, a segunda um gradiente de 7%, e à última o gradiente de 2%. Para os declives uniformes o valor adotado foi de 7%.

#### 4.4.4.6. Levantamento pedológico

O mapa de solos utilizado foi de Muzilli (1996) que estima as principais unidades pedológicas na microbacia, levando-se em conta as condições de topografia e relevo, sendo sua caracterização realizada com base no levantamento de reconhecimento de solos do Estado do Paraná, realizado pelo SNLCS/EMBRAPA (1984), posteriormente corrigido por (EMBRAPA, 1999). O mapa foi digitalizado em SIG – ArcGis e as imagens dos diferentes tipos de solos encontrados na microbacia e sua caracterização no quadro de células em formato vetorial e matricial, são apresentadas nas Figuras 17 e 18. Para a área de estudo foram adotados os valores apresentados na Tabela 10, sendo que nas células onde existe mais de um tipo, adotou-se a média ponderada em função da área ocupada.

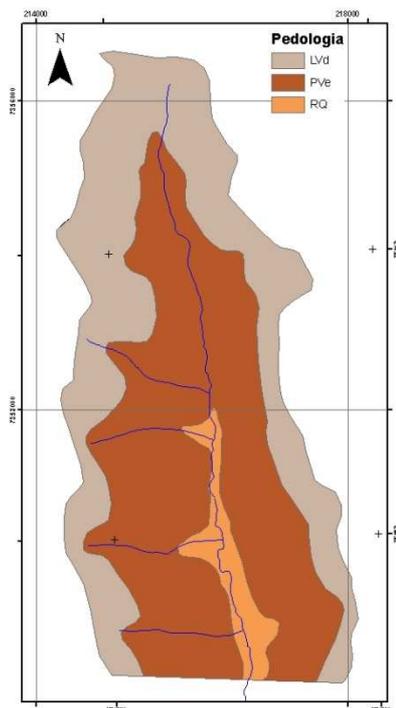


Figura 17. – Mapa vetorial do solo, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

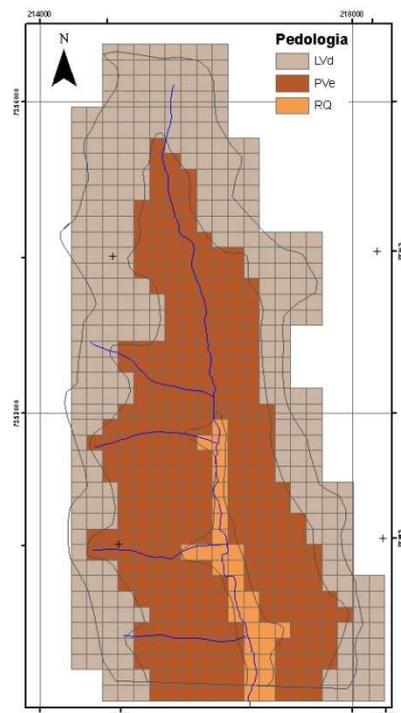


Figura 18. – Mapa matricial do solo, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Tabela 10. – Distribuição do tipo de solo na microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Legenda Escala – Sem escala					
Tipo de solo			Área (ha)	Área de influência (%)	
	Latossolos Vermelhos Distróficos argissólicos	LVd	1.048,70	48,75	
	Argissolos Vermelhos Eutróficos abruptos	PVe	997,70	46,38	
	Neossolo Quartzarênico Órtico típico	RQ	104,80	4,87	
Total			2.151,20	100,00	

Fonte: MUZILLI (1996)

#### 4.4.4.7. Análise granulométrica e grupo hidrológico do solo

Utilizando os resultados de Fidalski (1997a) foi determinada a textura dos solos, pela média aritmética dos valores amostrados no horizonte superficial e sub-superficial, como apresentado na Tabela 11. Com este resultado, classificou-se como arenoso, de acordo com o Triângulo de Classificação Granulométrica de Vargas (1977) e na Classe A, do Grupo Hidrológico do Solo, como exposto no Anexo I, definido por Young et al. (1994).

Tabela 11. – Análise granulométrica do solo da microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Toposeqüência	Profundidade (cm)	Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)	Classe textural AGNPS
Topo	00-20	1,83	11,58	86,59	Arenosa
	20-40	1,50	13,42	85,08	
	40-60	1,83	15,92	82,25	
Meio	00-20	1,40	12,13	86,47	Arenosa
	20-40	1,47	13,70	84,83	
	40-60	1,57	15,60	82,83	
Baixada	00-20	2,18	12,91	84,91	Arenosa
	20-40	2,18	14,55	83,27	
	40-60	2,09	17,55	80,36	

Fonte: FIDALSKI (1997a)

#### 4.4.4.8. Determinação da umidade do solo

A umidade do solo foi determinada em função da série histórica de dados de precipitação das estações pluviográficas, sendo a lâmina média obtida pelo Polígono de Thiessen, como apresentado na Tabela 3 e a valores estabelecidos na Tabela 12, que definem sua classe. As condições consideradas foram as seguintes:

- Classe I – esta é a condição em que os solos da bacia estão secos, porém com umidade suficiente para serem satisfatoriamente arado e cultivado;
- Classe II – nesta situação os solos da bacia estão com umidade média, correspondem à umidade na capacidade de campo;
- Classe III – nesta condição a bacia está com seus solos praticamente saturados em consequência de chuvas nos cinco dias anteriores aos eventos.

Tabela 12. – Condições de umidade em função da precipitação total nos cinco dias anteriores aos eventos selecionados, considerando a estação do ano

Classe	Precipitação nos 5 dias anteriores aos eventos (mm)	
	Estação seca	Estação úmida
I	0 - 13	0 - 36
II	13 a 28	36 a 53
III	> 28	> 53

Fonte: YOUNG et al. (1994); MACHADO (2002); BHUYAN; MANKIN; KOELLIKER (2003)

#### 4.4.4.9. Determinação do escoamento superficial pelo número da curva

No cálculo da do escoamento superficial, Young et al. (1994) propõe a metodologia baseada no número da curva (CN) do Serviço de Conservação dos Solos (Soil Conservation Service – SCS), vinculado ao Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (United States Department of Agriculture – USDA), a partir de análise dos dados de um grande número de bacias hidrográficas experimentais (ZANETTI, 2007).

Os valores do CN foram baseados: no solo; no uso e manejo, que descrevem o tipo e as condições de cobertura vegetal; nas situações hidrológicas, que se referem à capacidade da superfície da bacia para aumentar ou reduzir diretamente o escoamento superficial; na umidade antecedente que informa o histórico recente da chuva e, consequentemente a mensuração do valor armazenado pela retenção. Esta escala retrata as condições de cobertura do terreno, variando desde uma impermeável, onde o escoamento da chuva é total, limite inferior até uma completamente permeável, onde o potencial de armazenamento é elevado, limite superior. A equação original foi estabelecida em unidades inglesas, apresentando o valor de CN numa escala de 1 a 100. Tucci (1993) e Young et al. (1994) apresentam na Tabela 13 e no Anexo II, os valores de acordo com o uso, tratamento e as condições de umidade do solo.

Tabela 13. – Valores de CN adotados para a microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Uso do solo	Tratamento	Classe		
		I	II	III
Algodão	Sem manejo	47	67	83
Amora	Cultivo em nível	46	66	82
Área externa		12	12	12
Café		51	70	85
Capoeira		29	49	67
Mata	Normais	19	36	56
Milho		47	67	83
Pastagens	Pobres	48	68	84
Pousio		58	74	87
Reflorestamento		29	49	67
Solo descoberto	Com sulcos retilíneos	58	77	89

Fonte: TUCCI (1993); YOUNG et al. (1994)

#### 4.4.4.10. Fator cobertura vegetal – C

O fator cobertura vegetal (C) que indica a proteção oferecida ao solo, por diferentes culturas e formas de manejo, foi baseado em dados de uso da terra e índices médios de erosão acumulada. Para sua obtenção utilizou-se a imagem da cobertura do solo elaborado pelo LISERP – IAP e SENAGRO, sendo que para as células com mais de uma forma de uso, utilizou-se média ponderada em função da área ocupada de acordo com a legenda específica.

##### 4.4.4.10.1. Cálculo do fator cobertura para pastagens

Para as pastagens, procurou-se uma relação com os trabalhos apresentados por Bertoni e Lombardi Neto (1990), as quais tratam o índice de erosão da chuva, que expressa sua capacidade de causar perdas de solo em uma área sem proteção. A determinação do fator erosividade da chuva foi realizada segundo Rufino, Biscaia e Merten (1993), que estabeleceu as equações para o fator R, de acordo com as regiões no Estado do Paraná, a partir da utilização de dados mensais e de coeficientes de correlação de chuva. A equação utilizada neste estudo foi a seguinte:

$$R = 18,64 + 5,73 \chi \quad (7)$$

Em que:  $R$  = índice de erosão da chuva,  $\text{MJ ha}^{-1} \text{mm h}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ;  $\chi = p^2 P^{-1}$ , onde  $p$  = precipitação média mensal,  $\text{mm mês}^{-1}$ , e;  $P$  = precipitação média anual,  $\text{mm ano}^{-1}$ .

Para a realização do cálculo do Fator  $R$  foram utilizadas séries históricas das estações pluviométricas operadas pelo IAPAR, localizadas em Umuarama e Palotina, no período de 1974 a 2005, onde se determinou os valores de  $R = 8.530,00$  e  $8.630,00 \text{ ton mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$ , respectivamente. Segundo Rufino, Biscaia e Merten (1993), para o município de Umuarama o fator  $R$  é de  $10.291,00 \text{ MJ mm .ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$  que, convertidos para o sistema métrico decimal, resultam em  $1.049,00 \text{ ton mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$  (valor adotado). A conversão do sistema métrico internacional para sistema métrico decimal foi realizada através de Silva (1984).

Na sua determinação foram considerados quatro anos de rotação entre pastagens (capim-gordura), milho, pousio, algodão, com preparo convencional para todas as culturas. Os períodos da cultura foram definidos no Quadro 1.

Quadro 1. – Cálculo do fator cobertura do solo para pastagens, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	
Ano	Operações	Data dia mês <sup>-1</sup>	Valor médio anual	Estágio das culturas	Índice erosão período (%)	Razão perdas de solo (%)	Coluna (5)x(6)	Valor de C
1987	Plantio Pastagens	15/09-15/11	1	-	-	-	-	-
1988	Rotação	15/09-15/11	101	G	100	40	0,4000	
1989	Preparo do solo milho	15/08-15/09	201	G	100	0,4	0,0040	0,404
	Plantio milho	15/09-15/11	209	D	8	10	0,0080	
1990		15/12	221	1	12	11	0,0132	
		15/01	244	2	23	8	0,0184	
	Colheita	15/04	298	3	54	4	0,0216	
	Pousio	15/4-15/09						
	Preparo do solo algodão	15/08-15/09	301	4	3	1	0,0003	0,061
	Plantio algodão	15/09-15/11	309	D	8	15	0,0120	
		15/12	321	1	12	12	0,0144	
1991		15/01	344	2	23	20	0,0460	
	Colheita algodão	15/04	399	3	51	4	0,0200	
	Plantio Pastagens							
	Pastagens formadas	15/10	402	4	3	3	0,0009	0,093
	Total rotação quatro anos							0,558
	Valor médio anual de C							0,139

Fonte: BERTONI; LOMBARDI NETO (1990) Os estágios das culturas indicadas referem-se a: G – germinação; D – do preparo do solo até o plantio; 1 – do plantio até um mês após o período; 2 – fim do período 1 até dois meses; 3 – crescimento e maturação e; 4 – resíduo da colheita.

#### 4.4.4.10.2. Fator cobertura para culturas diversas

Os valores para o fator C para as demais culturas foram extraídos de Fernandes (1996) e Santos et al. (1999), este último utilizado na avaliação de perda de solo por erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Ivaí, com pode ser observado da Tabela 14.

Tabela 14. – Valores do Fator Cobertura (C) adotados na microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Uso do solo	Fator C
Algodão	0,474
Amora	0,530
Área externa	0,001
Café	0,375
Capoeira	0,030
Mata	0,001
Milho	0,130
Pousio	0,130
Reflorestamento	0,010
Solo descoberto	1,000

Fonte: FERNANDES (1996); SANTOS et al. (1999)

#### 4.4.4.11. Fator práticas mecânicas – P

Ao fator prática mecânica (P) atribui-se o valor 1, considerando-se a não adoção de uso conservacionista em toda a microbacia, como observado por Muzilli (1996).

