

Deferida
20/05/98

0182/98

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ECOLOGIA APLICADA

**ANÁLISE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS
EM UMA MICROBACIA RURAL COM O MODELO AGNPS E TÉCNICAS
DE SIG.**

ADRIANO RAUSCH SOUTO

DEDALUS - Acervo - EESC

31100017258

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental.

ORIENTADOR : Prof. Dr. Silvio Crestana

São Carlos
1998



Class.	
Cutt.	5747
Tombo	0182 98

311 00017258

st 0984127

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC-USP

S728a Souto, Adriano Rausch
Análise espacial e temporal da produção de
sedimentos em uma microbacia rural com o modelo
AGNPS e técnicas de SIG / Adriano Rausch Souto. --
São Carlos, 1998.


Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia
de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1998.
Área: Ciências da Engenharia Ambiental.
Orientador: Prof. Dr. Silvio Crestana.

1. Práticas de manejo e conservação do solo.
 2. Hidrologia. 3. Produção de sedimentos.
 4. Poluição não pontual. 5. Erosão do solo.
- I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Engenheiro **ADRIANO RAUSCH SOUTO**

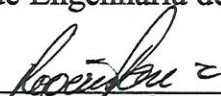
Dissertação defendida e aprovada em 29-05-1998
pela Comissão Julgadora:



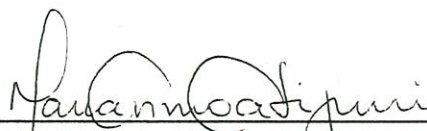
Prof. Doutor **SILVIO CRESTANA (Orientador)**
(EMBRAPA/CNPDIA)



Prof. Titular **FAZAL HUSSAIN CHAUDHRY**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor **ROGÉRIO TEIXEIRA DE FARIA**
(ESALQ - Universidade de São Paulo)



Profa. Doutora **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Coordenadora da Área de Ciências da Engenharia Ambiental



JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

Dedicatória:

Dedico à Deus este trabalho por sua proteção e oportunidade de poder realiza-lo.

A meus pais Francisco e Magdalena, minhas irmãs Corina e Miriam, sem esquecer da minha sobrinha Janaína, e a meus avós Rausch e Lola, Souto e Josefina pelo afeto e inspiração e a Denise Accorsi por estar presente nos momentos especiais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos profissionais e instituições que contribuíram para o desenvolvimento e elaboração da presente dissertação:

ao Professor Dr. Silvio Crestana pela confiança demonstrada no desenvolvimento do trabalho;

ao Professor Dr. Rogério Teixeira de Faria pelo incentivo dado para realização do curso de mestrado;

ao Professor Dr. Fazal Hussain Chaudry pelo seu caráter nobre em servir;

ao Instituto Agrônomo do Paraná pela condição oferecida na realização desta pesquisa;

ao Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo pelo apoio geral na realização do treinamento;

aos professores, amigos e servidores do CRHEA/EESC/USP, pela conveniência e aprendizagem neste breve período;

aos amigos do curso de Pós Graduação pela preciosa convivência durante o curso;

ao CNPDIA/EMBRAPA pelo apoio oferecido na realização do treinamento;

ao corpo técnico das bibliotecas do CRHEA, EESC, IAPAR, UEL;

a família do Hotel Caiçara pela calorosa acolhida;

a um velho amigo Professor Dr. Marc Pierre Bordas "in memoriam";

aos amigos do IAPAR João Henrique Caviglione, Paulo Roberto de Abreu Figueiredo, Rui Casão Jr., Ademir Calegari, Garibaldi de Medeiros, Jooji Takaoka, José Reinaldo Zani, Edno, Devanir, Adriana Jaloto pela contribuição em diferentes etapas do trabalho, e em especial a Augusto Guilherme Araújo pela revisão final;

ao Eng^o. Paulo Cesna - Emater Local, pela integração desta equipe para com os produtores rurais da microbacia e o acompanhamento e das atividades ali desenvolvidas;

os observadores Francisco Ludwig, João Rocha, Mauro Zanin e Vitor da Silva Ferreira, que executaram suas tarefas com grande seriedade;

aos laboratoristas de Solos e Ecofisiologia pelas análises e resultados determinados;

ao setor de Transporte pelos veículos utilizados nas inúmeras viagens e à Estação Experimental de Londrina por ceder os operários rurais;

ao setor de Contabilidade e Suprimentos e Patrimônio pela manutenção financeira essenciais ao desenvolvimento deste trabalho;

ao Sindicato Rural Patronal e a ACOPAR pela ajuda preciosa no andamento das atividades;

e ao Técnico Agrícola Ronaldo Rossetto, e os operários rurais João Moraes, Jorge Francisco Varjão e Laércio da Silva pela dedicada aplicação nos trabalhos de campo.

SUMÁRIO

Nomenclatura	i
Lista de Abreviaturas e Siglas	iv
Lista de Figuras	viii
Lista de Quadros	x
Lista de Tabelas	xi
Resumo	xii
Abstract	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	3
1.2 Descrição resumida do conteúdo de cada capítulo	4
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 Aspectos hidrológicos e componentes da erosão do solo	5
2.1.1 Bacia hidrográfica	5
2.1.2 Escorrimento superficial	6
2.1.2.1 Volume e pico de vazão - Método da SCS	7
2.1.2.2 Hidrograma	9
2.1.2.3 Método de Thiessen	10
2.1.2.4 Resistência ao escoamento	11
2.1.3 Perda de solo	12
2.1.3.1 Equação Universal da Perda de Solo - Método USLE	14

2.1.3.2	Fator erodibilidade do solo - K	14
2.1.3.3	Fator cobertura do solo - C	15
2.1.3.4	Fator práticas conservacionistas - P _c	16
2.1.3.5	Controle do escoamento superficial	17
2.1.3.6	Índice de erosão - Fator R	18
2.1.3.7	Textura do solo	19
2.1.3.8	Nutrientes	20
2.1.3.8.a	Fósforo	20
2.1.3.8.b	Matéria orgânica	21
2.1.3.8.c	Nitrogênio	22
2.1.4	Monitoramento hidrológico	23
2.1.4.1	Pluviometria	23
2.1.4.2	Fluviometria	24
2.1.4.3	Correlação: cota da régua x vazão	25
2.1.4.4	Medição de vazão líquida	26
2.1.4.5	Sedimentometria	27
2.2	Modelos matemáticos de simulação e componentes hidrológicos em bacias hidrográficas	29
2.2.1	Principais modelos disponíveis	30
2.2.2	Descrição do modelo AGNPS	32
2.3	Sistema de informação geográfica - SIG	35
2.3.1	Caracterização dos sistemas	36
2.3.2	Técnicas	36
2.3.3	O uso de sistemas de informações geográficas	37
2.3.4	O modelo AGNPS integrado a um SIG	37
3. MATERIAL E MÉTODOS		38
3.1	Caracterização da área de estudo	38
3.2	Etapas do trabalho	39
3.3	Aquisição de dados	40

3.3.1	Estações pluviográficas	40
3.3.1.a	Localização e instalação	40
3.3.1.b	Operação e manutenção	41
3.3.1.c	Tratamento dos dados	41
3.3.2	Estação fluviométrica	41
3.3.2.a	Localização e instalação	42
3.3.2.b	Operação e manutenção	42
3.3.3	Estação fluviográfica	43
3.3.3.a	Localização e instalação	43
3.3.3.b	Operação e manutenção	43
3.3.5	Medição de vazão em rios	44
3.3.5.a	Determinação da Curva-chave	45
3.3.5.b	Metodologia	45
3.3.5.c	Tratamento dos dados	45
3.3.6	Estação sedimentométrica	45
3.3.6.a	Operação e manutenção	46
3.3.6.a.1	Sedimentos em suspensão	46
3.3.6.b.1	Sedimentos de fundo	46
3.3.6.b.2	Tratamento dos dados	46
3.4	Representação espacial de informação	47
3.4.1	Tratamento digital	48
3.5	Arquivo de dados para o AGNPS	49
3.5.1	Determinação das faixas de declividade	49
3.5.2	Direção do escoamento	50
3.5.3	Modelo de elevação digital do terreno	50
3.5.4	Declividade média do canal principal	51
3.5.5	Fator de forma do terreno	52
3.5.6	Comprimento do declive médio de drenagem	52
3.5.7	Definição do uso da terra nas células	52
3.5.8	Coefficiente de rugosidade de Manning	53
3.5.9	Constante das condições superficiais - SCC	54

3.5.10	Terraceamento	54
3.5.11	Solos	54
3.5.11.1	Análise granulométrica	55
3.5.12	Levantamento dos nutrientes: fósforo, nitrogênio e matéria orgânica	57
3.5.13	Determinação dos mapas de concentrações de nutrientes	57
3.5.13.1	Concentração de fósforo - P	58
3.5.13.2	Teor de matéria orgânica - MO	59
3.5.13.3	Concentração de nitrogênio - N	60
3.5.14	Uso e manejo do solo	60
3.5.15	Determinação do fator cobertura - C	61
3.5.15.1	Culturas anuais: trigo e soja	62
3.5.15.2	Culturas anuais: milho	62
3.5.15.3	Culturas perenes: pastagens	63
3.5.16	Nível de fertilização	65
3.5.17	Fator disponibilidade de fertilização	66
3.5.18	Determinação do fator erodibilidade	66
3.5.19	Demanda química de oxigênio - DQO	67
3.5.20	Fator chuva - R e EI ₃₀	68
3.5.20.1	Determinação do fator R	68
3.5.20.2	Determinação da intensidade de chuva - I ₃₀	69
3.5.20.3	Determinação do fator - EI ₃₀	70
3.5.20.3.a	Sistema métrico e sistema inglês	70
3.5.20.3.b	Sistema métrico internacional	70
3.5.21	Disposição das estações de monitoramento	70
3.5.21	Cálculo da precipitação média	71
3.5.23	Cálculo do volume e vazão de pico do escoamento superficial	72
3.6	A execução do modelo AGNPS	72

