

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ESTUDO HIDROLÓGICO E DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS  
EM UMA BACIA DO BIOMA CERRADO: BACIA DO CÓRREGO CAPÃO  
COMPRIDO**

**MICHELE MITIE ARAKE FRAGOSO**

**ORIENTADOR: SÉRGIO KOIDE  
CO-ORIENTADOR: NABIL JOSEPH EID**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E  
RECURSOS HÍDRICOS**

**PUBLICAÇÃO: PTARH.DM - 111  
BRASÍLIA/DF: MARÇO - 2008**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ESTUDO HIDROLÓGICO E DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS  
EM UMA BACIA DO BIOMA CERRADO: BACIA DO CÓRREGO CAPÃO  
COMPRIDO**

**MICHELE MITIE ARAKE FRAGOSO**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS.**

**APROVADA POR:**

---

**PROF. SÉRGIO KOIDE, PhD (ENC-UnB)  
(Orientador)**

---

**PROF. NABIL JOSEPH EID, DOUTOR (ENC-UnB)  
(Co-orientador)**

---

**PROF. NÉSTOR ALDO CAMPANA, DOUTOR (ENC-UnB)  
(Examinador Interno)**

---

**PROF. CARLOS DE OLIVEIRA GALVÃO, DOUTOR (UFCG)  
(Examinador Externo)**

**BRASÍLIA/DF, MARÇO DE 2008.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

FRAGOSO, MICHELE MITIE ARAKE

Estudo Hidrológico e de Transporte de Sedimento em uma Bacia do Bioma Cerrado:  
Bacia do Córrego Capão Comprido/Distrito Federal.

xviii, 102p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2007). Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. AGNPS

2. Produção de sedimento

3. Modelos matemáticos

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FRAGOSO, M. M. A. (2007). *Estudo Hidrológico e de Transporte de Sedimento em uma Bacia do Bioma Cerrado: Bacia do Córrego Capão Comprido/Distrito Federal*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-111, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 102p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Michele Mitie Arake Fragoso.

TÍTULO: Estudo Hidrológico e de Transporte de Sedimento em uma Bacia do Bioma Cerrado: Bacia do Córrego Capão Comprido/Distrito Federal.

GRAU: Mestre ANO: 2008

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Michele Mitie Arake Fragoso.  
mitieaf@gmail.com

*“Todos têm o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.*

***Artigo 225 da Constituição Brasileira de 1988.***

*À minha mãe,*  
**CÉLIA CAZUMI ARAKE**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me guiar até aqui com muita saúde, amor e perseverança.

Ao professor orientador Sérgio Koide e ao professor co-orientador Nabil Joseph Eid, pela inestimável colaboração, ensinamentos e exemplo de profissionais.

Aos meus pais, Célia e Antonio Fragoso, aos meus irmãos, Karol e Chaplin, pelo amor, incentivo e confiança.

À tia Rose e tio Massao (*in memoriam*), pela acolhida, carinho, incentivo e apoio em Brasília.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos da UnB, Marco Antônio Almeida de Souza, Ricardo Silveira Bernardes, Cristina Célia Silveira Brandão, Nestor Aldo Campana e Oscar de Moraes Cordeiro Netto por todos os ensinamentos ao longo do curso e à Universidade de Brasília, pela infra-estrutura fornecida.

Aos colegas de mestrado (Lygia, Carolina, Neusa, Alcione, Jennifer, Renan, Marco, Wilde, Gabriel), aos colegas doutorandos (Jorge, Ronaldo e Domingo), à equipe de apoio dos trabalhos de campo (Marcos Pufal e Júnior), aos funcionários do Laboratório de Análise de Águas (Roseli e “Boy”), ao amigo Marco Porto e à amiga Fernanda Pilati.

À comunidade da região de estudo, especialmente aos senhores Moacir, Sebastião, Ninomia e João, que gentilmente permitiram a instalação dos equipamentos de monitoramento da pesquisa em suas propriedades.

À EMATER pelas informações e mapas das chácaras da região de estudo.

Ao INMET, pelos dados meteorológicos.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro por meio da bolsa de mestrado.

## RESUMO

### **ESTUDO HIDROLÓGICO E DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM UMA BACIA DO BIOMA CERRADO: BACIA DO CÓRREGO CAPÃO COMPRIDO.**

**Autor: Michele Mitie Arake Fragoso**

**Orientador: Sérgio Koide**

**Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos**

**Brasília, Março de 2008.**

Para que o planejamento da gestão de recursos hídricos seja elaborado de forma adequada são necessários o conhecimento e a compreensão dos processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica. Dessa forma torna-se essencial adensar o monitoramento em pequenas áreas de modo a permitir a sua extensão para escalas maiores. Pesquisas com modelos de simulação desenvolvidas em bacias experimentais e representativas são muito importantes devido ao fato de que seus parâmetros podem, em princípio, ser considerados válidos para as regiões das quais estas bacias são representativas. Dentro desse contexto, o presente trabalho teve por objetivo realizar um estudo do comportamento hidrológico da bacia do Córrego Capão Comprido – DF, inserida no Bioma Cerrado, a partir do monitoramento quantitativo e qualitativo da água, do transporte de sedimentos e por meio da utilização do modelo matemático AGNPS para sua simulação. Avaliou-se o desempenho do AGNPS mediante um levantamento de dados utilizando-se um método simplificado, baseado em observações de campo. Os resultados mostraram que esse tipo de levantamento permitiu realizar avaliações qualitativas dos parâmetros estudados. Para que haja melhor compreensão do comportamento hidrológico da bacia, aplicando-se o modelo AGNPS, constatou-se ser de grande importância o levantamento mais detalhado dos parâmetros de entrada do modelo, especialmente aqueles relacionados às características do solo.

## ABSTRACT

### **HYDROLOGIC AND SEDIMENT TRANSPORT STUDY IN A SAVANNAH BIOME BASIN: CAPÃO COMPRIDO STREAM WATERSHED.**

**Author: Michele Mitie Arake Fragoso**

**Supervisor: Sérgio Koide**

**Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos  
Brasília, March of 2008.**

For the planning of the management of water resources will be adequately prepared are necessary knowledge and understanding of the processes of a water basin. Thus it becomes essential to intensify tracking in small areas to enable its extension to larger scales. Researches with simulation models developed in experimental and representative basins are very important due to its parameters can , in principle, be considered valid for the regions from which these basins are representative. In this context, this study aimed to undertake a study of the behaviour of the hydrological basin of the Stream Capão Comprido – DF, inserted in the Cerrado Biome, from the quantitative and qualitative monitoring of the water, the transport of sediment and through the use of AGNPS mathematical model for simulation. It was evaluated the performance of the AGNPS through a survey of data using a simplified method, based on observations of field. The results showed that this type of survey has brought qualitative assessments of the output parameters. Better understanding of the hydrological behaviour of the basin, according to the AGNPS model, it was observed being very important more detailed survey of input parameters of the model, especially those related to the characteristics of soil.



## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 - OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 - OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>4</b>
<b>3 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ..</b>	<b>5</b>
<b>3.1 - O CONCEITO DA POLUIÇÃO DIFUSA .....</b>	<b>5</b>
<b>3.3 – ESTUDOS SEDIMENTOLÓGICOS .....</b>	<b>7</b>
<b>3.4 - MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA .....</b>	<b>10</b>
<b>3.5 – MODELOS MATEMÁTICOS NO ESTUDO DE BACIAS .....</b>	<b>13</b>
<b>4 - DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>18</b>
<b>5 – METODOLOGIA .....</b>	<b>21</b>
<b>5.1 – DESCRIÇÃO DO MODELO AGNPS .....</b>	<b>22</b>
<b>NA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE REALIZADA POR YOUNG <i>ET AL.</i> (1987) PARA O MODELO     AGNPS AS VARIÁVEIS MAIS SIGNIFICANTES QUE AFETARAM A CARGA DE SEDIMENTO E     O SEDIMENTO ASSOCIADO À CARGA DE NUTRIENTES, EM ORDEM DESCENDENTE,     FORAM: DECLIVIDADE, ERODIBILIDADE DO SOLO (K), EROSIVIDADE DA CHUVA (EI),     NÚMERO DA CURVA SCS (CN) E FATOR COBERTURA VEGETAL (C) .....</b>	<b>27</b>
<b>5.2 - REDE DE MONITORAMENTO .....</b>	<b>27</b>
<b>5.2 - ANÁLISES DE LABORATÓRIO.....</b>	<b>30</b>
<b>5.2.1 - ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA.....</b>	<b>30</b>
<b>5.2.2 - ANÁLISE DE SEDIMENTO EM SUSPENSÃO .....</b>	<b>31</b>
<b>5.3 - TRATAMENTO DOS DADOS .....</b>	<b>31</b>
<b>5.3.1 - PRECIPITAÇÃO .....</b>	<b>31</b>
<b>5.3.2 – CURVA-CHAVE DA VAZÃO .....</b>	<b>32</b>
<b>5.3.3 - CURVA-CHAVE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO .....</b>	<b>34</b>
<b>5.5 – PREPARAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA PARA O MODELO AGNPS.</b>	<b>35</b>
<b>5.5.1 - NÚMERO DE CÉLULAS.....</b>	<b>36</b>
<b>5.5.2 - NÚMERO DA CÉLULA RECEPTORA .....</b>	<b>37</b>

5.5.3 - NÚMERO DA CURVA SCS.....	37
5.5.4 - DECLIVIDADE .....	38
5.5.5 - FATOR FORMA DA DECLIVIDADE .....	39
5.5.6 - COMPRIMENTO DA VERTENTE.....	40
5.5.7 - DECLIVIDADE DO CANAL.....	40
5.5.8 - COEFICIENTE DE RUGOSIDADE DE <i>MANNING</i> .....	40
5.5.9 - FATOR ERODIBILIDADE DO SOLO (K) .....	41
5.5.10 - FATOR USO E MANEJO DO SOLO (C) .....	42
5.5.11 - FATOR PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS (P).....	42
5.5.12 - CONSTANTE DA CONDIÇÃO DA SUPERFÍCIE.....	43
5.5.13 - ASPECTO.....	44
5.5.14 - TEXTURA DO SOLO .....	45
5.5.15 - NÍVEL DE FERTILIZAÇÃO .....	46
5.5.16 - FATOR DISPONIBILIDADE DE MATÉRIA ORGÂNICA .....	47
5.5.17 - FATOR DQO.....	48
5.6 – PREPARAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA PARA O MODELO ANNAGNPS .....	48
5.7 - EXECUÇÃO DO MODELO AGNPS E ANNAGNPS.....	54
<b>6 – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>56</b>
6.1 – RESULTADO DAS SIMULAÇÕES DO MODELO AGNPS 5.0 .....	56
6.2 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO DO MODELO ANNAGNPS.....	65
<b>7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>69</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>71</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CITADAS POR OUTROS AUTORES.....</b>	<b>80</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>81</b>
ANEXO A – HIETOGRAMA E HIDROGRAMA DOS 5 EVENTOS SIMULADOS NO AGNPS 5.0.....	82
ANEXO B – FOLHA PARA COLETA DE DADOS PARA CADA CÉLULA.....	85
ANEXO C – HIETOGRAMAS USADOS NO ANNAGNPS.....	86

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Atividades a serem desenvolvidas numa rede de monitoramento (Derísio, 2000).....	11
Tabela 3.2 – Modelos de simulação de qualidade da água.....	14
Tabela 5.1 – Dados de entrada do modelo AGNPS (Young <i>et al.</i> , 1987).....	22
Tabela 5.2 – Dados de saída do modelo AGNPS (Young <i>et al.</i> , 1987). ....	23
Tabela 5.3 – Aplicação do método de Thiessen. ....	32
Tabela 5.4 - Tipos de solos de acordo com o Número da Curva SCS (Young <i>et al.</i> , 1987). .....	38
Tabela 5.5 – Valores do parâmetro CN para bacias rurais (Tucci, 2004). ....	38
Tabela 5.6 – Coeficiente de Manning para áreas cultivadas (Young <i>et al.</i> , 1987). ....	41
Tabela 5.7 – Fator erodibilidade do solo (K) (Bloise <i>et al.</i> , 2001).....	42
Tabela 5.8 – Valores de C para as classes de uso da terra e cobertura vegetal natural da bacia do córrego Capão Comprido (Marin, 2001 e Silva, 2004).....	42
Tabela 5.9 – Valores de P para algumas práticas conservacionistas (Bertoni e Lombardi Neto, 1990). ....	43
Tabela 5.10 – Constante da Condição da Superfície baseada no uso do solo (Young <i>et al.</i> , 1987).....	43
Tabela 5.11 – Classificação da textura do solo e classe hidrológica segundo Young <i>et al.</i> (1987). ....	46
Tabela 5.12 – Determinação da textura do solo e respectiva classe hidrológica (Reatto <i>et al.</i> , 2003 e Young <i>et al.</i> , 1987). ....	46
Tabela 5.13 – Nível de fertilização (Young <i>et al.</i> , 1994).....	47
Tabela 5.14 – Fator disponibilidade de fertilização de acordo com as práticas agrícolas (Young <i>et al.</i> , 1987).....	47
Tabela 5.15 – Fator DQO para várias situações de uso do solo (Young <i>et al.</i> , 1987) .....	48
Tabela 6.1 – Valores de precipitação dos eventos utilizados no AGNPS .....	56

## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 – Localização da bacia do córrego Capão Comprido (Fernandes, 2005). .....	18
Figura 4.2 – Classificação dos tipos de solo da bacia do alto curso do Descoberto, a qual está inserida a área da bacia do córrego Capão Comprido (Reatto <i>et al.</i> , 2003). .....	19
Figura 4.3 - Classificação da imagem multiespectral do SPOT 5 com 10 m de resolução espacial (Fernandes, 2005). .....	20
Figura 5.1 – Localização das estações pluviométricas, linígrafos e estação meteorológica na bacia do Córrego Capão Comprido (Imagem Google Earth, 2006). .....	28
Figura 5.2 – Estação meteorológica Capão Comprido. ....	29
Figura 5.3 – Curva-chave de vazão líquida da bacia do córrego Capão Comprido válida para o período de abril/2004 a fevereiro/2007. ....	33
Figura 5.4 – Curva-chave de sedimentos em suspensão do córrego Capão Comprido (Bicalho, 2006). ....	34
Figura 5.5 – Resultado da divisão da bacia do Córrego Capão Comprido em células quadradas de 500 x 500m (sem escala). ....	37
Figura 5.6 – Exemplo das formas da declividade e o número de identificação dada a cada uma delas (Young <i>et al.</i> , 1987). ....	39
Figura 5.7– Superfície da bacia do Córrego Capão Comprido (sem escala). ....	40
Figura 5.8 – Aspecto: oito direções de fluxo (Young <i>et al.</i> , 1987). ....	44
Figura 5.9 – Direção do fluxo de cada célula da bacia. ....	44
Figura 5.10 – Triângulo de Classificação Granulométrica (Young <i>et al.</i> , 1987) .....	45
Figura 5.11 – Valores de temperatura máxima/mínima e média mensal do ano de 2004... ..	49
Figura 5.12 – Valores de temperatura máxima/mínima e média mensal do ano de 2005... ..	50
Figura 5.13 –Temperaturas de Ponto de Orvalho mensais média dos anos de 2004 e 2005. ....	50
Figura 6.1 – Relação entre o volume escoado estimado e volume escoado observado para cada evento. ....	57
Figura 6.2 – Relação entre as vazões de pico simuladas e as vazões de pico observadas... ..	57
Figura 6.3 – Relação entre as cargas de sedimento estimadas e cargas de sedimento observadas. ....	58
Figura 6.4 – Porcentagem de cada tipo de cobertura do solo para as duas malhas aplicadas à bacia. ....	58

Figura 6.5 – Produção de sedimento na bacia do Córrego Capão Comprido, malha 500 x 500m, evento do dia 29/03/2005. ....	59
Figura 6.6 – Teste de sensibilidade do fator Erodibilidade (K).....	60
Figura 6.7 – Teste de sensibilidade do fator Número da Curva SCS. ....	61
Figura 6.8 – Teste de sensibilidade do fator Uso e manejo do solo (C).....	61
Figura 6.9 – Teste de sensibilidade do fator Práticas Conservacionistas (P). ....	61
Figura 6.10 – Teste de sensibilidade do fator Coeficiente de <i>Manning</i> (n).....	62
Figura 6.11 – Teste de sensibilidade do Número da Curva SCS em relação à vazão. ....	62
Figura 6.12 – Teste de sensibilidade do Coeficiente de Manning (n) em relação à vazão..	63
Figura 6.13 – Teste de sensibilidade do Número da Curva SCS em relação e volume escoado. ....	63
Figura 6.14 – Valores do volume escoado de acordo com a condição de umidade do solo. ....	64
Figura 6.15 – Valores da vazão de pico de acordo com a condição de umidade do solo....	64
Figura 6.16 – Valores da carga de sedimento de acordo com a condição de umidade do solo. ....	65
Figura 6.17 – Comparação dos valores médios anuais de vazão de pico e volume total calculados pelo AnnAGNPS e valores observados. ....	66
Figura 6.18 – Hietograma observado e produção de sedimentos em suspensão calculada para o Córrego Capão Comprido para o ano de 2004. ....	67
Figura 6.19 – Hietograma observado e produção de sedimentos em suspensão calculada para o Córrego Capão Comprido para o ano de 2005. ....	67
Figura A.1 – Hietograma e hidrograma da seção Otacílio – dia 02/01/05. ....	82
Figura A.2 – Hietograma e hidrograma da seção Otacílio – dia 02/02/05. ....	82
Figura A.3 – Hietograma e hidrograma da seção Otacílio – dia 20/03/05. ....	83
Figura A.4 – Hietograma e hidrograma da seção Otacílio – dia 26/03/05. ....	83
Figura A.5 – Hietograma e hidrograma da seção Otacílio – dia 29/03/05. ....	84

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIATURAS

a e b.....	constantes da equação de Angstron determinadas em função da latitude
AGNPS.....	<i>Agricultural Nonpoint Source Pollution</i>
ANSWERS.....	<i>Areal Nonpoint Source Watershed Environmental Response Simulation</i>
APHA.....	<i>American Public Health Association</i>
ARCVIEW.....	Programa de Geoprocessamento
Ar cos.....	arco cosseno
ARS.....	<i>Agriculture Research Service</i>
$\bar{C}$ .....	Concentração da porção solúvel de nutrientes presente na superfície do solo durante o escoamento.
CAESB.....	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CEE/ODU.....	<i>Department of Civil and Environmental Engineering/Old Dominion University</i>
$C_f$ .....	fator de manejo do solo
CN.....	<i>Curve Number</i>
Cos.....	cosseno
CONAMA.....	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CREAMS.....	<i>Chemical, Runoff and Erosion Agricultural Management Systems</i>
$d_r$ .....	distância relativa da Terra em relação ao Sol
DBO.....	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO.....	Demanda Química de Oxigênio
E.....	pressão de vapor do ar
E.....	perda do solo
EI.....	<i>storm Energy-Intensity</i>
EMATER.....	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
EMBRAPA.....	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
$E_s$ .....	pressão de vapor na saturação
ETA.....	Estação de Tratamento de Água
$EXK_2^-$ .....	coeficiente de extração devido ao movimento do escoamento
Fator C.....	fator Cobertura do solo
Fator K.....	fator Erodibilidade do solo
Fator P.....	fator Práticas Culturais
$G_{sc}$ .....	constante solar igual a 0,0820 MJ/m <sup>2</sup> .min

HSPF.....	<i>Hydrologic Simulation Program</i>
J.....	dia juliano
$K_s$ .....	erodibilidade do solo
KINEROS2.....	<i>Kinematic Runoff and Erosion</i>
LAA.....	Laboratório de Análise de Água
$L_f$ .....	fator de comprimento de rampa
MNT.....	Modelo Numérico do Terreno
MPCA.....	<i>Minnesota Pollution Control Agency</i>
MUSLE.....	<i>Modified Universal Soil Loss Equatio</i>
$n$ .....	insolação diária
N.....	Nitrogênio
N.....	número diário possível de horas de brilho de sol
NRCS.....	<i>North Central Research Station</i>
P.....	Fósforo
$P_f$ .....	fator práticas conservacionistas
pH.....	Potencial Hidrogeniônico
PTARH.....	Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos
$Q_{ss}$ .....	carga de sedimento em suspensão
Q.....	vazão
$Q_0$ .....	radiação solar em uma superfície horizontal no topo da atmosfera
$Q_g$ .....	radiação solar global
QUAL2E.....	<i>Enhanced Stream Water Quality Model</i>
$R_A$ .....	radiação solar em uma superfície no topo da atmosfera
RF.....	escoamento superficial
RL.....	Precipitação
RH.....	umidade relativa
RO.....	escoamento total em milímetros
$RO^-$ .....	Concentração de nitrogênio ou fósforo no escoamento
$R_s$ .....	radiação solar
S.....	volume armazenado
$Sc$ .....	Cobertura do céu
SCS.....	<i>Soil Conservation Service</i>
$S_f$ .....	fator declividade

Sen.....	seno
SICAD.....	Sistema Cartográfico do Distrito Federal
SIG.....	Sistema de Informações Geográficas
SSF.....	fator de ajuste pela natureza côncava ou convexa da célula
SWAT.....	<i>Soil and Water Assesment Tool</i>
SWMM.....	<i>Storm Water Management Mode</i>
SWRC.....	<i>Southwest Watershed Research Center</i>
SWRRBWQ.....	<i>Simulator for Water Resources in Rural Basins – Water Quality</i>
Tan.....	tangente
$T_c$ .....	temperatura média
$T_d$ .....	temperatura de ponto de orvalho
TDML.....	<i>Total Daily Maximum Load</i>
UnB.....	Universidade de Brasília
USACE.....	<i>United States Army Corps of Engineers</i>
USDA.....	<i>United States Department of Agriculture</i>
USEPA.....	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
UHE.....	Usina Hidrelétrica
WASP5.....	<i>Water-quality Simulation Program</i>
WEPP.....	<i>Water Erosion Prediction Project</i>
WQRRS.....	<i>Water Quality for River and Reservoir System</i>
$x$ .....	cota
$\phi$ .....	latitude da estação
$\delta$ .....	declinação do sol
$\omega_s$ .....	ângulo horário do pôr-do-sol



## 1 – INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural indispensável à sobrevivência do homem, pois está diretamente relacionada à melhoria de suas condições econômicas, sociais e comunitárias. Além de estar ligada aos processos biológicos, como alimento, matéria-prima, irrigação de vegetais, a água também se faz essencial à navegação, à geração de energia elétrica, aos processos químicos industriais e construtivos e ao transporte de dejetos e resíduos em geral.

Dependendo do uso a que se destina o recurso hídrico (pesca, irrigação, uso industrial, geração de energia, etc.) diferentes características qualitativas da água são requeridas. Por outro lado, a fim de preservar os mananciais, uma qualidade mínima também é exigida por parte das políticas de conservação dos recursos hídricos. Entre as medidas de preservação pode-se citar os levantamentos sanitários sistemáticos, o zoneamento preventivo, o disciplinamento do uso do solo nas bacias hidrográficas, medidas de interceptação e tratamento das águas poluídas. Assim, a qualidade final da água em um rio será o reflexo das atividades desenvolvidas em toda a bacia, cada um dos usos do seu espaço físico, do clima e da litologia da região, da vegetação circundante e do ecossistema aquático (Porto *et al.*, 1991).

As águas superficiais possuem em sua constituição diversas impurezas, como por exemplo, íons de cálcio, magnésio, sódio, potássio, bicarbonatos, cloretos, sulfatos, nitratos, entre outros. Aparecem ainda compostos orgânicos oriundos da decomposição da matéria orgânica de origem animal e vegetal, além de incluir resíduos de áreas agrícolas e despejos de efluentes de origem doméstica e industrial. Além da poluição causada por essas atividades, há ainda as questões relativas à disputa pelo uso dos mananciais.

Muitas vezes os problemas de poluição e conflitos no uso dos recursos hídricos não se limitam a um município ou país, por isso há a necessidade de se desenvolver programas de gerenciamento em nível de bacias hidrográficas.

Para que o planejamento da gestão de recursos hídricos seja elaborado de forma adequada são necessários o conhecimento e a compreensão dos processos hidrológicos de uma bacia

hidrográfica. Dessa forma torna-se essencial adensar o monitoramento em pequenas áreas de modo a permitir a sua extensão para escalas maiores. Assim, pesquisas com modelos de simulação desenvolvidas em bacias experimentais e representativas são muito importantes devido ao fato de que seus parâmetros podem, em princípio, ser considerados válidos para as regiões das quais estas bacias são representativas. As bacias representativas são definidas como aquelas que possuem características semelhantes, do ponto de vista hidrológico, de certa região. Já bacia experimental define-se como aquela onde o solo e a vegetação são relativamente homogêneos e as características físicas uniformes. De acordo com Srinivasan (1991) a implantação de bacias experimentais e representativas foi difundida em todo o mundo a partir da década hidrológica internacional, entre 1965/1975.

O monitoramento de uma bacia permite o levantamento sistemático de dados em pontos de amostragem selecionados, de modo a acompanhar a evolução dos quantitativos e das condições de qualidade da água ao longo do tempo, fornecendo séries temporais de dados. Além disso, um programa de monitoramento da qualidade da água é essencial para fornecer informações que permitam avaliar as condições dos mananciais e auxiliem na tomada de decisão com relação ao gerenciamento, solucionando problemas, como por exemplo, de conflitos entre os usos da água.

Além dos monitoramentos da quantidade e da qualidade da água, é essencial o estudo do transporte de sedimentos da bacia. Os sedimentos são fundamentais no que tange à conservação, desenvolvimento e utilização do solo e dos recursos hídricos. A concentração de sedimentos na água pode comprometer a possibilidade para o consumo humano e industrial, além de prejudicar a vida aquática e a infra-estrutura de hidroelétricas, e servir como catalisadores e fixadores de outros agentes de poluição.