#### 4.4.4.12. Fator erodibilidade do solo – K

A erodibilidade (K) que se refere à habilidade potencial do solo em resistir à erosão, foi extraída de Denardin (1990), que propôs um modelo para sua determinação a partir de uma regressão entre os resultados em condições experimentais e as características físicas e químicas dos solos, expressos na Tabela 15. Para a composição das Figuras 19 e 20 criou-se uma imagem vazia, segundo os padrões do SIG – ArcGis, e procedeu-se à reclassificação das Figuras 17 e 18, que representa o mapa de solos na forma vetorial e matricial. Para as células com mais de um tipo de solo, adotou-se a média ponderada, em função da área ocupada. A conversão do Sistema Internacional ( $0,1019 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) para o Britânico ( $1,292 \text{ ton } 100 \text{ acre}^{-1} \text{ pés}^{-1} \text{ ton}^{-1} \text{ pol}^{-1}$ ) foi de acordo com o método de Silva (1984).

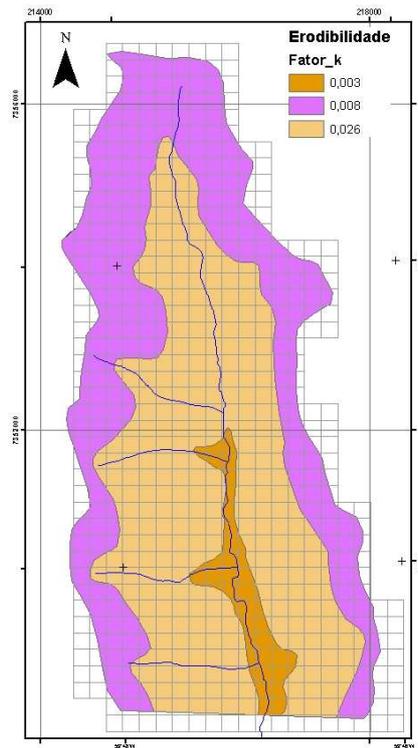


Figura 19. – Mapa vetorial do fator K, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

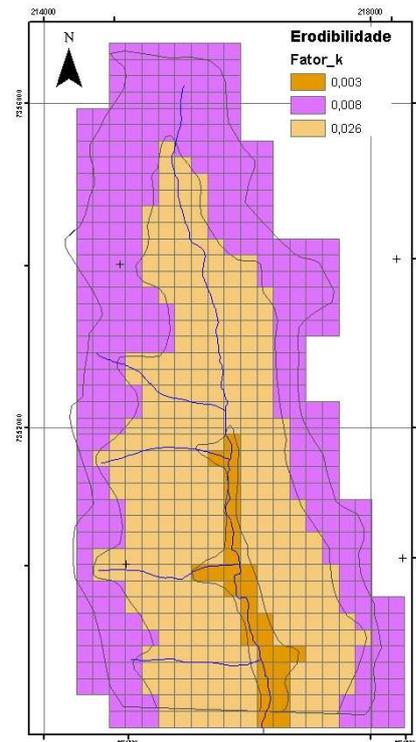


Figura 20. – Mapa matricial do fator K, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Tabela 15. – Distribuição do fator erodibilidade do solo na microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Legenda Escala – Sem escala			Sistema	Sistema
Tipo de solo			Internacional	Inglês
	Neossolo Quartzarênico Órtico típico	RQ	0,003	0,023
	Latossolos Vermelhos Distróficos argissólicos	LVd	0,008	0,061
	Argissolos Vermelhos Eutróficos abruptos	PVe	0,026	0,196

Fonte: SILVA (1984); DENARDIN (1990)

#### 4.4.4.13. Declividade média do canal principal

A declividade média do maior curso de água, o Inhacanga e seus afluentes, foram estabelecidos através da medição dos diferentes comprimentos entre cotas, utilizando o mapa topográfico, na escala 1:7.500 e o curvímeter - modelo Tax-Meter – Minerva - Swiss. Para maior precisão, realizaram-se três medições e o resultado final foi calculado pela média aritmética. Essas informações foram checadas utilizando o programa do SIG – ArcGis.

#### 4.4.4.14. Coeficiente de rugosidade de Manning

##### 4.4.4.14.1 Para os cursos de água

O coeficiente de rugosidade de Manning representa a resistência ao escoamento nos rios e cursos de água naturais, as quais dependem da natureza e estado da superfície, da forma e da declividade. Para os córregos e ribeirões, o valor foi de  $n = 0,040$  que indica cursos de água limpos, com algumas áreas com vegetação, que caracterizam o rio Inhacanga, com base na ilustração fornecida por Netto e Alvarez (1985) e no Anexo IV.

##### 4.4.4.14.1 Para as culturas anuais e perenes

Nas áreas cultivadas o coeficiente foi definido de acordo com a cobertura vegetal e os resíduos culturais descritos por Derpsch et al. (1991) e Calegari (1995). Nas culturas perenes, os valores corresponderam à presença de pastagens regulares, segundo os critérios de Young et al. (1994). Para a área de estudo foram adotados os valores expostos na Tabela 16.

Tabela 16. – Coeficiente de Manning para as culturas na microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Uso do solo	Plantio Convencional Manning
Algodão	0,075
Amora	0,040
Área externa	0,300
Café	0,100
Capoeira	0,080
Mata	0,300
Milho	0,084
Pastagens	0,060
Pousio	0,077
Reflorestamento	0,200
Solo descoberto	0,030

Fonte: DERPSCH et al. (1991); YOUNG et al. (1994); CALEGARI (1995)

#### 4.4.4.15. Constante da condição da superfície – CCS

A constante da condição da superfície (CCS) foi obtida a partir da correlação entre as condições de uso e manejo do solo, correspondendo a valores tabulados por Young et al. (1994), como apresentado na Tabela 17 e Anexo V, sendo que para as células com mais de um uso, utilizou-se média ponderada em função da área ocupada de acordo com a legenda específica.

Tabela 17. – Valores de CCS para as culturas na microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Uso do solo	CCS
Algodão	0,29
Amora	0,05
Área externa	1,00
Café	0,59
Capoeira	0,59
Mata	1,00
Milho	0,29
Pastagens	0,15
Pousio	0,01
Reflorestamento	0,59
Solo descoberto	0,01

Fonte: YOUNG et al. (1994)

#### 4.4.4.16. Levantamento dos nutrientes no solo

Para a fertilidade dos solos adotaram-se os resultados do trabalho de Fidalski (1997b), para profundidade de 0 a 20 cm, constituída de dez pontos representativos de cada cultura, totalizando 201 amostras, sendo utilizado os valores médios das repetições, como apresentado na Tabela 18.

##### 4.4.4.16.1. Teor de matéria orgânica – MO

A avaliação da disponibilidade de matéria orgânica nos solos foi realizada através da determinação do teor de carbono, calculada pela equação de Muzilli et al. (1978), como segue:  $\%MO = \%C.Org. \times 1,72$ . Para os solos aluviais o teor de matéria foi considerado igual a zero, pois segundo Marun e Mella (1994) o arenito apresentava níveis críticos de matéria orgânica. Para a mata adotou-se o valor obtido por Calegari (2006), como pode ser observado na Tabela 18.

##### 4.4.4.16.2. Concentração de nitrogênio – N

Para determinação do nitrogênio total utilizou-se o teor de matéria orgânica empregando a fórmula apresentada na equação  $MO\% = N\% \times 20$ , sendo: MO = matéria orgânica; N = nitrogênio total; 20 = fator de conversão calculado considerando que o teor médio de N na matéria orgânica humificada é 5% (5% de N x 20 = 100% de MO) (KIEHL, 1979), como apresentado na Tabela 18. Para os demais fatores, tais como, a concentração de N na água intersticial excedente, ( $N_{ai} = 5,00 \text{ mg l}^{-1}$ ), o coeficiente de extração do N pelo escoamento superficial ( $N_{ext} = 0,05$ ), e o coeficiente de extração do N por lixiviação ( $N_{lix} = 0,25$ ), foram adotados os valores sugeridos por Young et al. (1994).

#### 4.4.4.16.3. Concentração de fósforo – P

A presença do fósforo no perfil do solo encontra-se na Tabela 18. Para os demais componentes como, a concentração de P na água intersticial excedente ( $P_{ai} = 2,00 \text{ mg l}^{-1}$ ), o coeficiente de extração do P pelo escoamento superficial ( $P_{ext} = 0,025$ ), e o coeficiente de extração do P por lixiviação ( $P_{lix} = 0,25$ ), adotaram-se os valores definidos por Young et al. (1994).

#### 4.4.4.16.4. Características físico-químicas do solo

As características físico-químicas a 20 cm de profundidade para cada uma das culturas, encontram-se expostas na Tabela 18.

Tabela 18. – Fertilidade média do solo nas diferentes culturas e segmentos, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Uso do solo	Densidade ( $\text{g cm}^{-3}$ )	C		MO		N		P	
		( $\text{g l}^{-1}$ )	(%)	( $\text{g l}^{-1}$ )	(%)	( $\text{g l}^{-1}$ )	( $\text{lb N lbs}^{-1}$ )	( $\text{mg l}^{-1}$ )	( $\text{lb N lbs}^{-1}$ )
Algodão	1,65	5,24	0,86	1,48	7,40	73,96	0,074	3,43	0,0006
Amora	1,50	4,08	0,61	1,05	5,25	52,46	0,053	9,53	0,0140
Área externa			0,67	1,15	5,76	57,62	0,058	2,00	0,0030
Café	1,50	5,30	0,79	1,36	6,79	67,94	0,068	7,82	0,0120
Capoeira			0,69	1,19	5,93	59,34	0,059	3,64	0,0006
Mata	1,47	29,42	4,32	7,44	31,19	371,93	0,373	10,00	0,0015
Milho	1,65	5,24	0,86	1,48	7,40	73,96	0,074	3,43	0,0006
Pastagens	1,50	6,44	0,69	1,19	5,93	59,34	0,059	3,64	0,0006
Pousio			0,69	1,19	5,93	59,34	0,059	2,00	0,0030
Reflorestamento			0,61	1,05	5,25	52,46	0,053	9,53	0,0140
Solo descoberto	1,72	4,00	0,69	1,19	5,93	59,34	0,059	2,00	0,0030

Fonte: FIDALSKI\* (1997b); CALEGARI (2006) (\*) modificado

#### 4.4.4.17. Aplicação de nutrientes

Para Muzilli et al. (1978) um modo de facilitar a aplicação dos adubos e garantir a adequada proporção dos nutrientes necessários às plantas, é utilizar fórmulas contendo NPK, expressas em porcentagens de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O. Muzilli (1996) relata que as variedades de café cultivadas na microbacia eram Sumatra e Mundo Novo, onde a adubação química adotada pela maioria dos produtores era em doses variáveis de 50 a 200 g de uréia ou de 100 a 200 g de formulado (20-5-20) por cova, com 3 aplicações, para as demais culturas utilizou-se os dados fornecidos por Fidalski (1997b). As quantidades de nitrogênio e fósforo são apresentadas nas Tabelas 19 e 20.

Tabela 19. – Adubação de Nitrogênio nas culturas na microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Adubação	Fator Nitrogênio	
	(kg ha <sup>-1</sup> )	(lb acre <sup>-1</sup> )
Amora	19,12	12,06
Café	36,49	32,55

Fonte: FIDALSKI (1997b)

Tabela 20. – Adubação de Fósforo nas culturas na microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Adubação	Fator Fósforo	
	(kg ha <sup>-1</sup> )	(lb acre <sup>-1</sup> )
Amora	141,00	125,79
Café	326,00	290,82
Pastagens	90,00	80,29
Solo descoberto /lavouras	179,00	159,69

Fonte: FIDALSKI (1997b)

Para as matas e capoeiras foi adotada fertilidade equivalente à baixa, de acordo com Young et al. (1994), como exposto na Tabela 21.