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	73
4.1 Análise estatística dos resultados de campo	73
4.2 Análise dos resultados referentes à produção de sedimentos gerados pelo modelo	74
4.3 Simulações	77
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	87
5.1 Conclusões	87
5.2 Sugestões para trabalhos futuros	88
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
7. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	98
8. ANEXOS	100
9. APÊNDICES	106

NOMENCLATURA

- a** - passo da concha, distância percorrida pelo fluxo de uma volta;
- A** - direção principal de drenagem da cada célula;
- A_b** - área da bacia;
- A_d** - área de drenagem;
- A_{est}** - área da bacia até a estação de medida;
- A_i** - área de influência do posto;
- A_p** - perda de solo;
- b** - constante característica da concha;
- C** - fator de cobertura do solo;
- CE** - número da célula;
- C_t** - coeficiente do pico do fluxo;
- CN** - curva número SCS;
- C_{nut}** - concentração de N ou P na superfície do solo durante o escoamento;
- C_o** - carbono orgânico;
- CS** - declividade média do canal, %;
- d** - diâmetro das partícula de sedimentos, mm;
- DBO** - demanda bioquímica de oxigênio, mg .l⁻¹;
- D_d** - densidade de drenagem;
- DQO** - demanda química de oxigênio, mg .l⁻¹;
- ds** - elemento de área, m²;
- Ec** - energia cinética;
- EI₃₀** - produto da energia cinética com a intensidade máxima em 30 minutos;
- F** - nível de fertilização;
- h** - altura da lâmina d'água, metros;
- ha** - hectares;
- H_{fs}** - horário final do segmento;
- H_{is}** - horário inicial do segmento;
- h** - horas;
- I** - vetor intensidade relativa;

I_a	- perdas iniciais;
I_p	- percentagem de impermeabilização;
I₃₀	- intensidade máxima em 30 minutos;
K	- erodibilidade do solo (USLE);
km²	- área em quilômetros quadrados;
L	- fator comprimento do declive;
L_b	- comprimento da bacia;
L_{ca}	- comprimento do curso de água até o seu centro de gravidade;
log	- logaritmo;
L_{tc}	- comprimento total dos canais;
LW	- relação comprimento/largura da bacia;
mg	- miligramas;
MJ	- Mega Joule;
mm	- milímetros;
MO	- matéria orgânica, %;
n	- coeficiente da rugosidade de Manning;
N	- nitrogênio;
N_r	- velocidade de rotação do eixo do micromolinetete;
OD	- oxigênio dissolvido, mg .l ⁻¹ ;
P	- fósforo;
P_c	- fator práticas conservacionistas;
P_e	- precipitação efetiva;
pH	- potencial de Hidrogênio;
P_i	- precipitação registrada no ponto “i”;
P_s	- precipitação no segmento;
PS	- indicador de fonte pontual;
P_T	- precipitação total;
q_i	- vazões parciais de cada elemento de área, m ³ .s ⁻¹ ;
q_p	- vazão de pico do hidrograma unitário por unidade de área;
Q_c	- vazão líquida , m ³ .s ⁻¹ ;
Q_e	- escoamento superficial;

Q_M	- escoamento gerado pelo modelo;
Q_{obs}	- vazão líquida observada, $m^3 \cdot s^{-1}$;
Q_p	- vazão de pico do fluxo;
Q_{ph}	- vazão de pico do hidrograma unitário;
$Q_s(\mathbf{x})$	- produção de sedimentos;
R	- fator índice de erosão;
RC	- número da célula dentro da qual está a drenagem;
R_h	- raio hidráulico;
RO	- volume escoado superficialmente;
S	- fator capacidade máxima;
S_c	- declividade do canal;
S_D	- fator declividade do terreno;
SCC	- constante das condições de superfície;
SF	- fator forma da rampa (uniforme, convexo, côncavo);
SSF	- fator de ajuste da forma do declive dentro da célula;
S_t	- área da seção transversal de escoamento, m^2 ;
t_c	- tempo de concentração;
tm	- tonelâmetro;
ton	- toneladas;
t_p	- tempo de pico;
t_t	- tempo de total;
t_u	- tempo de duração da chuva unitária;
T	- textura do solo (areia, silte, argila, turfa);
T_f	- fator de correção para a textura do solo;
T_p	- tempo de escoamento da hidrógrafa;
v	- velocidade, $m \cdot s^{-1}$;
ν	- velocidade de cada elemento de área, $m \cdot s^{-1}$;
V_{HU}	- volume do hidrograma unitário;
Δx	- variação da seção transversal no canal de escoamento em uma célula, m;
Σ	- somatório;
\iint	- integral dupla.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRH	- Associação Brasileira de Recursos Hídricos
AGNPS	- Agricultural Non-Point Pollution Source
AIA	- Avaliação de Impacto Ambiental
ANSWER	- Areal Non Point Source Watershed Environment Response Simulation
ARS	- Agriculture Research Service
ASAE	- American Society of Agricultural Engineers
AWWA	- American Water Works Association
BIRD	- Banco Interamericano de Reconstrução e Desenvolvimento
CETESB	- Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
CNPDIA	- Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária
CNPMA	- Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental
CPAC	- Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados

CREAMS	- Chemical, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems
CRHEA	- Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada
DAEE	- Departamento de Águas e Energia Elétrica
DF	- Distrito Federal
DNAEE	- Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
EESC	- Escola de Engenharia de São Carlos
EIA	- Estudo de Impacto Ambiental
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPIC	- Erosion Productivity Impact Calculator
ESALQ	- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
FAO	- Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação
FCTH	- Fundação Centro Tecnológica de Hidráulica
GTZ	- Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit
IAP	- Instituto Ambiental do Paraná
IAPAR	- Instituto Agrônomo do Paraná

INPE	- Instituto de Pesquisas Espaciais
IQA	- Índice de Qualidade da Água
IPH	- Instituto de Pesquisas Hidráulicas
IPT	- Instituto de Pesquisa Tecnológica
LANDSAT	- Satélite de Sistema Orbital
LNG	- Linígrafo de Pressão
MAIA	- Manual de Avaliação de Impactos Ambientais
MME	- Ministério das Minas e Energia
MPCA	- Minesota Pollution Control Agency
NEPA	- National Environment Policy Act
NSF	- National Sanitation Foundation
PARANARURAL	- Programa de Desenvolvimento Rural do Paraná
PNUMA	- Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PR	- Paraná
REM	- Registrador Mecânico
RIMA	- Relatório de Impacto Ambiental

RN	- Referência de Nível
RS	- Rio Grande do Sul
SCC	- Constante das condições superficiais
SCS	- Soil Conesevation Service
SEAB	- Secretaria do Estado da Agricultura e do Abastecimento
SIG	- Sistema de Informação Geográfica
SNLSC	- Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo
SNM	- Sensor de Nível Manométrico
SP	- São Paulo
SUREHMA	- Superintendência dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente
SWRRB	- Simulator for Water Resources in Rural Basin
URRGS	- Universidade Rural do Rio Grande do Sul
USDA	- United States Department of Agriculture
USLE	- Universal Soil Loss Equation
USP	- Universidade de São Paulo
UTM	- Universal Transversa Mercator

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Localização da microbacia hidrográfica córrego Água Grande e ribeirão Pensamento	38
FIGURA 2 - Procedimento para a integração SIG com AGNPS	40
FIGURA 3 - Imagem vector: curvas de nível, divisor e cursos d' água	48
FIGURA 4 - Imagem raster do mapa topográfico	48
FIGURA 5 - Fator práticas de manejo conservacionista - P_c	49
FIGURA 6 - Direção do fluxo de escoamento	50
FIGURA 7 - Modelo de elevação digital do terreno	51
FIGURA 8 - Mapa de solos	55
FIGURA 9 - Triângulo de classificação granulométrica	56
FIGURA 10 - Teor de fósforo no horizonte A do solo	58
FIGURA 11 - Teor de matéria orgânica no horizonte A do solo	59
FIGURA 12 - Teor de nitrogênio na matéria orgânica no horizonte A do solo	60
FIGURA 13 - Fator erodibilidade do solo	67
FIGURA 14 - Localização das estações de monitoramento	71
FIGURA 15 - Gráfico da correlação entre os valores observados de precipitação e produção de sedimentos	74
FIGURA 16 - Gráfico da correlação entre dos valores observados e estimados da produção de sedimentos	75
FIGURA 17 - Relação entre as áreas das culturas anuais e perenes no verão de 1992, e percentagem das áreas críticas da produção de sedimentos	79
FIGURA 18 - Estimativa da produção de sedimentos para cada uma das células nas culturas anuais e perenes do verão de 1992	79

FIGURA 19 - Relação entre as áreas das culturas anuais e perenes no verão de 1994, e percentagem das áreas críticas da produção de sedimentos	81
FIGURA 20 - Estimativa da produção de sedimentos para cada uma das células nas culturas anuais e perenes do verão de 1994	81
FIGURA 21 - Relação entre as áreas das culturas anuais e perenes no inverno de 1995, e percentagem das áreas críticas da produção de sedimentos	83
FIGURA 22 - Estimativa da produção de sedimentos para cada uma das células nas culturas anuais e perenes do inverno de 1995	83
FIGURA 23 - Relação entre as áreas das culturas anuais e perenes no verão de 1996, e percentagem das áreas críticas da produção de sedimentos	85
FIGURA 24 - Estimativa da produção de sedimentos para cada uma das células nas culturas anuais e perenes do verão de 1996	85
FIGURA 25 - Hidrograma triangular unitário	108
FIGURA 26 - Hidrograma unitário segundo Snyder	112