A modelagem hidrológica tem por finalidade a representação simplificada da realidade, auxiliando no entendimento dos processos que a envolvem. Apesar disso, é impossível ou inviável traduzir todas as relações existentes entre os diferentes componentes da bacia hidrográfica em termos matemáticos. Em virtude disso, apenas uma parte do processo que envolve essas relações é conhecida, resultando em modelos que representam uma aproximação da realidade. Esses modelos estão sendo cada vez mais utilizados em estudos na área ambiental, pois colaboram para a compreensão dos impactos das mudanças provocadas pelo manejo do solo, e prevêm possíveis alterações que poderão vir a ocorrer

nos ecossistemas Os modelos podem, ainda, ser classificados de acordo com diferentes aspectos, como tipo de variáveis utilizadas na modelagem (estocásticos ou determinísticos), tipo de relação entre essas variáveis (empíricos ou conceituais), forma de representação dos dados (discretos ou contínuos), existência ou não de relações espaciais (pontuais ou distribuídos), e existência de dependência temporal (estáticos ou dinâmicos) (Rennó e Soares, 2000).

A maior dificuldade em se aplicar a modelagem é a necessidade de uma grande quantidade de dados requerida pelos programas. Em virtude disso, mostra-se essencial o estudo de modelos simples, que possam se basear em observações de campo, porém, sem a necessidade de muitos dados hidrológicos para se estimar variáveis e parâmetros de qualidade da água. No estudo de bacias experimentais torna-se ainda importante realizar tais estudos por eventos de precipitação/cheia.

Considerando a importância do que foi exposto sobre o estudo de bacias hidrográficas, este trabalho realizou um estudo hidrológico e de transporte de sedimentos numa bacia experimental/representativa, localizada na região do Distrito Federal, por meio da criação de uma base de dados e de modelagem matemática, para, dessa forma, fornecer subsídios para uma melhor compreensão do comportamento hidrológico das bacias da região.

O presente trabalho foi desenvolvido com base no estudo de caso da bacia do Córrego Capão Comprido, o qual encontra-se inserido no projeto “Estudo dos processos hidrológicos em áreas de cerrado com base em monitoramento de duas bacias experimentais e representativas no DF” – Rede Hidrocer. Tal projeto visa ampliar o conhecimento sobre o comportamento hidrológico do Bioma Cerrado a partir do monitoramento quantitativo da água nas diversas partes do ciclo hidrológico e do monitoramento da qualidade da água e do transporte de sedimentos.

## **2 - OBJETIVOS**

### **2.1 - OBJETIVO GERAL**

O objetivo principal deste trabalho é a realização de um estudo sobre o comportamento hidrológico da bacia do Córrego Capão Comprido - DF, a partir do monitoramento quantitativo e qualitativo da água, do transporte de sedimentos e por meio da utilização de um modelo matemático para a simulação do comportamento hidrológico e de sedimentos.

### **2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Obter dados hidrológicos de qualidade da água e sedimentométricos da bacia do córrego Capão Comprido;
- Verificar a potencialidade do uso do modelo AGNPS para a bacia do córrego Capão Comprido, que está inserida na região do Bioma Cerrado, de maneira a dotar os instrumentos de gestão dos recursos hídricos de ferramentas mais confiáveis e realistas em termos de previsão e avaliação quantitativa;
- Avaliar o comportamento do modelo AGNPS mediante um levantamento de dados utilizando-se um método simplificado, baseado em observações de campo e dados encontrados na literatura.

### **3 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 - O CONCEITO DA POLUIÇÃO DIFUSA**

Até os anos cinquenta, a produção agrícola mundial era formada principalmente por pequenas propriedades familiares, caracterizada pela utilização de fertilizantes orgânicos no solo e seus resíduos eram assimilados essencialmente pelo solo e pelos corpos d'água receptores. Após esse período, observou-se uma mudança na agricultura, que passou a ser caracterizada pela monocultura em grandes propriedades, produção agrícola intensiva e aplicação de grandes quantidades de defensivos agrícolas e fertilizantes químicos. Além disso, as mudanças na forma de manejo agrícola provocaram um aumento da erosão e perda do solo. Em consequência desses fatores as águas superficiais e subterrâneas tornaram-se cada vez mais vulneráveis à poluição difusa, inclusive proveniente do manejo de animais não confinados (Mansor, 2005).

A partir da década de cinquenta, sobretudo em países desenvolvidos, áreas nativas sofreram intenso desmatamento com a finalidade de convertê-las em áreas agrícolas ou de ocupação humana. Além disso, iniciou-se uma migração intensa da população rural para as cidades, pois o novo modelo de produção no campo tornou a agricultura familiar inviável. Essa conversão de uso do solo, de vegetação nativa para agricultura, gerou degradação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas no meio rural (Novotny, 1999).

O desmatamento seguido da conversão de terras desmatadas à agricultura e a erosão de áreas agrícolas são os principais problemas de poluição difusa em países tropicais e semitropicais em desenvolvimento. A conversão de uso do solo pode aumentar em grande escala a produção de sedimentos em bacias hidrográficas e também pode acarretar em modificações na composição química do solo, que podem levar à perda significativa de substâncias estocadas, como por exemplo, a nitrificação de nitrogênio orgânico do solo, com conseqüente liberação de nitrato para as águas subterrâneas (Novotny e Olem, 1993 *apud* Mansor, 2005).

Define-se como poluição difusa os poluentes que chegam aos corpos d'água distribuídos ao longo de parte da sua extensão. Um exemplo é a poluição veiculada pela drenagem pluvial, a qual é descarregada no corpo d'água de uma forma distribuída, e não

concentrada em um único ponto. Já na poluição pontual, os poluentes atingem o corpo hídrico de forma concentrada no espaço, como por exemplo, a descarga de um emissário transportando os esgotos de uma comunidade.

De acordo com Thomann e Mueller (1987), as principais fontes não pontuais de poluição são: agricultura, silvicultura, atmosfera, escoamento urbano e águas subterrâneas. Em cada caso não é possível relacionar a descarga a um local específico bem definido. A poluição difusa pode entrar em um dado rio ou lago via escoamento superficial como no caso da agricultura ou através da superfície do terreno, ou ainda através da água devido à fonte atmosférica. O escoamento urbano pode entrar no corpo d'água através de um grande número de conduto de drenagem menores, não especificamente com o propósito de carrear os resíduos, mas para carrear o escoamento das chuvas. Outras fontes não pontuais incluem poluição devido à infiltração subterrânea, drenagem de minas abandonadas, atividades da construção, lixiviação de áreas de deposição de resíduos sólidos, etc.

A ocupação e o manejo do solo, os quais estão associados às interações solo-água-nutriente e às condições climáticas, topográficas, pedológicas e geológicas locais, estão intimamente ligados à magnitude das contribuições de fontes difusas de nutrientes em uma bacia hidrográfica de ocupação agrícola (Rossi Pisa *et al.*, 1999).

As atividades agrícolas são consideradas como fontes de poluição difusa, já que o aporte de cargas efluentes se dá de forma distribuída ao longo da bacia, em função da técnica de manejo utilizada, da ocorrência de escoamento superficial e lixiviação. O escoamento superficial é responsável pelo arraste do material sólido erodido e material dissolvido até a rede de drenagem. A quantidade desse material arrastado é função da sua disponibilidade no solo, o que complica o monitoramento e conseqüentemente dificulta a quantificação das cargas difusas em bacias rurais. A determinação das cargas difusas é um fator essencial para o planejamento e gestão dos recursos hídricos nas bacias rurais (Reis *et al.*, 2005).

Embora muitos programas de estudo e redução de cargas difusas já existam há muito tempo em países como os Estados Unidos, a realidade no Brasil é de pouca discussão sobre o assunto (Dalcanale e Porto, 2001). Devido à predominância da poluição orgânica nos rios brasileiros, pouca atenção tem sido dada às cargas difusas. Sendo assim, poucos são os

estudos relacionados com esse assunto e menos ainda os que tentam quantificar essas cargas (Masini e Porto, 2001).

De acordo com Bhuyan *et al.* (2003), a poluição de fonte não-pontual é um importante problema ambiental e de gerenciamento da qualidade da água. Tentativas de proteção da bacia são uma estratégia essencial, que permite a restauração dos ecossistemas aquáticos e a proteção da saúde humana.

Eiger *et al.* (1999) afirmaram que as cargas difusas dependem significativamente de fatores locais, cujos efeitos nem sempre podem ser descritos por critérios racionais e gerais, que permitam ser extrapolados de uma região para outra. Exigem, portanto, monitoramento específico em cada área de estudo. Entre os estudos desenvolvidos no Brasil visando à determinação e quantificação das cargas difusas que aportam em uma bacia hidrográfica, pode-se citar: Giansante (2005), Eiger *et al.* (1999), Dalcanale e Porto (2001), Silva (2003) e Masini e Porto (2001).

### **3.3 – ESTUDOS SEDIMENTOLÓGICOS**

A erosão e o transporte de sedimentos nos cursos d'água e assoreamento de rios e reservatórios têm causado vários danos ambientais e econômicos, inclusive a diminuição da vida útil de aproveitamento de recursos hídricos, tornando indispensável a realização de estudos sedimentológicos (Carvalho *et al.*, 2005). Para Lane *et al.* (1997) a determinação da erosão do solo e transporte e deposição das cargas de sedimentos refletem as características de uma bacia, sua história, desenvolvimento, usos e gerenciamento.

De acordo com Bordas e Semmelmann (2004), a gestão integrada dos recursos hídricos, os riscos de degradação dos solos, dos leitos dos rios e dos ecossistemas fluviais e estuarinos, ou de contaminação dos sedimentos por produtos químicos, levaram a considerar importante e a dar maior atenção aos danos que podem resultar das alterações do ciclo hidrossedimentológico natural.

Araújo (2003) realizou um monitoramento sedimentológico na sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande, principal fornecedor de água de abastecimento público de Palmas-TO. Foram analisadas amostras de água e mensuradas as vazões em 7 pontos de amostragem, sendo que as cargas de sedimentos foram determinadas utilizando-se o método indireto com coletas de frequência mensal. Os resultados permitiram dizer que a produção de sedimentos foi crescente das nascentes até a confluência do ribeirão com o lago da UHE de Lajeado.

O sedimento é essencial no que diz respeito à conservação, desenvolvimento e utilização do solo e dos recursos hídricos. No entanto, ele também é visto como um catalisador e agente fixador para outros poluentes, como produtos químicos e lixiviados, que são assimilados pelas partículas de sedimento potencializando os problemas provocados por pesticidas, resíduos tóxicos, nutrientes, bactérias patogênicas, etc. (Carvalho *et al.*, 2000).

Os sedimentos são os resultados do transporte e deposição de partículas sólidas provenientes dos processos de erosão e sedimentação. As atividades humanas possuem grande influência na erosão, podendo atingir taxas de interferência 100 vezes maiores se comparada em termos geológicos. O tratamento inadequado do solo seja por meio de práticas agrícolas que enfraquecem o solo, bem como pelo uso em obras de engenharia, como construção de rodovias, por exemplo, que retiram a cobertura vegetal de proteção e alteram a declividade natural sem os devidos cuidados, interferem fortemente na erodibilidade natural do solo. Tudo isso implica na produção de sedimento de forma prejudicial e provoca sérios problemas ao meio, como por exemplo, a redução da fertilidade do solo e erosões severas (Carvalho *et al.*, 2000). Atualmente grande quantidade de pesticidas e fertilizantes utilizados pela agricultura é adsorvida pelo solo e sedimentos e transportados para recursos hídricos de abastecimento causando a poluição da água e aumentando o risco à saúde humana e dos ecossistemas aquáticos (Bhuyan *et al.*, 2002).

Devido ao tipo de solo, cobertura vegetal, relevo, clima, entre outros fatores, a produção de sedimento é muito variável em uma bacia hidrográfica, das partes mais elevadas às planícies. De maneira geral, as porções mais altas de uma bacia hidrográfica apresentam maior erosão e transporte de sedimentos. A erosão vai diminuindo da alta para a média bacia à medida que as declividades decrescem e as chuvas se tornam menos intensas, fora



das regiões montanhosas. Já na parte baixa da bacia há muita formação de colúvios, ou seja, a maior parte dos sedimentos erodidos se distribui pelos terrenos. Observa-se então que a degradação dos solos predomina na parte baixa (Carvalho, 1994).

De acordo com Carvalho (1994), em se tratando do transporte de sedimentos do rio principal, a carga em suspensão é predominantemente maior que a de fundo (90% a 95%) no alto curso, e a carga de fundo vai crescendo à medida que a erosão da bacia vai diminuindo e a declividade do curso d'água também (65% a 90% de sedimentos em suspensão). Já a concentração de sedimentos ao longo da seção transversal varia em função da velocidade do fluxo, da disponibilidade de sedimentos e da sua granulometria. As velocidades diminuem do centro em direção às margens, assim como as concentrações de sedimentos. Isso ocorre devido à maior energia disponível para manter os sedimentos em suspensão, e desse modo, sua concentração elevada.

No estudo realizado por Bicalho (2006) em uma seção na bacia do córrego Capão Comprido-DF, observou-se que as velocidades aumentavam da esquerda para a direita e não coincidiam com a distribuição das concentrações nas verticais. A vertical onde foram registradas as maiores velocidades foi a vertical de menor concentração média. Segundo a autora isso poderia estar relacionado à granulometria do sedimento, a imprecisões do método utilizado, tanto na amostragem quanto no laboratório, porém não houve dados suficientes para esclarecer o fato. Além disso, a bacia do córrego Capão Comprido apresentou produção de sedimento muito maior do que outras bacias com características semelhantes, como o Chapadinha-DF, apresentando descarga de sedimentos em suspensão específica de 26,64 t/km<sup>2</sup> ano.

Segundo Bordas e Semmelmann (2004), com o advento da simulação matemática, do sensoriamento remoto e de Sistemas de Informações Geográficas muito se avançou na determinação da produção de sedimentos de uma bacia. Uma fórmula relativamente simples para expressar a produção de sedimentos associada às chuvas isoladas que caem sobre uma pequena bacia, muito usada atualmente, é a Equação Modificada de Perdas de Solo (MUSLE) desenvolvida por Williams e Berndt (1972).

Entre os modelos conceituais distribuídos que simulam os vários processos sedimentológicos, Benetti e Bidone (2004) citam o modelo CREAMS (Knisel *et al.*, 1980) e o modelo ANSWERS (Beasley *et al.*, 1980). Outros estudos utilizam também os modelos WEPP (USDA,1987) e KINEROS (Woolhiser *et al.*, 1990).

### **3.4 - MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA**

Devido às suas propriedades de solvente e à sua capacidade de transportar partículas, a água incorpora a si diversas impurezas, as quais definem a qualidade da água. De forma geral, a qualidade de uma determinada água é função das condições naturais e do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica. Mesmo na condição em que a bacia hidrográfica esteja totalmente preservada em suas condições naturais há a incorporação de sólidos em suspensão (como partículas de solo, por exemplo) ou dissolvidos (como íons oriundos da dissolução de rochas). Isso ocorre devido ao contato da água em escoamento ou infiltração com as partículas, substâncias e impurezas no solo. Já a interferência dos seres humanos, seja na geração de despejos domésticos e industriais ou na aplicação de defensivos agrícolas no solo, também contribui na introdução de compostos na água, alterando a sua qualidade (von Sperling, 2005).

De acordo com Sanders (1983) *apud* Soares (2001), o monitoramento da qualidade da água consiste no esforço em obter informações quantitativas das características físicas, químicas e biológicas da água por meio de amostragem estatística.

A rede de monitoramento é um conjunto de estações de amostragem, planejadamente localizadas na área de uma bacia hidrográfica, com a finalidade de representar com boa aproximação as condições subsistentes e as tendências de evolução de qualidade da água (Derisio, 2000).

De acordo com o mesmo autor, as atividades de monitoramento podem ser divididas em dois grandes grupos: o de aquisição de dados, que abrange as atividades operacionais de monitoramento, e o da utilização dos dados. A Tabela 3.1 resume, de forma global, as atividades desenvolvidas no monitoramento da qualidade da água, uma vez determinados os objetivos da sua execução.

O tipo de informação a ser levantada depende do objetivo da rede de monitoramento, entre os quais podem-se destacar (Lima, 2004):

- Identificação de padrões de qualidade da água em áreas em que os mesmos são desconhecidos;
- Determinação de fontes e cargas de poluentes;
- Avaliação da efetividade de programas de recuperação da qualidade da água em rios;
- Acompanhamento dos níveis de poluentes em determinado corpo hídrico.

Tabela 3.1 – Atividades a serem desenvolvidas numa rede de monitoramento (Derísio, 2000)

<b>Atividades básicas</b>	<b>Detalhamento</b>
Definição da rede	Localização das estações de amostragem Escolha dos parâmetros Fixação da frequência de amostragem
Coleta das amostras	Técnica de amostragem Medidas de campo Local da coleta Preservação da amostra Transporte da amostra Controle de qualidade dos dados
Análises de laboratório	Métodos de análise Procedimentos operacionais Controle de qualidade analítica Registro de dados
Processamento dos dados	Recebimento dos dados de laboratório e de campo Triagem e verificação dos dados Armazenamento e recuperação dos dados Listagem dos dados Disseminação dos dados
Análise dos dados	Resumo de estatística básica Análises de regressão Interpretação e avaliação da qualidade Análise das séries temporais Aplicação do índice de Qualidade Aplicação de modelos de qualidade
Utilização da informação	Verificação da necessidade de informação Forma de apresentação Procedimentos operacionais Avaliação da utilização

Historicamente, a medição da qualidade da água é recente. Ela se deu a partir da conscientização de que os recursos hídricos são bens esgotáveis e podem veicular inúmeras doenças inviabilizando uma série de usos.

Um sistema de monitoramento é determinado em função das metas propostas, dos objetivos e hipóteses consideradas, e consiste basicamente em amostragem (localização dos pontos de coleta, escolha das variáveis, determinação da frequência), análise laboratorial e avaliação da qualidade dos dados (Lima, 2004).

Juntamente com as amostras também devem ser coletadas informações hidrológicas de vazão, nível de água e velocidades de modo a possibilitar a estimativa de cargas, balanço de massas e entradas para modelos de qualidade de água (Benetti e Bidone, 2004).

Qualquer sistema de gestão de águas de sucesso requer um adequado monitoramento, que permita a atualização de banco de dados, acompanhamento das medições efetivadas e direcionamento das decisões (Magalhães Jr, 2000).

A seguir são citadas algumas experiências brasileiras no estudo da qualidade da água.

Silva *et al.* (1999) realizou o levantamento de uso do solo e análise da qualidade da água a fim de caracterizar a bacia do rio Monjolinho, localizada em São Carlos (SP). O intuito do estudo foi buscar a elaboração de diretrizes no sentido de contribuir para o manejo dessa bacia, que apresenta sérios problemas de degradação provocados pela intensa ocupação humana.

Na bacia do Rio Cabuçu de Baixo, localizada em São Paulo, Masini e Porto (2001) estudaram e quantificaram as cargas difusas de origem urbana. Foram monitoradas diversas variáveis de qualidade em tempo seco e de episódio de chuva, onde se conseguiu identificar a carga de lavagem.

Silveira *et al.* (2003) realizaram um estudo sobre os aportes de cargas poluidoras oriundas do ambiente externo e das cargas provenientes diretamente do Campus da Universidade de Santa Maria (RS) a partir da utilização do instrumento de gestão o monitoramento dos recursos hídricos. O Campus localiza-se na porção intermediária de uma pequena bacia

hidrográfica que define uma das nascentes do rio Vacacaí-Mirim. Além disso, fez um diagnóstico sobre a atual situação da bacia perante os critérios de enquadramento dos corpos d'água superficiais.

Na bacia hidrográfica do Rio do Peixe, SP, foi realizada uma avaliação das cargas de esgotos pontuais e cargas difusas de fósforo total, nitrogênio total e material em suspensão total empregando-se dados mensais observados, sendo estes correlacionados com medições de vazões simultâneas. O trabalho ressalta a importância de se considerar a simulação de cargas para preenchimento de falhas nos dados de qualidade da água com relação à estimativa das cargas consideradas (Eiger *et al.*, 1999).

De acordo com Bollmann e Freire (2003) o levantamento do aporte de macronutrientes (DBO, DQO, N e P) afluentes ao Reservatório do Irai, a partir de seus tributários principais, foi de fundamental importância pois seus resultados serviram para subsidiar ações estruturais e não-estruturais de controle de eutrofização do manancial.

### **3.5 – MODELOS MATEMÁTICOS NO ESTUDO DE BACIAS**

De acordo com Barth *et al.* (1987, *apud* Moro, 2005), modelo é uma representação do comportamento de um sistema natural possível de ser expresso através de equações matemáticas e que se pode facilmente modificar a sua lógica, de modo a obter resultados de diferentes situações de um mesmo sistema ou de diferentes sistemas.

De acordo com Novotny (1999), os modelos de simulação podem ser classificados em cinco níveis:

- I. Procedimentos estatísticos simples sem interação com processos físicos e químicos;
- II. Procedimentos simplificados com alguma interação com processos físico-químicos;
- III. Modelos determinísticos simplificados, contínuos ou orientados para eventos;
- IV. Modelos sofisticados de eventos;
- V. Modelos contínuos sofisticados.

Cada vez mais, o controle de ecossistemas torna-se mais caro e um erro de análise pode acarretar muitos prejuízos ao meio ambiente, gerando altos custos para a correção de falhas. A utilização de modelos matemáticos permite uma análise mais ampla, eficiente e que auxilie na tomada de decisões. A capacidade de prognóstico pode orientar programas de gerenciamento, além de dar condições para o desenvolvimento de novas estratégias adequadas à resolução do problema (Silva, 2003).

De acordo com He (2003) e Bhuyan *et al.* (2003), modelos de simulação são ferramentas úteis para a análise dos processos das bacias hidrográficas e suas interações, principalmente em relação à qualidade da água. Para Rennó e Soares (2000), um mesmo processo pode ser representado de diferentes maneiras, sendo algumas mais apropriadas para determinados casos. Desse modo, não existe um modelo único que seja o melhor e sim pode existir aquele que melhor descreve um determinado fenômeno.

Existem vários modelos de qualidade da água disponíveis, tanto modelos de domínio público quanto comerciais, porém, para que um modelo seja bem difundido entre os usuários não basta uma base teórica e simplificações plausíveis, mas também uma interface de fácil entrada de dados e de fácil interpretação de resultados (Ribeiro, 2001).

A Tabela 3.2 apresenta alguns modelos de simulação de qualidade da água disponíveis.

Tabela 3.2 – Modelos de simulação de qualidade da água

<b>Modelo</b>	<b>Autor</b>	<b>Ano</b>	<b>Fonte</b>
HSPF - <i>Hydrologic Simulation Program</i>	Bicknell <i>et al.</i>	1993	EPA-Athens
WQRRS - <i>Water Quality for River and Reservoir System</i>	USACE	1978	COE-HEC
QUAL2E - <i>Enhanced Stream Water Quality Model</i>	Brown e Barnwell	1987	EPA
SWMM - <i>Storm Water Management Mode</i>	Huber e Dickinson	1988	USEPA
AGNPS - <i>Agricultural NonPoint Source Pollution Modeling System</i>	Young <i>et al.</i>	1989	USDA
WASP5 - <i>Water-quality Simulation Program</i>	Ambrose <i>et al.</i>	1993	Hydroscience
SWAT - <i>Soil and Water Assessment Tool</i>	Arnold <i>et al.</i>	1998	USDA-ARS

O modelo AGNPS (*Agricultural Nonpoint Source Pollution*) foi desenvolvido pelo U.S. Department of Agriculture em cooperação com a Minnesota Pollution Control Agency (MPCA) e com o Soil Conservation Service para a análise de bacias agrícolas. Tem por objetivos obter estimativas uniformes e acuradas da qualidade do escoamento dando ênfase

principalmente aos sedimentos e nutrientes, comparar os efeitos de várias alternativas de conservação na implementação como parte das práticas de gerenciamento da bacia e desenvolver um modelo flexível e de fácil utilização (Young *et al.*, 1987). De acordo com Yoon (1996), o AGNPS é um modelo que simula o escoamento e o transporte de sedimentos e poluentes em bacias agrícolas em um dado evento de chuva.

Esse modelo foi testado em várias bacias hidrográficas dos Estados Unidos obtendo simulações hidrológicas e de transporte de sedimentos com bons resultados, sendo esses realistas em relação ao transporte de substâncias químicas (Young *et al.*, 1989).

De acordo com Silva (2003) o AGNPS é similar ao modelo ANSWERS quando se trata da subdivisão da bacia em células, porém os processos simulados em cada célula alimentam as células adjacentes. Dalcanale e Porto (2001) utilizaram o modelo AGNPS para simular a contribuição das áreas rurais da bacia do Rio Ariranha (Santa Catarina) para as cargas de fósforo e sedimentos que são transportados pelo corpo d'água, após um evento de chuva.

Yoon (1996) desenvolveu métodos para vincular diretamente o modelo de parâmetros distribuídos AGNPS com um Sistema de Informação Geográfica (SIG) e um sistema de gerenciamento de banco de dados relacional. Além disso, realizou um estudo de caso na sub-bacia do rio Sand Hill, em Minnessota, implementando o sistema AGNPS-SIG associado a diferentes práticas de manejo do solo. Os resultados mostraram que a melhor prática de manejo reduziu em 26% os níveis de poluição não pontual e em 50% as cargas de sedimento.

No estudo realizado por Souto e Crestana (2000), estimou-se a produção de sedimentos através de simulações para diferentes manejos do solo. Além disso, determinaram-se as áreas potenciais de poluição de cargas não pontuais e avaliaram-se técnicas conservacionistas no uso do solo.

O modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) foi desenvolvido para estudar a relação entre o manejo da bacia hidrográfica sobre a água e a produção de sedimentos e substâncias químicas de origem agrícola em bacias hidrográficas de grande porte. Além disso, simula a variação do uso do solo e da qualidade da água, avalia a poluição pontual e distribuída e apresenta flexibilidade na divisão da bacia hidrográfica (Garrido, 2003). Esse

modelo foi desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos – Serviço de Pesquisa na Agricultura (USDA – ARS) para simular processos de cenários em tempo contínuo e escoamento fluvial com um nível alto de detalhe espacial permitindo que a bacia seja dividida em sub-bacias, sendo que cada uma delas é sub-dividida em vários usos do solo e combinações chamadas Unidades de Resposta Hidrológica baseadas no princípio das percentagens usadas para selecionar o uso e tipo de solo (Santhi *et al.*, 2006). Sua estrutura é voltada para bacias hidrográficas complexas, que apresentam vários usos e ocupação do solo, e para simulações contínuas de longo período. Em função disso, o modelo requer informações específicas como propriedade do solo, topografia, vegetação, manejos da bacia, dados meteorológicos, entre outros (Silva, 2003).