Tabela 21. – Nível de fertilização da microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Nível	Nitrogênio		Fósforo		Valor
	(kg ha <sup>-1</sup> )	(lb acre <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	(lb acre <sup>-1</sup> )	
Baixa fertilização	56,00	50,00	22,40	20,00	1
Média fertilização	112,10	100,00	44,80	40,00	2
Alta fertilização	224,20	200,00	89,70	80,00	3

Fonte: YOUNG et al. (1994)

#### 4.4.4.18. Demanda química de oxigênio – DQO

O fator DQO corresponde a sua concentração no escoamento superficial, sendo estimado em função das condições de uso da terra e a valores tabulados por Young et al. (1994), como observado na Tabela 22 e no Anexo VI. Na definição dos valores dos parâmetros em cada uma das diferentes culturas, utilizou-se média ponderada em função da área ocupada (SUTTLES et al., 2003).

Tabela 22. – Valores de DQO para as culturas na microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Uso do solo	Fator DQO (mg l <sup>-1</sup> )
Algodão	80,00
Amora	115,00
Área externa	1,00
Café	115,00
Capoeira	65,00
Mata	20,00
Milho	80,00
Pastagens	60,00
Pousio	170,00
Reflorestamento	115,00
Solo descoberto	170,00

Fonte: YOUNG et al. (1994)

#### 4.4.4.19. Formas de manejo do solo em função das máquinas agrícolas

O fator disponibilidade de fertilização refere-se à porcentagem de fertilizante deixado a 1,27 cm (meia polegada) do topo do solo após determinado evento, estando relacionado aos diferentes métodos de preparo do solo e ao grau de incorporação dos nutrientes pela mobilização do solo (FRAGOSO, 2008). Um fator de 100% representa a pior situação (células onde predominam a urbanização ou áreas residenciais), em que nenhum fertilizante é incorporado no solo. Assim como sugerido por Souto (1998), admitiu-se um valor igual a 100% para as matas e florestas em virtude da não aplicação direta de fertilizantes pelo homem. Nos casos em que foram utilizados mais de uma máquina e equipamento utilizou-se o produto dos dois fatores dividido por 100. Para o sistema convencional de plantio, que consiste na realização de uma aração seguida de duas gradagens para destorroamento, nivelamento e plantio (DERPSCH et al., 1991). Os valores adotados encontram-se na Tabela 23 e no Anexo VII.

Tabela 23. – Fator disponibilidade de fertilização de acordo com os sistemas de manejo do solo na microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Máquinas e equipamentos	Fator Disponibilidade (%)
Arado pesado	10,00
Grade	20,00
Disco	50,00
Escarificador	67,00
Pulverizador	85,00
Semeadora	85,00
Pousio	100,00

Fonte: YOUNG et al. (1994)

Onde são realizadas ações de preparo de solo, forma de manejo, utilizou-se o produto dos fatores dividido por 100 (YOUNG et al., 1994).

#### 4.4.5. Caracterização dos cenários de uso do solo

Para identificação das áreas de produção de sedimentos gerados pela erosão do solo na microbacia do rio Inhacanga, foram criados cenários, em que a realidade do local refletia o sistema agrícola e realizadas simulações utilizando eventos de chuvas naturais. Os períodos considerados foram:

- Simulação 1 – Verão 1991-1992  
Mata e vegetação secundária; culturas anuais (algodão); perenes (pastagens e café);
- Simulação 2 – Inverno 1993  
Mata e capoeira; culturas anuais (amora, solo descoberto); perenes (pastagens, café e reflorestamento);
- Simulação 3 – Verão 1993 - 1994  
Mata e capoeira; culturas anuais (amora, algodão); perenes (pastagens, café e reflorestamento);
- Simulação 4 – Inverno 1994  
Mata e capoeira; culturas anuais (amora, milho safrinha); perenes (pastagens, café e reflorestamento);
- Simulação 5 – Verão 1994 - 1995  
Mata e capoeira; culturas anuais (amora, algodão, solo descoberto); perenes (pastagens, café e reflorestamento).

## 4.5. Resultados e discussão

### 4.5.1.1. Simulação 1

A primeira simulação foi realizada para a cultura do verão de 1991 – 1992 e consideraram toda a bacia com pastagens, café, algodão, vegetação secundária e mata, como exposto na Figura 21. As culturas anuais foram tratadas como plantio convencional, empregando arado de disco, com duas passadas de grade niveladora e semeadora; a perene, o café com capina manual e nas entrelinhas semeadora animal. Para as pastagens, capoeiras e matas o fator incorporação foi de 100%, que representa ausência de atividade. Os eventos de chuvas erosivas selecionados para esta simulação são apresentados na Tabela 24 e as áreas de usos e ocupação na Tabela 25. No cálculo da energia cinética pela intensidade -  $EI_{30}$  das chuvas utilizadas, adotou-se o maior valor observado ao longo de cada evento.

Tabela 24. – Valores de precipitação e o produto da energia cinética pela intensidade –  $EI_{30}$  dos eventos observados e utilizados no AGNPS, rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Data dos eventos	Precipitação (mm)	$EI_{30}$ (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )
07/08/91	17,1	9,38
09/08/91	15,9	15,54
25/09/91	38,0	6,12
29/09/91	89,5	25,87
04/10/91	11,4	3,85
05/10/91	13,8	5,06
23/10/91	14,6	2,60
01/11/91	45,6	55,25
14/11/91	56,1	154,90
26/11/91	89,9	118,10
29/11/91	15,4	11,85
11/03/92	23,6	13,84
22/03/92	16,5	15,54
06/04/92	39,2	75,04
12/04/92	18,9	5,41
19/04/92	59,3	63,46
23/04/92	22,3	12,77
29/04/92	13,6	0,99
30/04/92	159,2	432,65

Uma vez que o modelo realiza suas operações com células numeradas seqüencialmente, a determinação dos fatores relevantes na produção de sedimentos foi de

fácil análise. Para isso utilizou-se planilhas do software da Microsoft® Office Excel 2003, correlacionadas com as respectivas células com seu uso, os fatores K, C, a declividade e o comprimento do declive, nas células mais suscetíveis de erosão do solo.

A determinação das áreas de produção de sedimentos é apresentada na Figura 22, bem como a estimativa para cada célula e toda a microbacia hidrográfica. Para a primeira simulação utilizou-se a chuva do dia 30/04/92 e pode-se constatar que 34,16% da produção de sedimentos foi devida ao fator cobertura do solo; 20,66% ao comprimento do declive; 37,74% à declividade e, que 7,44% encontram-se nas áreas de maior fator erodibilidade, sendo que os valores dos sedimentos produzidos apresentados na Tabela 26, referem-se à chuva com o maior  $EI_{30}$ .

Observou-se também neste cenário, que ocorreu um incremento na área total da microbacia, como pode ser observado nas células localizadas junto ao divisor de águas, contribuindo assim no aumento dos volumes gerados pelo modelo, superando as observadas no monitoramento e interferindo nos resultados da análise estatística.

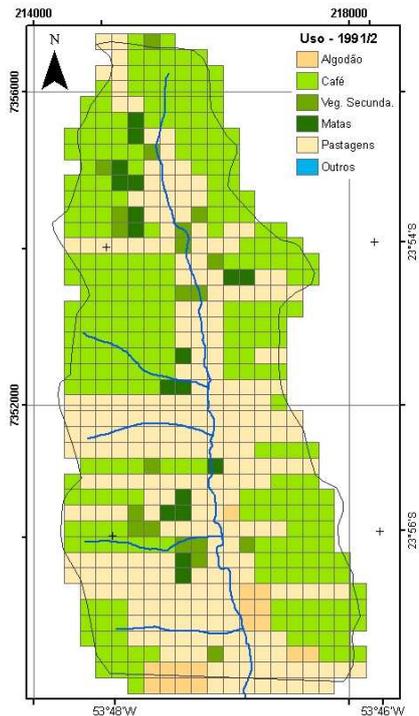


Figura 21. – Mapa do uso e ocupação do solo das culturas anuais e perenes, verão de 1991 – 1992, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Tabela 25. – Áreas de uso, ocupação e culturas geradoras de sedimentos

Legenda	Escala - sem escala		
Uso e ocupação estimada	Área de uso (%)	% da área das culturas	
	Algodão	2,67	5,68
	Café	43,24	48,47
	Veg. secundária	3,14	0,00
	Mata	2,83	0,00
	Pastagens	40,09	45,85
	Área externa	8,02	0,00

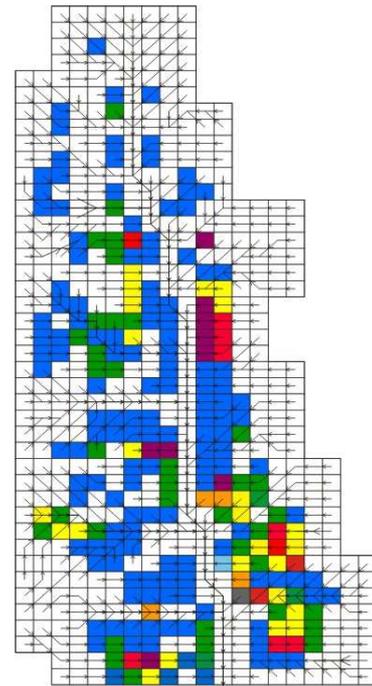


Figura 22. – Imagem das áreas de produção de sedimentos, para a chuva de 30/04/92, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Tabela 26. – Variação da produção de sedimentos nas células, solos secos

Legenda	Escala - sem escala		
	Faixa (ton ha <sup>-1</sup> )	Área (%)	
	0,00	14,26	63,99
	14,27	28,52	22,01
	28,53	42,75	6,13
	42,76	57,01	3,77
	57,02	71,27	1,73
	71,28	85,52	1,42
	85,53	99,78	0,63
	99,79	114,01	0,00
	114,02	128,27	0,16
	128,28	142,53	0,16

Nesse cenário 86% da área apresentou uma produção de sedimentos de até 28,52 t ha<sup>-1</sup>, sendo que a célula com os maiores valores foram em pastagens, em Argissolos Vermelhos Eutróficos abruptos, com declividade de 6,9%, cuja forma de declive é uniforme e o valor do fator erodibilidade do solo é o mais suscetível ao processo erosivo. Para as

demais faixas acima da cor vermelha, destacam-se a cultura do café, com declividade superior a 6,3% e maior comprimento do declive.

#### 4.5.1.2. Simulação 2

A segunda simulação foi realizada para a cultura de inverno de 1993 e considerou toda a bacia com pastagens, café, solo descoberto, reflorestamento, capoeira e mata, como podem ser observados na Figura 23. As culturas implementadas foram tratadas com o plantio convencional, o café com capina manual e nas entrelinhas semeadora animal. No reflorestamento adotou-se o plantio mínimo, com escarificador e as amoras, com cultivo em nível, mas com má cobertura do solo. Para as pastagens já existentes, capoeiras e matas o fator incorporação foi de 100%, que representa ausência de atividade. Os eventos de chuvas erosivas selecionados para esta simulação encontram-se na Tabela 27 e as áreas de usos e ocupação na Tabela 28.

Tabela 27. – Valores de precipitação e o produto da energia cinética pela intensidade –  $EI_{30}$  dos eventos observados e utilizados no AGNPS, rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Data dos eventos	Precipitação (mm)	$EI_{30}$ (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )
03/03/93	22,0	20,38
10/03/93	26,9	30,57
19/03/93	37,5	61,38
22/03/93	23,2	22,46
23/04/93	61,8	94,12
04/05/93	32,0	20,23
12/05/93	45,9	39,13
13/05/93	38,5	26,10
04/06/93	23,3	24,96
17/06/93	30,6	5,73
17/07/93	45,9	22,47
28/07/93	33,7	31,89
13/09/93	16,5	1,54
22/09/93	27,3	13,96
26/09/93	28,5	2,31

A determinação das áreas de produção de sedimentos pode ser observada na Figura 24, bem como sua estimativa para cada célula e para toda a microbacia. Para a segunda simulação utilizou-se a chuva do dia 23/04/93 e pode-se constatar que 29,25% da produção de sedimentos foi devida ao fator cobertura do solo; 23,28% ao comprimento do declive; 38,51% à declividade e, que 8,96% encontram-se nas áreas de maior fator K. Pôde-se constatar também que áreas e os valores dos sedimentos produzidos não foram as mesmas para todos os eventos de chuvas erosivas, sendo que os valores apresentados na Tabela 29, referem-se à chuva com o maior  $EI_{30}$ .