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1- Matéria seca de algumas espécies	12
QUADRO 2 - Matéria seca e massa verde (ton. .ha ⁻¹), de algumas espécies de adubação verde de inverno	12
QUADRO 3- Avaliação da matéria orgânica nos solos através do carbono orgânico	21
QUADRO 4- Dados de entrada do modelo AGNPS	34
QUADRO 5 - Fator cobertura para o milho	63
QUADRO 6 - Fator cobertura para pastagens	64

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Determinação da declividade segundo a USLE	49
TABELA 2 - Relação massa seca e o coeficiente de Manning	53
TABELA 3 - Análise granulométrica do solo horizonte A e B - Água Grande e Pensamento	56
TABELA 4 - Determinação da textura do solo	57
TABELA 5 - Fator cobertura para culturas anuais	62
TABELA 6 - Doses aplicadas de adubo com uso de fórmulas contendo NPK, e correspondentes valores de nutrientes aplicados (kg .há ⁻¹) de acordo com a cultura	65
TABELA 7 - Nível de fertilização	65
TABELA 8 - Fator disponibilidade de fertilização de acordo com práticas agrícolas	66
TABELA 9 - Aplicação do método de Thiessen	71
TABELA 10 - Valores de precipitação e energia e intensidade para 30 minutos - (EI ₃₀) dos eventos utilizados no AGNPS	78
TABELA 11 - Valores de precipitação e energia e intensidade para 30 minutos - (EI ₃₀) dos eventos utilizados no AGNPS	80
TABELA 12 - Valores de precipitação e energia e intensidade para 30 minutos - (EI ₃₀) dos eventos utilizados no AGNPS	82
TABELA 13 - Valores de precipitação e energia e intensidade para 30 minutos - (EI ₃₀) dos eventos utilizados no AGNPS	84

RESUMO

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

A utilização inadequada dos recursos naturais com conseqüente erosão dos solos vem gerando pesados prejuízos à sociedade, através da perda da capacidade produtiva do solo e a constante contaminação das águas superficiais. O Estado do Paraná, preocupado com esta situação, lançou um programa visando reverter o processo de degradação de seus recursos naturais renováveis, com base nas alternativas tecnológicas conservacionistas que aumentem a produção vegetal, a produtividade agrícola e a renda líquida do produtor rural. Aliado a essas necessidades, torna-se importante definir dentro de um planejamento estratégico as áreas a serem priorizadas dentro do programa. Neste contexto, este trabalho apresenta como resultado a determinação das áreas críticas na produção de sedimentos, de acordo com o uso do solo, tipo de culturas, sistemas de manejo, declividade, comprimento de rampa do terreno, e a textura e erodibilidade do solo. A área de estudo é a microbacia hidrográfica Água Grande e Pensamento com área de 4.348,42 hectares, pertencente à bacia do rio Piquiri, no município de Mamborê - PR. Para a estimativa da produção de sedimentos empregou-se modelo matemático Agricultural Non-Point Pollution Source - AGNPS e técnicas do SIG, para mapeamento da área de estudo. A coleta das informações referentes aos eventos meteorológicos foi realizada por uma rede de estações de monitoramento. Com os resultados observados em campo obteve-se uma boa correlação entre as chuvas erosivas e a produção de sedimentos, com o coeficiente de determinação, $r^2 = 0,84$. No modelo, foram realizadas quatro simulações tomando como base o mapa de uso do solo, nas culturas de inverno e verão, em diferentes anos agrícolas e para diferentes eventos de precipitação. Dos resultados obtidos, pode-se identificar áreas críticas de poluição não pontual, suas causas e a avaliação das diferentes tecnologias de manejo e conservação do solo que foram implantadas. Concluiu-se que ocorreu uma diminuição da produção de sedimentos na microbacia devido a alteração dos sistemas de manejo do solo, e que foi possível através do AGNPS a identificação, análise e avaliação da poluição não pontual em microbacias rurais.

Palavras-chave: Práticas de manejo e conservação do solo, hidrologia, produção de sedimentos, poluição não pontual, erosão do solo.

ABSTRACT

SOUTO, A. R. Spatial and temporal analysis of sediment production in a rural watershed using the AGNPS model and GIS techniques. São Carlos, 1998. 112p. Master's thesis - Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The inadequate use of natural resources and the consequent soil erosion has had serious impact on society as a result of soil degradation and contamination of the surface waters. Concerned about this situation, the state of Paraná, in Brazil, has initiated a program with the goal of reversing the process of degradation of renewable natural resources, based on the alternative management technologies which increase agricultural production and profit for farmers. Within this scheme of strategic planning it is important to define the priority areas. In this context, this study presents the determination of the critical areas in sediment production, according to land use, crop types, management practices, degree of slope, length of slope, and the texture and erodibility of the soil. The study was conducted in the Água Grande and Pensamento hydrographic watershed, typical of Paraná, located in Mamborê, with an area of 4.3 thousand hectares. Sediment production was estimated by the AGNPS mathematical model coupled to a GIS system, using rainfall input from a network of weather stations. Field results showed a good correlation ($r^2=0.84$) between erosive rainfall and sediment production. Using the AGNPS model, four simulations were performed using the land use map for winter and summer crops indifferent agricultural years and for different rainfall events. The simulations allowed the definition of critical areas of nonpoint pollution in the watershed, the identification of the causes of erosion, and the evaluation of the effect of different land management practices in the area. It was concluded that erosion decreased due to changes in the land management practices. Furthermore, it was found that simulation models are suitable for the identification, analysis, and evaluation of nonpoint pollution in rural watersheds.

Key words: Soil management and conservation practices, hydrology, sediment production, nonpoint pollution, soil erosion.

A todos aqueles que se dedicam à nobre tarefa de conservação de solos, os nossos cumprimentos, pois, mesmo que aquilo que se estiver sendo feito esteja fora de princípios científicos, é de se valorizar, porquanto "vale mais errar tentando fazer alguma coisa, do que acertar por omissão". Quem optar por esta última decisão, estará tão somente aumentando o contingente dos pobres de espírito.

Neroli P. Cogo.

1 INTRODUÇÃO

O Estado do Paraná é um dos principais produtores de grãos do país. No entanto, a erosão dos solos vem gerando pesados prejuízos à sociedade através da perda de áreas agricultáveis e de investimentos públicos em obras de infra-estrutura. Os solos aráveis, arrastados pelas formas de escoamento, são as bases de sustentação de safras agrícolas futuras. Os agricultores constataam a crescente necessidade de adubação, de uso de máquinas mais pesadas e de mais agrotóxicos para fazer frente à deterioração progressiva do ambiente.

Atualmente, o impacto da erosão se manifesta principalmente através do assoreamento dos cursos d'água e reservatórios. Para MERTEN et al. (1995), os problemas derivados da erosão hídrica podem ser de distintas magnitudes. Nos lugares em que ocorrem processos erosivos, verifica-se uma perda da capacidade produtiva do solo devido a remoção dos horizontes superficiais. Por outro lado, os excedentes hídricos que chegam até a rede de drenagem de uma bacia hidrográfica transportam sedimentos, nutrientes e agroquímicos que contaminam as águas superficiais. BRANCO et al. (1994)¹ afirmam que a qualidade das águas dos rios ou lagos refletem necessariamente nas atividades que são desenvolvidas em toda a bacia, cada um dos usos do seu espaço físico, produzindo um efeito específico e característico.

Com transcorrer do tempo, os processos erosivos moldam as feições das bacias hidrográficas. A movimentação dos sedimentos, a partir do seu ponto de origem, ocorre de forma intermitente, quando ainda escoam superficialmente pela bacia,

¹ BRANCO, S.M. Hidrologia ambiental. "In: Curso de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Módulo I." DAEE/FCTH/USP. São Paulo, 1994.

sendo que grande parte dos sedimentos mais pesados são interceptados, ou depositam-se em depressões, não chegando a atingir os cursos d'água. Porém, a partir do momento em que atingem a rede de drenagem, passam a ter uma movimentação mais contínua, interagindo com o escoamento líquido e participando das transformações morfológicas do curso de água (TUCCI et al.,1993).

CASTRO & BISCAIA (1981) citam que o estudo de erosão do solo em macro parcelas e microbacias têm como objetivo avaliar as práticas e sistemas conservacionistas sob o ponto de vista técnico e econômico. BRASIL (1987) relata que os trabalhos de manejo e conservação do solo e água, praticados até agora no país, restringem-se a algumas ações isoladas feitas na propriedade agrícola, sem levar em consideração o conjunto, ou seja, o aproveitamento integrado dos recursos naturais. COGO (1988) descreve que algumas práticas de conservação, como a forma de preparo do solo e o plantio em contorno ou o terraceamento, estão associados aos dois tipos de manejo, ao da terra e ao da cultura.

O estudo da erosão e manejo de solos será mais efetivo se realizado com acompanhamento do agricultor, usuário principal da tecnologia gerada, em uma unidade física definida como é a microbacia hidrográfica. Por se tratar de um ecossistema agrícola, que pode ser conhecido e monitorado hidrologicamente, a microbacia constitui um campo ideal para estudos do comportamento dos solos frente ao uso e manejo (FREITAS & KER, 1996).