Machado e Vettorazzi (2003) simularam a carga de sedimento produzida pela microbacia do Ribeirão dos Marins, em Piracicaba, SP, utilizando o modelo SWAT. Como o modelo requer a entrada de dados na forma espacializada, isso foi feito com o emprego de uma interface entre o modelo e o Sistema de Informações Geográficas (SIG'S). Os resultados obtidos demonstraram um bom ajuste dos dados simulados comparados aos dados observados.

O estudo desenvolvido por Mateus *et al.* (2004) utilizou o modelo CE-QUAL-W2 V3.2 para a identificação das causas da sensibilidade e/ou vulnerabilidade do reservatório do Pocinho, em Portugal, com base no critério de eutrofização. No entanto, para obter simulações condizentes com a realidade da qualidade da água foi necessária uma avaliação mais detalhada das cargas poluentes afluentes em nível de bacia hidrográfica utilizando o modelo SWAT. O trabalho descreve também as vantagens de modelação para a implementação de novas normas na gestão da água e a importância da modelação integrada de sistemas interdependentes de bacias.

O modelo QUAL2E, desenvolvido por Brown e Barnwell (1987), é um modelo de simulação da qualidade da água e é capaz de simular mais de 15 parâmetros de qualidade da água. Ele utiliza uma solução de diferenças finitas para as equações de transporte de massa advectivo e dispersivo e também tem a capacidade de realizar análises de sensibilidade (McAvoy *et al.*, 2003).

Ribeiro (2001) estudou o grau de poluição e alteração dos rios e avaliou a capacidade de autodepuração nos rios Melchior e Descoberto (DF/GO), utilizando os modelos



matemáticos de simulação da qualidade da água WQRRS e QUAL2E – UNCAS. Os resultados das simulações mostraram que o rio Melchior possui alta capacidade de depuração e altos coeficientes de reaeração. Verificou-se também a necessidade de remoção de nutrientes nessa bacia, pois as cargas obtidas mostraram-se preocupantes do ponto de vista da eutrofização do reservatório de Corumbá IV.

Já na bacia do Rio Ibicuí, Gastaldini *et al.* (2002) aplicaram o modelo QUAL2E para auxiliar na realização do diagnóstico atual da qualidade da água da bacia utilizando os parâmetros OD, DBO e coliformes fecais, e estudar a variação da qualidade da água para um horizonte de 10 anos.

O modelo *Simulator for Water Resources in Rural Basins – Water Quality* (SWRRBWQ) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) foi desenvolvido originalmente pelo *Agriculture Research Service* (ARS) e pelo *Texas Agricultural Experimental Station*. O modelo é um simulador das componentes hidrológicas, da sedimentação e do transporte de nutrientes e pesticidas em bacias rurais grandes e complexas. Além disso, opera em uma escala de tempo contínua e permite a subdivisão de bacias para considerar as diferenças nos solos, uso, ocupação e precipitação (CEE/ODU, 2006).

O modelo *Water Analysis Simulation Program* (WASP) realiza simulação dinâmica da qualidade da água em corpos d'água complexos, como estuários e lagos. Variáveis estudadas utilizando a estrutura WASP incluem a demanda bioquímica de oxigênio e oxigênio dissolvido, dinâmica dos nutrientes e eutrofização, contaminação bacteriológica e contaminação por metais pesados e química orgânica (CEE/ODU, 2006).

#### 4 - DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia experimental do córrego Capão Comprido é uma sub-bacia que compõe a bacia do rio Descoberto, possui uma área aproximada de 16,4 km<sup>2</sup> e está localizada na porção ocidental do Distrito Federal (Figura 4.1). Situada entre as coordenadas 15° 43' 42" a 15° 45' 41" latitude sul e 48° 10' 07" a 48° 06' 13" longitude oeste de Greenwich, possui cotas altimétricas variando de 1030 a 1270 metros.

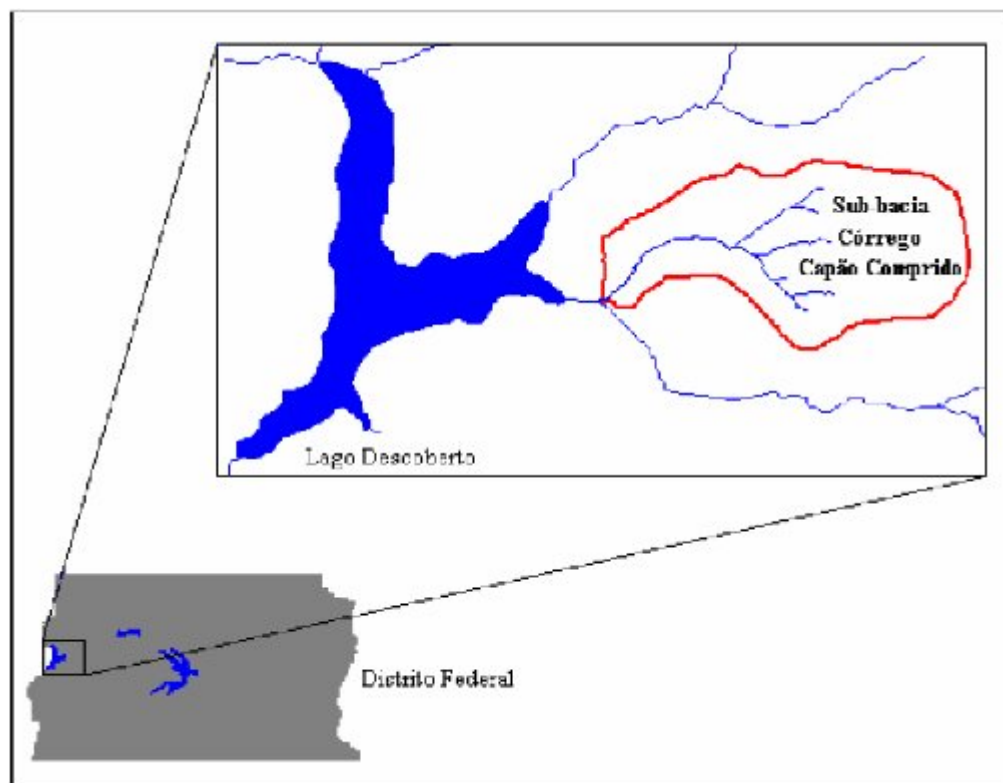


Figura 4.1 – Localização da bacia do córrego Capão Comprido (Fernandes, 2005).

A área está inclusa no Projeto Integrado de Colonização Alexandre Gusmão, que foi criado com a finalidade de abastecer o Distrito Federal com hortaliças, frutas e legumes. Desse modo, a bacia do córrego Capão Comprido caracteriza-se pelas atividades agrícolas, onde são exploradas a agricultura e pecuária em pequenas propriedades, em média 10 hectares (Nascimento *et al.*, 2000). Além disso, observa-se também muitas chácaras de lazer e recreação.

O método de irrigação mais utilizado é o sistema de aspersão convencional. Os principais produtos cultivados são: cenoura, beterraba, alface, brócolis, couve, coentro, cebolinha, rúcula, vagem, berinjela, tomate, batata-doce, goiaba, poncan, limão, entre outros.

O tipo de solo que predomina na região, que corresponde a 34,09 % da área da bacia do Rio Descoberto, é o latossolo vermelho, que se caracteriza por ser um solo mineral, não hidromórfico, profundo (superior a 1,5m), apresentando horizonte B espesso (acima de 50 cm) e muito poroso. Apesar de ser um solo bem estruturado e com boa drenagem, quando se encontra desnudo, torna-se altamente susceptível à erosão (Reatto *et al.*, 2003). A Figura 4.2 apresenta a classificação dos tipos de solo da bacia do rio Descoberto, na qual está inserida a bacia do córrego Capão Comprido, obtida por Reatto *et al.* (2003).

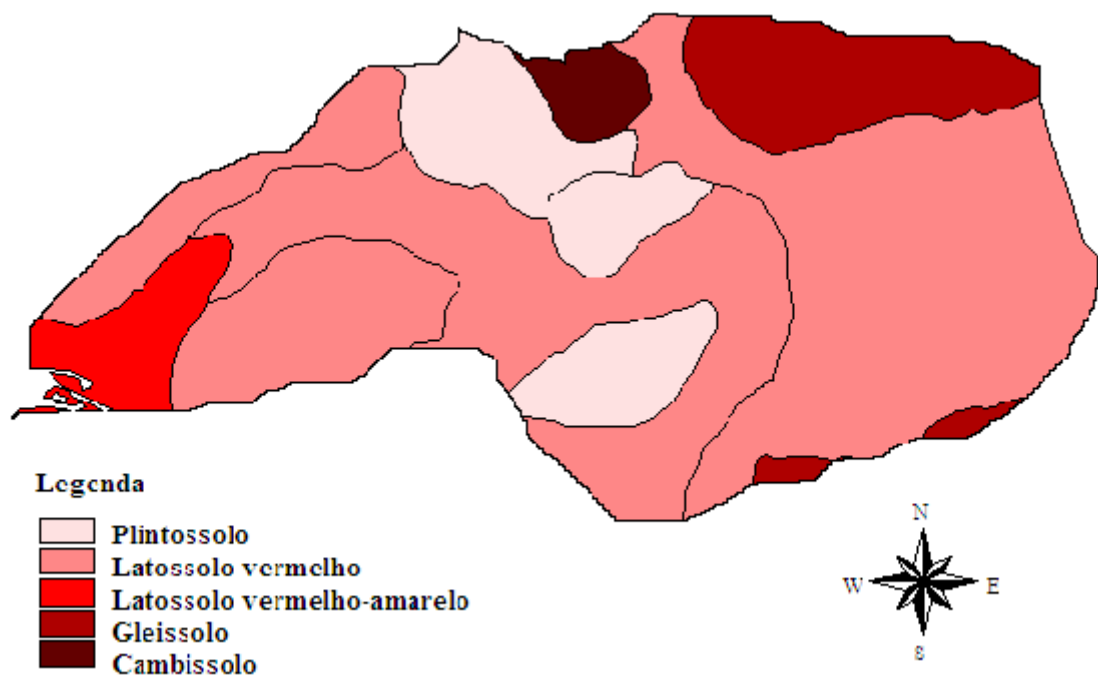


Figura 4.2 – Classificação dos tipos de solo da bacia do alto curso do Descoberto, a qual está inserida a área da bacia do córrego Capão Comprido (Reatto *et al.*, 2003).

Quanto ao uso e cobertura do solo, no estudo realizado por Fernandes (2005) foram identificados os diferentes tipos de uso e ocupação predominantes na bacia do córrego Capão Comprido com base em reconhecimento de campo, do auxílio da base cartográfica e da interpretação das imagens disponíveis. As classes definidas foram: cerrado, campo limpo, campo cerrado, horticultura 1 (definida como talhões com plantação de hortaliças em desenvolvimento vegetativo inicial, com pouca cobertura do solo), hortaliça 2 (definida como talhões com plantação de hortaliças em estágio fenológico de intermediário a final, predominando a cobertura dos talhões pelas culturas), mata ciliar, reflorestamento (eucaliptos), fruticultura, solo exposto e área construída. A Figura 4.3 ilustra a

classificação do uso e ocupação da bacia do córrego Capão Comprido, a partir da imagem do SPOT 5, com resolução espacial de 10 m, obtida por Fernandes (2005).

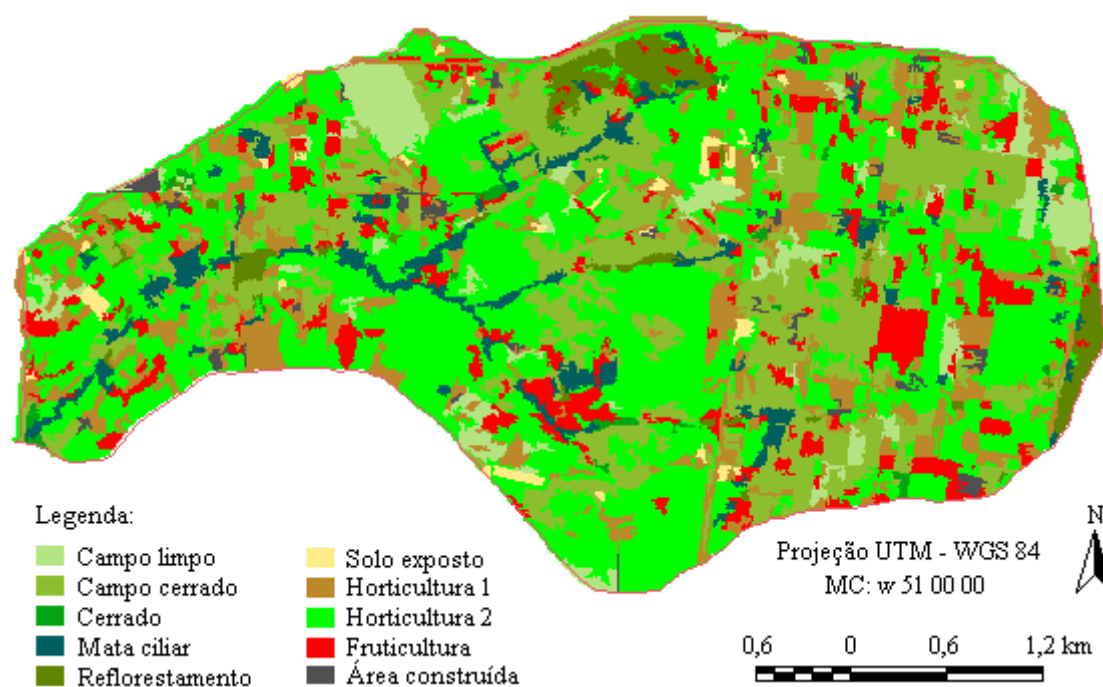


Figura 4.3 - Classificação da imagem multiespectral do SPOT 5 com 10 m de resolução espacial (Fernandes, 2005).

Em relação ao clima, na bacia existem duas estações bem definidas: uma chuvosa e quente, que se estende de outubro a março, e outra fria e seca, de abril a setembro. A precipitação média anual é de 1600 mm e a temperatura anual varia em média de 18 a 22°C (Lima, 2004).

## 5 – METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho foram utilizados vários procedimentos metodológicos. Diversas etapas tiveram que ser seguidas, como listadas a seguir:

1. **Escolha do modelo hidrológico a ser utilizado no trabalho:** foi selecionado o modelo AGNPS para a modelagem hidrológica da bacia do córrego Capão Comprido – DF por se tratar de um modelo desenvolvido para simular o escoamento, transporte de sedimentos e poluentes em bacias agrícolas, além de ter sido testado em várias bacias hidrográficas dos Estados Unidos.
2. **Dados observados de chuva, vazão, sedimentos e qualidade da água:** foram coletados dados de precipitação e vazão nos postos pluviométricos e fluviométricos instalados na bacia e operados por projetos de pesquisa do PTARH (Descoberto e Hidrocer). As amostras de sedimentos e qualidade da água foram coletadas nas mesmas seções onde foram medidas as vazões, e analisadas no Laboratório de Análise de Águas do PTARH.
3. **Obtenção dos mapas topográfico, tipos de solo e de uso e ocupação do solo:** O Modelo Numérico do Terreno foi constituído a partir da base digital gerada para representar a escala de 1:10000 do Sistema Cartográfico do Distrito Federal (SICAD). O mapa de uso e ocupação utilizado foi obtido no estudo realizado por Fernandes (2005), e o mapa de classificação dos tipos de solo foi obtido junto à EMBRAPA Cerrados. Além disso, o mapa com a localização das chácaras na bacia do Córrego Capão Comprido foi cedido pela EMATER – Núcleo Rural Incra 8.
4. **Discretização da bacia em células para a modelagem hidrológica:** Para a aplicação do modelo AGNPS a bacia foi discretizada em uma malha de células quadradas, inicialmente contendo 67 células de 500m x 500m, e posteriormente, para uma análise de influência do tamanho das células, refinou-se a malha, utilizando-se 260 células de 250m x 250m.
5. **Levantamento dos parâmetros de entrada do modelo:** os parâmetros foram obtidos por meio de medições experimentais em campo e em laboratório, com base

em informações disponíveis na literatura e outros estudos realizados na bacia, além da aplicação de técnicas de geoprocessamento.

6. **Simulações hidrológicas na bacia com os dados observados:** a partir da discretização da bacia e coleta dos dados simularam-se as vazões e a produção de sedimentos para diferentes eventos de chuva por meio do modelo AGNPS 5.0. Dois anos de dados de precipitações diárias foram empregadas para simulação na versão anual (AnnAGNPS).
7. **Avaliação da aplicabilidade do modelo na bacia do córrego Capão Comprido:** a partir da comparação entre os resultados da simulação hidrológica e os dados medidos avaliou-se a adequação do modelo para a bacia em estudo.

### 5.1 – DESCRIÇÃO DO MODELO AGNPS

O modelo AGNPS é capaz de gerar estimativas dos parâmetros que caracterizam a qualidade da água da bacia para um dado evento de chuva. No AGNPS as bacias avaliadas pelo modelo são segmentadas em áreas de trabalho quadradas. Essa divisão torna possível analisar qualquer área de bacia a partir de 2,02 km<sup>2</sup>. Além disso, o modelo requer 22 informações, as quais são apresentadas na Tabela 3.3.

Tabela 5.1 – Dados de entrada do modelo AGNPS (Young *et al.*, 1987).

	nº	Dado
Entrada da bacia	1	Identificação da bacia
	2	Área das células (km <sup>2</sup> )
	3	Nº total de células
	4	Precipitação (mm)
	5	Valor de erosividade da chuva (EI)
Parâmetros das células	1	Número da célula
	2	Número da célula receptora
	3	SCS CN
	4	Declividade do terreno (%)
	5	Fator forma da bacia
	6	Comprimento do declive (km)
	7	Declividade do canal (%)
	8	Declividade das paredes do canal (%)
	9	Coefficiente de Manning
	10	Erodibilidade (K) (t.h/Mj.mm)
	11	Fator cobertura vegetal (C)
	12	Fator práticas culturais (P)
	13	Constante condição do solo

Continuação da Tabela 5.1 - Dados de entrada do modelo AGNPS (Young *et al.*, 1987).

14	Aspecto
15	Textura do solo
16	Nível de fertilização do solo
17	Disponibilidade de fertilizante no solo (%)
18	Fontes pontuais
19	Voçorocas (t/ha ano)
20	Fator DQO (mg/l)
21	Fator reservatório
22	Indicador de canal

Os componentes básicos do modelo são: hidrologia, erosão, transporte de sedimentos, transporte de nitrogênio e fósforo, e demanda química de oxigênio (Young *et al.*, 1987). A Tabela 3.4 apresenta uma lista dos parâmetros de saída do modelo que são obtidos para cada célula.

A carga de sedimentos é calculada a partir da forma modificada da Equação Universal da Perda do Solo desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978) e o volume de escoamento é calculado pelo método do número da curva SCS (SCS, 1968). A parte do transporte químico do modelo estima o transporte de nitrogênio, fósforo, e demanda química de oxigênio através da bacia (Bhuyan *et al.*, 2003).

Tabela 5.2 – Dados de saída do modelo AGNPS (Young *et al.*, 1987).

<b>Hidrologia</b>	Volume de escoamento (m)
	Vazão de pico (m <sup>3</sup> /s)
	Fração de escoamento gerado dentro da célula
<b>sedimento</b>	Carga de sedimentos (t)
	Concentração de sedimentos (ppm)
	Distribuição granulométrica das partículas de sedimentos (%)
	Erosão superficial (t/km <sup>2</sup> )
	Quantidade depositada (%)
	Sedimento gerado dentro da célula (t)
	Taxa de erosão por tamanho de partícula
	Taxa de descarga sólida por tamanho de partícula
<b>Química</b>	Nitrogênio
	Massa associada aos sedimentos (kg/m <sup>2</sup> )
	Concentração de material solúvel (ppm)
	Massa de material solúvel (kg/m <sup>2</sup> )
	Fósforo
	Massa associada aos sedimentos (kg/m <sup>2</sup> )
	Concentração de material solúvel (ppm)
	Massa de material solúvel (kg/m <sup>2</sup> )
	Demanda química de oxigênio
	Concentração (ppm)
Massa (kg/m <sup>2</sup> )	

A forma modificada da Equação Universal da Perda do Solo de Wischmeier and Smith (1978), é dada pela equação (5.1) (Young *et al.*, 1987).

$$E = EI.K_s.L_f.S_f.C_f.P_f.SSF \quad (5.1)$$

em que:

E = perda do solo (t/m<sup>2</sup>/evento);

EI = erosividade da chuva (em t-m/m<sup>2</sup> s);

K<sub>s</sub> = erodibilidade do solo (t-m<sup>2</sup> s);

L<sub>f</sub> = fator de comprimento de rampa (pé/pé);

S<sub>f</sub> = fator declividade (porcentagem);

C<sub>f</sub> = fator de manejo do solo;

P<sub>f</sub> = fator práticas conservacionistas;

SSF = fator de ajuste pela natureza côncava ou convexa da célula.

A equação (5.2) determina, para cada célula, o volume do escoamento superficial a partir do Método Número da Curva SCS, desenvolvida pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) (Young *et al.*, 1987).

$$RF = \frac{(RL - 0,2.S)^2}{RL + 0,8.S} \quad (5.2)$$

em que:

RF = escoamento superficial (mm);

RL = precipitação (mm);

S = volume armazenado (mm);

O volume armazenado é dado pela equação (5.3) (Young *et al.*, 1987):

$$S = \frac{1000}{CN - 10} \quad (5.3)$$

Onde CN é o Número da Curva, e depende do uso, tipo, cobertura e condições hidrológicas do solo, além da condição de umidade do solo antecedente ao evento.



O cálculo da concentração de nitrogênio e fósforo solúvel no escoamento é dado pela equação (5.4):

$$RO^- = \bar{C} \cdot EXK_2^- \cdot RO \cdot 0,01 \quad (5.4)$$

Em que:

$RO^-$  = Concentração de nitrogênio ou fósforo no escoamento;

$\bar{C}$  = Concentração da porção solúvel de nutrientes presente na superfície do solo durante o escoamento;

$EXK_2^-$  = coeficiente de extração devido ao movimento do escoamento;

RO = escoamento total em milímetros.

Além da versão 5.0, existe ainda uma versão contínua do modelo AGNPS denominada *Annualized Agricultural NonPoint Source model* – AnnAGNPS (Bingner e Theurer, 2001). O AnnAGNPS vem sendo desenvolvido desde a década de oitenta, logo após a criação do modelo baseado em eventos. É um modelo desenvolvido em FORTRAN 90, que permite análises de risco e custo/benefício em estudo de bacias agrícolas.

Para a preparação dos dados de entrada existem vários módulos que dão suporte ao desenvolvimento do banco de dados requerido pelo modelo. Entre eles incluem-se:

1. *Topographic Parameterization Program* (TOPAZ) (Garbrecht e Martz, 1995), responsável por gerar informações das células e da rede de rios a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE);
2. *Agricultural Watershed Flownet Generation Program* (AGFLOW) (Bingner *et al.*, 1997; Bingner *et al.*, 2001a), usado para determinar a topografia e formatar a saída do TOPAGNPS para importação na forma requerida pelo AnnAGNPS;
3. *Generation of Weather Elements for Multiple Applications* (GEM) (Johnson *et al.*, 2000), usado para gerar as informações relacionadas ao clima;
4. *Program Complete Climate*, toma as informações obtidas pelo GEM e formata os dados para a aplicação do AnnAGNPS;

5. *Input Editor* (Bingner *et al.*, 1998), auxilia o usuário a criar e/ou editar um banco de dados do AnnAGNPS);
6. VBFlow, programa de interface visual para visualizar o TOPAGNPS relacionado aos dados do sistema de informação geográfica (Bingner *et al.*, 1996);
7. Programa de conversão que transforma os dados do AGNPS 5.0 (baseada em evento) para a versão anual;
8. Interface AGNPS/ARCVIEW, utilizado para facilitar o uso do TOPAGNPS.

A filosofia do desenvolvimento do AnnAGNPS tem sido manter a simplicidade da versão baseada em eventos, mas por outro lado, realçar as características que são necessárias para a simulação contínua.

O AnnAGNPS permite que qualquer carga produzida rio acima seja determinada ao longo do local que ela foi originada. A quantificação dessas informações contribui para que os planejadores possam avaliar o impacto de várias práticas agrícolas na bacia. Conseqüentemente, pode ser utilizada no desenvolvimento de planos de gerenciamento que venham de encontro às necessidades dos programas das Cargas Totais Máximas Diárias (TMDLs – *Total Maximum Daily Loads*) que os estados americanos têm formulado para satisfazer as orientações da EPA, no chamado *Clean Water Act* de 1972. A TDML estabelece a quantidade de um dado poluente que um corpo d'água pode sustentar sem prejudicar o uso a que é destinado.

A calibração do modelo é um processo onde se variam as entradas incertas do modelo numa variedade provável de valores até que uma combinação satisfatória entre os dados simulados e os dados medidos seja obtida. Já a verificação do modelo é o processo de demonstração que a calibração do modelo é uma representação adequada do sistema físico (Ramireddygari *et al.*, 2000).

Segundo Silva (2005), a calibração e validação devem, de um modo geral, incluir ao menos um dos seguintes procedimentos ou testes:

- Comparações gráficas: como plotagem de dados em gráficos; dados observados *versus* dados simulados; distribuições cumulativas de frequência de fluxos ou variáveis de estado observados e simulados.
- Testes estatísticos: erros estatísticos; testes de correlação; testes de distribuição acumulada.

Na análise de sensibilidade realizada por Young *et al.* (1987) para o modelo AGNPS as variáveis mais significantes que afetaram a carga de sedimento e o sedimento associado à carga de nutrientes, em ordem decrescente, foram: declividade, erodibilidade do solo (K), erosividade da chuva (EI), número da curva SCS (CN) e fator cobertura vegetal (C)

## **5.2 - REDE DE MONITORAMENTO**

Visando a atingir os objetivos fixados neste trabalho, de realizar estudo da variação da qualidade da água e do transporte de sedimentos na bacia do córrego Capão Comprido, a rede de monitoramento teve por função permitir o acompanhamento das vazões, precipitações, da qualidade da água e do sedimento transportado pelo rio.