O modelo ofereceu, através do fator disponibilidade a forma de preparo do solo, estabelecendo diferentes explorações das culturas. Desta forma, os resultados apresentados nestas duas primeiras simulações corroboram com as formas de manejo adotadas na microbacia. Neste cenário foi constatada também que em algumas células que foram definidas como de matas, ocorreram perdas de solo, devido ao ajuste da transformação da imagem vetorizada em matricial, já que foi definida a área com o maior uso.

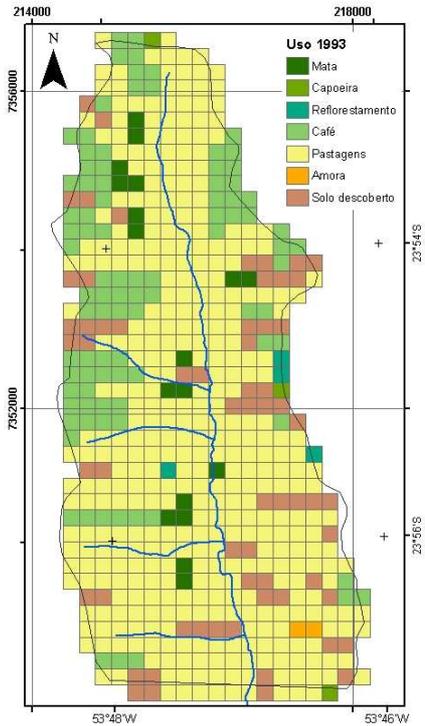


Figura 23. – Mapa do uso e ocupação do solo das culturas anuais e perenes, inverno de 1993, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

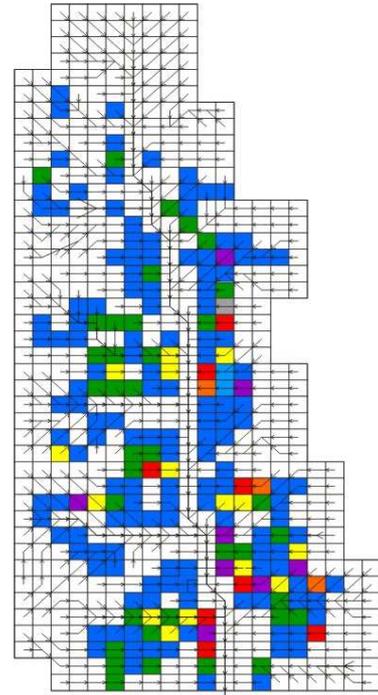


Figura 24 – Imagem das áreas de produção de sedimentos, para a chuva de 23/04/93, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Tabela 28. – Áreas de uso, ocupação e culturas geradoras de sedimentos

Legenda	Escala - sem escala	
Uso e ocupação estimada	Área de uso (%)	% da área das culturas
Amora	0,31	0,00
Café	14,62	11,63
Capoeira	0,47	0,00
Mata	2,83	1,86
Pastagens	62,58	68,37
Reflorestamento	0,63	0,47
Solo descoberto	10,06	17,67
Área externa	8,49	0,00

Tabela 29. – Variação da produção de sedimentos nas células, solos secos

Legenda	Escala - sem escala	
	Faixa (ton ha <sup>-1</sup> )	Área (%)
(branco)	0,00 - 3,58	66,67
(azul)	3,59 - 7,14	21,86
(verde)	7,15 - 10,72	5,66
(amarelo)	10,73 - 14,28	2,36
(vermelho)	14,29 - 17,87	1,26
(roxo)	17,88 - 21,45	1,10
(laranja)	21,46 - 25,01	0,63
(cinza claro)	25,02 - 28,59	0,31
(cinza escuro)	28,60 - 32,15	0,00
(azul escuro)	32,16 - 35,73	0,16

Nesse cenário 88,5% da área apresentou uma produção de sedimentos de até 7,14 t ha<sup>-1</sup> e, todas as faixas acima da cor amarela encontravam-se com solo descoberto, na qual foram realizadas as operações de preparo, com aração seguida das gradagens.

#### 4.5.1.3. Simulação 3

Para as simulações subseqüentes, as áreas com culturas anuais e perenes receberam o mesmo tratamento dado anteriormente, quanto ao manejo do solo. A terceira simulação foi realizada para a cultura de verão de 1993 – 1994 e consideraram toda a bacia com pastagens, café, reflorestamento, algodão, capoeira e mata como podem ser observados na Figura 25. Os eventos de chuvas erosivas selecionados para esta simulação são os apresentados na Tabela 30 e as áreas de usos e ocupação na Tabela 31.

Tabela 30. – Valores de precipitação e o produto da energia cinética pela intensidade –  $EI_{30}$  dos eventos observados e utilizados no AGNPS, rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Data dos eventos	Precipitação (mm)	$EI_{30}$ (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )
16/11/93	33,4	15,56
25/11/93	38,0	39,36
30/11/93	30,5	30,43
21/01/94	22,6	21,17
12/02/94	26,5	52,50
13/02/94	28,9	46,18
14/02/94	21,1	17,02
18/02/94	15,3	13,45
28/02/94	35,4	66,83
07/03/94	46,9	41,38
25/03/94	33,5	46,91
30/03/94	14,9	4,50
13/04/94	29,1	8,06

A determinação das áreas de produção de sedimentos é apresentada na Figura 26, bem como sua estimativa para cada célula e para toda a microbacia hidrográfica. Para a terceira simulação utilizou-se a chuva do dia 22/02/94 e pode-se determinar que 29,88% da produção de sedimentos foi devida ao fator cobertura do solo; 24,20% ao comprimento do declive; 35,06% à declividade e que 10,86% encontram-se nas áreas de maior fator K. Pode-se identificar também um incremento das áreas suscetíveis a erosão, destacando-se os locais com relevo ondulado, sendo que os valores dos sedimentos produzidos apresentados na Tabela 32, referem-se à chuva com o maior  $EI_{30}$ .

Nestas simulações as áreas suscetíveis a erosão foram as mesmas para todos os eventos de chuvas erosivas aplicadas, sendo que os valores da produção de sedimentos variaram de acordo com o volume e a energia e intensidade da precipitação.

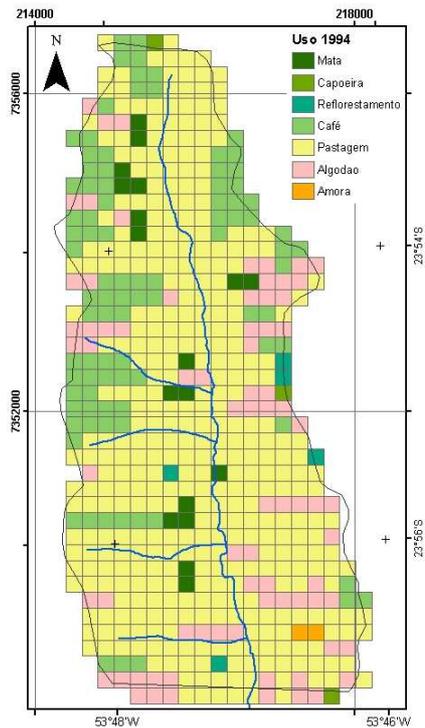


Figura 25. – Mapa do uso e ocupação do solo das culturas anuais e perenes, verão de 1993 – 1994, rio Inhacanga, microbacia do Altônia, Paraná

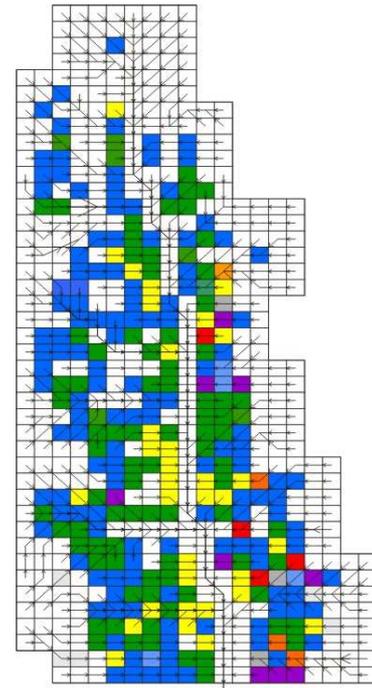


Figura 26. – Imagem das áreas de produção de sedimentos, para a chuva de 28/02/94, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Tabela 31. – Áreas de uso, ocupação e culturas geradoras dose sedimentos

Legenda	Uso e ocupação estimada	Escala - sem escala	
		Área (%)	% da área das culturas
	Algodão	12,11	14,64
	Amora	0,31	0,00
	Café	14,47	16,07
	Capoeira	0,47	0,00
	Mata	2,83	0,00
	Pastagens	60,53	69,29
	Reflorestamento	0,79	0,00
	Solo descoberto	0,00	0,00
	Área externa	8,49	0,00

Tabela 32. – Variação da produção de sedimentos nas células, solos secos

Legenda	Escala - sem escala	
	Faixa (ton ha <sup>-1</sup> )	Área (%)
	0,00 - 1,26	57,08
	1,27 - 2,54	20,44
	2,55 - 3,79	13,68
	3,80 - 5,05	5,19
	5,06 - 6,33	0,63
	6,34 - 7,59	1,42
	7,60 - 8,85	0,47
	8,86 - 10,11	0,47
	10,12 - 11,37	0,00
	11,38 - 12,63	0,63

Nesse cenário 91,2% da área apresentou uma produção de sedimentos de até 3,79 t ha<sup>-1</sup>, sendo que nas faixas acima da cor vermelha, observou-se que as células com os maiores valores foram para as pastagens e o algodão, com declividade superior a 4,5%. Salienta-se ainda que, para a cultura anual foram realizadas as operações de manejo do solo, como aração seguida de gradagens.

#### 4.5.1.4. Simulação 4

A quarta simulação foi realizada para a cultura de inverno de 1994, apresentada na Figura 27. Os eventos de chuvas erosivas selecionados para esta simulação encontram-se na Tabela 33 e as áreas de usos e ocupação na Tabela 34.

Tabela 33. – Valores de precipitação e o produto da energia cinética pela intensidade – EI<sub>30</sub> dos eventos observados e utilizados no AGNPS, rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Data dos eventos	Precipitação (mm)	EI <sub>30</sub> (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )
11/05/94	31,9	36,09
24/05/94	15,2	4,32
25/05/94	39,2	31,48
31/05/94	28,8	23,59
19/06/94	37,5	27,43
01/07/94	9,4	11,65
02/07/94	20,3	0,70
22/07/94	32,0	43,91

A determinação das áreas de produção de sedimentos é apresentada na Figura 28, bem como sua estimativa para cada célula e para toda a microbacia hidrográfica. Para a quarta simulação utilizou-se a chuva do dia 22/07/94 e pode-se determinar que 31,10% da produção de sedimentos foi devida ao fator cobertura do solo; 24,84% ao comprimento do declive; 30,45% à declividade e que 13,61% encontram-se nas áreas de maior fator K, sendo que os valores dos sedimentos produzidos apresentados na Tabela 35, referem-se à chuva com o maior EI<sub>30</sub>.

Nesta simulação as áreas suscetíveis a erosão não foram as mesmas para todos os eventos de chuvas erosivas aplicadas, sendo que os valores da produção de sedimentos variaram de acordo com o volume e EI<sub>30</sub>.

Nesse cenário 97,8% da área apresentou uma produção de sedimentos de até  $1,96 \text{ t ha}^{-1}$  e, nas faixas acima da cor roxa, observou-se que as células com maiores valores foram as pastagens com declividade superior a 5,2%, seguida do algodão e amora.