Com o objetivo de controlar a erosão hídrica e reverter o processo de degradação dos recursos naturais renováveis, o Governo do Estado do Paraná criou o Programa PARANÁ RURAL - BIRD. Este programa foi estruturado com uma linha de crédito especial para incentivar a adoção de alternativas tecnológicas que aumentassem a produção vegetal e incrementassem a produtividade do solo (SEAB,1989).

O Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR, como uma das instituições participantes do programa, ficou responsável pelo plano de ação para as microbacias hidrográficas, o qual contemplou a caracterização física, a tipificação dos sistemas de produção, o diagnóstico e as propostas técnicas para o desenvolvimento sustentado regional. Junto a estas propostas, iniciou-se também o monitoramento hidrológico planejado com base nos trabalhos de VILLELA & MATTOS (1975), realizado na Bacia do Ribeirão do Lobo, onde atualmente encontra-se a sede do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada - CRHEA da EESC - USP. As principais linhas de pesquisa do CRHEA são o desenvolvimento de metodologias e tecnologia em monitoramento de ecossistemas aquáticos e terrestres, com a finalidade de acompanhar processos de degradação ambiental e a possibilidade de prognósticos de impactos ambientais e recuperação de ecossistemas e processos.

Para estudo dos processos de degradação ambiental, existem, atualmente, os modelos matemáticos que simulam e prevêem respostas aos fenômenos envolvidos quando da sua avaliação. Desta forma, esta dissertação insere-se no contexto de análise da unidade mínima de um ecossistema, que é a bacia de drenagem, através de um modelo de simulação que permite a identificação e avaliação de áreas agrícolas que poderão apresentar problemas de erosão do solo.

1.1 Objetivos

Os objetivos do projeto de dissertação são: a) analisar, espacial e temporalmente, a produção de sedimentos com o uso do modelo Agricultural Non-Point-Source Pollution Model - AGNPS e técnicas de Sistema de Informação Geográfica - SIG - ARC/INFO e o IDRISI/WINDOWS, aplicado a uma microbacia hidrográfica rural sob condições reais de produção, localizada em Mamborê, Paraná; b) identificar as áreas críticas de produção de sedimentos na microbacia e c) verificar experimentalmente a validade dos dados estimados pelo modelo matemático.

1.2 Descrição resumida do conteúdo de cada capítulo

O segundo capítulo apresenta uma revisão sobre os componentes de erosão do solo; o monitoramento hidrológico em bacias hidrográficas; os modelos matemáticos de simulação e seus parâmetros de avaliação; a aplicação do Sistema de Informação Geográfica e sua integração com os modelos matemáticos.

O terceiro capítulo descreve a região de estudo, o desenvolvimento do trabalho, a aquisição de dados hidrológicos e os mapas utilizados; a representação espacial de informações no tratamento digital (imagens criadas); os parâmetros de caracterização adotados e determinados para os diferentes cenários de uso da terra e a descrição das metodologias experimentais.

O quarto capítulo apresenta a análise estatística dos resultados experimentais entre chuvas erosivas e produção de sedimentos, os valores gerados pelo modelo a partir das simulações face aos diferentes cenários e eventos de precipitação selecionados, determinando as áreas críticas na produção de sedimentos. E finalmente, no quinto capítulo, são apresentadas as conclusões finais da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos hidrológicos e componentes da erosão do solo

2.1.1 Bacia hidrográfica

Microbacia, ou bacia hidrográfica de pequena dimensões, ainda é um termo muito discutido por especialistas, pois depende das finalidades a que se destina. Na área hidrológica, COGO (1988) cita que para fins de estimativas de volumes totais, vazões e hidrogramas de enxurrada, uma bacia hidrográfica é considerada pequena, quando sua área atinge até 25 km² (2.500 ha), podendo, em certos casos, estender-se até 250 km² (25.000 ha). Tais limites são definidos em função do grau de precisão das estimativas de enxurrada, efetuadas com as técnicas analíticas existentes. Quanto mais a área da bacia se distancia do limite considerado ideal (25 km²), menos confiáveis serão as estimativas, em função de se obterem valores representativos dos parâmetros das equações de predição.

BORDAS² apud FREITAS & KER (1996), faz referência a uma classificação que inclui: microbacias (área de até 10 ha); minibacias (de 10 a 100 ha); sub-bacias (de 1 a 40 mil ha); pequenas bacias (acima de 400 km²). Para ASSAD & SANO (1993) a única diferença é sua dimensão, que não deve ser maior que 10.000 ha.

Ao tratarmos de microbacias hidrográficas devemos considerá-las como um sistema físico, onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório. Para bacias pequenas (menores que 500 km²), as

² BORDAS, M.P. et al.. Bacias representativas para o estudo de erosão no sul do Brasil. In: **Projeto de pesquisa apresentado no P.N.P. de manejo e conservação do solo/EMBRAPA**. Porto Alegre, IPH/URRGS, 1985 apud FREITAS, P.L.; KER J.C. As pesquisas em microbacias hidrográficas: situação atual, entraves e perspectivas no Brasil. p.43-57. "In: Castro F^o, C & Muzilli, O (ed.) **Manejo integrado de solos em microbacias**". Londrina, 1996. 312p.

precipitações convectivas de alta intensidade, pequena duração e distribuída numa pequena área, podem provocar grandes enchentes, enquanto que, para bacias maiores, as precipitações mais importantes passam a ser as frontais, que atingem áreas com intensidade média (TUCCI et al., 1993).

2.1.2 Escorrimento superficial

Quando a chuva cai sobre um solo com cobertura vegetal parte do volume precipitado sofre interceptação em folhas e caules, de onde evapora. A água que atinge o solo segue diversos caminhos. Como o solo é um meio poroso, há infiltração de toda precipitação, enquanto a superfície do solo não se satura. A partir do momento da saturação superficial e à medida que o solo vai sendo saturado a maiores profundidades, a infiltração decresce até atingir uma taxa residual, fazendo com que o excesso não infiltrado da precipitação gere escoamento superficial. Através da gravidade o excesso é impulsionado para as cotas mais baixas.

O escoamento superficial manifesta-se inicialmente na forma de pequenos filetes de água que se moldam ao microrelevo do solo. A erosão de partículas de solos pelos filetes em seus trajetos, aliada à topografia preexistente, molda, por sua vez, uma microrede de drenagem efêmera que converge para a rede de cursos de água mais estável, formada pelos arroios e rios. A presença de vegetação na superfície do solo contribui para obstaculizar o escoamento superficial, favorecendo a infiltração em percurso. A vegetação também reduz a energia cinética de impacto das gotas de chuva no solo, minimizando a erosão (TUCCI et al., 1993).

Para LINSLEY & FRANZINI (1978), bacia hidrográfica é a área de drenagem a montante de determinada seção do curso de água da qual aquela área é tributária; essa área é limitada por um divisor de águas que a separa das bacias adjacentes e que pode ser determinado nas cartas topográficas. Na fase do ciclo hidrológico relativa ao escoamento fluvial, a água de uma determinada bacia

geralmente converge para um álveo sendo possível, nessa fase do ciclo, medir o volume total da água, à medida que ela deixa a bacia.

PINTO et al. (1976) descrevem a vazão como o volume de água escoado por unidade de tempo em um determinada seção do curso de água. Pode-se distinguir as vazões normais e as de inundação. No primeiro caso, estão as que escoam no curso de água e, no segundo, as que, ultrapassando a um dado valor-limite, excedem a capacidade normal das seções de escoamento dos cursos de água. São expressas em metros cúbicos por segundo ou em litros por segundo.

2.1.2.1 Volume e pico de vazão - Método da SCS

A curva número - CN é um valor utilizado na equação do Soil Conservation Service dos EUA, para estimativa do escoamento superficial causado por uma dada precipitação. Ela depende do uso da terra, do tipo de solo e das condições hidrológicas do solo. Na determinação da precipitação efetiva considera-se a área de drenagem que gera o escoamento superficial. As porções de chuva que não alcançam os canais são chamadas de perdas, incluindo a interceptação pela vegetação, evaporação, infiltração, armazenamento em depressões superficiais e detenções superficiais de longo período.

No cálculo da altura pluviométrica efetiva, YOUNG et al. (1987) utilizam a metodologia baseada na determinação do hidrograma unitário triangular, o qual responde a uma precipitação de volume unitário num intervalo de tempo, ou seja a área do hidrograma triangular gerado é igual ao volume total precipitado.

CHOW (1964) apresenta na equação 1, o método utilizado pelo SCS:

$$Q = \frac{(P_T - 0,20 \cdot S)^2}{P_T + 0,80 \cdot S} \quad (1)$$

onde:

Q - escoamento superficial, mm;

P_T - precipitação, mm;

S - diferença potencial máxima entre a chuva e o escoamento, desde o começo do evento.

A equação 2 determina o valor de "S" utilizado na equação 1, segundo TUCCI et al. (1993) como segue:

$$S = \frac{25.400}{CN} - 254 \quad (2)$$

O valor de CN, que retrata as condições de cobertura do solo varia de 1 a 100, desde uma cobertura impermeável (limite inferior) até uma cobertura completamente permeável (limite superior). Esse fator foi tabelado para diferentes tipos de solo, cobertura e manejo conservacionista (ANEXOS - I, II e VI).

Os valores constantes nos Anexos I e II referem-se as condições médias de umidade do solo anteriores às condições de mistura. CHOW, (1964) e YOUNG et al., (1987) apresentaram correções dos valores tabelados para situações diferentes da média. As condições consideradas foram as seguintes:

- a) AMC I - situação em que os solos estão secos. Na estação de crescimento a precipitação acumulada dos cinco dias anteriores foi menor que 36 mm e em outro período, menor que 13 mm;
- b) AMC II - situação média em que os solos corresponderam à umidade na capacidade de campo;
- c) AMC III - situação em que ocorreram precipitações consideráveis nos cinco dias anteriores e o solo encontrava-se saturado. No período de crescimento, as precipitações acumuladas nos cinco dias anteriores foram maiores que 53 mm e, no outro, maior que 28 mm.