A seleção dos pontos de amostragem é uma etapa inicial importante do projeto da rede de monitoramento, pois influencia as demais etapas do projeto. Para que as amostras sejam coletadas em pontos representativos do sistema, é fundamental o conhecimento prévio das características físicas da bacia e o uso e ocupação do solo. A rede de monitoramento da bacia do córrego Capão Comprido foi formada por 4 pluviógrafos, 4 linígrafos e uma estação meteorológica, instalados no mês de julho de 2006. A escolha da localização dos pontos de monitoramento levou em consideração principalmente a segurança dos equipamentos, a facilidade de acesso e a divisão da bacia em sub-bacias. A Figura 5.1 mostra a localização dos equipamentos na bacia do córrego Capão Comprido.

Visando a registrar o total precipitado na bacia, os 4 pluviógrafos foram instalados nas seguintes regiões: dois na região das nascentes do córrego, um na parte média e outro na seção final da bacia. Esses pluviógrafos são de cuba basculante. A recuperação de dados das estações pluviométricas ocorre quinzenalmente, com os dados registrados em intervalos de 5 minutos no caso da estação meteorológica.

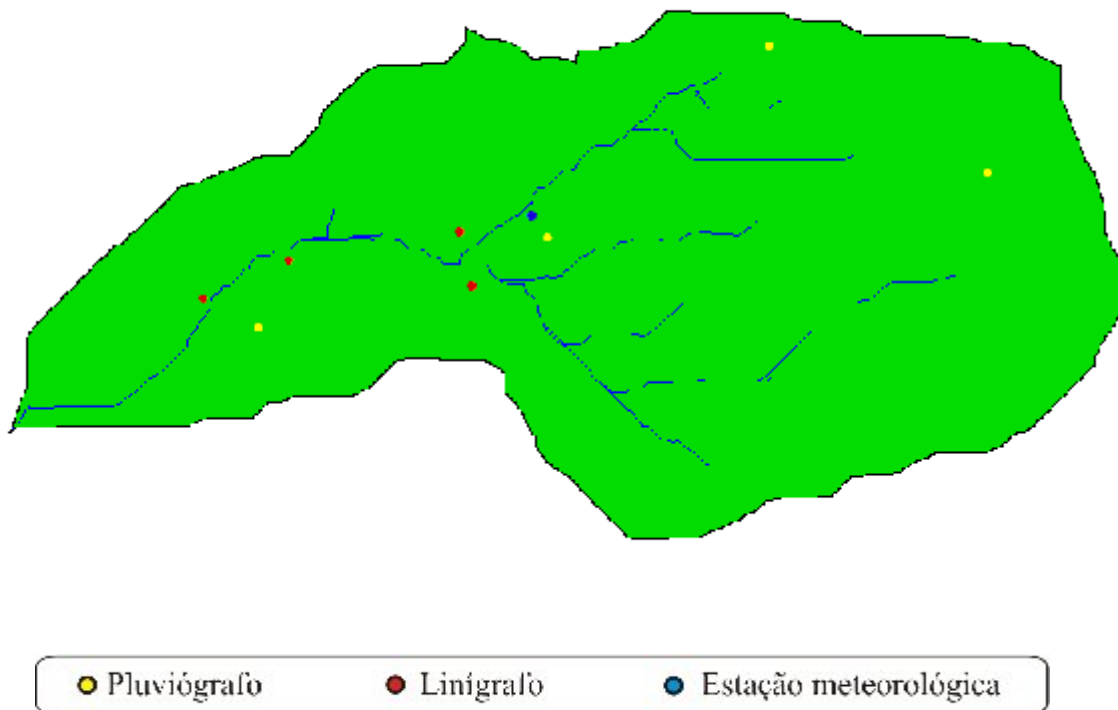


Figura 5.1 – Localização das estações pluviométricas, linígrafos e estação meteorológica na bacia do Córrego Capão Comprido (Imagem Google Earth, 2006).

Para a escolha das seções de instalação dos linígrafos buscou-se trechos do rio que fossem retilíneos, com leito regular e estável, de modo a favorecer a distribuição uniforme das velocidades da água no ponto de medida. A medição do nível dos corpos de água é efetuada com linígrafos de sensor de pressão submersos. Esses aparelhos são formados por um fino tubo embutido no mesmo cabo que leva a pressão atmosférica ao sensor e traz o sinal do sensor, sendo que os valores são gravados em um *data logger* de onde podem ser transferidos diretamente para o computador. Cada sensor foi colocado em um tubo de PVC perfurado e envolto por um pedaço de manta geotêxtil, de modo a evitar danos e acúmulo de sujeira. Os dados são registrados a cada 15 minutos e a transferência dos dados dos linígrafos é realizada a cada quinze dias.

### 5.1.1 – Dados climatológicos

A estação meteorológica instalada caracteriza-se por monitorar e registrar diversas variáveis meteorológicas a partir de um sistema integrado de medição automática. Ela é composta por um indicador de velocidade do vento, indicador de direção do vento, sensor

de temperatura do ar, sensor de umidade do ar, sensor de pressão barométrica, medidor de radiação solar, medidor de precipitação pluviométrica e um *data logger* (unidade de registro e armazenamento de dados). O *data logger* possui um relógio em tempo real que exibe a data e hora para cada dado coletado. A unidade de registro está programada para gravar os dados a cada cinco minutos. Esses dados são então transferidos para o computador e importados para programas de planilha eletrônica. A estação também é dotada de uma bateria recarregável e painéis solares para uso contínuo confiável. A Figura 5.2 mostra a estação meteorológica instalada na bacia do córrego Capão Comprido.



Figura 5.2 – Estação meteorológica Capão Comprido.

### 5.1.2 - Medição de vazão

Para que se defina uma curva cota-vazão adequada, as medições de vazão devem se distribuir ao longo do tempo, para permitir a coleta de dados suficientemente representativos. Como em geral a medição deve ser feita *in loco* por equipe técnica, pode não haver um número suficiente de valores no ramo superior (vazões máximas) da curva cota-vazão, tornando a estimativa de valores extremos de vazão pouco confiável. Os valores mínimos, por sua maior permanência, são críticos nesse aspecto.

As vazões foram medidas utilizando-se o medidor de velocidade por efeito Doppler (ADV). O método de medição consistiu em dividir a seção transversal de escoamento do rio em um número de posições previamente definido e determinar suas respectivas profundidades, levantando-se o perfil das velocidades com o ADV.

### **5.1.3 - Medição de sedimentos**

Devido aos custos de obtenção e análise dos dados de descarga sólida de um rio, na grande maioria dos postos de monitoramento de vazão apenas é realizada a medição da descarga em suspensão, sendo a carga total de transporte estimada geralmente através de métodos empíricos (Souza, 2003).

Os postos sedimentométricos foram instalados em seções onde houve a medição de vazão líquida, necessária à estimativa da descarga sólida. A amostragem foi feita pelo método da Integração na Vertical com Igual Incremento de Largura, com o objetivo de determinar a concentração média do material em suspensão. Utilizou-se para as coletas das amostras de sedimento o amostrador USDH-48, que possui formas hidrodinâmicas que causam pouco distúrbio na corrente. As amostras foram coletadas em garrafas de vidro com capacidade de 1 litro e frequência mensal.

### **5.1.4 – A qualidade da água**

As amostras para as análises da qualidade da água foram coletadas mensalmente, no período de outubro de 2006 à fevereiro de 2007. As amostras de água foram retiradas, aproximadamente, no ponto central da largura do rio e nas mesmas seções transversais onde foram realizadas as medições de vazão e sedimento em suspensão.

## **5.2 - ANÁLISES DE LABORATÓRIO**

### **5.2.1 - Análise de qualidade da água**

As amostras coletadas foram analisadas no Laboratório de Análise de Água (LAA), pertencente ao PTARH/UnB. Os parâmetros analisados foram: turbidez, sólidos em suspensão, temperatura, condutividade elétrica, pH, cloreto, nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrito, fósforo total, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), coliformes totais e E. coli. Os procedimentos para

as análises foram realizados de acordo com os métodos do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995).

### **5.2.2 - Análise de sedimento em suspensão**

As amostras de sedimentos também foram analisadas no LAA pelo método da filtração, utilizando-se papel filtro com malha de  $0,47 \mu\text{m}$ . Esse método é considerado um dos mais adequados para análises de amostras de baixas concentrações, pois apresenta simplicidade na operação e oferece uma precisão considerável (Carvalho, 1994).

O método da filtração consiste na determinação do volume da amostra contida na garrafa e conseguinte filtração do material em cadinhos, denominados cadinhos de Gooch. Os filtros passaram por uma pré-lavagem com água destilada e posterior secagem, com a finalidade de se evitar erros nas análises (Bicalho, 2006). Após a filtração, os filtros são levados à estufa (em torno de  $100^\circ \text{C}$ ) onde permanecem por 1 hora, e em seguida são levados ao dessecador, até atingirem temperatura ambiente, após o que são feitas as pesagens das amostras secas (Carvalho, 1994).

## **5.3 - TRATAMENTO DOS DADOS**

### **5.3.1 - Precipitação**

No período de março de 2006 à janeiro de 2007, foram coletados dados de precipitação dos quatro pluviógrafos instalados na bacia do córrego Capão Comprido. Porém, os eventos obtidos nesse intervalo de tempo não geraram valores de precipitação maiores do que 25,4 mm. Como durante a execução do AGNPS 5.0, baseado em eventos, o modelo não aceitou os eventos com valores de precipitação menores do que 25,4 mm, criou-se a necessidade de serem utilizados outros registros de precipitação, anteriores ao período dessa pesquisa, que foram obtidos a partir de trabalhos prévios (de 2003 à 2005), dos pluviógrafos da bacia do Córrego Jatobazinho e da Estação de Tratamento de Água do Descoberto (ETA Descoberto), além dos registros de 2005 do pluviógrafo Otacílio, localizado na bacia do Córrego Capão Comprido.

O tratamento dos dados pluviográficos foi realizado por meio do cálculo dos volumes das precipitações totais para os eventos selecionados (para simulação no modelo AGNPS 5.0), e volumes das precipitações diárias (para aplicação da versão anual do modelo – AnnAGNPS).

A precipitação média foi calculada pelo método de Thiessen, dividindo a bacia em um número de áreas igual ao número de pluviógrafos utilizados nesse cálculo, como mostra a Tabela 5.1.

Tabela 5.3 – Aplicação do método de Thiessen.

Estação	Área do Polígono Interna à bacia (ha)	% da área de influência em relação ao total
Pluviógrafo Otacílio	646,45	39,43
Pluviógrafo Jatobazinho	558,75	34,07
Pluviógrafo ETA Descoberto	434,60	26,50

Os eventos selecionados correspondem às seguintes datas: 02/01/2005, 02/02/2005, 20/03/2005, 26/03/2005 e 29/03/2005. As Figuras A.1 a A.5 do Anexo A apresentam os hietogramas e hidrogramas dos eventos selecionados para as simulações. Para o evento do dia 02/01/2005 descartou-se o pluviógrafo ETA Descoberto, já que a precipitação ocorreu após a onda de cheia da seção Otacílio (Figura A.1). O evento do dia 02/02/2005 contou com a precipitação registrada nos três pluviógrafos (Figura A.2). Já para o terceiro evento (20/03/2005) considerou-se apenas os pluviógrafos Otacílio e Jatobazinho, pois o da ETA Descoberto não registrou dados nessa data (Figura A.3). Os dados de chuva do evento do dia 26/03/2005 foram os do pluviógrafo Otacílio, já que as outras duas estações apresentaram defeito, não registrando dados nessa data (Figura A.4). Finalmente, o evento do dia 29/03/2005 contou com as precipitações dos pluviógrafos Otacílio e Jatobazinho, pois a estação ETA Descoberto apresentou falha no funcionamento (Figura A.5). Para o modelo AnnAGNPS os dados de precipitação diária corresponderam aos anos de 2004 e 2005.

### 5.3.2 – Curva-chave da vazão

Os dados fluviográficos foram submetidos previamente a uma verificação que permitiu a correção de erros grosseiros e sistemáticos constatados na observação do nível de água, como mau funcionamento de linígrafos, mudanças de cota das escalas, etc. A partir das



leituras corrigidas construiu-se os hidrogramas, que juntamente com a observação dos hietogramas, foram utilizados para a seleção dos eventos de cheia. Já os dados fluviométricos foram empregados na construção da curva-chave de vazão da seção de estudo. O traçado da curva-chave de calibração foi a primeira fase de transformação das cotas em descargas. Para isso foram realizadas medições de vazão em diferentes níveis das águas com o intuito de melhor ajustar os pontos extremos da curva. O ajuste da curva foi efetuado aplicando-se o método dos mínimos quadrados e utilizando-se a linha de tendência mais apropriada.

Infelizmente, durante as campanhas não foi possível a medição de vazão em eventos de cheia, comprometendo desse modo a confiabilidade da curva-chave na estimativa de valores extremos. A melhor curva-chave para estimativa das vazões foi a curva-chave resultante da união dos dados coletados nos anos de 2004 e 2005, e aqueles coletados durante o ano de 2006. O melhor ajuste da curva-chave foi obtido pela linha de tendência de potência com um  $R^2$  igual a 0,8134. A curva-chave pode ser expressa pela equação 5.5.

$$Q = 0,03 \cdot x^{5,6147} \quad (5.5)$$

em que:

Q: vazão líquida ( $m^3/s$ )

x: cota (m)

A Figura 5.3 mostra o gráfico da curva-chave de vazão resultante.

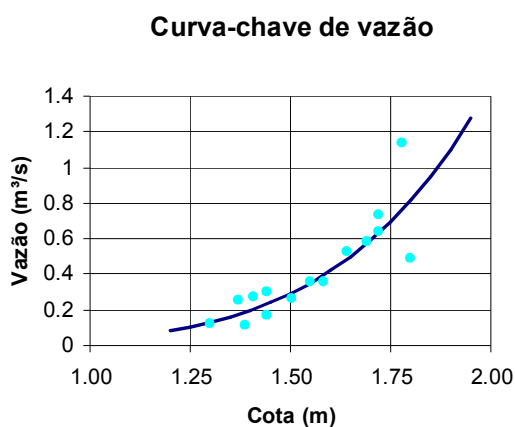


Figura 5.3 – Curva-chave de vazão líquida da bacia do córrego Capão Comprido válida para o período de abril/2004 a fevereiro/2007.

### 5.3.3 - Curva-chave de sedimentos em suspensão

A curva-chave de sedimentos relaciona a descarga de sólidos em suspensão unicamente à vazão líquida. Entretanto a descarga de sólidos não depende somente da capacidade do fluxo líquido em transportar os sólidos, mas também de fatores como a disponibilidade de material mobilizado, eventos anteriores, usos do solo, entre outros (Bicalho, 2006). O uso da curva-chave do sedimento é essencial quando os dados diários de vazão estão disponíveis e os de sedimento não. Dessa forma ela permite que sejam determinados valores diários do fluxo de sedimentos e a descarga sólida média anual (Carvalho, 1994).

Como não foi possível coletar amostras de sedimentos em suspensão em eventos de cheia, a curva-chave de sedimento em suspensão utilizada foi a obtida por Bicalho (2006) em seu estudo do transporte de sedimentos na bacia do rio Descoberto, o qual utilizou uma função exponencial para o ajuste da curva. A equação 5.6 e a Figura 5.4 mostram a curva-chave de sedimentos para a bacia do córrego Capão Comprido obtida por Bicalho (2006).

$$Q_{ss} = 7,5004.Q^{2,26} \quad (5.6)$$

em que:

$Q_{ss}$ : carga de sedimento em suspensão (ton/dia)

$Q$ : vazão ( $m^3/s$ )

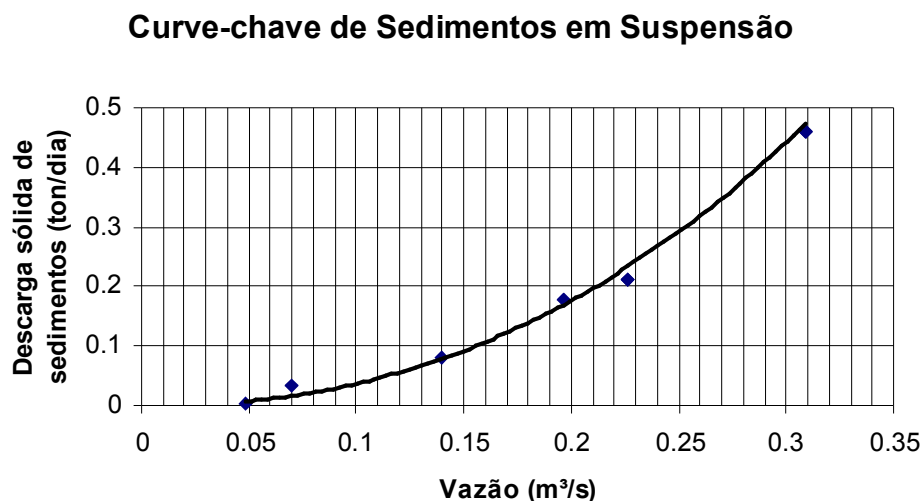


Figura 5.4 – Curva-chave de sedimentos em suspensão do córrego Capão Comprido (Bicalho, 2006).

#### **5.4 – SEPARAÇÃO DO ESCOAMENTO DIRETO**

A fim de realizar as comparações entre os dados observados e os resultados obtidos com as simulações do AGNPS foi necessária a separação dos escoamentos, já que o modelo trata apenas do escoamento superficial. A parcela do escoamento superficial foi identificada diretamente do hidrograma observado (ver Anexo A), aplicando-se o método gráfico.

#### **5.5 – PREPARAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA PARA O MODELO AGNPS**

Os dados requeridos pelo modelo AGNPS podem ser classificados em duas categorias: dados da bacia e dados das células. Os dados da bacia incluem informações referentes à bacia como um todo e aos eventos de chuva a simular. Já os dados das células referem-se ao tipo de solo, tipo de cobertura do solo, uso e manejo do solo, características hidrológicas, químicas e topográficas.

Dados da cobertura do solo da bacia observados *in loco* foram usados para gerar os valores dos parâmetros de entrada do modelo AGNPS tais como o fator de uso e manejo do solo (C), constante da condição da superfície, número da curva SCS, coeficiente de *Manning*, fator da demanda química de oxigênio e nível de fertilização.

A textura do solo foi classificada por meio das porções de silte, areia, argila e agregados obtidos de análises granulométricas de amostras de solo da bacia realizadas por Reatto *et al.* (2003) e utilizando-se o Triângulo de Classificação Granulométrica. Levantamentos de campo foram necessários para a identificação de voçorocas e reservatórios na bacia.

O modelo numérico do terreno (MNT) foi obtido a partir da interface com o programa ARCVIEW utilizando-se mapas do Sistema Cartográfico do Distrito Federal-SICAD. Com base nesse modelo foram determinados parâmetros de entrada requeridos pelo modelo, tais como declividade, direção de fluxo, fator de forma da declividade, comprimento do declive e declividade do canal. Já a erodibilidade do solo (K) foi obtida do estudo realizado por Bloise *et al.* (2001), no qual os autores avaliaram a suscetibilidade natural à erosão dos solos da bacia do Olaria, da bacia do rio Descoberto, e adjacente à margem esquerda.

Para uma avaliação inicial do modelo, buscou-se estabelecer valores para a maioria dos parâmetros de entrada de forma direta, ou seja, a partir das observações de campo e coleta de informações junto à EMATER – Núcleo Rural Incra 8 e moradores das chácaras localizadas na área de estudo. Para tanto, foram realizadas visitas a campo em que as planilhas sugeridas pelo manual do modelo (Anexo B) foram preenchidas.

Numa segunda avaliação, já com uma malha mais refinada em relação à primeira análise, os dados de entrada foram obtidos utilizando-se ferramentas de geoprocessamento, de maneira a facilitar e agilizar a obtenção dos mesmos e verificar o impacto dos resultados. Além disso, os dados relacionados ao uso e ocupação do solo tiveram como base o estudo realizado por Fernandes (2005).

#### **5.5.1 - Número de Células**

Cada célula da bacia foi identificada por um número. Essas células foram enumeradas consecutivamente, começando da célula localizada no canto noroeste e seguindo sempre da direção oeste para leste e de norte para sul.

Este trabalho utilizou células de dois tamanhos diferentes. Inicialmente a bacia foi dividida em 67 células quadradas de 500 x 500m, e posteriormente em 260 células de 250 x 250m. A Figura 5.5 ilustra o resultado da divisão da bacia do Córrego Capão Comprido em uma malha de células de 500 x 500m.

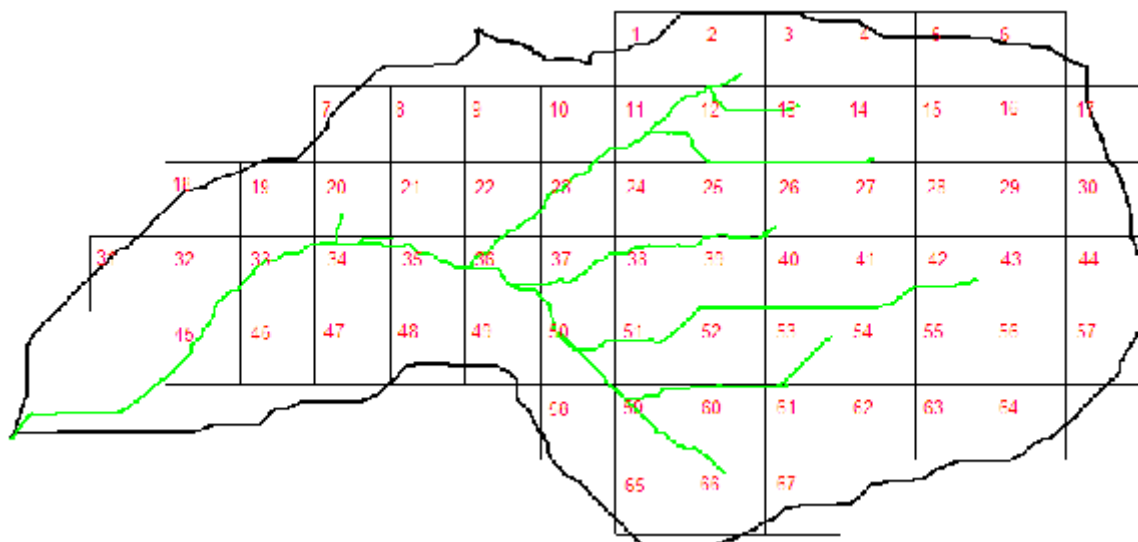


Figura 5.5 – Resultado da divisão da bacia do Córrego Capão Comprido em células quadradas de 500 x 500m (sem escala).

### 5.5.2 - Número da célula receptora

É o número da célula para a qual a maior parte do escoamento de uma outra célula drena. Esse parâmetro foi obtido de acordo com a direção do fluxo (parâmetro denominado pelo modelo como Aspecto, item 5.4.13) de cada célula. O número da célula receptora, ou seja, a célula de saída da bacia deve ser um número a mais do que o número total de células da bacia. No caso da bacia do Capão Comprido, por exemplo, que foi dividida inicialmente em 67 células, o número da célula receptora, ou seja, a célula de saída recebe o número 68.

### 5.5.3 - Número da curva SCS

É o número da curva do escoamento superficial ou número do complexo hidrológico solo-cobertura usado na equação SCS para estimar o escoamento superficial produzido em determinado evento. De acordo com Tucci (2004) o parâmetro CN retrata as condições de cobertura e solo, variando desde uma cobertura muito impermeável até uma cobertura completamente permeável. A Tabela 5.4 caracteriza os tipos de solo de acordo com o Número da Curva SCS e a Tabela 5.5 apresenta valores de CN para várias condições de uso do solo em bacias rurais.

Tabela 5.4 - Tipos de solos de acordo com o Número da Curva SCS (Young et al., 1987).

**Solo A** - solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila.

**Solo B** - solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundos do tipo A e com permeabilidade superior à média.

**Solo C** - solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentual considerável de argila e pouco profundo.

**Solo D** – solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

Para o modelo AGNPS, aplicou-se a média ponderada dos valores de CN nos casos em que existiam mais de um uso do solo dentro da célula, assim com recomendado por Young *et al.* (1994).

Tabela 5.5 – Valores do parâmetro CN para bacias rurais (Tucci, 2004).

Uso do solo	Superfície	A	B	C	D
Solo lavrado	com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	em curvas de nível	67	77	83	87
	terraceado em nível	64	76	84	88
Plantações de cereais	em fileiras retas	64	76	84	88
	em curvas de nível	62	74	82	85
	terraceado em nível	60	71	79	82
Plantações de Legumes ou cultivados	em fileiras retas	62	75	83	87
	em curvas de nível	60	72	81	84
	terraceado em nível	57	70	78	89
Pastagens	pobres	68	79	86	89
	normais	49	69	79	94
	boas	39	61	74	80
Campos permanentes	pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	boas, em curvas de nível	6	35	70	79
Chácaras e Estradas de terra	normais	30	58	71	78
	esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	normais	36	60	73	79
	densas, de alta transpiração	25	55	70	
Florestas	de superfície dura	56	75	86	78
	muito esparsas, baixa transpiração	72	82	87	83
	de superfície dura	74	84	90	79
	normais	56	75	86	91
Florestas	esparsas	46	68	78	84
	densas, alta transpiração	26	52	62	69
	normais	36	60	70	76

#### 5.5.4 - Declividade

É a maior declividade em porcentagem em cada célula. Foi obtida em função das altitudes das células, a partir do mapa das curvas de nível da bacia. Para células com relevo muito irregular, adotou-se a declividade média.

### 5.5.5 - Fator forma da declividade

É um número de identificação que indica a forma da declividade dominante dentro da célula: 1 indica uma declividade uniforme; 2, uma declividade convexa e 3, uma declividade côncava (Figura 5.6).