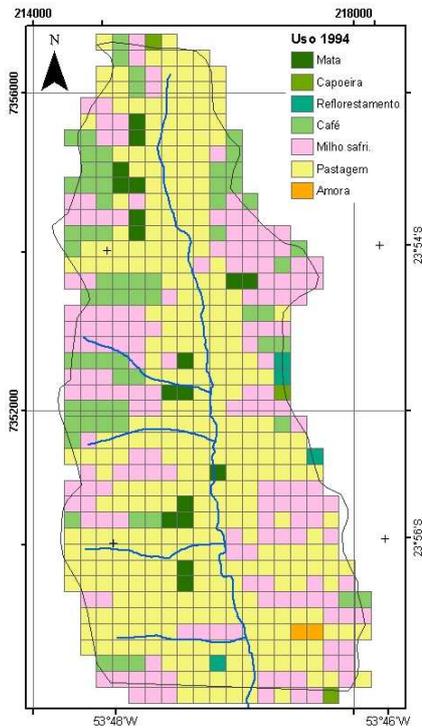


Figura 27. – Mapa do uso e ocupação do solo das culturas anuais e perenes, inverno de 1994, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

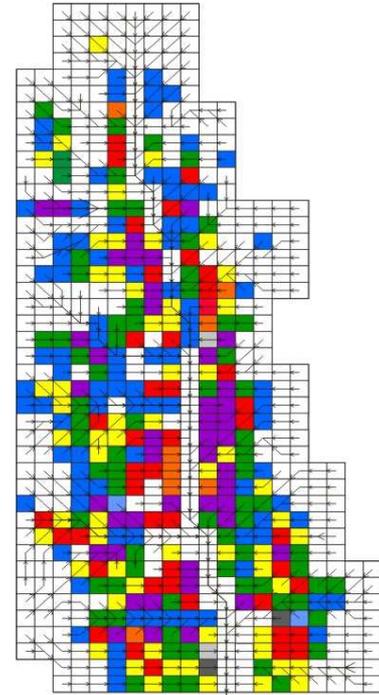


Figura 28. – Imagem das áreas de produção de sedimentos, para a chuva de 22/07/94, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Tabela 34. – Áreas de uso, ocupação e culturas geradoras de sedimentos

Legenda	Escala - sem escala		
	Uso e ocupação estimada	Área (%)	% da área das culturas
Amora	0,31	0,62	
Café	10,38	15,12	
Capoeira	0,47	0,00	
Mata	2,83	0,00	
Milho safrinha	25,47	21,30	
Pastagens	51,42	62,96	
Reflorestamento	0,63	0,00	
Solo descoberto	0,00	0,00	
Área externa	8,49	0,00	

Tabela 35. – Variação da produção de sedimentos nas células, solos secos

Legenda	Escala - sem escala	
	Faixa ( $\text{ton ha}^{-1}$ )	Área (%)
0,00 - 0,33	50,00	
0,34 - 0,65	13,52	
0,66 - 0,97	11,48	
0,98 - 1,29	9,43	
1,30 - 1,61	6,76	
1,62 - 1,96	6,60	
1,97 - 2,28	1,26	
2,29 - 2,59	0,31	
2,60 - 2,92	0,31	
2,93 - 3,24	0,31	

#### 4.5.1.5. Simulação 5

A quinta simulação foi realizada para a cultura de verão de 1994 – 1995, como exposta na Figura 29. Os eventos de chuvas erosivas selecionados para esta simulação são os apresentados na Tabela 36 e as áreas de usos e ocupação na Tabela 37.

Tabela 36. – Valores de precipitação e o produto da energia cinética pela intensidade –  $EI_{30}$  dos eventos observados e utilizados no AGNPS, rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Data dos eventos	Precipitação (mm)	$EI_{30}$ (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )
30/09/94	14,0	2,34
01/10/94	48,3	9,11
13/10/94	32,4	43,93
20/10/94	17,7	4,75
21/10/94	28,2	3,39
24/10/94	14,0	18,54
26/10/94	5,4	2,46
04/11/94	25,7	21,15
06/11/94	35,2	107,20
28/11/94	25,2	19,60
02/01/95	9,6	32,47
04/01/95	20,7	19,73
05/01/95	11,9	14,34
11/01/95	19,4	15,28
12/01/95	51,5	87,40
15/01/95	9,4	8,14
16/01/95	3,9	1,61
24/02/95	15,2	21,68
26/02/95	26,2	36,53
01/03/95	33,6	60,24
04/03/95	39,1	42,14
23/03/95	51,0	68,60
16/04/95	45,0	58,99

A determinação das áreas de produção de sedimentos encontra-se na Figura 30, bem como sua estimativa para cada célula e para toda a microbacia hidrográfica. Para a quinta simulação utilizou-se a chuva do dia 06/11/94 e pode-se determinar que 30,00% da produção de sedimentos foi devida ao fator cobertura do solo; 24,17% ao comprimento do declive; 37,50% à declividade e que 8,33% encontram-se nas áreas de maior fator K, sendo que os valores dos sedimentos produzidos apresentados na Tabela 38, referem-se à chuva com o maior  $EI_{30}$ . Nesta simulação as áreas suscetíveis a erosão não foram as mesmas para todos os eventos de chuvas erosivas aplicadas, com os valores da produção de sedimentos variando de acordo com o volume e  $EI_{30}$ .

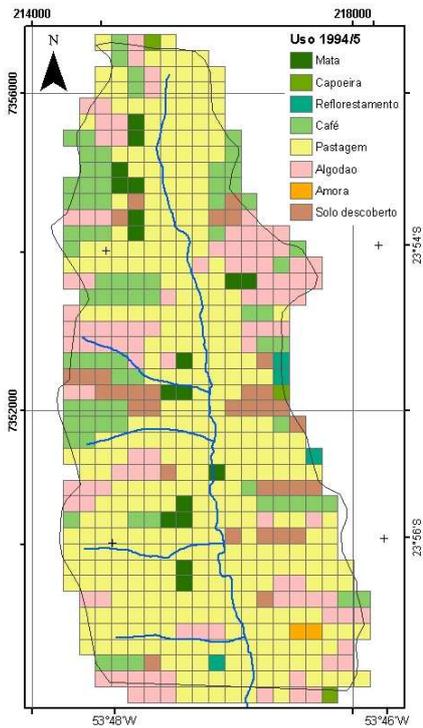


Figura 29. – Mapa do uso e ocupação do solo das culturas anuais e perenes, verão de 1994 - 1995, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

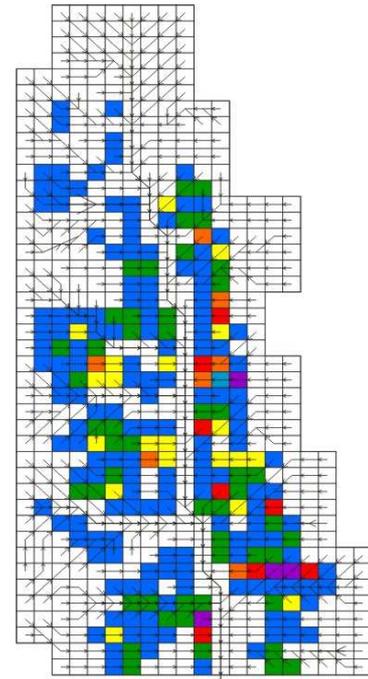


Figura 30. – Imagem das áreas de produção de sedimentos, para a chuva de 06/11/94, microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Tabela 37. – Áreas de uso, ocupação e culturas geradoras de sedimentos

Legenda	Escala - sem escala		
	Uso e ocupação estimada	Área (%)	% da área das culturas
	Algodão	15,88	18,33
	Amora	0,31	0,83
	Café	11,79	10,42
	Capoeira	0,47	0,00
	Mata	2,83	2,08
	Pastagens	54,40	57,08
	Reflorestamento	0,63	0,00
	Solo descoberto	5,19	11,25
	Área externa	8,49	0,00

Tabela 38. – Variação da produção de sedimentos nas células, solos em capacidade de campo

Legenda	Escala - sem escala	
	Faixa (ton ha <sup>-1</sup> )	Área (%)
	0,00 - 3,51	62,74
	3,52 - 7,02	23,43
	7,03 - 10,53	7,70
	10,54 - 14,04	2,99
	14,05 - 17,54	1,10
	17,55 - 21,03	0,63
	21,04 - 24,54	1,26
	24,55 - 28,05	0,00
	28,06 - 31,56	0,00
	31,57 - 35,06	0,16

Nesse cenário 93,9% da área apresentou uma produção de sedimentos de até  $10,5 \text{ t ha}^{-1}$ , sendo que a célula com os maiores valores foi para solo descoberto, em Argissolos Vermelhos Eutróficos abruptos, com declividade de 7,4%, cuja forma de declive é uniforme e o valor do fator erodibilidade do solo é o mais suscetível ao processo erosivo. Salienta-se ainda que, no algodão foram realizadas as operações de manejo do solo com plantio convencional. Para as demais faixas inclusive a cor vermelha, destaca-se situações como a cultura do algodão, com declividade superior a 6,0% e pastagens onde o fator cobertura (C) e a declividade foram os fatores mais relevantes.

Em função das condições de umidade do solo, saturados, empregou-se nestas duas últimas simulações chuvas erosivas inferiores a 10 mm, como pode ser observado nas Tabelas 35 e 38. Pode-se constatar que o modelo respondeu a estas condições, promovendo picos de escoamento, produção de sedimentos e variação na taxa de perda de solo nas células, sendo esta condição corroborada pela correção dos valores do CN.

Identificou-se também, que em algumas células que existem matas, ocorreram perdas de solo, devido a transformação da imagem vetorizada em matricial. Entretanto, as matas mostraram que protegem mais o solo e precisam atender a área de reserva legal e áreas de preservação permanente, ciliares, exigido pelo Código Florestal Brasileiro, Lei nº.4.771 de 15/09/65 (PARANÁ, 1990).

Na análise temporal constatou-se o rearranjo na localização das áreas de erosão hídrica em função da alteração do sistema de produção agrícola, com a redução das culturas perenes e aumento das anuais e pastagens. Isto provocou uma mudança nos principais indicadores de perda de solo, como apresentado na Tabela 39, onde é possível observar também, uma variação no uso dos locais de maior declividade.

Tabela 39. – Variação dos indicadores de perda de solo nos diferentes cenários na microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

Indicadores	Simulações				
	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)
Comprimento do declive	20,66	23,38	24,20	24,84	24,17
Declividade	37,74	38,51	35,06	30,45	37,50
Fator Cobertura – C	34,16	29,25	29,88	31,10	30,00
Fator Erodibilidade – K	7,44	8,96	10,86	13,61	8,33

Além disso, áreas foram incorporadas ao processo produtivo e devido à falta de práticas mecânicas como o terraceamento, o comprimento do declive tornou-se também, responsável por este efeito, haja vista as melhorias no fator cobertura. A erodibilidade do solo

de uma bacia depende de seus aspectos topográficos e edáficos, porém isto pode ser significativamente alterado pelos fatores antrópicos. Tanto a distribuição fundiária, como a prática adota pelos produtores interferem neste potencial e podem ser avaliados pela análise de sedimentos gerados, em função das chuvas ocorridas.

Cardoso et al. (2006) comentam que a declividade e a cobertura vegetal tornam-se fatores importantes na tomada de decisão de um manejo adequado da bacia hidrográfica, haja vista que influenciam na precipitação efetiva, no escoamento superficial e no fluxo de água no solo, dentre outros. Estes resultados corroboram com Wang e Cui (2005), que verificaram que taxas de erosão poderiam ser reduzidas através da melhoria do fator C e com a adoção de formas de manejo e conservação do solo como o plantio direto, aliado aos resíduos culturais.

Na análise espacial as áreas de produção de sedimentos não foram as mesmas para todos os eventos de chuvas, mas as variações nos valores da produção de sedimentos estão relacionadas às condições de umidade do solo, aos volumes precipitados e ao produto da energia cinética pela intensidade -  $EI_{30}$ . Carvalho et al. (2002) em área experimental da EMBRAPA/UFRRJ, com Argissolo Vermelho Amarelo e declividade de 8%, utilizando um simulador de chuvas pendular e diferentes intensidades, concluíram que a perda de solo aumentou com o incremento da energia cinética da precipitação, atingindo 9,7 vezes o valor, quando foi de 138 para 321  $J m^{-2}$ . Silva et al. (2005) observaram que, independentemente da intensidade da chuva, o acréscimo na porcentagem de cobertura reduz a perda, pois dissipa a energia cinética do impacto das gotas sobre a superfície, diminui a desagregação das partículas e, conseqüentemente, a concentração de sedimentos na enxurrada.

Nas amoreiras e cafeicultura foi constatada a ocorrência da erosão laminar em grau moderado a severo, em função da má cobertura do solo, correspondendo à ausência e baixa eficiência de medidas conservacionistas. Em 23% das pastagens existiam terraços tipo "Murunduns", construídos com pá carregadeira ou trator esteira, mas se apresentavam rompidos pelas trilhas de gado, apresentando baixa capacidade de retenção. As lavouras anuais apresentavam a atividade agrícola de maior valor à erosão, por apresentarem terraços constituídos de um cordão de contorno, base estreita, composto por quatro passadas de arado de disco, alternadamente, de cima para baixo e de baixo para cima, tipo "Manghum" (MUZILLI, 1996; FIDALSKI, 1997b). Segundo Denardin et al. (2005) este tipo de formação é indicado para relevos de suavemente ondulados a ondulados.