2.1.2.2 Hidrograma

Segundo TUCCI et al. (1993), hidrograma é a denominação dada ao gráfico que relaciona a vazão em função do tempo. A distribuição da vazão ao longo do tempo é resultado da interação de todos os componentes do ciclo hidrológico desde o início da precipitação, até a sua saída da bacia hidrográfica.

A forma do hidrograma depende de um grande número de fatores, tais como: a) relevo; b) cobertura da bacia; c) modificações artificiais no rio; d) distribuição, duração e intensidade da precipitação; e) solo.

A vazão de pico do escoamento superficial foi estimada utilizando-se a relação empírica do método da curva número da SCS, em unidades métricas, proposta por SMITH & WILLIAMS³ apud YOUNG et al. (1989), apresentada na equação 3.

$$Q_p = 3,79 \cdot A^{0,7} \cdot CS^{0,16} \cdot [RO \cdot (25,4)^{-1}]^{(0,903 \cdot A^{0,017})} \cdot LW^{-0,19} \quad (3)$$

em que:

$$LW = L_b^2 \cdot A_d^{-1} \quad (4)$$

sendo:

L_b - comprimento da bacia, em km;

Q_p - vazão de pico do fluxo; em $m^3 \cdot s^{-1}$;

A_d - área de drenagem; km^2 ;

CS - declividade do canal; $m \cdot km^{-1}$;

RO - volume do escoamento superficial; mm;

LW - relação comprimento/largura da bacia;

³ SMITH, R. E. ; WILLIAMS, J. R. Simulation of surface water hydrology . "In: CREAMS, A Field Scale Model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agriculture Management Systems. Cons. Res. Rpt. 26. Agr. Res. Serv., U.S.Dept. Agr., Washington, DC. p. 15. 1980.

2.1.2.3 Método de Thiessen

O método considera a não-uniformidade da distribuição espacial dos postos, mas não leva em conta o relevo da bacia (TUCCI et al., 1993). O método de Thiessen é utilizado em trabalhos de hidrologia, quando se deseja obter a área de influência de cada estação. Consiste em atribuir um peso para cada estação segundo a área que representa em relação à área total da bacia (CRUCIANI, 1980).

A metodologia apresenta as seguintes etapas: a) união por linha reta dos pontos onde estão localizadas as estações pluviográficas; b) perpendiculares passando pelo meio da linha que liga os dois postos; c) prolongamento das linhas perpendiculares até encontrar outra; d) configuração de polígonos formados pelas interseções das linhas, correspondendo à área de influência de cada posto; e) o cálculo da precipitação média é (P_m) apresentada na equação 5:

$$P_m = A_b^{-1} \cdot (\sum A_i \cdot P_i) \quad (5)$$

em que:

A_i = área de influência do posto, ha;

P_i = precipitação registrada no posto i , mm;

A_b = área da bacia, ha.

De acordo com CRUCIANI (1980), admitiu-se que cada posto representava a área onde a precipitação foi considerada constante. BELTRAME, (1994) no cálculo da determinação da precipitação média e da erosividade em cada setor da bacia hidrográfica, utilizou-se a metodologia de Thiessen para determinação da área de influência de cada setor.

2.1.2.4. Resistência ao escoamento

O escoamento nos rios e cursos de água naturais apresenta uma dada resistência ao escoamento a qual não depende somente da natureza e estado das superfícies, mas, também, da sua forma e muitas vezes, da declividade (NETTO & ALVAREZ, 1985).

Os modelos de resistência ao fluxo são, essencialmente, as mesmas para canais livres como nas tubulações de escoamento a plena seção, embora as condições de contorno nos dois casos sejam diferentes. São chamados livres, os dutos sujeitos à pressão atmosférica. Eles, também, são denominados “canais” e normalmente apresentam uma superfície livre de água em contato com a atmosfera. Quando a base dos canais e as encostas são espessas, cobertas com vegetação, uma apreciável parte do fluxo tem sua velocidade diminuída. O coeficiente da rugosidade de Manning que representa a resistência ao escoamento, relaciona-se com a vazão segundo a equação 6:

$$Q_c = 1 \cdot n^{-1} \cdot R^{2/3} \cdot S_c^{1/2} \quad (6)$$

onde:

Q_c = vazão líquida, m³/s;

n - coeficiente de Manning que depende das condições da superfície;

R_h - raio hidráulico, metros;

S_c - declividade do canal (%).

Para áreas cultivadas, o coeficiente de Manning está relacionado com os diferentes tipos de culturas. Os rendimentos em matéria seca alcançados no Paraná, com adubação verde, oscilam entre 1 e 7 ton .ha⁻¹, de acordo com às diferentes condições climáticas e do solo. Em média, a quantidade de matéria seca produzida pela parte aérea situa-se perto de 3 ton .ha⁻¹. A massa radicular das espécies de adubo verde oscila entre 0,5 e 3 ton .ha⁻¹, resultando em uma média de 1,6 ton .ha⁻¹, aproximadamente (Quadro 1 e 2).

QUADRO 1 - Matéria seca de algumas espécies.

Espécie	Matéria seca	
	Plantio Convencional (ton. .ha ⁻¹)	Plantio Direto (ton. .ha ⁻¹)
Milho	5,83	6,22
Soja	2,90	3,10
Trigo	4,10	4,25
Pousio	2,99	4,00

Fonte: CALEGARI, 1995.

QUADRO 2 - Matéria seca e massa verde (ton. .ha⁻¹) de algumas espécies de adubação verde de inverno.

Espécie	Matéria seca				Massa verde média
	1982	1983	1984	Média	
Aveia preta (<i>Avena strigosa Schieb</i>)	5,59 *	4,34	2,40	4,11	15,31
Trigo (<i>Triticum aestivum L.</i>)	1,96 *	2,80	1,56	2,11	2,93
Nabo forrageiro (<i>Raphanus sativus L var. ol. Metzg</i>)	4,75 *	6,93	3,40	5,03	35,19
Colza (<i>Brassica napus L.</i>)	2,22 *	3,55	1,23	2,33	12,98

Fonte: DERPSCH et al., 1991 e *DERPSCH et al., 1985.

2.1.3 Perda de solo

Toda ocupação de bacias urbanas ou rurais deve ser acompanhada de medidas conservacionistas para evitar o processo de erosão superficial, e o assoreamento dos cursos de água que compõem as respectivas redes de drenagem. O processo erosivo em bacias urbanas apresenta características bastante diversas das bacias rurais, tanto no aspecto físico como quanto às dimensões das áreas envolvidas. Do ponto de vista de instabilização da morfologia de cursos de água, a erosão rural tem um caráter mais extensivo (erosão laminar) que as erosões urbanas, no entanto, com taxas específicas significativamente inferiores a estas (RAMOS, 1994)³.

⁴ RAMOS, C.L. Erosão, assoreamento e seu controle. "In: Curso de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Módulo I." DAEE/FCTH/USP. São Paulo, 1994.

A perda de solo por erosão laminar acelerada, desencadeada pela ocupação humana (erosão antrópica), depende de fatores naturais, que podem ser agrupados em três conjuntos: a) ligados à natureza do solo, envolvendo principalmente as suas características físicas e morfológicas, tais como: textura, estrutura, permeabilidade entre outras; b) ligadas à morfologia do terreno, envolvendo a conformação da encosta, no que se refere principalmente à declividade e comprimento da encosta; c) ligados ao clima, envolvendo essencialmente a quantidade de água que atinge a superfície do terreno, causando remoção do solo através de chuvas (SÃO PAULO, 1989).

MOORE & BURCH (1986) relatam que as formas de declives, declividade e comprimento de rampa, em uma bacia hidrográfica convergente ou divergente, são importantes na determinação da perda de solo ou relocação dentro da própria bacia. Uma área com captação convergente concentra o fluxo de escoamento aumentando a velocidade e, com isso, aumenta a capacidade de transporte de sedimentos. A captação convergente pode ter um maior impacto na erosão. A captação divergente produz taxas de erosão relativamente menores.

As alterações morfológicas de um curso de água natural, quer seja por um processo erosivo ou no assoreamento, somente terão uma solução eficaz quando as variáveis que regem o fenômeno forem identificadas e devidamente equacionadas, o que, geralmente, não é uma tarefa simples. O assoreamento em corpos de água pode ocorrer dentro de um processo natural de redução da capacidade de transporte sólido, associada, de maneira geral, à redução dos níveis de energia de escoamento. Como exemplo clássico deste processo tem-se o assoreamento em desembocaduras de rios em estuários, lagos ou reservatórios artificiais (RAMOS, 1994)⁴.

⁴ RAMOS, C.L. Erosão, assoreamento e seu controle. "In: Curso de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Módulo I." DAEE/FCTH/USP. São Paulo, 1994.

2.1.3.1 Equação Universal da Perda de Solo - Método USLE

Um plano para a conservação do solo e água requer o conhecimento das relações entre os fatores que causam perdas de solo e água e as práticas que reduzem tais perdas. A equação de perdas de solo exprime a ação dos principais fatores que sabidamente influenciam a erosão pela chuva (BERTONI & LOMBARDI, 1990). A equação 7 desenvolvida por WISCHEMEIER & SMITH, (1978) é:

$$A_p = R . K . L S . C . P_c \quad (7)$$

onde:

- A_p - perda de solo por unidade de área e de tempo;
- R - índice de erosividade da chuva e do escoamento superficial;
- K - fator erodibilidade do solo;
- L - fator comprimento de rampa;
- S_D - fator declividade;
- C - fator cobertura do solo;
- P_c - fator práticas de conservação.