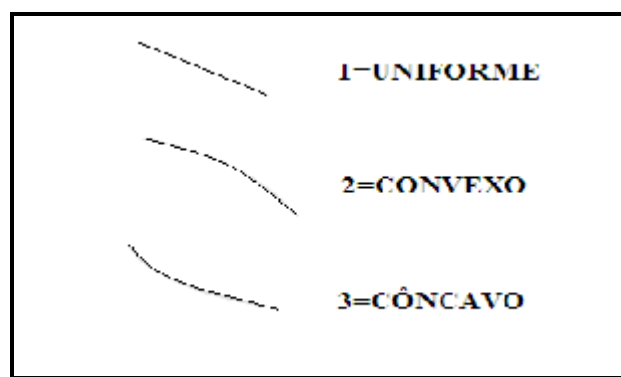


Figura 5.6 – Exemplo das formas da declividade e o número de identificação dada a cada uma delas (Young et al., 1987).

Para o grid 500x500m, o fator forma da declividade foi determinado utilizando-se o mapa topográfico da bacia (Figura 5.7) e das observações de campo. Já para o segundo grid de células (250x250m) esse fator foi obtido a partir de um mapa denominado plano de curvatura, gerado pelo programa SURFER, o qual indica a concavidade da superfície do terreno.

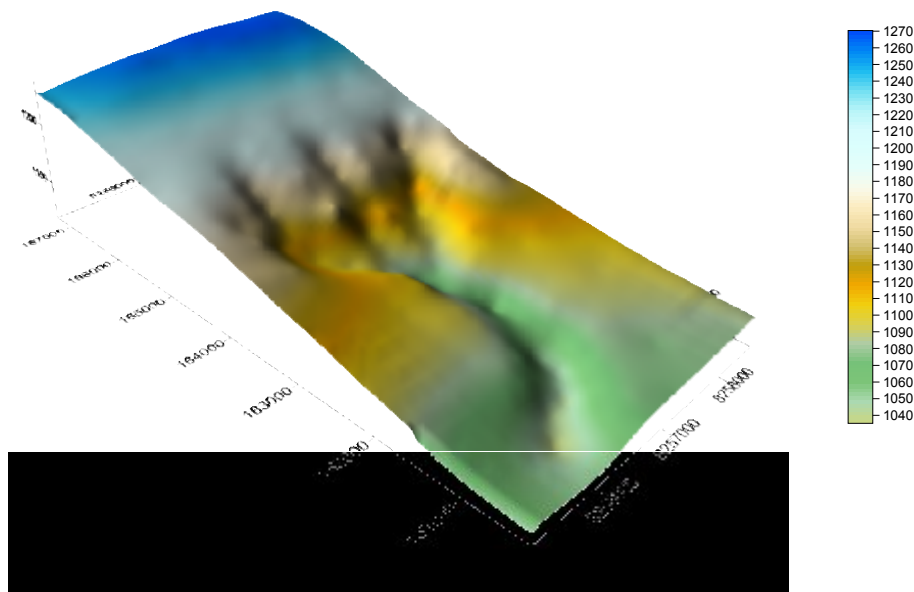


Figura 5.7– Superfície da bacia do Córrego Capão Comprido (sem escala).

### 5.5.6 - Comprimento da vertente

Trata-se do comprimento da porção da superfície do terreno percorrido pelo fluxo, desde o topo do terreno até o ponto onde o fluxo torna-se concentrado. De acordo com Young *et al.* (1987) este comprimento não deveria ultrapassar o valor de 300 pés (91,4 m). Desse modo para as células cujos comprimentos eram maiores que esse valor, adotou-se 91,4 m. Foi determinado utilizando-se o programa Geo-HMS, o qual indicou o caminho percorrido pelo escoamento até chegar ao ponto de concentração do fluxo.

### 5.5.7 - Declividade do canal

É a declividade média, em porcentagem, do canal ou canais da célula. Se não existir um canal definido dentro da célula, deve-se assumir uma série de pequenos canais, com uma declividade média igual à metade da declividade do terreno. Para sua determinação utilizou-se o mapa topográfico da bacia e o programa Geo-HMS.

### 5.5.8 - Coeficiente de rugosidade de *Manning*

Os valores do coeficiente de *Manning* adotados para o córrego Capão Comprido foram  $n=0,055$ , que indica cursos de água limpos e com meandros, leito formado por pedras e sem a presença de vegetação; e  $n=0,045$ , que caracteriza cursos de água limpos, leito



arenoso e sem a presença de vegetação (Porto, 2004). Já os coeficientes de *Manning* foram definidos para cada célula, de acordo com o uso do solo, cobertura vegetal e dos resíduos ou cultura, de acordo com a Tabela 5.6.

**Tabela 5.6 – Coeficiente de Manning para áreas cultivadas (Young et al., 1987).**

<b>Terras cultivadas</b>	
menor do que 1 polegada de profundidade	0,030
1-2 polegadas de profundidade	0,033
2-4 polegadas de profundidade	0,038
4-6 polegadas de profundidade	0,045
<b>Pastagem</b>	
Esparsa	0,040
Pobre	0,050
Razoável	0,060
Boa	0,080
Excelente	0,130
Densa	0,200
Muito densa	0,300
<b>Pequenos cereais (20% fase adulta maturidade - fluxo de linha)</b>	
Pobres, 7 polegadas linha	0,130
Pobres, 14 polegadas linha	0,130
Boas, 7 polegadas linha	0,300
Boas, 14 polegadas linha	0,200
<b>Florestas</b>	
	0,100
<b>Lagos e várzeas</b>	
	0,990

### 5.5.9 - Fator erodibilidade do solo (K)

A erodibilidade do solo (K) é relacionada à capacidade potencial do solo em resistir à erosão para condições específicas de chuva, ou seja, é a resistência oferecida. Ela está ligada diretamente às características físicas e químicas e à sua composição granulométrica e mineralógica (Cogo, 1988 apud Souto, 1998).

A Tabela 5.7 abaixo apresenta os valores de erodibilidade do solo obtidos por Bloise *et al.* (2001) para os diferentes tipos de solo (Latossolo vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo, Cambissolo, Plintossolo e Gleissolo Háplico). Os autores calcularam o fator erodibilidade (K) utilizando a Equação Universal da Perda de Solo (EUPS) através do nomograma de Wischemeier *et al.* (1971). Utilizou-se o valor de 0,1317 para conversão dos valores de K do Sistema Internacional para o Sistema Britânico, segundo Foster *et al.* (1981) aplicado por Bloise *et al.* (2001).

Tabela 5.7 – Fator erodibilidade do solo (K) (Bloise *et al.*, 2001).

classe de solo	K (sistema internacional)	K (sistema inglês)
Cambissolo	0,0237	0,1799
Plintossolo	0,0092	0,0698
Gleissolo	0,0355	0,2696
Latossolo Vermelho	0,0105	0,0797
Latossolo Vermelho Amarelo	0,0144	0,1093

#### 5.5.10 - Fator uso e manejo do solo (C)

É a relação entre perdas de solo de um determinado terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto, isto é, nas mesmas condições em que o fator K é avaliado (Bertoni e Lombardi Neto, 1990). Foram adotados valores de C segundo dados da literatura, que se assemelham às condições da bacia em estudo. A Tabela 5.8 apresenta os valores do fator C adotados.

Tabela 5.8 – Valores de C para as classes de uso da terra e cobertura vegetal natural da bacia do córrego Capão Comprido (Marin, 2001 e Silva, 2004).

Classe de uso da terra	Valores de C
Cerrado	0,025
Campo	0,042
Cultura anual	0,180
Cultura permanente	0,020
Pastagem	0,025
Eucalipto	0,010

#### 5.5.11 - Fator práticas conservacionistas (P)

É a taxa de perda de solo entre um terreno cultivado com uma determinada prática conservacionista e as perdas correspondentes quando se planta morro abaixo (Bertoni e Lombardi Neto, 1990). A Tabela 5.9 apresenta valores de P para algumas práticas conservacionistas de proteção do solo contra erosão.

Tabela 5.9 – Valores de P para algumas práticas conservacionistas (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

<b>Práticas conservacionistas</b>	<b>Valores de P</b>
Plantio morro abaixo	1,0
Plantio em contorno	0,5
Alternância de campinas +plantio em contorno	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2

Como na maioria das áreas de agricultura nessa bacia há emprego de práticas conservacionistas e sendo áreas com declives inferiores a 5%, o valor P=0,5, estimado por Wischmeier & Smith (1978) e reconhecido por Bertoni & Lombardi Neto (1990), foi adotado. Considerando que nas demais classes de cobertura do solo não há práticas conservacionistas, atribuíram-se para essas áreas valores de P=1.

### 5.5.12 - Constante da condição da superfície

A constante da condição da superfície foi obtida a partir da correlação entre as condições de uso e manejo do solo e os valores apresentados por Young *et al.* (1987), como mostra a Tabela 5.10.

Tabela 5.10 – Constante da Condição da Superfície baseada no uso do solo (Young *et al.*, 1987).

Uso do solo		Constante da condição da superfície
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	0,22
Plantações regulares	Regulares	0,05
	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
Legumes		0,29
Campo Permanente		0,59
Florestas	Densas, alta transpiração	0,29
	Normais	0,59
Mata ciliar		1,00
Fazendas		0,01
Água		0

### 5.5.13 - Aspecto

O aspecto é designado por um único dígito que indica a direção principal de drenagem na célula. Esse pode ser uma das oito direções: 1=norte, 2=nordeste, 3=leste, 4=sudeste, 5=sul, 6=sudoeste, 7=oeste e 8=noroeste, como mostra a Figura 5.8.

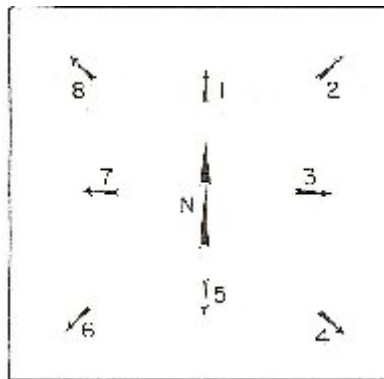


Figura 5.8 – Aspecto: oito direções de fluxo (Young *et al.*, 1987).

Esse parâmetro foi determinado segundo as direções de fluxo de cada célula que podem ser obtidas por observação da topografia ou pelo programa ARCVIEW. A Figura 5.9 apresenta a rede de fluxo resultante para a bacia do Córrego Capão Comprido.

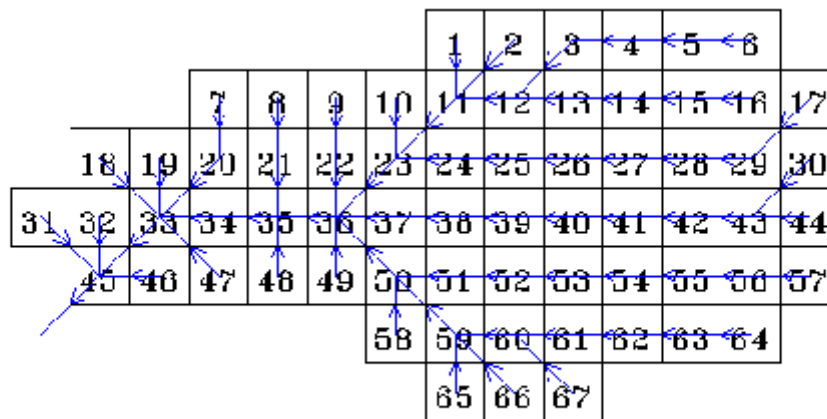


Figura 5.9 – Direção do fluxo de cada célula da bacia.



Tabela 5.11 – Classificação da textura do solo e classe hidrológica segundo Young *et al.* (1987).

Textura do solo	Descrição do solo	Classe hidrológica do solo
Areia	Arenoso	A
	Arenoso à argilo-arenoso	A
	Argilo-arenoso	A
	Argilo-arenoso e areno-argiloso	B
	Areno-argiloso	B
	Areno-argiloso à argiloso	B
	argiloso à arenoso e cascalhento	B
Silte	Argiloso	B
	argiloso à muito argiloso	B
	argiloso à silte-argiloso	B
	argiloso à muito silte-argiloso	B
	argiloso, muito argiloso, arenoso e cascalhento	B
	muito argiloso	C
	muito argiloso à muito argilo-siltoso	C
	silte-argiloso	C
	muito silte-argiloso	C
	silte-argiloso à muito argilo-siltoso	C
Argila	muito argilo-siltoso à argilo-siltoso	C
	Argilo-siltoso	C
	muito argilo-siltoso à argiloso	C
	Argiloso	D
Turfa	Turfa	D

Tabela 5.12 – Determinação da textura do solo e respectiva classe hidrológica (Reatto *et al.*, 2003 e Young *et al.*, 1987).

Tipo de solo	textura AGNPS	classificação hidrológica do solo
Cambissolo	3	B
Plintossolo	3	D
Latossolo Vermelho	3	C
Latossolo Vermelho Amarelo	3	C
Gleissolo	3	C

### 5.5.15 - Nível de fertilização

O nível de fertilização adotado na bacia foi obtido a partir de informações fornecidas pela EMATER – Núcleo Rural Inca. De acordo com essas informações, na bacia do Córrego Capão Comprido são realizadas, essencialmente, três tipos de adubação: adubação com lixo (40 m<sup>3</sup>/ha), cama de frango (20 m<sup>3</sup>/ha) e adubação química (300 g/m<sup>2</sup>, N,P,K – 4-14-8 e 4-30-16). A Tabela 5.13 apresenta os valores a serem adotados em função do nível de fertilização do solo. Com base na análise das informações obtidas e considerando as dificuldades de identificação das chácara em que determinado tipo de fertilização foi

adotada, nas áreas onde predominam a agricultura adotou-se o nível 3 de fertilização, para as demais áreas adotou-se o nível 1, ou seja, de baixa fertilização.

Tabela 5.13 – Nível de fertilização (Young *et al.*, 1994)

Nível	N (lb/acre)	P (lb/acre)	valor
baixa fertilização	50	20	1
média fertilização	100	40	2
alta fertilização	200	80	3
Nível definido pelo usuário	-	-	4

#### 5.5.16 - Fator disponibilidade de matéria orgânica

Esse fator refere-se à porcentagem de fertilizante deixado em 1, 27 cm (meia polegada) do topo do solo após um determinado evento, estando relacionado aos diferentes métodos de preparo do solo e ao grau de incorporação dos nutrientes. De acordo com Young *et al.* (1987), um fator disponibilidade de fertilizante igual a 100% representa o pior caso (células onde predominam a urbanização ou áreas residências), onde nenhum fertilizante foi incorporado ao solo. Nos casos em que foram utilizadas mais de uma prática de preparo do solo no período, os autores recomendam usar o produto dos dois fatores dividido por 100. Assim como sugerido por Souto (1998), admitiu-se também um fator disponibilidade igual a 100% para as matas e florestas, em virtude de não existir nestas áreas a aplicação direta de fertilizantes pelo homem. A Tabela 5.14 abaixo, apresenta os fatores de disponibilidade de fertilização de acordo com as práticas agrícolas segundo Young *et al.* (1987).

Tabela 5.14 – Fator disponibilidade de fertilização de acordo com as práticas agrícolas (Young *et al.*, 1987).

Práticas agrícolas	Fator Disponibilidade (%)
Disco	50
Escanificador	67
Pulverizador	85
Semeadora	85
Grade niveladora	100
lagoas	0

### 5.5.17 - Fator DQO

É o valor para a concentração de DQO do escoamento superficial, baseado no uso do solo existente na célula. A Tabela 5.15 mostra alguns valores do fator DQO para várias situações de uso do solo (Young *et al.*, 1987).

Tabela 5.15 – Fator DQO para várias situações de uso do solo (Young *et al.*, 1987)

Uso do solo	Fator DQO (mg/L)
plantações regulares	170
plantações de cereais	80
pastagens	60
florestas	65
Solo lavrado	115
Chácaras e áreas semi-residenciais	80
água	0

### 5.6 – PREPARAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA PARA O MODELO AnnAGNPS

O conjunto de dados de entrada para o modelo AnnAGNPS consiste em 38 seções de dados, que podem ser obtidos de diferentes maneiras. Uma delas depende de quatro componentes: interface AGNPS/ARCVIEW, o qual permite ao usuário extrair dados do Modelo Digital de Elevação; AnnAGNPS Input Editor, o qual importa os dados extraídos do Modelo Digital de Elevação e/ou permite a entrada de dados manualmente; GEM, um gerador de clima sintético, para gerar precipitação e temperaturas máxima e mínima do ar (Darden e Justice, 2007).

Assim como a versão por evento, o AnnAGNPS requer parâmetros ligados ao uso e ocupação do solo, práticas agrícolas, topografia, etc. Desse modo os parâmetros da versão por evento foram convertidos para a versão de simulação contínua através do conversor criado especificamente para esse fim, levando em consideração as adaptações necessárias. Esse conversor é um dos módulos inclusos no pacote do AGNPS.

Em relação aos dados climatológicos usados no modelo AnnAGNPS, eles podem ser dados históricos provenientes de estações meteorológicas, dados sinteticamente gerados ou uma combinação dos dois. Os dados climatológicos requeridos pelo AnnAGNPS são:



- Precipitação Diária;
- Temperatura máxima e mínima;
- Temperatura de ponto de orvalho;
- Cobertura de nuvens e;
- Velocidade do vento.

A seguir, são apresentadas as etapas da preparação dos dados de entrada do modelo AnnAGNPS.

### 5.6.1 – Temperatura

Os dados de temperatura foram adquiridos do banco de dados fornecidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). O modelo requer a temperatura máxima e mínima, a qual é utilizada, juntamente com os demais parâmetros, no cálculo da evapotranspiração potencial. As Figuras 5.11 e 5.12 apresentam graficamente os dados de temperatura dos anos de 2004 e 2005, respectivamente.

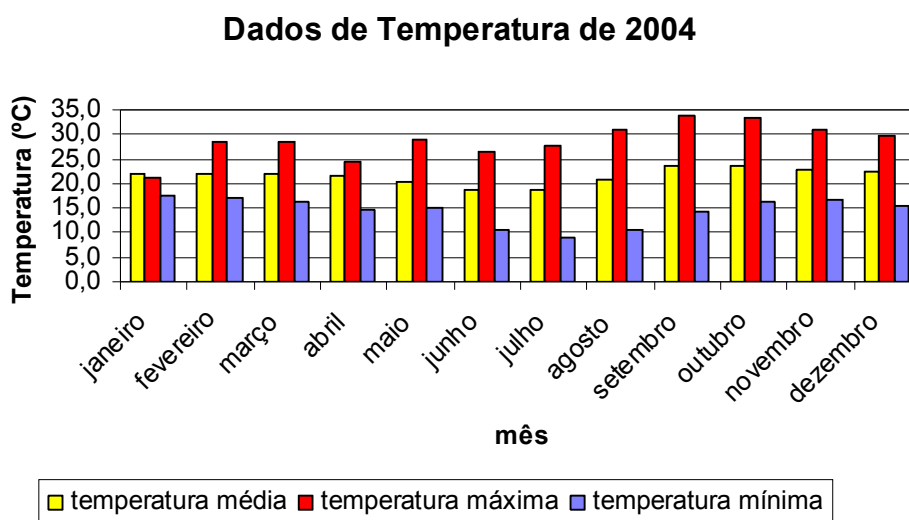


Figura 5.11 – Valores de temperatura máxima/mínima e média mensal do ano de 2004.

### Dados de Temperatura de 2005

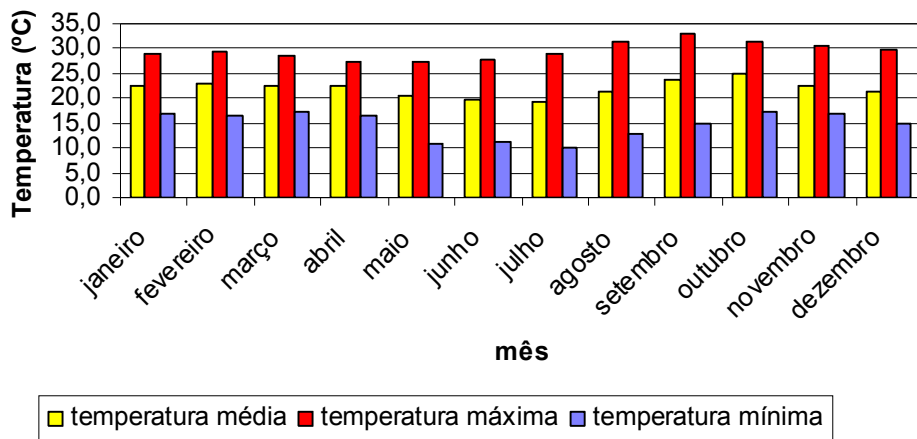


Figura 5.12 – Valores de temperatura máxima/mínima e média mensal do ano de 2005.

### 5.6.2 – Dados de precipitação diária

Os dados de precipitação diária utilizados na simulação foram referentes aos anos de 2004 e 2005, que incluíram dados dos pluviógrafos Otacílio, Jatobazinho e ETA Descoberto. Os hietogramas foram apresentados no Anexo C.

### 5.6.3 - Temperatura de ponto de orvalho

Os dados de temperatura de ponto de orvalho dos anos de 2004 e 2005 foram adquiridos da estação automática de Brasília do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A Figura 5.13 apresenta as temperaturas de ponto de orvalho mensais médias.

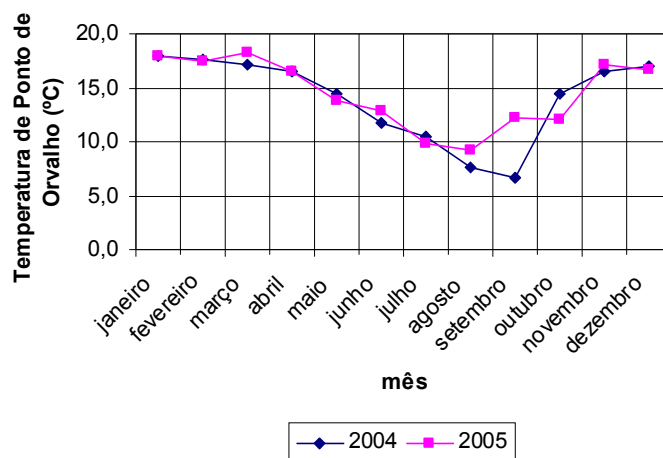


Figura 5.13 – Temperaturas de Ponto de Orvalho mensais média dos anos de 2004 e 2005.

#### 5.6.4 – Preparação dos dados de Cobertura do céu

De acordo com Tubelis e Nascimento (1980), a cobertura relativa do céu ou razão de cobertura do céu é o complemento da razão de insolação em relação à unidade, como mostra a equação 5.4.

$$Sc = (1 - \frac{n}{N})100 \quad (5.7)$$

em que:

Sc: Cobertura do céu (%)

n: insolação diária (horas)

N: número diário possível de horas de brilho de sol (horas)

$\frac{n}{N}$  : razão de insolação

O balanço de radiação e suas componentes podem ser estimados a partir de outros elementos meteorológicos. Uma forma de se estimar a razão de insolação é a partir da equação de Angstron, representada pela equação 5.5.

$$Q_g = Q_o \cdot (a + b \cdot \frac{n}{N}) \quad (5.8)$$

Em que:

$Q_g$  : radiação solar global (cal/cm<sup>2</sup>. dia);

$Q_o$  : radiação solar em uma superfície horizontal no topo da atmosfera (cal/cm<sup>2</sup>.dia);

n: insolação diária (horas);

N: número diário possível de horas de brilho de sol (horas);

$\frac{n}{N}$  : razão de insolação;

a e b: são constantes determinadas em função da latitude do local.

O cálculo da razão de insolação foi feito aplicando-se a forma generalizada da equação de Penman (equação 5.6) recomendada por Doorenbos e Pruitt (1977) (ASCE, 1996).

$$R_s = \left( 0,25 + 0,5 \frac{n}{N} \right) R_A \quad (5.9)$$

em que:

$R_s$  : radiação solar (MJ/m<sup>2</sup>.dia);

$R_A$  : radiação solar em uma superfície no topo da atmosfera (MJ/m<sup>2</sup>.dia);

$\frac{n}{N}$  : razão de insolação.

O parâmetro  $R_A$  pode ser estimado de acordo com o local em função da latitude e do dia do ano usando as equações matemáticas desenvolvidas por Duffie e Beckman (1991), como mostram as equações 5.7 a 5.10.

$$R_A = \frac{24 \cdot (60)}{\pi} G_{sc} \cdot d_r \cdot [\omega_s \cdot \text{sen}(\phi) \cdot \text{sen}(\delta) + \cos(\phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \text{sen}(\omega_s)] \quad (5.10)$$

em que:

$R_A$  : radiação solar em uma superfície no topo da atmosfera (MJ/m<sup>2</sup>.dia);

$G_{sc}$  : constante solar igual a 0,0820 MJ/m<sup>2</sup>.min ou 1367 W/m<sup>2</sup> (recomendada pela Associação Internacional de Meteorologia e Física Atmosférica (London e Frolich, 1982 *apud* ASCE, 1996));

$d_r$  : ângulo horário do pôr-do-sol (radianos);

$\phi$  : latitude da estação (radianos), negativa para latitudes sul;

$\delta$  : declinação do sol (radianos).

A declinação do sol  $\delta$  foi calculada segundo a equação 5.8.

$$\delta = 0,4093 \cdot \text{sen}\left(2\pi \frac{(284 + J)}{365}\right) \quad (5.11)$$

em que:

J: dia juliano.

O termo  $d_r$  refere-se à distância relativa da Terra em relação ao sol, representado pela equação 5.9.

$$d_r = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (5.12)$$

A equação 5.10 define o ângulo horário  $\omega_s$  do pôr-do-sol, em radianos.

$$\omega_s = ar \cos(-\tan(\phi) \cdot \tan(\delta)) \quad (5.13)$$

A partir dos valores de razão de insolação diário para os anos de 2004 e 2005, calculou-se a cobertura do céu segundo a equação 5.4.