Através das simulações determinaram-se as áreas de sedimentos gerados pela erosão superficial como apresentado nas Figuras 22, 24, 26, 28 e 30, atingindo os

objetivos do trabalho. Uma comparação mais detalhada necessita de uma análise e avaliação mais criteriosa, pois além de distintos eventos das chuvas aplicadas a cada um dos cenários, o fator cobertura (C) sofreu alterações, sendo que, os menores valores estimados encontram-se no divisor de águas, em relevo plano. Segundo Osaki (1994), nos Estados Unidos da América a razão máxima de perda de solos varia de 2,0 a 12,5 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, conforme o tipo de solo, a espessura e as propriedades físicas. Esse critério foi estabelecido em função do tempo de formação de 25 mm de solo superficial, estimado em 300 anos. No entanto, quando o solo é atingido pela lavagem e pelos problemas de aeração, devido ao seu preparo, esse tempo pode ficar reduzido a apenas 30 anos, que equivale a uma perda de solo de mais ou menos 12,5 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. A forma do sistema de cultivo, também tem decisiva influência sobre as perdas de solo, para a mata observou-se o valor de 0,004 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>; para as pastagens 0,7 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>; para o café 1,1 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e o algodão 38,0 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. O IAPAR (1981) cita estudos em microbacias hidrográficas, na qual foi observado valores de 54,5 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, em sistemas de milho contínuo, com preparo convencional.

Com objetivo de determinar em que momento se iniciava a produção de sedimentos, a descarga líquida e sólida no rio Inhacanga, realizou-se simulações considerando toda a microbacia coberta com mata e solo descoberto. Para a mata, com os solos secos, o valor da precipitação foi de 95 mm; na capacidade de campo, foi de 40 mm e; para o solo descoberto, foi de 37 mm e 15 mm, respectivamente. Salienta-se ainda que valores superiores a esta última precipitação para os solos secos, foram observados em apenas 28% dos eventos.

#### **4.5.2. Análise estatística da produção de sedimentos observados e estimados**

Os resultados estimados foram comparados com transporte de sedimentos observados no período de monitoramento, estabelecendo uma relação linear com valor significativo do coeficiente de determinação de 0,83 para uma seção transversal de escoamento triangular (T) e 0,75 para retangular (R), cuja equação da reta encontra-se nas Figuras 31 e 32, respectivamente. O teste F foi significativo ao nível de 5% de probabilidade (BUSSAB, 1988).

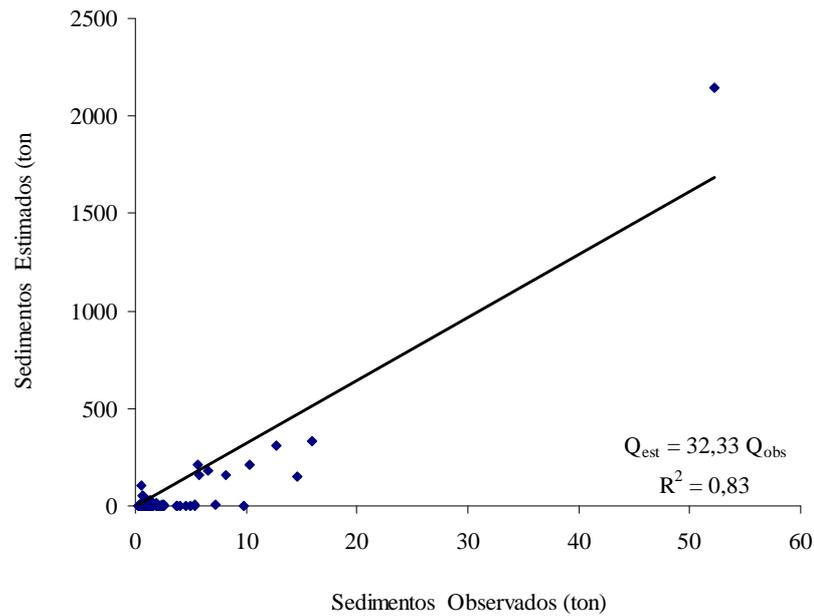


Figura 31. – Correlação entre os valores observados e estimados da produção de sedimentos na microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná, (T)

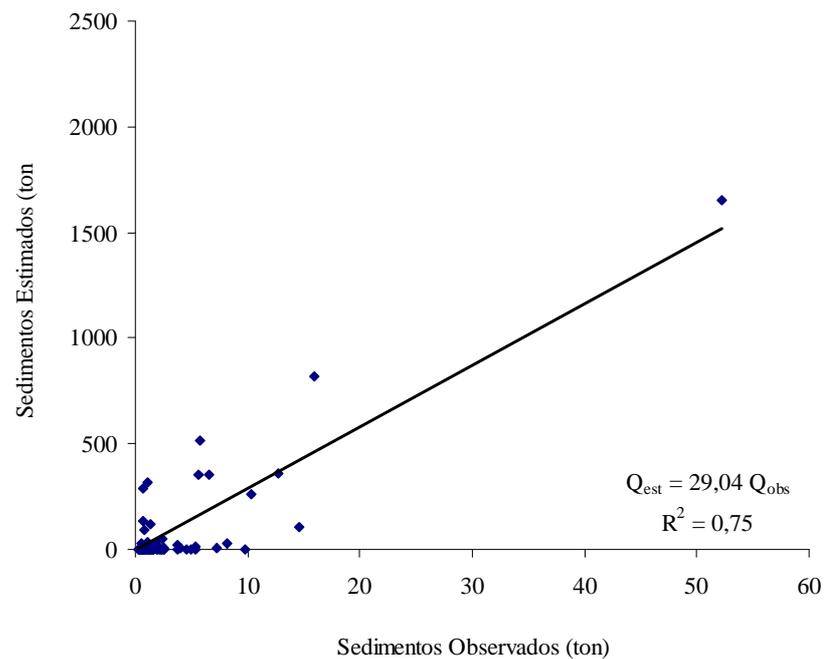


Figura 32. – Correlação entre os valores observados e estimados da produção de sedimentos na microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná, (R)

Quanto ao grau das predições na análise dos sedimentos estimados pelo AGNPS e os valores observados em campo, algumas diferenças na metodologia podem ter limitado a precisão das simulações, como por exemplo a definição do fator uso da terra para cada célula se deu através da legenda específica do mapa temático, onde os parâmetros adotados foram relacionados à área de ocupação, baseada na média ponderada.

Assim como o uso da terra, o fator erodibilidade do solo passou por um ajuste quando da formação das células pelo SIG – ArcGis. Neste caso, sabe-se que para uma mesma chuva incidindo sobre diferentes condições de solo, obter-se-ão distintas quantidades de erosão, em função dos valores de erodibilidade (COGO, 1988). Finalmente, o modelo AGNPS operou presumindo serem uniformes os padrões de precipitação, o que não ocorreu entre os eventos, como pode ser observado na distribuição espacial das chuvas na microbacia hidrográfica, através dos registros nos pluviogramas.

Souza et al. (2006) ao comparar a estimativa da produção de sedimentos no rio Potiburu, RS, utilizando a Equação Universal da Perda de Solo – USLE, o Protocolo da ANA/ANEEL e o método da curva de permanência, determinaram que os dados baseados em medições sedimentométricas apresentaram resultados inferiores ao obtido pela USLE, ressaltando que deixaram de ser consideradas as descargas sólidas de fundo. Porém, ao analisar o fator topográfico desta equação, IPT (1986) apud Fernandez (1996) descrevem que esta não identifica as áreas de deposição, que são responsáveis pela retenção de parte dos sedimentos. Fragoso (2008) ao realizar simulações com o AGNPS, para avaliar o comportamento hidrológico e de sedimentos na bacia do córrego Capão Comprido, DF, verificou que a carga de sedimentos gerada pelo modelo foi superestimada em relação à observada na maioria dos eventos. Da mesma forma, neste trabalho, correlacionaram-se as estimativas da produção de sedimentos com técnicas simples de estudos hidrológicos e hidrossedimentológicos, com a do modelo AGNPS em uma microbacia hidrográfica;

Um fato a ser destacado relaciona-se às matas ciliares que, devido as suas pequenas dimensões, não foram inseridas nas simulações. Contudo, Vennix e Northcott (2004) demonstraram que mesmo restritas a pequenas faixas de 30 metros ao longo dos cursos de água, minimizam a contaminação das águas e controlam a erosão junto às margens do rio e nascentes, em até 17% dos sedimentos transportados.

#### **4.5.3. Estimativa dos sedimentos produzidos por unidade de área**

A estimativa da produção de sedimentos gerados pela erosão superficial com a alteração na forma da seção transversal de escoamento no rio Inhacanga, triangular (T) e retangular (R), forneceram resultados diferentes no ponto coleta, final da microbacia, como pode ser observado nas Figuras 31 e 32, no entanto, as áreas de produção de sedimentos e a variação dos valores obtidos nas células foram as mesmas.

A correlação de chuvas intensas com sedimentos produzidos por unidade de área, ou taxa de perda de solo nas células, apresentou dependência polinomial, cuja equação é apresentada na Figura 33, com coeficiente de determinação de 0,76. O teste F foi significativo com 5% de probabilidade (BUSSAB, 1988). Ao utilizarem o modelo AGNPS aliado aos SIG – Arc/Info e ArcView, Yongsheng e Bartholic (2003) observaram que a perda de solo, sedimentos e nutrientes se elevam rapidamente com o incremento do valor de chuva, formando uma curva exponencial desta correlação.

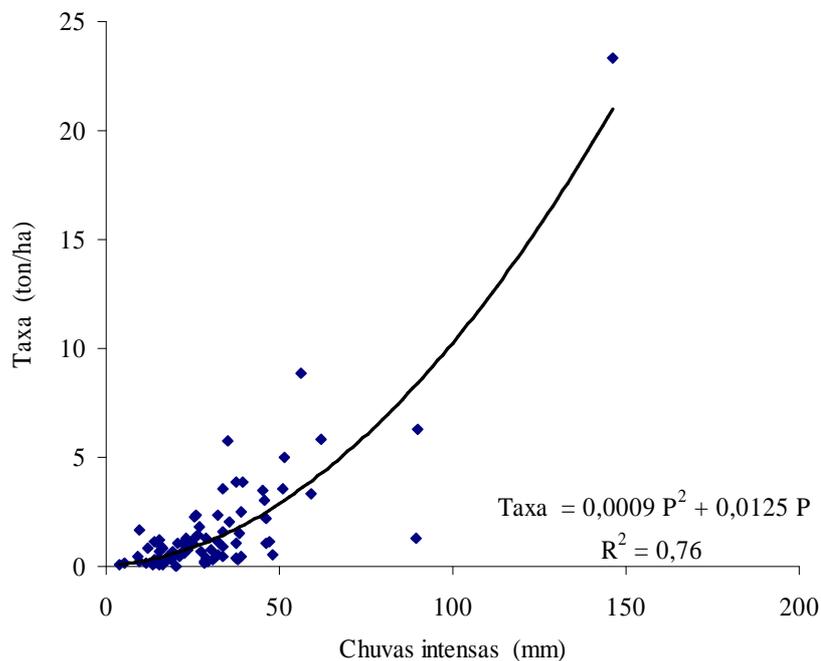


Figura 33. – Correlação dos sedimentos produzidos por unidade de área estimada pela seção triangular (T) e retangular (R) com chuvas intensas na microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná

#### 4.6. Conclusões

Após o estudo, análise e observações do presente trabalho, chegou-se às seguintes conclusões:

- foi possível comparar, avaliar e identificar as áreas de erosão superficial em função da cultura vegetal, do manejo do solo e da prática agrícola adotada;
- o AGNPS aliado ao SIG mostraram ser instrumentos de grande utilidade na identificação de zonas de maior sensibilidade à produção de sedimentos, ou fontes não pontuais de poluição, pois permite a alteração de cenários agrícolas, tipos de culturas, formas de manejo e práticas conservacionistas empregadas, gerando mapas finais de perdas de solo;

- observou-se que o sistema de produção agrícola implantado na microbacia do rio Inhacanga arenito Caiuá, apresenta-se como insustentável com relação a produção de sedimentos, principalmente quanto ao manejo do solo, plantio convencional;
- a mudança do sistema de cobertura possibilitou a análise e a determinação do papel de cada fator envolvido, na Equação Universal de Perda de Solo – USLE;
- a determinação de áreas suscetíveis a erosão face ao manejo do solo, poderá auxiliar no estabelecimento do gerenciamento dos recursos hídricos em microbacias, minimizando os impactos ambientais sobre a água;
- os resultados demonstraram as vantagens oferecidas pelo modelo, em virtude da sensibilidade apresentada na identificação de áreas suscetíveis a erosão do solo, permitindo sua análise em qualquer ponto e pela otimização de tempo e custo, devido à análise visual georreferenciada.
- a coleta de amostras de sedimentos em suspensão e nutrientes através de estações automáticas, poderá fornecer maior detalhamento sobre a descarga sólida, principalmente, durante os eventos de precipitação.