2.1.3.2 Fator erodibilidade do solo - K

O significado da erodibilidade do solo é diferente de erosão do solo. A intensidade da erosão de uma área qualquer pode ser mais influenciada pelo declive, características das chuvas, cobertura vegetal e manejo, do que pelas propriedades do solo. Contudo, alguns solos são mais facilmente erodidos que outros, mesmo quando o declive, a precipitação, a cobertura vegetal e as práticas de controle de erosão são as mesmas. Essa diferença, devida às propriedades inerentes ao solo, é referida como erodibilidade do solo (BERTONI & LOMBARDI, 1985).

COGO (1988), ao abordar a erodibilidade intrínseca do solo, relaciona-a com as características físicas e químicas e à sua composição granulométrica e mineralógica. A erodibilidade refere-se à habilidade potencial do solo em resistir à erosão para condições específicas de chuva, ou seja, é a resistência oferecida.

As propriedades do solo que influenciam a erodibilidade pela água são aquelas que: a) afetam a velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade total de armazenamento de água; b) resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento.

No método preconizado pela USLE, a erodibilidade do solo é expressa pelo coeficiente K que tem seu valor quantitativo determinado experimentalmente em parcelas unitárias.

2.1.3.3 Fator cobertura do solo - C

O fator C é calculado pela relação entre as perdas de solo de uma dada área vegetada sob um dado tipo de manejo pelas perdas de solo da mesma área mantida continuamente descoberta e preparada convencionalmente no sentido do declive (COGO, 1988).

As perdas de solo que ocorrem em uma área mantida continuamente descoberta podem ser estimadas pelo produto dos termos R, K, L e S_D (erosividade, erodibilidade, comprimento e declividade do terreno) da equação universal da perda de solo. Entretanto, se a área estiver cultivada, tais perdas serão reduzidas devido à proteção que a cultura oferece ao solo. Essa redução depende das combinações de cobertura vegetal, seqüência de cultura e prática de manejo. Depende também do estágio de crescimento e desenvolvimento da cultura durante o período das chuvas.

Os efeitos das variáveis uso e manejo não podem ser avaliadas independentemente, devido às diversas interações que ocorrem. Assim, uma cultura

pode ser plantada continuamente em um mesmo local ou, então, em rotação com outras culturas. Seus restos podem ser removidos, deixados na superfície, incorporados próximos à superfície ou totalmente enterrados com o preparo do solo. Quando deixados na superfície, podem ser cortados ou mantidos como foram colhidos. Diferentes combinações dessas variáveis, provavelmente, apresentam diferentes efeitos nas perdas de solo.

A proteção da cobertura vegetal não depende somente do tipo de vegetação, da população de plantas e do seu desenvolvimento como, também, varia nos diferentes meses ou estações do ano. A eficácia na redução da erosão, depende portanto, da quantidade de chuvas erosivas que ocorrem durante o período, quando a cultura e as práticas de manejo apresentam uma proteção mínima (BERTONI & LOMBARDI, 1985).

2.1.3.4 Fator práticas conservacionistas - P_c

A definição do fator P_c é de WISCHMEIER & SMITH (1978), que estabelece a relação entre as perdas de uma área sob dada prática conservacionista complementar (como terraceamento, preparo e plantio em contorno e culturas em faixas) e as perdas de solo da mesma área sem nenhuma dessas práticas.

O fator P_c está intimamente relacionado com os diferentes tipos de uso e manejo do solo. Para BERTONI & LOMBARDI (1985), o fator P_c da equação universal de perda do solo é a relação entre a intensidade esperada de tais perdas com determinada prática conservacionista e a intensidade quando a cultura está plantada no sentido do declive (morro abaixo). As práticas conservacionistas mais comuns para as culturas anuais são: plantio em contorno, plantio em faixas de contorno, terraceamento e alternância de capinas.

As diversas maneiras de preparar o solo alteram diferenciadamente a camada arável no que concerne à disponibilidade de água e nutrientes. Plantio direto, preparo

convencional, preparo mínimo do solo têm sido avaliados em diversos experimentos realizados pelo IAPAR no Paraná. Algumas conclusões preliminares tem demonstrado que, quanto menos movimento sofre a camada arável do solo por implementos agrícolas, melhores são as condições físicas para o desenvolvimento das culturas (IAPAR, 1986).

DERPSCH et al. (1991), observaram que os sistemas de preparo do solo introduzidos pelos colonizadores europeus no sul do Brasil, que consiste na incorporação dos resíduos deixando a superfície do solo desnuda, são inadequados para o relevo e as condições edáficas e climatológicas do Paraná. No preparo do solo convencional utiliza-se a grade pesada de discos, seguida de 2 (duas) a 4 (quatro) gradagens niveladoras. Outro sistema de preparo convencional do solo emprega o arado de discos seguido de duas gradagens niveladoras com a grade leve. O escarificador combinado com duas gradagens niveladoras é um sistema de preparo reduzido que vem sendo muito empregado no Estado desde o fim da década de 80, em substituição à grade pesada. O sistema de plantio direto, que representa a melhor alternativa quanto à redução da mobilização do solo, é definido como uma técnica de colocação da semente em solo não removido, onde os resíduos da cultura anterior permanecem na superfície e o controle das plantas daninhas é feito por meio de herbicidas. O plantio direto é o único método capaz de, através da camada de restos vegetais remanescentes, resguardar o solo contra a energia de impacto das gotas de chuva durante o ano todo e controlar eficientemente a erosão.

2.1.3.5 Controle do escoamento superficial

O terraceamento é uma das práticas mais eficientes para controlar a erosão das terras cultivadas. Em geral, é constituído de camalhão ou pela combinação de camalhão e canal, construídos na direção da linha de maior declive do terreno. A principal função do terraço é diminuir o comprimento dos lançantes, reduzindo, assim, a formação de sulcos em regiões de alta precipitação e retendo mais água em zonas mais secas (BERTONI & LOMBARDI, 1985).

PEREIRA & GENEVÍCIUS (1988) descrevem terraço como uma prática conservacionista baseada, principalmente, na redução do efeito do escoamento superficial por meio do parcelamento do declive. O terracamento é um sistema eficiente no controle de erosão pelo deflúvio (enxurrada), mas não pelo impacto. Exerce a função de armazenar a água que não consegue se infiltrar durante o período de uma chuva, para que ela se infiltre lentamente. Deve ser combinado com práticas vegetativas e sistema de manejo que proporcionem proteção superficial para melhorar sua eficiência.

O terraço pode ser classificado quanto à largura da base, ao modo de construção, à função exercida na conservação do solo e ao alinhamento. Um terraço será de base larga quando possuir uma base maior que seis metros. A distância entre terraços, ou seu espaçamento, é determinado de maneira que a enxurrada, que escorre nos espaços entre eles, não alcance velocidade erosiva. Depende, portanto, da declividade do terreno e do tipo de solo (BERTONI & LOMBARDI, 1985).

2.1.3.6 Índice de erosão - Fator R

O fator R é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva, de causar erosão em uma área sem proteção para uma dada localidade. Estudos da perda de solo associados a essas características, mostraram que, quando outros fatores à exceção da precipitação, são mantidos constantes, as perdas de solo ocasionadas pelas chuvas nos terrenos cultivados são diretamente proporcionais ao valor do produto da energia cinética total e da intensidade máxima de chuva em trinta minutos (BERTONI & LOMBARDI, 1985).

Esse produto representa um termo de interação que mede o efeito de como a erosão por impacto, o salpico e a turbulência se combinam com a enxurrada para transportar as partículas de solo desprendidas. O índice de erosão R, é considerado a melhor relação encontrada para medir a potencialidade erosiva da chuva. A soma dos

valores de R de cada chuva, isoladamente, em certo período, proporciona uma avaliação numérica da erosividade da chuva dentro daquele período. O índice de erosão médio anual, isto é, o fator R para um local, é a soma dos valores mensais dos índices de erosão.

Quando se prevêem as perdas de solo de uma determinada gleba em dado local, a distribuição estacional das chuvas erosivas deve ser considerada, bem como o valor do R. Finalmente, a soma de todos os valores de R, para as chuvas maiores ou menores que 10 mm, caídas em uma ano em dado local, é que dará o valor de R.

2.1.3.7 Textura do solo

O solo ocorre em camadas distintas ao longo de seu perfil. Um horizonte é qualquer camada que pode ser distinguida visual ou texturalmente entre camadas vizinhas. Um perfil é um conjunto de horizontes normalmente expostos para exame na parcela vertical de uma trincheira (WINTER, 1976). São classificados de acordo com sua composição e derivação geológica e pode ser definido como um corpo natural, sintetizado em forma de perfil, composto de uma mistura variável de minerais divididos em pedaços, desintegrados e de matéria orgânica em decomposição, que cobre a terra com uma camada fina e que fornece, quando contém, as quantidades necessárias de ar e água, amparo mecânico e, em parte, subsistência para os vegetais. As partículas de formas irregulares que compõem o solo não se ajustam uma entre as outras; existem inevitavelmente espaços entre elas, e o volume de vazios relativo ao material sólido é chamado de espaço poroso total. O espaço poroso pode conter ar ou água ou ambos; quando todo o espaço poroso é cheio de água, o solo é denominado saturado. Essa condição não é estável e, contanto que não exista nenhum impedimento à drenagem, a gravidade puxará a água para baixo da zona saturada na direção de zonas não saturadas inferiores (WINTER, 1976).