### 5.6.5 – Preenchimento das falhas de dados

Assim como em Faria *et al.* (2003), cada variável meteorológica foi tratada individualmente, sendo que suas falhas foram preenchidas das seguintes formas:

- a) Cálculo da média dos dados no período imediatamente anterior ou posterior à data da falha ou estimada pela média no período anterior/posterior à data da falha (simétrico).
- b) Média histórica calculada pela média dos valores ocorridos na mesma data da falha ao longo dos anos;
- c) Utilizando-se os registros de outra estação correspondente ao período de falha, no caso do preenchimento das falhas dos dados de precipitação;
- d) Utilizando-se outras variáveis, como o caso da temperatura de ponto de orvalho calculada a partir da temperatura e umidade relativa, segundo a equação 5.11 (Eriksson, 2003).

$$E_s = 6,11 \cdot 10^{((7,5 \cdot T_c); (237,7 + T_c))}$$

$$E = \frac{(RH \cdot E_s)}{100} \quad (5.14)$$

$$T_d = \frac{-430,22 + 237,7 \cdot \ln(E)}{-\ln(E) + 19,08}$$

em que:

$E_s$  : pressão de vapor na saturação (Pa);

E: pressão de vapor do ar (Pa);

$T_d$  : temperatura de ponto de orvalho (°C);

$T_c$  : temperatura média (°C);

RH: umidade relativa (%).

### **5.6.6 – Criação do arquivo de entrada “DayClim.inp” e conversão dos dados da versão AGNPS 5.0 para a versão AnnAGNPS**

O programa *Complete Climate*, que é um dos módulos que acompanham o AnnAGNPS, foi utilizado para organizar os dados meteorológicos no formato requerido pelo modelo, criando um arquivo chamado “DayClim.inp”.

Outro módulo utilizado, foi o conversor de dados do AnnGNPS. Ele permite que um conjunto de dados de entrada utilizado na versão por evento seja aplicado na simulação do modelo AnnAGNPS. Porém, algumas alterações foram necessárias para não gerar resultados errôneos. Por exemplo, todos os campos referentes ao uso do solo foram rotulados como “*Mixed*”, sendo necessária a alteração manual das informações de uso agrícola no AnnAGNPS.

Os dados listados abaixo não foram gerados na conversão do AGNPS: dados da declividade superficial das células; nome do arquivo de entrada climatológico, dados de contorno, dados diários do clima, dados sobre gerenciamento da criação de animais, dados sobre uso de irrigação, especificação do trecho de saída, dados sobre plantações.

### **5.7 - EXECUÇÃO DO MODELO AGNPS E AnnAGNPS**

A bacia do Córrego Capão Comprido foi dividida, inicialmente em 67 células quadradas de 500x500m, com área de 0,25 km<sup>2</sup> cada. A partir dessa discretização inicial fez-se uma simulação buscando analisar a aplicabilidade do modelo quando inseridos dados obtidos de maneira simplificada, baseados na observação de campo.

Numa segunda avaliação, a bacia foi discretizada em células quadradas de 250x250m, com área de 0,06 km<sup>2</sup> cada. Essa simulação objetivou analisar os resultados obtidos da aplicação do modelo a partir de um maior refinamento da malha de células e da entrada de dados obtidos através das técnicas de geoprocessamento.

Para executar o modelo AnnAGNPS, o arquivo de entrada foi editado no Input Editor e salvo como “AnnAGNPS.inp” . O programa de simulação é facilmente executado com a interface ArcView pelo comando “PLModel/Step 11 – Execute AnnAgnps”. Ele trabalha como um compilador gerando arquivos de erros quando o arquivo de entrada não foi gerado corretamente. Se não houver erros, a simulação é completada.

Após a execução do modelo AGNPS, realizou-se uma análise comparativa entre as simulações e os dados observados das estações fluviométricas/sedimentométricas na bacia do Córrego Capão Comprido. Entre os resultados gerados pelo modelo está a produção de sedimentos gerada pela chuva erosiva selecionada, vazão de pico e escoamento superficial.

## 6 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 – RESULTADO DAS SIMULAÇÕES DO MODELO AGNPS 5.0

Para a realização das simulações foram selecionados eventos com precipitações maiores do que 25,4 mm, já que o modelo não gerou nenhum valor para vazão de pico, volume escoado e produção de sedimentos para precipitações menores do que esse valor. Esse fato restringiu a escolha dos eventos, sendo necessário para se obter um número razoável de eventos, recorrer às séries de chuva anteriores ao ano de 2006 e de pluviógrafos localizados fora da bacia, no caso, pluviógrafo da bacia do córrego Jatobazinho e pluviógrafo da ETA Descoberto em função da data de instalação dos pluviógrafos. A estação pluviográfica Otacílio, localizada dentro da bacia, já encontrava-se em funcionamento desde 2003. A Tabela 6.1 apresenta os eventos selecionados para as simulações no modelo AGNPS.

Tabela 6.1 – Valores de precipitação dos eventos utilizados no AGNPS

<b>Data dos eventos</b>	<b>Precipitação (polegada)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Estação Pluviográfica</b>
2/1/2005	1,14	28,96	Otacílio e Jatobazinho
2/2/2005	2,16	54,86	Otacílio, Jatobazinho e ETA Descoberto
20/3/2005	1,17	29,72	Otacílio e Jatobazinho
26/3/2005	1,04	26,42	Otacílio
29/3/2005	2,21	55,88	Otacílio e Jatobazinho

Apesar do modelo AGNPS também trabalhar com a quantificação de nutrientes e pesticidas, neste trabalho avaliou-se somente os parâmetros hidrológicos volume escoado, vazão de pico e carga de sedimentos.

Os gráficos das Figuras 6.1, 6.2 e 6.3 apresentam os resultados das simulações dos cinco eventos selecionados. Pode-se observar que o volume escoado obtido nas simulações foi subestimado em relação aos valores observados (Figura 6.1) em três dos eventos selecionados, os quais correspondem às menores precipitações. Houve uma pequena variação nos valores do volume escoado em função das diferentes malhas, sendo que a grade de 500 x 500m levou aos maiores volumes. Isso pode ter ocorrido devido à classificação mais refinada do uso e ocupação do solo da malha 250 x 250m, o que acarretou maior interceptação da água e conseqüentemente menor quantidade de água escoada.



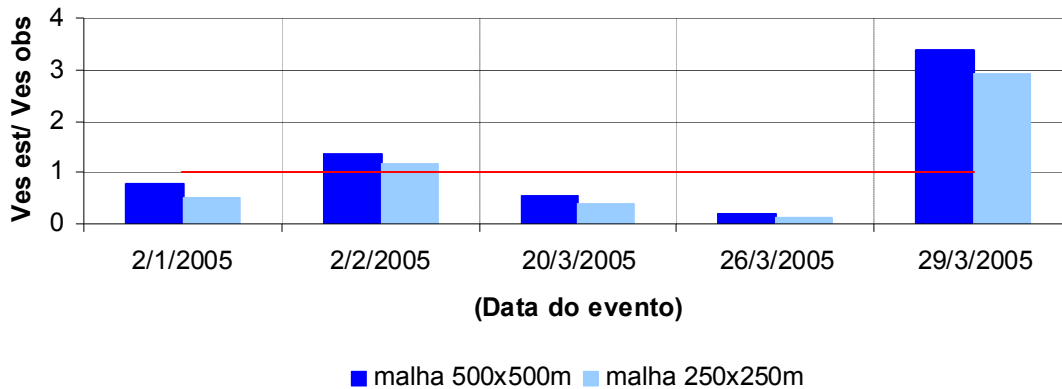


Figura 6.1 – Relação entre o volume escoado estimado e volume escoado observado para cada evento.

Em relação aos resultados das vazões de pico estimadas pelo modelo AGNPS 5.0 (Figura 6.2), todos os valores foram subestimados. Esse fato pode estar relacionado à incerteza da curva-chave de vazão obtida e à localização das precipitações, que podem ter ocorrido de forma concentrada, na região onde se mediu as vazões, aumentando a vazão de pico observada.

Comparando-se os resultados das vazões obtidas com as duas malhas, pode-se observar que a vazão de pico estimada a partir da malha 500 x 500m foi semelhante aos valores obtidos pela malha 250 x 250m. Isso porque para o cálculo da vazão de pico, o modelo AGNPS considera apenas as características físicas da bacia e o volume do escoamento superficial.

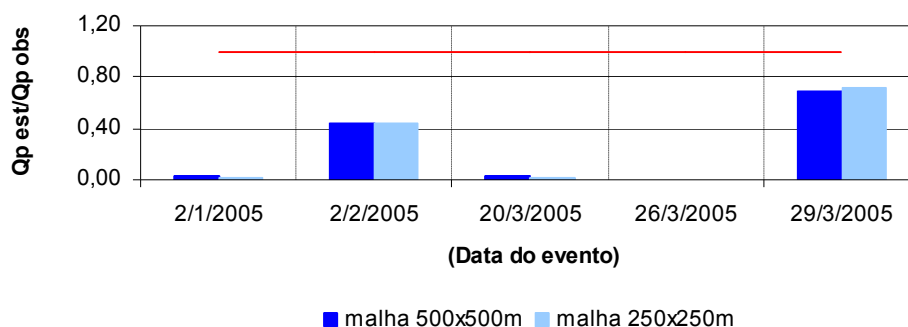


Figura 6.2 – Relação entre as vazões de pico simuladas e as vazões de pico observadas.

Observando-se a Figura 6.3 nota-se que a carga de sedimento foi superestimada em relação à carga de sedimento observada na maioria dos eventos. Isso pode ter ocorrido devido a diversos fatores, mas principalmente devido ao tipo de cobertura adotada, pois a definição

das culturas para cada célula obedeceu à área de maior cobertura. Em consequência disso, as células tiveram os valores de alguns parâmetros alterados. Souto (1998) explica que a redução do tamanho da célula tende a melhorar a definição da cobertura do solo, porém, isso acarreta certo ajuste nas áreas, o que engloba algumas variações nos parâmetros de entrada do modelo. Desse modo, uma mesma chuva que incida sobre condições de uso do solo diferentes acarretará quantidades diferentes de erosão, pois os valores da erodibilidade do solo, por exemplo, são diferentes.

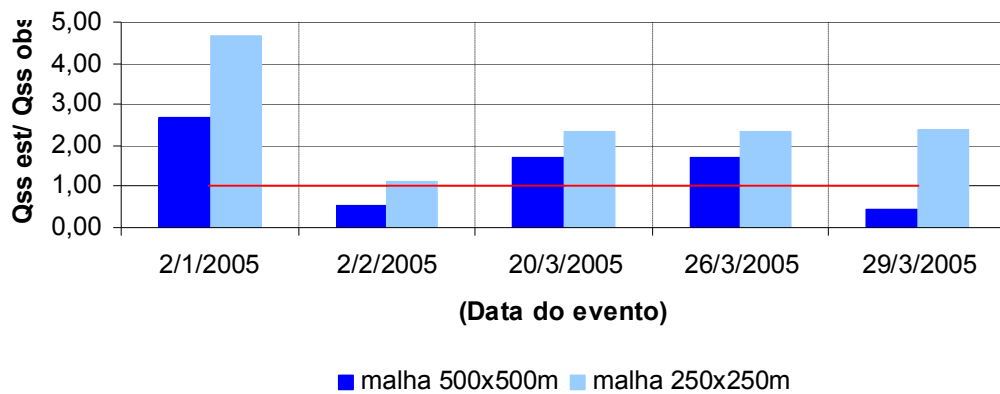


Figura 6.3 – Relação entre as cargas de sedimento estimadas e cargas de sedimento observadas.

A Figura 6.4 ilustra a variação do tipo de cobertura do solo da malha de 500 x 500m para grade de 250 x 250m. Pôde-se observar que na malha mais refinada, as áreas com horticultura aumentaram em 2%, enquanto as áreas correspondentes ao campo cerrado diminuíram em 16% e as áreas de campo limpo aumentaram em 10%. Tudo isso contribui para que esta malha apresente valores maiores de carga de sedimento.

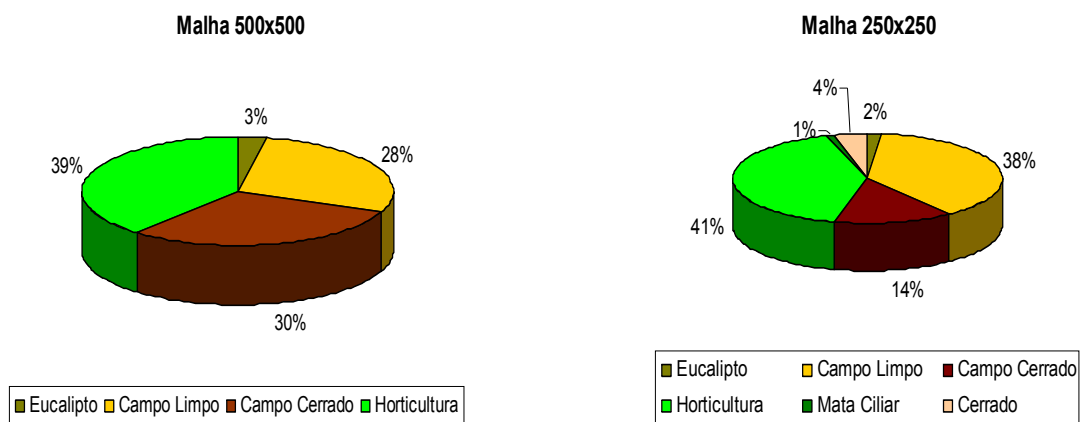


Figura 6.4 – Percentagem de cada tipo de cobertura do solo para as duas malhas aplicadas à bacia.

Outros fatores que podem ter contribuído para a diferença nas cargas de sedimento são: (a) a distribuição uniforme das chuvas erosivas presumidas pelo modelo, o que, segundo registros, não ocorreu; (b) a curva-chave de sedimento determinada por Bicalho (2006), a qual foi utilizada para o cálculo da carga de sedimento observada; (c) e também, devido às dimensões das células, as matas ciliares que minimizariam o carreamento de sedimentos, corresponderam a pouquíssimas células (e apenas na malha 250 x 250m), alterando dessa maneira os resultados da carga de sedimento.

Na Figura 6.5, verifica-se a concentração das cargas de sedimento na bacia do Córrego Capão Comprido, onde a maior quantidade de sedimento está localizada nas regiões das células 33, 34, 35, 36 e 45. Essas células correspondem justamente às áreas de maior concentração de chácaras voltadas para o cultivo de frutas e hortaliças.

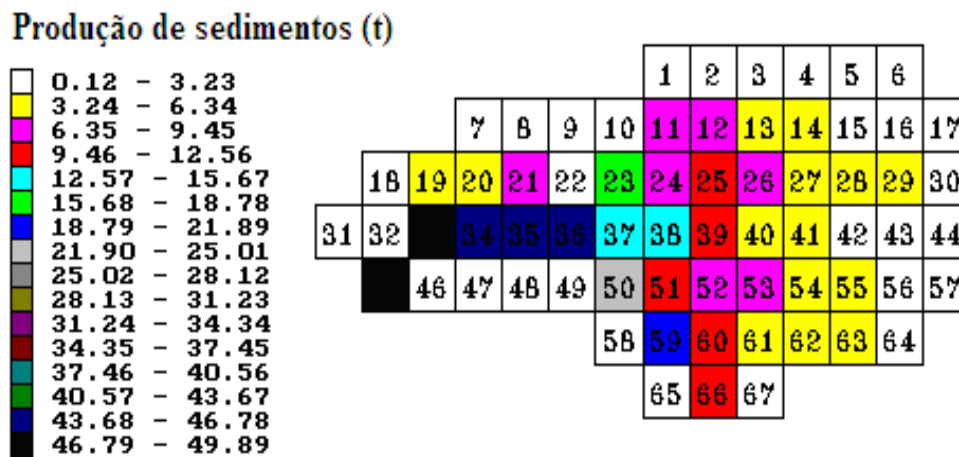


Figura 6.5 – Produção de sedimento na bacia do Córrego Capão Comprido, malha 500 x 500m, evento do dia 29/03/2005.

Muitos artigos que tratam do modelo AGNPS, descrevem a produção de sedimentos como sendo diretamente proporcional ao fator EI. Um exemplo disso é a análise de sensibilidade do modelo realizado por Young *et al.* (1987), constante no manual do AGNPS. Porém, de acordo com as simulações, as chuvas com maiores valores de EI produziram maiores cargas de sedimentos para as células de 500x500m, o que não ocorreu para o grid 250x250m.

### 6.1.1 - Análise de sensibilidade dos parâmetros do AGNPS

A análise de sensibilidade foi realizada para determinar a importância relativa dos parâmetros de entrada do modelo em termos da resposta obtida nas variáveis de saída. Após a escolha dos valores para os parâmetros de entrada e o cômputo dos valores de saída, variou-se cada parâmetro para menos e para mais vinte por cento (20%), enquanto as outras variáveis permaneceram constantes. Foram selecionados para a análise de sensibilidade os seguintes parâmetros: Erodibilidade (K), Uso e manejo do solo (C), Práticas Conservacionistas (P), Número da Curva SCS (CN), Coeficiente de Manning (n) e Constante da Condição do solo.

Os resultados mostraram que as variáveis que afetaram significativamente a carga de sedimento foram a Erodibilidade (K), Uso e manejo do solo (C), Práticas Conservacionistas (P) e Número da Curva SCS (CN). No entanto, a carga de sedimento mostrou-se mais sensível ao fator Número da Curva SCS. As Figuras 6.6 a 6.10 mostram a influência dos parâmetros selecionados sobre a carga de sedimento.

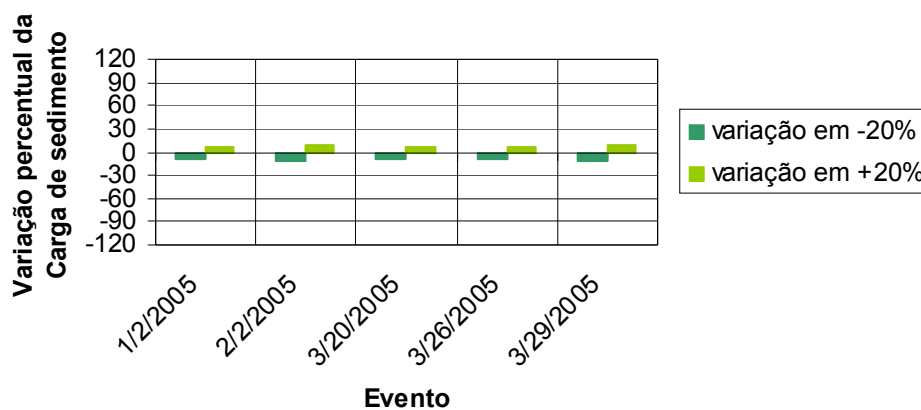


Figura 6.6 – Teste de sensibilidade do fator Erodibilidade (K).

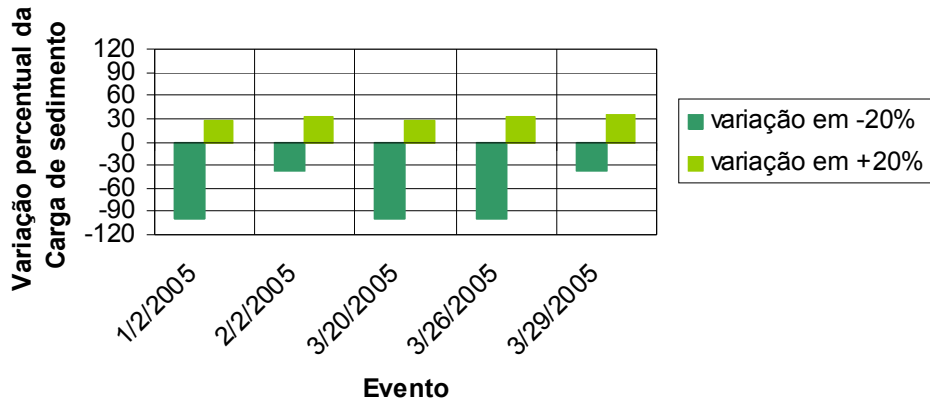


Figura 6.7 – Teste de sensibilidade do fator Número da Curva SCS.

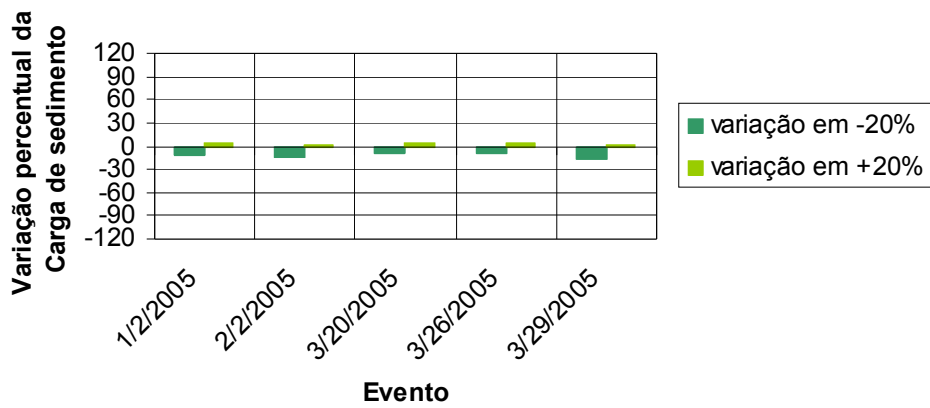


Figura 6.8 – Teste de sensibilidade do fator Uso e manejo do solo (C).

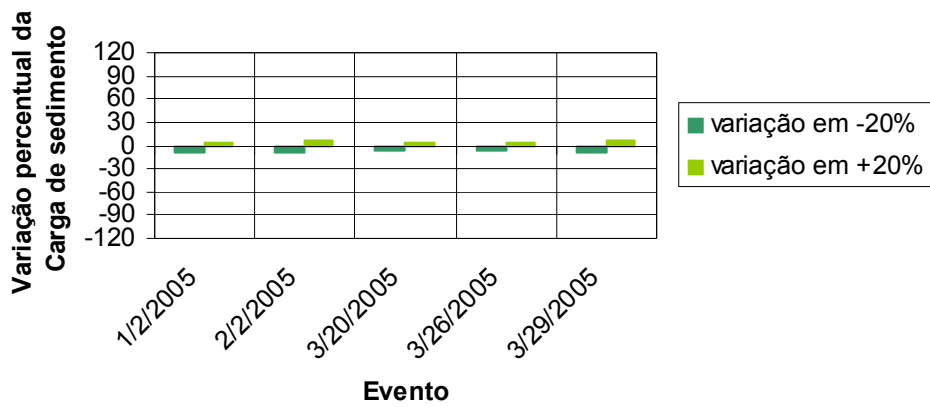


Figura 6.9 – Teste de sensibilidade do fator Práticas Conservacionistas (P).

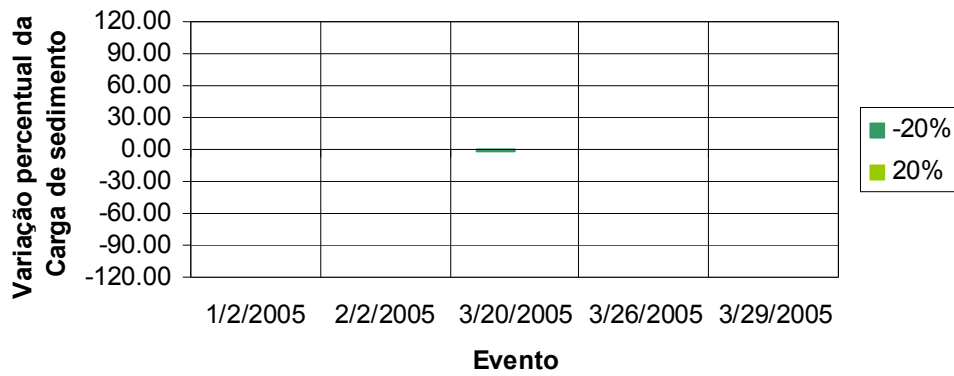


Figura 6.10 – Teste de sensibilidade do fator Coeficiente de *Manning* ( $n$ ).

Os parâmetros que afetaram os valores de vazão de pico foram: o Coeficiente de *Manning* e o Número da Curva SCS, o qual mostrou ter maior influência sobre a vazão, como mostram as Figuras 6.11 e 6.12. Já o volume escoado foi afetado apenas pelo fator Número da Curva SCS (Figura 6.13).

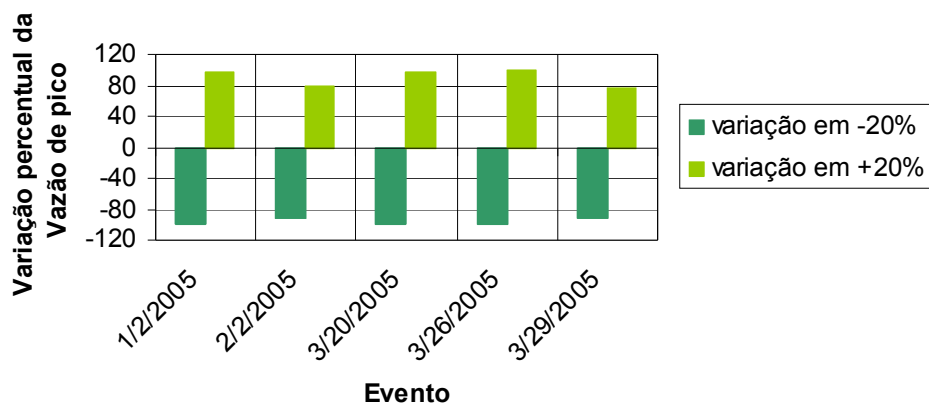


Figura 6.11 – Teste de sensibilidade do Número da Curva SCS em relação à vazão.

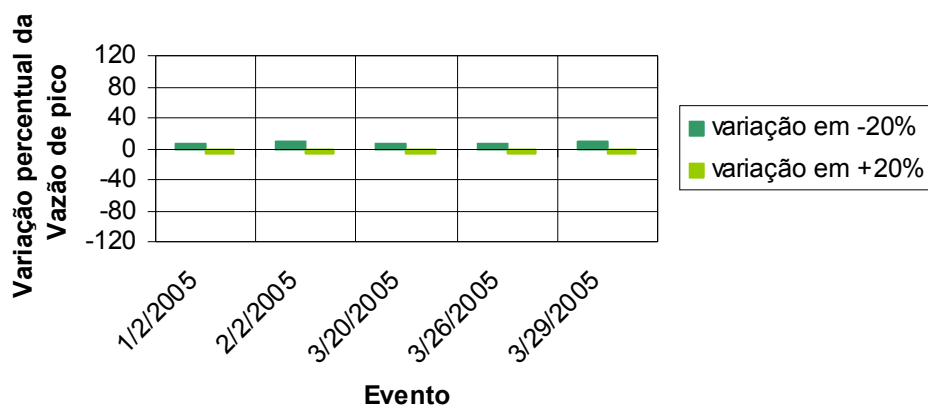


Figura 6.12 – Teste de sensibilidade do Coeficiente de Manning (n) em relação à vazão.