#### 4.7. Referências bibliográficas

AQUINO, R.F.; CARVALHO, N.O.; DOMINGUEZ, J.M.L. Carga de sedimentos em suspensão produzida pela bacia do rio Itapicuru. In: CONGRESSO SOBRE PLANEJAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, 2., 2003, Recife, **Anais...** Recife: ABRH, 2003. p.1-5.

ASSAD, E.D. et al. Estruturação de dados geoambientais no contexto de microbacia no Brasil. p.89-108. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. (ed.). **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Planaltina: EMBRAPA - CPAC, 1993. 274p.

AWWA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 17.ed. Washington: AWWA/ASCE/APA,1989.

BERTOL, O.J. et al. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida a adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.781-792, 2007.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.

BHUYAN, S.J.; MANKIN, K.R.; KOELIKER, J.K. Watershed-scale AMC selection for hydrologic modeling. **American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v.46, n.2, p.303-310, 2003.

BRANDÃO, D. **Risco de degradação dos recursos hídricos na bacia do ribeirão Pinhal - Limeira (SP): uma proposta metodológica**. 2001. 85p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BRANNAN, K; HAMLETT, J.M. Using geostatistics to select grid-cell layouts for the AGNPS model. **American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v.41, n.4, p.1011-1018, 1998.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. DNAEE. Normas e recomendações hidrológicas. **Pluviometria**. [s.l.], Brasília, 1970a.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. DNAEE. Normas e recomendações hidrológicas. **Fluviometria**. [s.l.], Brasília, 1970b.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. DNAEE. Normas e recomendações hidrológicas. **Sedimentometria**. [s.l.], Brasília, 1970c.

BUSSAB, W.O. **Análise de variância e regressão: uma introdução**. 2.ed. São Paulo: Atual, 1988. 147p.

CABEDA, M.S.V. Computation of storm EI values. West Lafayette, Purdue University, 1976. 6p. (Unpublished).

CALEGARI, A. **The effects of tillage and cover crops on some chemical properties of an oxisol in south western Paraná, Brazil**. 1995. 86p. Dissertação (Mestrado) - University of Aberdeen, Aberdeen.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura. In: CASÃO JR, R.; SIQUEIRA, R.; METHA, Y.R.; PASSINI, J.J. (Ed.). **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR, Foz do Iguaçu: ITAIPU, 2006. p.55-73.

CALIJURI, M.L. **Curso de Sistema de Informação Geográfica**. EESC - Universidade de São Paulo. São Carlos, 1996. 115p.

CARDOSO, C.A. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.2, p.241-248, 2006.

CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 372p.

CARVALHO, N.O. et al. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Brasília: ANEEL, 2000. 106p.

CARVALHO, D.F. et al. Perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.385-389, 2002.

CASTRO F<sup>o</sup>., C.; CATANEO, A.; BISCAIA, R.C.M. Utilização da metodologia de Wilkinson para o cálculo do potencial erosivo das chuvas em cinco localidades do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.6, p.240-241, 1982.

CATANEO, A.; CASTRO F<sup>o</sup>., C.; ACQUAROLE, R.M. Programa para cálculo de índices de erosividade de chuvas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.6, p.236-239, 1982.

CAVIGLIONE, J.H. et al. **Cartas Climáticas do Paraná**. IAPAR, Londrina, 2000. CD-Rom.

COGO, N.P. Conceitos e princípios científicos envolvidos no manejo de solos para fins de controle de erosão hídrica. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, P.R.; FREITAS, S.S. (Ed.). **A responsabilidade social da ciência do solo**. Campinas, 1988. p.251-262, 525p.

COGO, N.P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R.A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declividade e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.743-753, 2003.

CUNHA, J.E.; CASTRO, S.S.; SALOMÃO, F.X.T. Comportamento erosivo de um sistema pedológico de Umuarama, noroeste do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.943-951, 1999.

DENARDIN, J.E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990. 81p. Tese. (Doutorado em Agronomia) - ESALQ - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

DENARDIN, J.E. et al. **Manejo de enxurrada em sistema plantio direto**. Porto Alegre: Fórum Estadual de Solo e Água, 2005. 88p.

DERPSCH, R. et al. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn: GTZ - IAPAR, 1991. 272p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Paraná**. Rio de Janeiro: EMBRAPA - SNLCS, Boletim Técnico 57. 1984. 791p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA - CNPS. 1999. 412p.

FERNANDEZ, G.A.V. **Análise da erosão do solo utilizando a EPU, com técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento**. 1996. 163p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - INPE, São José dos Campos.

FIDALSKI, J. Fertilidade do solo no noroeste do Paraná. **Revista Unimar Ciências Agrárias**, Maringá, v.19, n.3, p.853-861, 1997a.

FIDALSKI, J. Diagnóstico de manejo e conservação do solo e da água na região noroeste do Paraná. **Revista Unimar Ciências Agrárias**, Maringá, v.19, n.3, p.845-851. 1997b.

FRAGOSO, M.M.A. **Estudo hidrológico e transporte de sedimentos em uma bacia do bioma Cerrado: Bacia do córrego Capão Comprido**. 2008. 86p. Dissertação (Mestrado tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Distrito Federal.

GRILO, R.C.; ENAMI, L.M. Gestão de bacias hidrográficas com o uso de modelo preditivo de erosão dos solos e sistemas de informação geográfica. In: CONGRESSO IBÉRICO – Gestão e Planejamento de Água, 5., 2006, Faro, **Anais...** Faro: Universidade do Algarve, 2006. Disponível em:  
<[http://www.ualg.pt/5cigpa/comunicacoes/Trabalho\\_Congresso\\_Portugal\\_2006.doc](http://www.ualg.pt/5cigpa/comunicacoes/Trabalho_Congresso_Portugal_2006.doc)>. Acesso em 10 jun.2008.

GRUNWALD, S.; NORTON, L.D. An AGNPS - based runoff and sediment yield model for two small watersheds in Germany. **American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v.42, n.6, p.1723-1731, 1999.

HERNANDES, F.B.T.; VANZELA, L.S. Diagnóstico da disponibilidade de água e de transporte de sedimentos do córrego Três Barras, Marinópolis, SP. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 16., 2006, Goiânia, **Anais...** Goiânia, 2006. p.1-6.

HESSION, W.C.; SHANHOLTZ, V.O. A geographic information system for targeting nonpointsource agricultural pollution. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankey, v.43, n3, p.264-266, 1988.

IAPAR. Fundação Instituto Agrônômico do Paraná. Relatório de atividades e resultados. Microbacias hidrográficas - Safra 1990/1991. Londrina. 1991.

IAPAR. Fundação Instituto Agrônômico do Paraná. Médias históricas em estações do IAPAR. Londrina, 2009. Disponível em:  
<[http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias\\_Historicas/Palotina.htm](http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Palotina.htm)>. Acesso em: 16 de nov. 2009.

IAPAR. Fundação Instituto Agrônômico do Paraná. Médias históricas em estações do IAPAR. Londrina, 2009. Disponível em:  
<[http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias\\_Historicas/Umuarama.htm](http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Umuarama.htm)>; Acesso em: 16 de nov. 2009.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo. Bacia do Peixe - Paranapanema. São Paulo: IPT, 1986. v.3, 110p. (Relatório n.º. 24.739)

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

KIRNAK, H. Comparison of erosion and runoff predicted by WEPP and AGNPS models using a geographic information system. **Journal Agricultural for Turk**, Saliurfa, v.26, p.261-268, 2001.

LAGROTTI, C.A.A. **Planejamento Agroambiental do município de Santo Antônio do Jardim – SP**: Estudo de caso da Microbacia Hidrográfica do Córrego Jardim. 2000. 124p.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - FEAGRI - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MACHADO, R.E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**, 2002. 152p. Tese. (Doutorado em Agronomia) - ESALQ - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MANSOR, M.T.C. **Potencial de poluição de águas superficiais por fontes não pontuais de fósforo na bacia hidrográfica do ribeirão de Pinhal, Limeira – SP**. 2005. 171p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - FEAGRI - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MARUN, F.; MELLA, S.C. Recuperação de pastagens no noroeste do Paraná através da sucessão de culturas por um ano. Londrina: IAPAR, 1994. 15p. (Informe da Pesquisa, 111).

MERTEN, G.H. et al. **El uso del modelo USLE para determinar mapas de erosión potencial y actual en las Microcuencas pilotos de Agua Grande y Córrego do Pensamento, Mamborê, Paraná, Brasil**. Santiago, Proyecto Regional GCP/RLA/107/JPN/IAPAR/EMBRAPA/FAO, 1995. 43p. (Documento Campo 6).

MUZILLI, O. et al. **Análises de solos: interpretação e recomendação de calagem e adubação para o Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR. 1978. 49p. (Circular 9).

MUZILLI, O. Plano integrado para manejo e conservação do solo em microbacia hidrográfica – piloto: a experiência do Paraná na região do arenito Caiuá. In: CONGRESSO BRASILEIRO E ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 8., 1990, Londrina, **Anais...** Londrina: IAPAR, 1996. p.97-119.

SANTOS, I. et al. Avaliação de perdas de solo por erosão hídrica na bacia do rio Ivaí. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., 1999, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABRH, 1999. p.1-20. Disponível em: <<http://www.lactec.org.br/OInstituto/downloads/Biblioteca/1992/02.1999.pdf>>. Acesso em 09 de nov. 2006.

NETTO, A.; ALVAREZ, G.A. **Manual de hidráulica**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda. 7ed. v.2, 1982. 724p.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e do Meio Ambiente. Coordenadoria de Estudos e Defesa do Meio Ambiente. **Coletânea de Legislação Ambiental Federal e Estadual**. Curitiba, 1990.

PAREDES, E.A. **Sistema de informação geográfica: princípios e aplicações**. São Paulo: Érica, 1994. 675p.

PEREIRA, L.C. **Aptidão agrícola das terras e sensibilidade ambiental: proposta metodológica**. 2002. 122p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PEREIRA, R.S.; NETO, A.S.; TUCCI, C.E.M. Princípios da hidrometria. In: \_\_\_\_\_ Porto Alegre: IPH, 2003. p.1-16. Disponível em:

<<http://www.iph.ufrgs.br/posgrad/disciplinas/hip01/Cap13-Hidrometria.pdf>>. Acesso em 04 fev. 2009.

RUFINO, R.L.; BISCAIA, R.C.M.; MERTEN, G.H. Determinação do potencial erosivo da chuva do Estado do Paraná, através de pluviômetro: terceira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.3, p.439-444, 1993.

SANTOS, I. et al. Avaliação de perdas de solo por erosão hídrica na bacia do rio Ivaí. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., 1999, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABRH, 1999. p.1-20. Disponível em: <<http://www.lactec.org.br/OInstituto/downloads/Biblioteca/1992/02.1999.pdf>>. Acesso em 09 de nov. 2006.

SEAB. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. **Manual operativo do fundo de manejo e conservação dos solos e controle da poluição**. Curitiba: SEAB, 1989. 105p.

SILVA, J.R.C. Fatores da equação universal de perda de solo e sua conversão para o sistema métrico internacional. UFC, 1984. (não publicado).

SILVA, A.L. **A utilização do modelo WinHSFP no estudo de cargas difusas de poluição da bacia do ribeirão da Estiva, SP**. 2003. 179p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

SILVA, D.D. et al. Efeito da cobertura nas perdas de solo em um argissolo vermelho amarelo utilizando simulador de chuva. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.409-419, 2005.