Segundo BUCKMAN & BRADY (1974), a textura influencia os seguintes fatores: a) movimentação da água, ao atingir o solo e no seu interior; b) capacidade de retenção de água dos solos e c) disponibilidade da umidade do solo para os vegetais superiores. Cada um destes fatores se relaciona direta ou indiretamente com o tamanho e a distribuição dos poros do solo e com a atração do solo pela umidade.

2.1.3.8 Nutrientes

Segundo MUZILLI et al. (1978) a principal finalidade da análise de solos é “medir” o estado das terras, indicando a disponibilidade de alguns dos principais nutrientes para as culturas, com base em uma recomendação racional e econômica de corretivos e adubos. Isto não pode ser visto como uma solução única para os problemas nas culturas, pois não garante um lucro excedente quando da incorporação dos fertilizantes.

2.1.3.8.a Fósforo

KIEHL (1979), descreve que um terço do fósforo encontrado na superfície do solo se apresenta na forma de combinações orgânicas, podendo ser mineralizado e assimilado pelas plantas. Quanto ao fósforo orgânico do solo, verifica-se que sua concentração para o Estado de São Paulo, varia de 5 a 50% do fósforo total e que os horizontes superficiais são os mais ricos. A presença do fósforo orgânico no perfil corresponde à distribuição da matéria orgânica no mesmo, havendo certa correlação com o fósforo total e a matéria orgânica. O pH do solo é um dos principais fatores que regula a proporção entre o fósforo total e o fósforo orgânico. Solos com baixo pH acumulam mais fósforo orgânico. A calagem, conseqüentemente, aumenta a disponibilidade de fósforo no solo.

2.1.3.8.b Matéria orgânica

A matéria orgânica do solo é originária das plantas, dos minerais e dos microorganismos que vivem na terra. As plantas são as principais fontes de matéria orgânica, quer pela decomposição dos ramos e folhas, quer pela contribuição oferecida pelas raízes. No solo, a matéria orgânica é encontrada em diferentes estágios de decomposição; o conteúdo e a composição da matéria orgânica são consequência de fatores diversos tais como: o tipo de vegetação, a topografia, o clima e o tempo (idade). No solo, o acúmulo ou a destruição sofrem o efeito da atividade dos microorganismos, os quais são afetados pelas condições de umidade, aeração, temperatura e reação do meio (pH), além do indispensável suprimento de nutrientes e de fontes energéticas (KIEHL, 1979).

A avaliação da disponibilidade de matéria orgânica nos solos tem sido realizada através da determinação do teor de carbono. O teor de matéria orgânica do solo é calculado pela expressão da equação 8:

$$\% \text{ MO} = \% \text{ C}_o \times 1,72 \quad (8)$$

Ainda segundo MUZILLI et al. (1978), o método é utilizado internacionalmente na avaliação da matéria orgânica dos solos, em análises de rotina, e os níveis de interpretação adotados são fornecidos pelo Quadro 3.

Quadro 3 - Avaliação da matéria orgânica nos solos através do carbono orgânico.

Carbono - C _o	Teor	Teor de Matéria Orgânica
Abaixo de 0,8	Baixo	Abaixo de 1,37
De 0,8 a 1,40	Médio	De 1,37 a 2,40
Acima de 1,40	Alto	Acima de 2,40

Fonte: MUZILLI et al., 1978.

2.1.3.8.c Nitrogênio

BERTON (1992) considera o nitrogênio como o mais importante nutriente mineral, haja visto tratar-se de um elemento componente tanto nos minerais como nos orgânicos. De maneira geral, a eficiência da adubação nitrogenada raramente ultrapassa 50%, mesmo com um bom manejo. Conseqüentemente, quantidades consideráveis desse nutriente deixam a zona explorada pelas raízes, por processos de lixiviação, volatilização e escoamento superficial, as quais podem poluir o meio ambiente de diversas formas.

A lixiviação do nitrogênio se dá, principalmente, na forma de nitrato (NO_3^-), íon que, devido a sua carga negativa, é pouco retido pelo solo. Embora haja ampla evidência de que o NO_3^- , esteja se acumulando nas águas subterrâneas, a contribuição dos fertilizantes ainda não está bem definida, devido às perdas por desnitrificação serem desconhecidas, quando se faz o balanço de nitrogênio no solo. No entanto, sabe-se que a lixiviação do nitrato está correlacionada com a quantidade aplicada de nitrogênio e do volume de drenagem.

O nitrogênio pode também ser perdido para a atmosfera na forma de nitrogênio gasoso (N_2) ou óxido nitroso (N_2O) pela desnitrificação do nitrato. Esse processo pode ser dividido em duas fases. A primeira diz respeito às perdas rápidas e em grandes quantidades associadas às chuvas pesadas e irrigações, seguida de perdas menores por um período maior em microsítios anaeróbicos do solo. As perdas de nitrogênio por esse processo têm sido consideradas na faixa de 10 a 45% do nitrogênio aplicado em qualquer sistema de cultivo.

Se o solo está ocupado com pastagem ou floresta, as perdas por escoamento superficial são insignificantes, enquanto que é mais suscetível de ser perdido em culturas anuais do que em culturas perenes. O nitrogênio perdido por erosão superficial está, em sua maioria, na forma orgânica, associado com o sedimento. Qualquer fator que estiver relacionado com a erosão do solo influenciará a quantidade

de N perdida na superfície. Em geral, as perdas maiores de nitrogênio ocorrem no primeiro escoamento superficial que segue a adubação nitrogenada. A pior consequência disso é a eutrofização das águas superficiais.

Para determinação do nitrogênio total de uma amostra utiliza-se o método indireto, que estima o conteúdo de matéria orgânica no solo, método de Kjeldahl. A partir do conteúdo de nitrogênio avalia-se o teor de matéria orgânica empregando a fórmula apresentada na equação 9:

$$\text{MO\%} = \text{N\%} \times 20 \quad (9)$$

sendo: MO = matéria orgânica; N = nitrogênio total; 20 = fator de conversão calculado considerando que o teor médio de N na matéria orgânica humificada é 5% (5% de N x 20 = 100% de MO), (KIEHL, 1979).

2.1.4 Monitoramento hidrológico

2.1.4.1 Pluviometria

No ciclo hidrológico as precipitações atmosféricas desempenham papel importante de elo entre os fenômenos meteorológicos e o escoamento superficial. Desta maneira, para quantificar o total precipitado em determinada área, deve-se lembrar que a chuva em uma região não ocorre uniformemente sobre todos os pontos da superfície. Além disto, deve-se considerar se o local é muito acidentado ou obstruído e se reina na ocasião um vento de mediana força (LINSLEY & FRANZINI, 1978). Essa variação no espaço físico ocorre, também, para a altura total de precipitação observada durante um fenômeno pluvial ou durante tempos maiores, como um mês ou um ano. O total precipitado num determinado ano varia de um lugar para o outro e, quando se considera um mesmo local, a precipitação total anual é quase sempre diferente entre anos. A determinação da intensidade da precipitação é importante para a erosão do solo e o controle de inundação (TUCCI et al., 1993).

Para esta medida existem aparelhos apropriados chamados pluviógrafos, que registram automaticamente o volume das precipitações. O pluviógrafo possui um mecanismo de relojoaria, que imprime um movimento de rotação a um cilindro no qual é fixado um papel graduado e onde uma pena traça a curva que permite determinar a altura de precipitação, sua duração, intensidade e frequência (GARCEZ & ALVAREZ, 1988). Segundo TUCCI et al. (1993), existe uma grande variabilidade de aparelhos usando princípios diferentes para medir e gravar continuamente as precipitações. Entre as principais técnicas de medição encontradas estão: a) cubas basculantes; b) reservatório equipado com bóia; e c) sifão. Quanto à precisão das medições, são dois os parâmetros importantes: o valor da precipitação e o tempo. O registro contínuo com aparelhos de sifão fornece uma melhor precisão que um registro descontínuo com cubas basculantes. BRASIL, (1970a) estabelece uma frequência de visita para manutenção, no mínimo, quadrimestral.

A interpretação dos dados pluviográficos requer o cálculo da quantidade total de água precipitada sobre a área ou bacia hidrográfica, ou de modo equivalente, a determinação da lâmina média de chuva precipitada num certo intervalo de tempo. A determinação da lâmina média é feita com base na hipótese de que a precipitação medida em uma estação, seja representativa das precipitações tomadas em uma área mais ou menos extensa. O cálculo pode ser efetuado por diferentes métodos: a) média aritmética simples; b) média ponderada com base nas variações das características físicas da bacia; c) método baseado na isoietas; d) método de Thiessen (PINTO et al., 1976; GARCEZ & ALVAREZ, 1988; TUCCI et al., 1993). Segundo GARCEZ & ALVAREZ (1988), o método de Thiessen demonstra interesse de aplicação, pela simplicidade que os cálculos representam.

2.1.4.2 Fluviometria

Uma estação fluviométrica ou fluviográfica, compreende, essencialmente, dispositivos para medições do nível das águas, ou volume de água escoada na unidade

de tempo numa determinada seção do curso de água, através de régua linimétrica e/ou linígrafos, devidamente referenciados a uma cota conhecida e materializada no terreno. As fluviométricas são constituídas pela instalação de régua graduadas, fixadas em suporte de madeira de lei, escalonadas ao longo da seção transversal de escoamento. Isso permite realizar leituras diárias das cotas dos níveis de água, evitando assim cotas negativas ou a ausência de níveis altos. As escalas são relacionadas a uma referência (RN), a escolha do nível de referência pode ser arbitrária ou não (BRASIL, 1970b; NETTO & ALVAREZ, 1982).