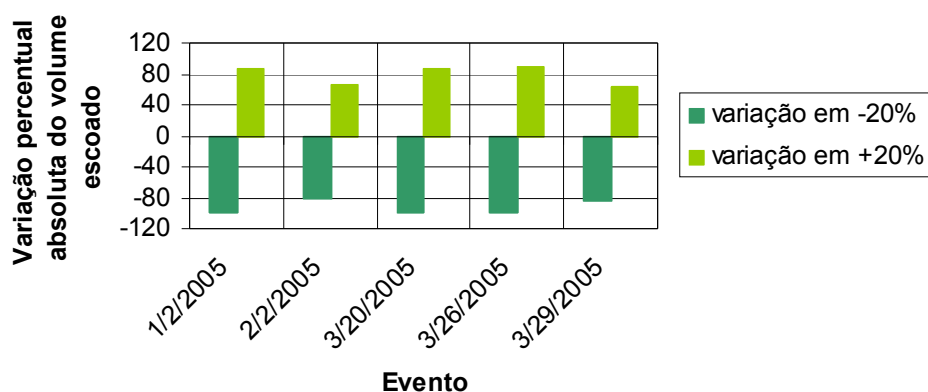


Figura 6.13 – Teste de sensibilidade do Número da Curva SCS em relação e volume escoado.

Esses resultados demonstram a importância de um levantamento bem detalhado do uso, cobertura e práticas de manejo do solo para que possam resultar em estimativas mais acuradas dos fatores P, C, n e principalmente do fator Número da Curva SCS. Assim como em outros estudos, CN foi o parâmetro de maior sensibilidade aos parâmetros de saída e sua determinação está diretamente relacionada ao tipo de cobertura do solo.

Outra análise realizada foi em relação à condição de umidade do solo. As simulações foram efetuadas considerando-se a classe II de umidade, a qual corresponde à umidade média do solo. Este é o valor recomendado pelo manual do modelo, o qual afirma que a condição de umidade II contribui para que o modelo gere resultados mais consistentes.

Contudo, analisando-se as datas dos eventos pôde-se observar que os três últimos eventos ocorreram em períodos bem próximos, o que levaria a uma condição de umidade maior. Com base neste fato, simularam-se os mesmos eventos considerando-se as duas outras condições de umidade do solo: umidade I (solo seco) e III (solo úmido). Com a alteração da condição de umidade do solo, obrigatoriamente alterou-se também os valores de CN para cada célula. As Figuras 6.14, 6.15 e 6.16 apresentam os novos valores do volume escoado, vazão de pico e carga de sedimento, obtidos para as outras duas condições de umidade do solo.

**Sensibilidade do volume escoado à variação da condição de umidade do solo.**

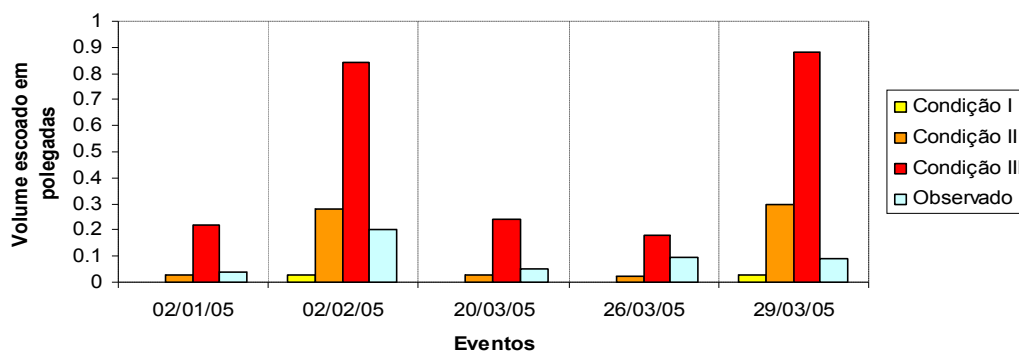


Figura 6.14 – Valores do volume escoado de acordo com a condição de umidade do solo.

**Sensibilidade da vazão de pico à variação da condição de umidade do solo.**

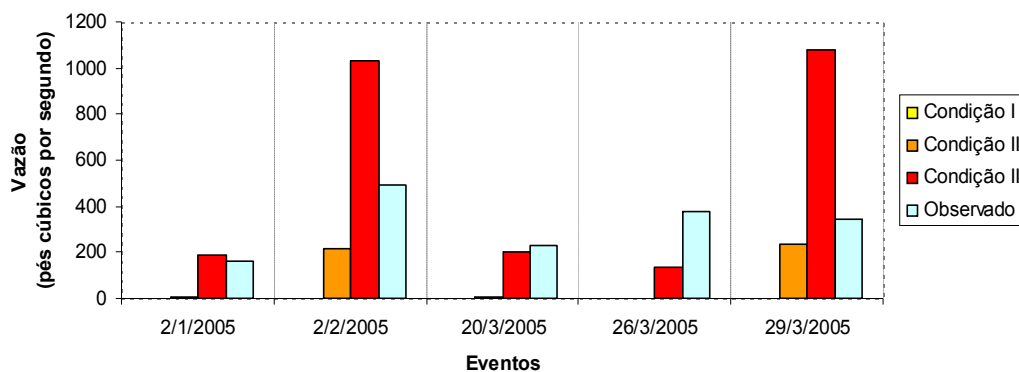


Figura 6.15 – Valores da vazão de pico de acordo com a condição de umidade do solo.



### Sensibilidade da carga de sedimentos à variação da condição de umidade do solo.

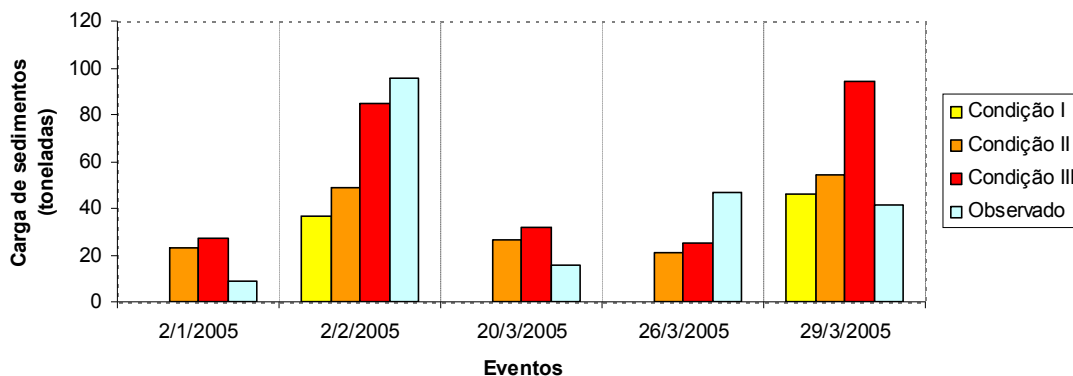


Figura 6.16 – Valores da carga de sedimento de acordo com a condição de umidade do solo.

De acordo com o que se observa nos gráficos acima, a variação dos parâmetros volume escoado, vazão de pico e carga de sedimento é diretamente proporcional ao aumento da condição de umidade do solo. Entretanto, a umidade II mostra ser a condição mais adequada para as simulações realizadas, em acordo com o sugerido por Young *et al.*(1989), apesar de não haver justificativa física para tal. Tal consideração da condição III apenas para as áreas de menos declividade e próximas aos cursos de água sucessivos eventos de precipitação possa levar a resultados mais consistentes.

## 6.2 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO DO MODELO AnnAGNPS

Os dados limnológicos e de precipitação sobre a bacia do córrego Capão Comprido foram aplicados no modelo AnnAGNPS. Com a simulação dessa versão foram obtidos dados diários e anuais de vazão de pico, sedimentos em suspensão, volume escoado, além dos parâmetros concentração de nitrogênio e fósforo.

Pode-se observar, a partir dos resultados obtidos que os dados simulados, tanto para a vazão de pico quanto para o volume escoado, não foram muito discrepantes em relação aos dados observados. Já os valores de produção de sedimento e nutrientes apresentaram grande discrepância em relação aos dados observados.

No período simulado, o Córrego Capão Comprido produziu em média, um volume total de água de 5456027 m<sup>3</sup>/ano. A partir da simulação do modelo AnnAGNPS o volume total

médio calculado foi de 8476522 m<sup>3</sup>/ano, o que corresponde a uma diferença de 55,36% do volume total observado. Em relação à vazão de pico, o Córrego Capão Comprido apresentou uma vazão de pico média de 0,759 m<sup>3</sup>/s ao ano, enquanto a vazão de pico média anual simulada foi de 1,1 m<sup>3</sup>/s, uma subestimação de 45%. A figura 6.17 mostra a comparação entre os resultados da simulação e os valores observados da vazão de pico média anual e volume médio anual.

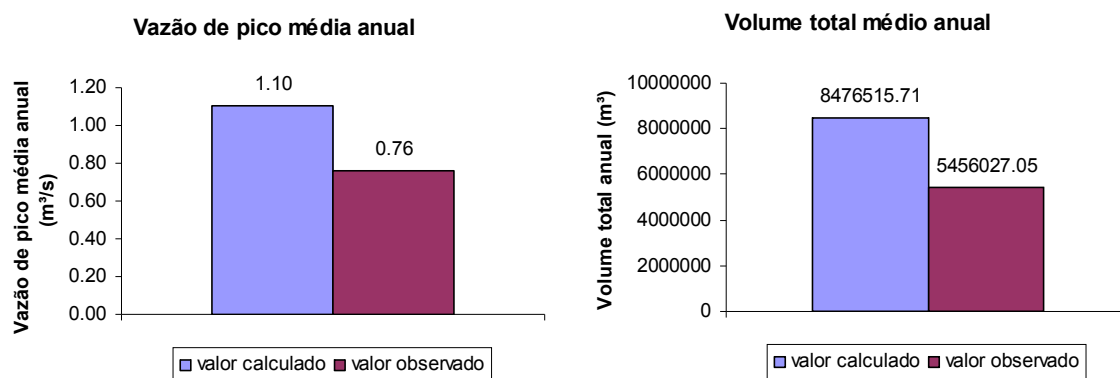


Figura 6.17 – Comparação dos valores médios anuais de vazão de pico e volume total calculados pelo AnnAGNPS e valores observados.

Apesar da produção de sedimentos calculada pelo modelo AnnAGNPS acompanhar o hietograma observado para os dois anos simulados (figuras 6.18 e 6.19), os resultados não foram satisfatórios. O modelo AnnAGNPS estimou uma produção de sedimento de 35374 t/ano. Um valor bastante elevado, se comparado com o estudo de Bicalho (2006), que estimou uma descarga sólida em suspensão do período de 1995 a 2005 igual a 412 t/ano. Um dos motivos para essa diferença pode ter sido o fato de que alguns parâmetros de entrada não foram determinados, utilizando-se os valores atribuídos pelo próprio modelo, tais como taxa de matéria orgânica, taxa de nitrogênio e fósforo orgânico, coeficiente de decomposição do resíduo de superfície, etc.

Ainda de acordo como os gráficos da figura 6.18 e 6.19, pode-se observar que a maior carga de sedimento produzida no ano de 2004 foi de 2618 toneladas e ocorreu no dia 27/01/04. Já para o ano de 2005, a maior carga de sedimento produzida foi de 5326 toneladas, no dia 26/12/05, que correspondem aos períodos de maior ocorrência de chuva na bacia.

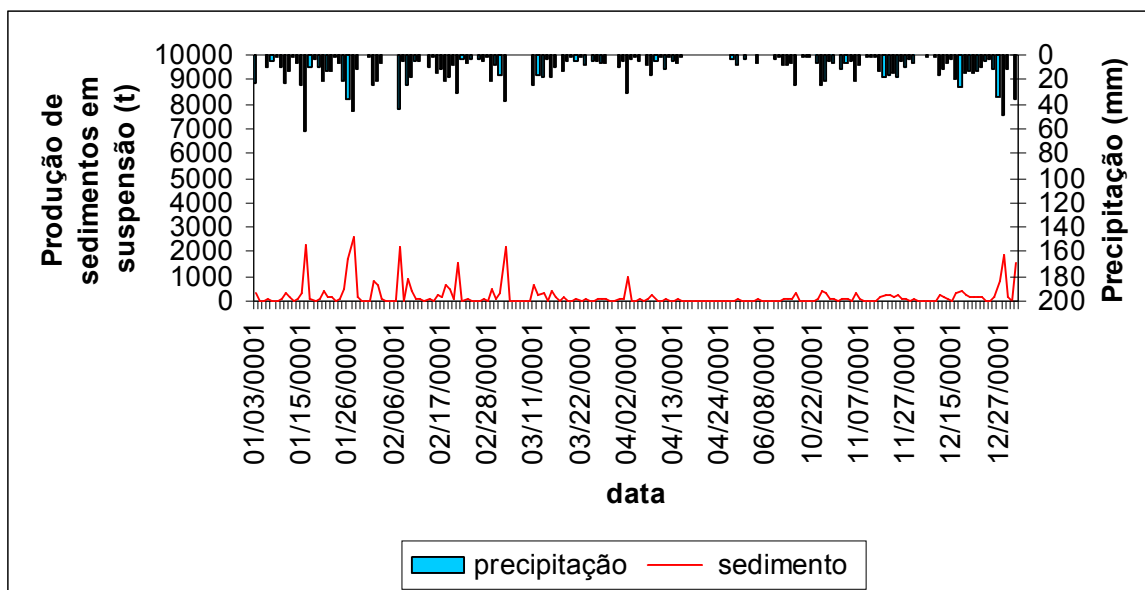


Figura 6.18 – Hietograma observado e produção de sedimentos em suspensão calculada para o Córrego Capão Comprido para o ano de 2004.

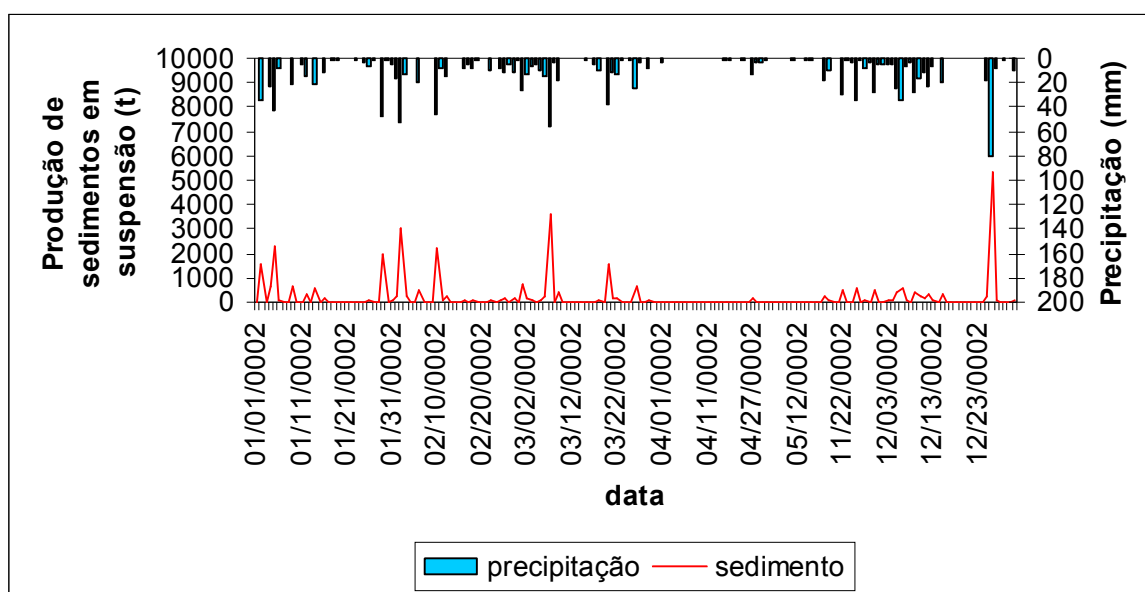


Figura 6.19 – Hietograma observado e produção de sedimentos em suspensão calculada para o Córrego Capão Comprido para o ano de 2005.

Em relação às cargas anuais de fósforo e nitrogênio total, o modelo AnnAGNPS subestimou todos os valores. Enquanto a carga anual de nitrogênio total calculada por Ávila (2005) para o ano de 2003 foi de 2018 kg, o modelo gerou uma carga de 10,05 kg. Já a carga anual de fósforo total determinada pela mesma autora foi de 640 kg e segundo o modelo o valor da carga de fósforo foi de 0,13 kg.

Verifica-se uma necessidade de testar melhor o modelo, sua sensibilidade e melhorar o ajuste dos parâmetros para os quais adotou-se os valores padrão do modelo.

## 7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O AGNPS é uma ferramenta de análise de bacias hidrográficas que permite simular vários cenários, com a finalidade de minimizar descargas de nutrientes e sedimentos. Esse fato permite a obtenção de respostas imediatas quando comparadas a experimentos reais, que poderiam levar anos até que se obtivessem resultados consistentes para análise.

A documentação do AGNPS é pouco detalhada. Apesar de requerer grandes quantidades de dados, as características favoráveis do modelo AGNPS fazem com que ele seja uma boa ferramenta para os planejadores de modo a identificar as causas das descargas de nutrientes e sedimentos em escala de bacia hidrográfica. A maioria dos estudos que aplicaram esse modelo fizeram uma comparação entre as diferentes técnicas de manejo do solo, realizando uma análise qualitativa e não quantitativa.

A aplicação do modelo matemático AGNPS, utilizando um método simplificado de coleta de dados demonstrou ser uma ferramenta adequada para avaliações preliminares quanto à distribuição da produção de sedimentos e nutrientes ao longo da bacia. Porém, para avaliações quantitativas, é de grande relevância, um levantamento do uso e cobertura do solo mais cuidadoso, principalmente em se tratando do parâmetro CN, o qual mostrou maior influência nos resultados de volume escoado, vazão de pico e carga de sedimentos.

Nesse sentido, a utilização de ferramentas de geoprocessamento é de grande importância em função da manipulação de uma grande quantidade de dados que esse modelo exige, permitindo a aquisição de dados da bacia com maior rapidez e praticidade. Paralelo à utilização dessas ferramentas, o estudo de campo é indispensável para conhecer de perto os reais problemas existentes na bacia, os quais não podem ser identificados apenas pela análise de imagens de satélite.

Os resultados das simulações com a versão 5.0 demonstraram o potencial dessa ferramenta para a simulação do comportamento hidrológico no sistema estudado. Com a melhoria das informações de entrada vislumbra-se, em futuros trabalhos, obter resultados mais confiáveis e aprimorados, assim como a possibilidade de sua validação e aplicação para outros estudos de caso.

O modelo AnnAGNPS foi capaz de simular, ainda que com grande erro, escoamento superficial, bem como a vazão de pico da bacia. Porém foi completamente insatisfatório para o cálculo da produção de sedimento e nutrientes. Isso implica em um estudo mais minucioso dos parâmetros de entrada, os quais diferem da versão 5.0.

Verificou-se ainda, a necessidade do aprimoramento das coletas dos dados de campo a serem utilizados nas simulações do modelo AGNPS, tais como: a realização de coletas de amostras de sedimento e nutrientes logo após os eventos de chuva, para que os dados coletados possam caracterizar com maior precisão o que ocorre nesse período. Isso pode ser facilitado com a ajuda dos moradores da região, informando quando da ocorrência das chuvas, ou com o uso de estações telemétricas. A utilização de estações automáticas para coleta de sedimentos em suspensão e amostra de água para análise da qualidade é necessária nessa região, pois os grandes eventos de precipitação geralmente ocorrem no final da tarde, dificultando a coleta manual das amostras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA (1995). *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater*, American Public Health Association, 19 ed., Washington, DC.
- ASCE (1996). *Hydrology handbook / prepared by the Task Committee on Hydrology Handbook of Management Group D of the American Society of Civil Engineers*, 2<sup>a</sup> ed., USA.
- Ambrose, R.B., Wool, T.A., and Martin, J.L., 1993. *The Water Quality Analysis Simulation Program WASP5, Part A: Model Documentation*, Version 5.10, US Environmental Protection Agency, Env. Research Lab., Athens Georgia
- Araújo, C. C., Marques, J. A. V., Silva Neto, A. R., Dourado, J. C., Machado, R. N. S. (2003). “Estudo da produção de sedimento da sub-bacia do ribeirão Taquaruçu Grande (TO)”. *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba/PR*, n 105. ABRH.
- Ávila, V. B. (2005). *Relação entre o uso e manejo do solo em uma bacia rural e a contribuição de Nitrogênio, Fósforo e Sedimentos a corpos hídricos*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-088/05, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 114p.
- Beasley, D.B., Huggins, L.F., Monke, E.J. (1980). “Anwers. Transactions”. *ASAE*, 4 (23), 938-944.
- Benetti, A., Bidone, F. (2004). “O meio ambiente e os recursos hídricos”. In: Tucci, C. E. M. (org), *Hidrologia: Ciência e aplicação*, 3 ed. Editora UFRGS/ABRH, Porto Alegre, RS, 849-875.
- Bertoni, J., Lombardi Neto, F. (1990). *Conservação do Solo*, Editora Ícone, São Paulo, SP, 355p.
- Bicalho, C. C. (2006). *Estudo do transporte de sedimentos em suspensão na bacia do rio Descoberto*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-95/2006, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 123p.
- Bingner, R. L., C. V. Alonso, R. W. Darden, R.G. Cronshey, F. D. Theurer, W. F. Geter, 1996. “Development of a GIS-based flownet generator for AGNPS”. *Proceedings of the Sixth Federal Interagency Sedimentation Conference*, Las Vegas, NV, March 10-14, p.52-55.

- Bingner, R. L., R. W. Darden, F. D. Theurer, and J. Garbrecht, 1997. "GIS-Based Generation of AGNPS Watershed Routing and Channel Parameters". *ASAE Paper* No. 97-2008, St. Joseph, Michigan, 4 p.
- Bingner, R. L., R.W. Darden, F.D. Theurer, C.V. Alonso, and P. Smith, 1998. "AnnAGNPS Input Parameter Editor Interface". *First Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference*, April 19 - 23, 1998, Las Vegas, Nevada, p. 8-15-18.
- Bingner, R. L. and F. D. Theurer, 2001. "AnnAGNPS: estimating sediment yield by particle size for sheet & rill erosion". In: *Proceedings of the Sediment: Monitoring, Modeling, and Managing, 7th Federal Interagency Sedimentation Conference*, Reno, NV, 25-29 March, p. I-1 - I-7.
- Bingner, R. L. and F. D. Theurer, 2001a. "AGNPS 98: A Suite of water quality models for watershed use". In: *Proceedings of the Sediment: Monitoring, Modeling, and Managing, 7th Federal Interagency Sedimentation Conference*, Reno, NV, 25-29 March, p. VII-1 - VII-8.
- Bhuyan, S. J., Kalita, P. K., Janssen, K. A., Barnes, P. L. (2002). "Soil loss predictions with three erosion simulation models". *Environmental Modelling & Software*, **17**, 137-146.
- Bhuyan, S. J., Koelliker, J. K., Marzen, L. J., Harrington Jr, J. A. (2003). "An integrated approach for water quality assessment of a Kansas watershed". *Environment Modelling & Software*, **18**, 473-484.
- Bloise, G.L.F., Carvalho Júnior, O.A., Reatto, A., Guimarães, R.F., Martins, E.S., Carvalho, A.P.F. (2001). "Avaliação da suscetibilidade natural à erosão dos solos da bacia do Olaria – DF". *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Cerrados*, n. 14, novembro, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 1-33.
- Bollmann, H. A., Freire, S. M. (2003). "Avaliação da carga poluente no reservatório do rio Irai – Região Metropolitana de Curitiba/PR". *Anais do XI Seminário de Iniciação Científica da PUC/PR*, outubro, Pontífice Universidade Católica do Paraná, Curitiba, PR.
- Bordas, M. P., Semmelmann, F. R. (2004). "Elementos de engenharia de sedimentos". In: Tucci, C. E. M. (org), *Hidrologia: Ciência e Aplicação*, 3 ed. Editora UFRGS/ABRH, Porto Alegre, RS, 915-943.
- Carvalho, N. O. (1994). *Hidrossedimentologia Prática*. Rio de Janeiro: CPRM, 372p.