SOOD, C.; BAGHAT, R.M. Interface geographical information systems and pesticide model. **Current Science**, Bangalore, v.89, n.8, p.1362-1370, 2005.

SOUTO, A.R. **Análise espacial e temporal da produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica com o modelo AGNPS e técnicas de SIG**. 1998. 112p. Dissertação (Mestrado Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos.

SOUTO, A.R.; CRESTANA, S. Identificação de áreas potenciais de produção de sedimentos com o modelo AGNPS e técnicas de SIG em uma microbacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.430-436, 2000.

SOUZA, C.F. et al. Comparação dentre estimativas de produção de sedimentos na bacia do rio Potiburu. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 7., Porto Alegre: **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2006. Disponível em: <[http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/ClimaRH/download/ENES\\_Potiribu2006.pdf](http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/ClimaRH/download/ENES_Potiribu2006.pdf)>. Acesso em 02 de abril. 2009.

SUTTLES, J.B. et al. Watershed-scale simulation of sediment and nutrient loads in Georgia Coastal Plain Streams using the Annualized AGNPS model. **American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v.46, n.5, p.1325-1335, 2003.

TISCARENO, M.L. et al. Sensitivity analysis of the WEPP watershed model for rangeland conditions. **American Society of Agricultura Engineers**, Charlotte, North Carolina. 21-24 June, 1992. Paper n°922018.

TOMMASELLI, J.T.G.; FREIRE, O.; CARVALHO, W.A. Erosividade da chuva da região oeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Mariana, v.7, n.2, p.269-276, 1999.

TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia, ciência e aplicação**. 1.ed. Porto Alegre: ABRH/EDUSP, 1993. 943p.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, EDUSP, 1977. 509p.

VENNIX, S.; NORTHCOTT, W. Priorizing vegetative buffer strip placement in an agricultural watershed. **Journal of Spatial Hydrology**, Miami, v.4, n.1, p.1-18, 2004.

VESTENA, L.R.; LUCINI, H.; KOBIYAMA, M. Avaliação da concentração de sedimento em suspensão no rio Caeté, em Alfredo Wagner/SC. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 7., Belo Horizonte: **Anais...** Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <[http://www.labhidro.ufsc.br/Projetos/ARTI\\_2008/Leandro%20et%20al%20\(SINAGEO2008\).pdf](http://www.labhidro.ufsc.br/Projetos/ARTI_2008/Leandro%20et%20al%20(SINAGEO2008).pdf)>. Acesso em: 4 de Fev. 2009.

ZANETTI, S.S. **Modelagem hidrológica em microbacia hidrográfica da bacia do rio Paraíba do Sul**. 2007. 135p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ.

YONGSHENG, M; BARTHOLIC, J. GIS Based AGNPS Assessment Model in a Small Watershed. **Nature and Science**, Michigan, v.1, n.1, p.50-56, 2003. Disponível em: <<http://www.sciencepub.org/nature/0101/10-ma.doc>>. Acesso em: 25 de Abr. 2009.

YOUNG, R.A et al. AGNPS: A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankey, v.44, n.2, p.168-173, 1989.

YOUNG, R.A. et al. **Agricultural non-point source pollution model, version 4.03: AGNPS USER'S GUIDE**. Washington, US Department of Agriculture Conservation Research, 1994. 103p.

YOUNG, R.A. et al. **Agricultural non-point source pollution model, Version 5.0 (USDA Version)**. USDA-ARS. PC Software. 1995. Disponível em: <<http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=5219>>. Acesso em: 9 de Jan. 2007.

WANG, X.; CUI, P. Support soil conservation practices by identifying critical erosion areas within an American watershed using GIS-AGNPS model. **Journal of Spatial Hydrology**, Miami, v.5, n.2, p.31-44, 2005.

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

## 5. CONCLUSÕES GERAIS

A variação dos valores da produção de sedimentos em suspensão observados no monitoramento da microbacia do rio Inhacanga, foram relacionados aos diferentes usos e ocupação do solo, confirmando que no caso desta microbacia a erosão é de origem antrópica e deve ser atribuído à atividade agrícola. Lavouras perenes, anuais e pastagens afetaram de forma distinta esta produção, em função do manejo do solo adotado e a frequência das operações de preparo periódico do solo realizadas, demonstrando a necessidade de mudanças e adequação deste manejo ao meio. O monitoramento dos cursos d'água se mostrou bastante eficiente para se avaliar o efeito dos sistemas de produção na produção de sedimentos e na sua qualificação. Porém, o alto custo social da erosão exige a adoção de medidas preventivas.

Esta é a grande contribuição das simulações, que poderão ser aplicadas para a avaliação prévia da implantação de práticas conservacionistas, como o terraceamento, associado às práticas secundárias, como aumento da cobertura, aplicação de resíduos na superfície, adoção de rotações e SPD entre outros. Sua aplicação nos cenários já existentes permitirá uma comparação dos resultados, revelando a sua real eficiência.

O SIG-ArcGis apresentou-se como uma boa ferramenta de manuseio de informações geográficas, mostrando praticidade na sua utilização junto ao modelo AGNPS mas, levantamentos a campo, avaliando os problemas existentes na microbacia são indispensáveis, visando aperfeiçoar a interpretação das imagens de satélite.

## ANEXOS

## ANEXO I. – Descrição da classificação da textura do solo segundo sua classe hidrológica

Textura do solo	Descrição do solo	Classificação hidrológica do solo
Areia	Arenoso	A
	Arenoso e argilo arenoso	A
	Argilo arenoso	A
	Argilo arenoso e areno argiloso	B
	Areno o	B
	Areno argiloso e argiloso	B
	Argilo arenoso e areno	B
	Silte	Lemo
Silte	Lemo argiloso	B
	Lemo siltoso	B
	Lemo silte argiloso	B
	Lemo argilo arenoso	B
	Argiloso	C
	Argila siltosa	C
	Siltoso	C
	Siltoso argiloso	C
	Lemo siltos argiloso	C
	Argila	Silte argiloso
Argila siltosa		C
Argila		C
Turfa	Turfa	D

Fonte: YOUNG et al. (1994)

## ANEXO II. – Valores do parâmetro CN para bacias rurais

Uso do solo	Tratamento ou práticas	Condições hidrológicas	Grupo hidrológico do solo			
			A	B	C	D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	Pobre	77	86	91	94
Plantações regulares	Com sulcos retilíneos	Pobre	72	81	88	91
	Com sulcos retilíneos	Boa	67	78	85	89
	Em curvas de nível	Pobre	70	79	84	88
	Em curvas de nível	Boa	65	75	82	86
	Em curvas de nível e terraceamento	Pobre	66	74	80	82
	Em curvas de nível e terraceamento	Boa	62	71	78	81
Plantações de cereais	Com sulcos retilíneos	Pobre	65	76	84	88
	Com sulcos retilíneos	Boa	63	75	83	87
	Em curvas de nível	Pobre	63	74	82	85
	Em curvas de nível	Boa	61	73	81	84
	Em curvas de nível e terraceamento	Pobre	61	72	79	82
	Em curvas de nível e terraceamento	Boa	59	70	78	81
Pastagens		Pobre	68	79	86	89
		Razoável	49	69	79	84
		Boa	39	61	74	80
	Em curvas de nível	Pobre	47	67	81	88
	Em curvas de nível	Razoável	25	59	75	83
	Em curvas de nível	Boa	6	35	70	79
Florestas			25	55	70	77
Mata ciliar			49	69	79	84
Arruamentos e estradas	Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais		98	98	98	98
	Terra		72	82	87	89
Água			-	100		

Fonte: TUCCI (1993); YOUNG et al. (1994)

## ANEXO III. – Correção de CN para outras condições iniciais de umidade

AMC		AMC		Valores de S (polegadas)
II	I	III		
100	100	100		0,00
98	94	99		0,04
96	89	99		0,08
94	85	98		0,13
92	81	97		0,17
90	78	96		0,22
88	75	95		0,27
86	72	94		0,33
84	28	93		0,38
82	66	92		0,44
80	63	91		0,50
78	60	90		0,56
76	58	89		0,63
74	55	88		0,70
72	53	86		0,78
70	51	85		0,86
68	48	84		0,94
66	46	82		1,03
64	44	81		1,12
62	42	79		1,23
60	40	78		1,33
58	38	76		1,45
56	36	75		1,57
54	34	73		1,70
52	32	71		1,85
50	31	70		2,00
48	29	68		2,16
46	27	66		2,34
44	25	64		2,54
42	24	62		2,76
40	22	60		3,00
38	21	58		3,26
36	19	56		3,56
34	18	54		3,88
32	16	52		4,24
30	15	50		4,66
25	12	43		6,00
20	9	37		8,00
15	6	30		11,34
10	4	22		18,00
5	2	13		38,00
0	0	0		Infinito

Fonte: TUCCI (1993); YOUNG et al. (1994)

## ANEXO IV. – Coeficiente de Manning para canais e áreas cultivadas

	n
Canais dragados ou escavados - Natureza das paredes	
Concreto comum	0,013
Terra, reto, uniforme e limpo	0,022
Terra, reto, uniforme e limpo, mas com pequena vegetação e algas	0,027
Terra, tortuoso e lento, sem vegetação	0,025
Terra, tortuoso e lento, sem vegetação, mas com pequena vegetação e algas	0,030
Canais sem conservação, algas e alguma vegetação	0,080
Canais naturais	
Limpos e retos, sem fendas ou poço profundos	0,030
Limpos e tortuosos, alguns poços e bancos de areia	0,040
Limpos e tortuosos, algumas algas, pedras, e poços	0,048
Riachos lentos com algas e poços profundos	0,070
Cobertura e densidade da cobertura	
Plano, solo nú	
menor do que 1 polegada profundidade	0,030
1 - 2 polegadas profundidade	0,033
2 - 4 polegadas profundidade	0,038
4 - 6 polegadas profundidade	0,045
Talo de milho - (assumir uma taxa residual da palhada ficando no local)	
1 ton acre <sup>-1</sup>	0,050
2 ton acre <sup>-1</sup>	0,075
3 ton acre <sup>-1</sup>	0,100
4 ton acre <sup>-1</sup>	0,130
Palha de trigo - (assumir uma taxa residual da palhada ficando no local)	
1 ton acre <sup>-1</sup>	0,060
1,5 ton acre <sup>-1</sup>	0,100
2 ton acre <sup>-1</sup>	0,150
4 ton acre <sup>-1</sup>	0,250
Pastagens	
Esparsa	0,040
Pobre	0,050
Razoável	0,060
Boa	0,080
Excelente	0,130
Densa	0,200
Muito densa	0,300
Pequenos cereais (20% fase adulta maturidade - fluxo na linha)	
Pobres, 7 polegadas linha	0,130
Pobres, 14 polegadas linha	0,130
Boas, 7 polegadas linha	0,300
Boas, 14 polegadas linha	0,200
Florestas	0,100
Lagos ou várzeas	0,990

Fonte: YOUNG et al. (1994)

**ANEXO V. – Valores do parâmetro – Constante da Condição da Superfície – CCS**

Uso do solo	Manejo	Constante da condição superfície
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	0,22
Plantações regulares	Em curvas de nível	0,05
Plantações de cereais	Em curvas de nível	0,29
Pastagens	Pobres, em curvas de nível	0,01
	Normais, em curvas de nível	0,15
	Boas, em curvas de nível	0,22
Florestas	Densas, alta transpiração	0,29
	Normais	0,59
Mata ciliar		1,00
Água		0,00

Fonte : YOUNG et al. (1994)

**ANEXO VI. – Valores do parâmetro – Demanda Química de Oxigênio – DQO**

Uso do solo	Fator DQO (mg/l)
Água / lagos / rios	0,00
Chácaras e áreas residenciais	80,00
Florestas	65,00
Pastagens	60,00
Plantações de cereais	80,00
Plantações regulares	170,00
Solo lavrado	185,00

Fonte: YOUNG et al. (1994)

**ANEXO VII. – Fator disponibilidade de fertilização de acordo com os sistemas de manejo do solo na microbacia do rio Inhacanga, Altônia, Paraná**

Máquinas e equipamentos	Fator Disponibilidade (%)
Água / lagos / rios	0,00
Arado pesado	10,00
Grade	20,00
Disco	50,00
Escarificador	67,00
Limpeza de ervas	70,00
Pulverizador	85,00
Semeadora	85,00
Pousio	100,00

Fonte: YOUNG et al. (1994)

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)