- Carvalho, N. O., Filizola Jr., N. P., Santos, P. M. C., Lima, J. E. F. W. (2000). *Guia de Práticas Sedimentométricas*. Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, Dupligráfica Editora, Brasília, 154p.
- Carvalho, N. O., Salgado, J. C. M., Ross, J., Ruiz, N. C. P., Silva, L. F. A., Mesquita, J. B., Goulart Netto, A. A., Silva, L. P. (2005). “Revisão dos estudos sedimentológicos do rio Madeira e Mamoré, RO”. *Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa/PB*, n 439. ABRH.
- CEE/ODU homepage. Disponível em: <http://www.cee.odu.edu/model/swrrbwq.php> acessado em 04/07/2006.
- Dalcanale, F., Porto, M. (2001) “Avaliação da produção de cargas difusas em bacias rurais”. *Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracaju/SE*, n. 392. ABRH.
- Darden, R., Justice, V. (2007). *AGNPS Input Data Preparation Model – User’s Guide*, versão 4. USDA-ARS, National Sedimentation Laboratory, Oxford, USA, 31p.
- Derisio, J. C. (2000). *Introdução ao Controle de Poluição Ambiental*. Signus Editora, 2ª edição, São Paulo, 164p.
- Doorenbos, J., Pruitt, W.O. (1977). “Crop water requirements”, *Irrigation and Drainage Paper n.24, (rev) FAO*, Roma, Itália, 114p.
- Duffie, J.A., Beckman, W.A. (1991). *Solar Engineering of Thermal Process*. 2<sup>nd</sup> ed., John Wiley and Sons, New York, 1-146.
- Eiger, S., Aranha, C. H., Gomes, M. C. A., Perez, L. S. N., Bueno Neto, A. S. (1999). “Modelagem matemática de cargas difusas na bacia do Guarapiranga, São Paulo”. *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte/MG*. ABRH.
- Eriksson, N. (2003). *Adaptation of the Agricultural Non-Point Source Pollution Model to the Morsa*. Uppsala Universitet, Uppsala, Suécia, 54p.
- Faria, R. T., Caramori, P. H, Chibana, E. Y., Brito, L. R. S. (2003). “CLIMA – Programa Computacional para Organização e Análise de Dados Meteorológicos”. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, V **23** (2), maio/agosto 2003, p. 372-387.
- Fernandes, S. C. (2005). *Avaliação de imagens de satélite de alta e muito alta resolução espacial para a discriminação de classes de uso e ocupação do solo: aplicação ao caso da sub-bacia do córrego Capão Comprido no Distrito Federal*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, publicação PTARH.DM

- 079/05, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 106p.
- Foster, G.R.; McCool, D.K.; Renard, .G. & Moldenhauer, W.C.(1981). “Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units”. *Journal of Soil and Water Conservation*, **36**, 355-359.
- Garbrecht, J., and L. Martz, 1995. *TOPAZ: An Automated Digital Landscape Analysis Tool for Topographic Evaluation, Drainage Identification, Watershed Segmentation, and Subcatchment Parameterization; TOPAZ Overview*. USDA-ARS Publication NAWQL 95-1.
- Garrido, J. M. (2003). *Aplicação de modelo matemático de simulação com utilização de Sig à bacia do rio Jiquiriçá – Bahia*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e de Recursos Hídricos, publicação PTARH.DM-063/03, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 197p.
- Gastaldini, M. C. C., Seferin, G. F. F., Paz, M. F. (2002). “Diagnóstico atual e previsão futura da qualidade das águas do Rio Ibicuí utilizando o modelo QUAL2E”. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, **7** (3) – julho/setembro 2002 e (4) – outubro/dezembro 2002, 129–138.
- Giansante, A. E., Tavares, L. G., Almeida, F. (2005). “Metodologia de avaliação de cargas difusas para fins de planejamento ambiental: o caso da bacia Piraí - SP”. *Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa/PB*, n 830. ABRH.
- He, C. (2003). “Integration of geographic information systems and simulation model for watershed management”. *Environmental Modelling & Software*, **18**, 809-813.
- Knisel, W.G. *et al.*, 1980. *CREAMS, a field-scale model for Chemicals, Runoff and Erosion from Agric. Management Systems*. Tucson, Arizona, 2v., USDA.
- Lane, L. J., Hernandez, M., Nichols, M. (1997). “Processes controlling sediment yield from watersheds as functions of spatial scale”. *Environmental Modelling & Software*, **12** (4), 355-369.
- Lima, J. B. M. (2004). *Estudo de redes de monitoramento de Qualidade das Águas Superficiais – o Caso da Bacia do Rio Descoberto*. Dissertação de Mestrado, Publicação PTARH.DM-69; 2004, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 112p.
- London, J., Frohlich, C. (1982). “Extended abstracts presented at the symposium on the solar constant and the spectral distribution of solar irradiance”, *IAMAP Third*

- Scientific Assembly*, 17-28 de agosto, 1981, Hamburg, Federal Republic of Germany, 41p.
- McAvoy, D. C., Masscheleyn, P., Peng, C., Morrall, S. W., Casilla, A. B., Lim, J. M. U., Gregorio, E. G. (2003). "Risk assessment approach for untreated wastewater using the QUAL2E water quality model". *Chemosphere*, **52**, 55-66.
- Machado, R. E., Vettorazzi, C. A. (2003). "Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins (SP)". *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **27** (4), 735-741.
- Magalhães Jr., A.P. (2000). "A situação do monitoramento das águas no Brasil – Instituições e iniciativas". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **5** (3), julho-setembro de 2000, 113-135.
- Mansor, M. T. C. (2005). *Potencial de poluição das águas superficiais por fontes não-pontuais de fósforo na bacia hidrográfica do Ribeirão do Pinhal, Limeira-SP*. Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP, 171p.
- Marin, E. M. (2001). *Hidráulica Fluvial, Princípios e Prática*. Bellisco edições técnicas e científicas, 1ª edição, Madri, 300p.
- Masini, L. S., Porto, M. (2001). "Cargas difusas de origem urbana: monitoramento da bacia do Rio Cabuçu de Baixo, São Paulo, SP". *Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracaju/SE*, n. 391. ABRH.
- Mateus, S. R., Coelho, H. S., Neves, R. (2004). "Modelação integrada para a gestão da qualidade da água de bacias hidrográficas". *Anais do IV Congresso Ibérico sobre gestão e planificação da água*, Tortosa, dezembro, 7p.
- Moro, M. (2005). *A utilização da interface SWAT-SIG no estudo da produção de sedimento e volume de escoamento superficial com simulação de cenários alternativos*. Dissertação de mestrado, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 100p.
- Nascimento, A. C., Campana, N. A. Eid, N. J. (2000). "Reconstituição de vazões mínimas. Estudo de caso: Bacia do Córrego Capão Comprido" In: *I Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste, Brasília, DF*.
- Novotny, V. (1999). "Diffuse pollution from agriculture". *Water Science and Technology*, Grã-Bretanha, **39** (3), 1-13.
- Porto, F.A., Branco, S.M., Luca, S.J. (1991). Caracterização da qualidade da água. In: Porto, R.L. (Org.). *Hidrologia ambiental*, EDUSP, São Paulo, p. 375-390.

- Porto, R.M. (2004). *Hidráulica Básica*. EESC-USP, 3ª Ed., São Carlos, SP, 540p.
- Ramireddygar, S. R., Sophocleous, M. A., Koelliker, J. K., Perkins, S. P., Govindaraju, R. S. (2000). “Development and application of a comprehensive simulation model to evaluate impacts of watershed structures and irrigation water use on streamflow and groundwater: the case of Wet Walnut Creek Watershed, Kansas, USA”. *Journal of Hydrology*, **236**, 223-246.
- Reatto, A., Martins, E. S., Cardoso, E. A., Spera, S. T., Carvalho Jr., O. A. C., Silva, A. V. e Farias, M. F. R. (2003). “Levantamento de reconhecimento de solos de alta intensidade do alto curso do Rio Descoberto, DF/GO, escala 1:100000”. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* Nº 92. EMBRAPA Cerrados, Distrito Federal, Brasil.
- Reis, L. G. M., Paz, A. R., Lima, H. V. C. (2005). “Metodologia simplificada para estimar o aporte de cargas e simular a qualidade da água em pequenas bacias hidrográficas”. *Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa/PB*. ABRH.
- Rennó, C. D., Soares, J. V. (2000). “Modelos hidrológicos para gestão ambiental – relatório parcial”. *Ministério da Ciência e Tecnologia, INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*, 60p.
- Ribeiro, M. O. (2001). *Estudo da poluição e autodepuração nos rios Melchior e Descoberto – DF/GO, com auxílio de modelos matemáticos de simulação de qualidade da água, para estudos de seu comportamento atual e futuro. [Distrito Federal] 2001*. Dissertação de Mestrado, Publicação PTARH.DM0046-2001, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 177p.
- Rossi Pisa, P., Preti, F., Rossi, M., Ventura, F., Mazzanti, B. (1999). “Water, soil and chemical losses: field experiments and model analysis”. *Water Science and Technology*, Grã-Bretanha, **39** (3), 93-102.
- Santhi, C., Srinivasan, R., Arnold, J. G., Williams, J. R. (2006). “A modeling approach to evaluate the impacts of water quality management plans implemented in a watershed in Texas”. *Environment Modelling & Software*, **21**, 1141-1157.
- Silva, A. C., Marinelli, C. E., Vasconcelos, C. H., Criscuolo, C., Ushinohama, E., Moretto, E. M., Maciel, G. C., Bruncha, G., Gonzaga, J. L., Lucca, J. V., Almeida, R. C., Musetti, R. A. (1999). “Contribuição para a gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio do Monjolinho (São Carlos/SP)”. *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte/MG*. ABRH.

- Silva, A. L. (2003). *A utilização do modelo WinHSPF no estudo das cargas difusas de poluição da bacia do Ribeirão das Estivas, SP*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 158p.
- Silva, V. C. (2004). “Estimativa da erosão atual da bacia do rio Paracatu (MG/GO/DF)”. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, **34** (3), 147-159.
- Silva, R. M. (2005). *Previsão hidrossedimentológica numa bacia periurbana através do acloppamento de modelos climáticos e hidrológicos*. Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 172p.
- Silveira, G. L., Silva, C. E., Irion, C. A. O., Cruz, J. C., Retz, E. F. (2003). “Balanço de cargas poluidoras pelo monitoramento quali-quantitativo dos Recursos Hídricos em pequena Bacia Hidrográfica”. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos* **V 8** (1), janeiro/março, 5-11.
- Soares, P. F. (2001). *Projeto e avaliação de desempenho de redes de monitoramento de qualidade da água utilizando o conceito de entropia*. Tese de doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 211p.
- Souto, A. (1998). *Análise espacial e temporal da produção de sedimentos em uma microbacia rural com o modelo AGNPS e técnicas de SIG*. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- Souto, A. R., Crestana, S. (2000). “Identificação das 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*, **V4** (3), 429-435.
- Souza, P. K. (2003). “Prospecção Tecnológica – Recursos Hídricos/ Produtos e Equipamentos”. *Instituto de Pesquisa Hidráulicas, Departamento de Hidromecânica e Hidrologia*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 91p.
- Srinivasan, V. S. (1991). “Estudo da produção de sedimento em bacias representativas da região Nordeste”. *I Encontro Nacional de sedimentos*, Ouro Preto, 21 a 26 de outubro, 29-31.

- Thomann, R. V., Mueller, J. A. (1987). *Principles of Surface Water Quality Modeling and control*. Nova Iorque: Harper Collins, 644p.
- Tubelis, A., Nascimento, F. J. L. (1980). *Meteorologia Descritiva, fundamentos e aplicações brasileiras*. Livraria Nobel S.A., São Paulo, SP, 373p.
- Tucci, C. E. M. (2004). *Hidrologia: ciência e aplicação*. Editora da UFRGS/ABRH, Porto Alegre, 943p.
- USDA (1987). *Water Erosion Prediction Project (WEPP), Overland-flow profile version (Report n.2) – NSERL – USDA – ARS, West Lafayette-Indiana*.
- USDA Forest Service homepage. Disponível em: <http://forest.moscowfsl.wsu.edu/engr/wepp0/html>, acessado em 17/05/2006.
- USDA-ARS homepage. Disponível em: <http://www.tucson.ars.ag.gov/kineros/Docs/pdf/Erosion.pdf>, acessado em 17/05/2006.
- USDA-ARS homepage. Disponível em: [www.tucson.ars.ag.gov/kineros](http://www.tucson.ars.ag.gov/kineros), acessado em 07/08/2006.
- USEPA homepage. Disponível em: <http://www.epa.gov>, acessado em 20/06/2006.
- Von Sperling, M. (2005). *Introdução à Qualidade da Água e ao Tratamento de Esgotos*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 452p.
- Williams, J.R., Berndt, H.D. 1972. “Sediment yield computed with universal equation”. *Journal of Hydraulic Division, ASCE*. **98** (12), 2987-2999.
- Wischmeier, W.H., Johnson, C.B., Cross, B.V. (1971). “A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites”. *Journal of Soil and Water Conservation*, **26**, 189-193.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D. (1978). “Predicting Rainfall Erosion Losses: a guide to conservation planning”. *Agriculture Handbook*, n. 537, Department of Agriculture, Washington, 61p.
- Woolhiser, D. A., R. E. Smith, and D. C. Goodrich, 1990. *KINEROS- A Kinematic Runoff and Erosion Model; Documentation and User Manual*. USDA-ARS Pub. ARS-77, 130 p.
- Yoon, J. (1996). “Watershed-Scale Nonpoint Source Pollution Modeling and Decision support System Based on a Model-GIS-RDBMS Linkage”. *AWRA-Symposium on*

*GIS and water resources*, september 22-26, American Water Resources Association, 12p.

- Young, R. A., Onstad, C. A., Bosch, D. D., Anderson, W. P. (1987) *AGNPS, Agricultural Non-point-source Pollution Model. A Watershed Analysis Tool*. U.S. Department of Agriculture, Conservation Research Report 35, 80p.
- Young, R. A., Onstad, C. A., Bosch, D. D., Anderson, W. P. (1989). “*AGNPS: A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds*”. *Journal of Soil and Water Conservation*, **44** (2), março-abril.
- Young, R. A. (1994). *Agricultural Non-point Source Pollution Model - Versão 4.03, AGNPS User's Guide*. USDA-Agricultural Research Service, USA.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CITADAS POR OUTROS AUTORES

- Barth, F. T., Pompeu, C. T., Fill, H. D., Tucci, C. E. M., Kelman, J., Braga Jr, B. (1987). *Modelo para Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Nobel, ABRH, São Paulo, SP, 526 p.
- Bicknell, B.R., J. C. Imhoff, J. L. Kittle, A. S. Donigian, and R.C. Johanson. 1993. *Hydrological Simulation Program - FORTRAN (HSPF): Users Manual for Release 10*. EPA-600/R-93/174, U.S. EPA, Athens, GA, 30605.
- Brown, L. C., Barnwell, T. O., 1987. *The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and User Manual*, EPA.
- Cogo, N. P. (1988). “Conceitos e princípios científicos envolvidos no manejo de solos para fins de controle da erosão hídrica”. *Anais do Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, **21**, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, parte 1, 253-262.
- Huber, W.C. and Dickinson, R.E., 1988. “Storm Water Management Model User's Manual, Version 4”. EPA/600/3-88/001a (NTIS PB88-236641/AS). U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA, p.595.
- Johnson, G.L., C. Daly, G.H. Taylor, and C.L. Hanson. 2000. “Spatial Variability and Interpolation of Stochastic Weather Simulation Model Parameters”. *Journal of Applied Meteorology* **39**, p.778-796.
- Novotny, V., Olem, H. (1993). *Handbook of Non-point Pollution: Sources and Management*. Nova Iorque: Van Nostrand-Reinhold, 1054p.
- Soil Conservation Service - SCS, 1968. “Hydrology”. In: *Engineering Handbook*, U. S. Department of Agriculture, Washington D. C.
- Sanders, T. G. *et al.* (1983). “Design of network for monitoring water quality”. Highlands Ranch: *Water Resources Publications*.
- USACE, 1978. *WQRRS: Water Quality for River-Reservoir Systems User's manual*. US Army Corps of Engineers Hydrology Engineering Center, October.



## **ANEXO**

**ANEXO A – HIETOGRAMA E HIDROGRAMA DOS 5 EVENTOS SIMULADOS  
NO AGNPS 5.0.**

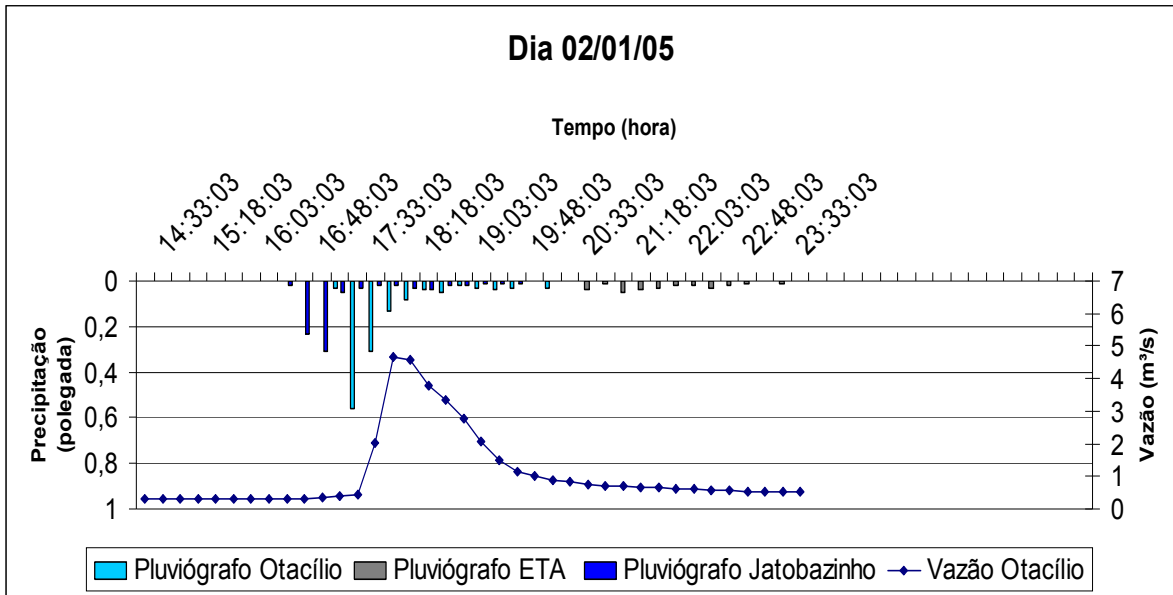


Figura A.1 – Hietograma e hidrograma da seção Otacílio – dia 02/01/05.

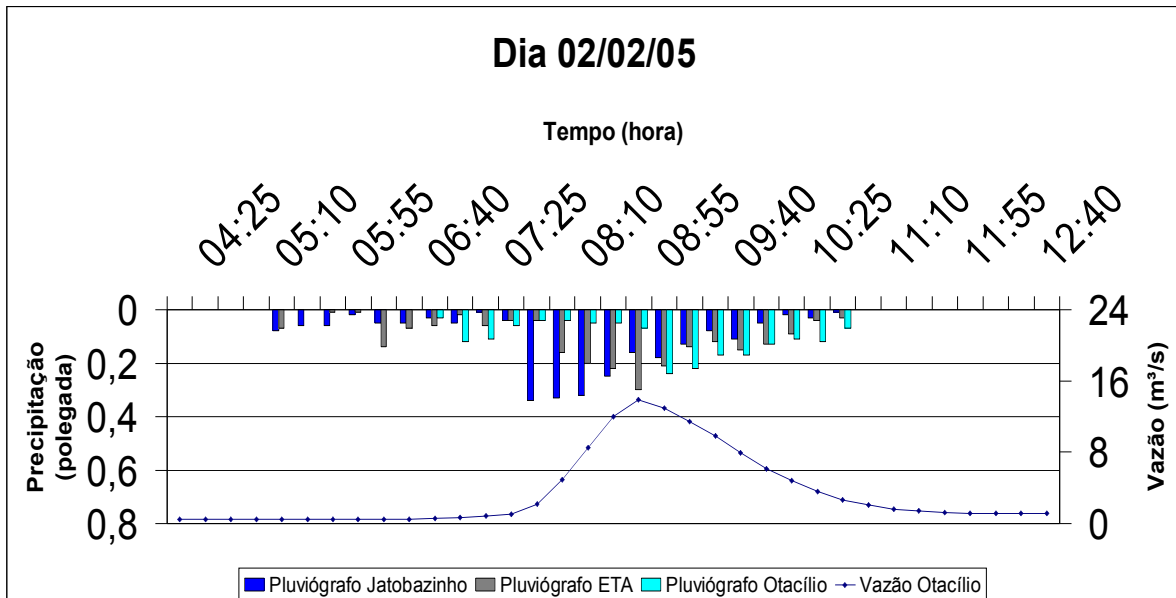


Figura A.2 – Hietograma e hidrograma da seção Otacílio – dia 02/02/05.

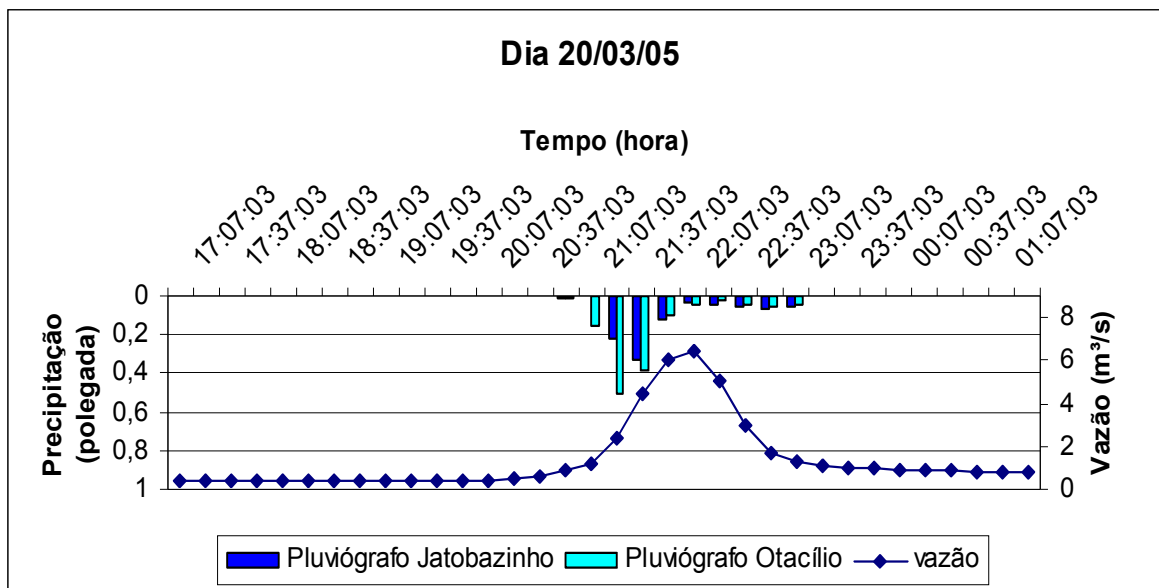


Figura A.3 – Hietograma e hidrograma da seção Otacílio – dia 20/03/05.

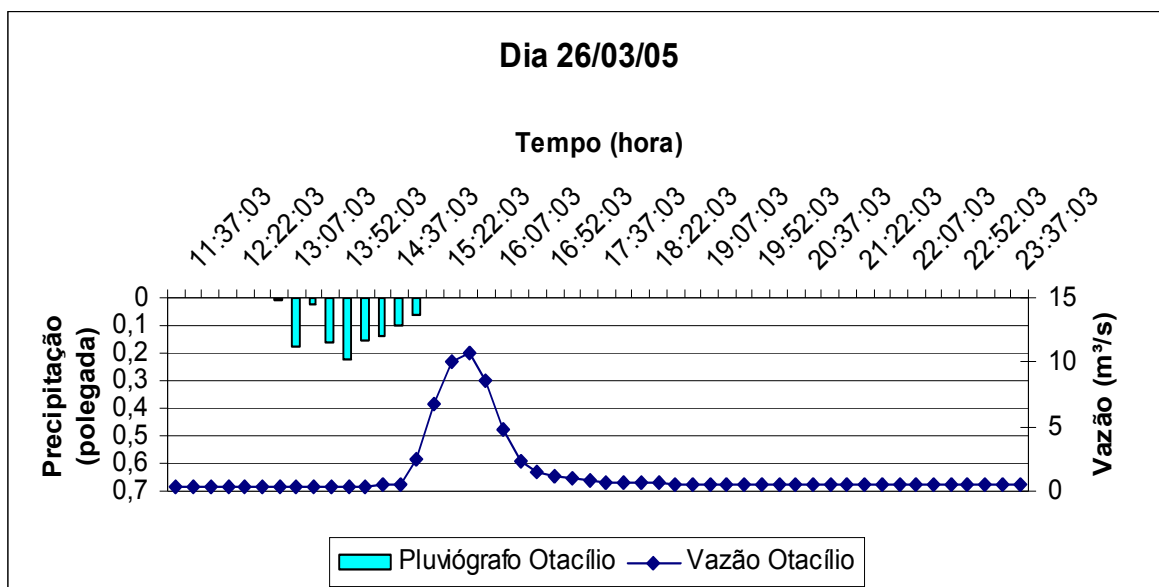


Figura A.4 – Hietograma e hidrograma da seção Otacílio – dia 26/03/05.

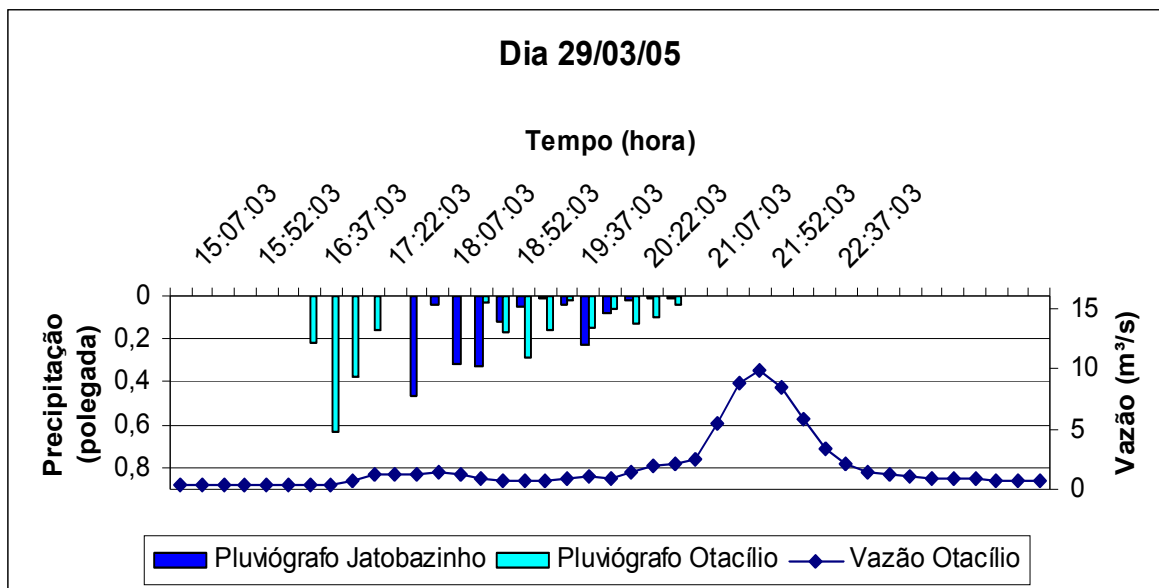


Figura A.5 – Hietograma e hidrograma da seção Otacílio – dia 29/03/05.



### ANEXO C – HIETOGRAMAS USADOS NO ANNAGNPS