As estações fluviográficas são constituídas por aparelhos denominados linígrafos que registram em diagramas com escalas apropriadas, as oscilações dos níveis da água no transcorrer do tempo (GARCEZ & ALVAREZ, 1988). Durante a operação do instrumento um diagrama em faixa, de um certo comprimento, movimentando-se com velocidade controlada pelo relógio. Simultaneamente, o estilete de marcação, denominado de pena, movimenta-se lateralmente através do diagrama em proporção direta às variações dos níveis de água, produzindo assim, um registro gráfico dos níveis em relação ao tempo. A pena, em seu movimento lateral, muda de sentido ao atingir a margem do diagrama, permitindo o registro de uma gama de cotas praticamente indefinida. BRASIL (1970b), recomenda os linígrafos tipo rolo, horizontais e contínuos, com autonomia mínima de 6 meses, e recomenda uma frequência mínimo quadrimestral de visita para manutenção.

2.1.4.3 Correlação: cota da régua x vazão

Esse registro sistemático constitui a base dos estudos fluviométricos, sobretudo pela facilidade de obtenção e a possibilidade de serem relacionados às vazões instantâneas medidas (trabalhos de campo). Estas vazões são medidas com menor frequência do que os níveis de água, devido ao seu alto custo em relação às observações diárias de cota. Destas observações de medições origina-se a relação cota - descarga, conhecida como Curva-chave (VILLELA & MATTOS, 1975). Esta relação física, que existe entre duas características do escoamento, a descarga de uma

parte e a altura ou energia potencial de outra parte, é desconhecida (JACCON & CUDO, 1989).

As velocidades dos diferentes filetes líquidos que atravessam uma seção transversal do canal são afetadas pela ação retardadora das paredes e pela superfície livre, onde agem a tensão superficial e a resistência do ar. A velocidade varia muito de um filete para outro, sendo maior nos pontos mais afastados das paredes e do fundo (HENDERSEN, 1970). A experiência mostra que, em grande número de casos, as velocidades máximas ocorrem a 20% e as velocidades médias a cerca de 60% da profundidade média a partir da superfície (NETTO & ALVAREZ, 1982; GARCEZ & ALVAREZ, 1988).

2.1.4.4 Medição de vazão líquida

Os métodos de medições de vazões em rios, podem ser classificados em cinco categorias: a) por capacidade; b) por medição das velocidades do fluxo da água; c) por diluição de um traçador; d) por fórmulas hidráulicas e/ou dispositivos hidráulicos correspondentes; e) por outros métodos (óptico, eletromagnético etc.). As três primeiras categorias são as mais usadas e devem representar mais de 80% das medições de vazão realizadas no Brasil e no mundo (TUCCI et al. 1993).

As medições diretas são aquelas que, por meio de instrumentos, determina o volume total escoado na seção por unidade de tempo. Para determinação das velocidades de uma seção transversal são utilizados os molinetes (LINSLEY & FRANZINI, 1978; NETTO & ALVAREZ, 1982). Esses aparelhos permitem determinar a velocidade da corrente líquida pela medida da velocidade de rotação do conjunto de hélices e/ou conchas móveis. O princípio baseia-se na rotação em torno do eixo que abre e fecha um circuito elétrico. Contando o número de voltas durante um intervalo de tempo fixo, obtém-se a velocidade de rotação da hélice que está relacionada à velocidade do fluxo, através de uma fórmula do tipo: $V = aN_r + b$, onde V - velocidade do fluxo; N_r - velocidade de rotação; a e b são constantes características

da hélice ou concha. As constantes a e b são fornecidas pelo fabricante e podem ser verificadas em canais especiais de calibragem. O valor de a , denominado passo da hélice ou concha, é a distância percorrida pelo fluxo em uma volta. Para contar os impulsos gerados pelo molinete utiliza-se um conta-giros. São disponíveis em 2 modelos: a) muito simples: luz piscando ou bip acompanhado com cronômetro; b) mais elaborados: contadores com dígitos mecânicos ou eletrônicos e cronômetro integrado (TUCCI et al., 1993).

Os métodos de cálculo da vazão, a partir das velocidades, são baseados na equação da continuidade $Q_c = \iint v \cdot ds$, sendo v a velocidade de cada elemento ds de área. Devido a distribuição irregular das velocidades ao longo da seção, essa integração somente pode ser efetuada adotando-se valores médios. Conhecida a velocidade média v_m em toda a seção (determinada por exemplo, a partir das isotáqueas) e a área da seção transversal S_s , resulta $Q_c = v_m \cdot S_s$. Normalmente, as vazões são calculadas a partir de velocidades médias observadas nas verticais. Considera-se então, a vazão como a soma das vazões parciais que atravessam as faixas determinadas de medição, $Q_c = \sum q_i$ para faixas extremas (nas margens) admite-se como nulas as velocidades na linha de água (juntamente com a profundidade) (GARCEZ & ALVAREZ, 1988).

2.1.4.5 Sedimentometria

A sedimentometria procura determinar, quantitativamente, o material transportado pelos cursos de água e oriundo do despojamento da superfície terrestre em virtude de agentes externos. Os principais objetivos da análise de sedimentos, seja em suspensão ou de fundo, é a determinação da concentração e da granulometria das amostras colhidas em campo. A distribuição do material em suspensão ao longo de uma vertical qualquer de uma seção transversal, varia segundo a velocidade dos filetes na vertical e o diâmetro das partículas.

As medições de descarga sólida são sempre efetuadas a partir da determinação da vazão do curso de água e inúmeros instrumentos inerentes à fluviometria são, também, comuns à sedimentometria. Os amostradores de sedimento em suspensão têm como objetivo obter uma amostra representativa da mistura água - sedimento em suspensão de um curso d'água. Destacam-se:

- i) amostradores integradores: que coletam e acumulam a amostra ao longo de uma vertical e do tempo, com movimento constante ascendente ou descendente desde a superfície até o leito. São operados de maneira a determinar a concentração média. Normalmente, os últimos 10 centímetros não se consegue amostrar. As amostras são colhidas em um recipiente removível alojado no corpo do amostrador. Para esta coleta utilizam-se os modelos US-DH-48, US-DH-49, US-DH-59. O primeiro é um integrador para profundidades até 1,5 metros; os dois seguintes para profundidades de até 7,0 metros;
- ii) amostradores de ponto: são utilizados para coletar uma amostra que representa a concentração média de um ponto selecionado sob a superfície de um curso de água, geralmente possuem uma válvula de comando elétrico operada externamente, que permite a abertura e o fechamento da entrada. Para isto utiliza-se o amostrador US-P-46, controlado remotamente através de cabo eletrocondutor que serve de sustentação;
- iii) amostradores de material de fundo: destinados à coleta de material do leito para exame granulométrico. Para obtenção destas amostras são usadas as dragas, que descem abertas, sendo fechadas por ação de um mecanismo acionado na superfície depois de alcançado o fundo. Podem ser citadas as dragas de Ekman e Petersen (BRANCO, 1978; GARCEZ & ALVAREZ 1988; TUCCI et al., 1993).

Além dos instrumentos acima descritos, utilizam-se amostradores automáticos instalados num ponto de uma seção, os quais coletam alíquotas de volume predeterminado da mistura de água e sedimento. São usados para o monitoramento, em intervalos fixos de tempo, ou em função de um programa com base em volumes escoados, ou ainda da elevação do nível de água.

O material resultante destas operações é composto de elementos de vários tamanhos e feições entre os quais costuma-se distinguir alguns grupos principais: a) argila, com diâmetro $d < 0,002$ mm (2 microns); b) silte, $0,002 < d < 0,050$ mm; c) areia, $0,050 < d < 2$ mm; d) pequenos agregados $0,020 < d < 0,075$ mm; e) agregados $0,200 < d < 1,000$ (YOUNG et al. 1987).

Os procedimentos são estabelecidos através de programas de coleta, que abrangem a seção transversal de escoamento. Para rios cuja distribuição lateral da vazão é conhecida em diferentes níveis de escoamento, utiliza-se o método de coleta de amostras da suspensão nos centróides de segmentos da seção transversal que possuem igual fração da vazão líquida. Para rios em que não houve estabelecimento prévio da curva chave, recomenda-se utilizar o programa de amostragem a uma velocidade constante de trânsito do amostrador em todas as verticais, que são equidistantes entre si. A questão é determinar quantas verticais são necessárias para a determinação da descarga sólida em suspensão. Segundo TUCCI et al. (1993), esta questão não pode ser respondida sem ter-se uma referência quanto a precisão pretendida. Para seções regulares de até 150 metros de largura, são feitas as coletas em 10-15 verticais.

2.2 Modelos matemáticos de simulação e componentes hidrológicos em bacias hidrográficas

Segundo PORTO et al., (1991) qualquer estudo relativo à distribuição espacial e temporal de um constituinte em um meio fluido tem como ponto de partida uma lei de conservação. Tal lei é estabelecida segundo um ponto de vista físico e então colocada de forma matemática conveniente. O processo de traduzir conceitos físicos ou biológicos de qualquer sistema por um conjunto de relações matemáticas e a manipulação dos sistemas matemáticos assim obtidos, designa-se por análise de sistemas. Os símbolos matemáticos proporcionam uma taquigrafia útil para a descrição de sistemas ecológicos complexos e as equações constituem enunciados formais da

maneira como os componentes do ecossistema agem reciprocamente entre si (ODUM, 1971).

O sistema matemático denominado modelo depende das características específicas do sistema a ser modelado, bem como determinam a sua estrutura. Modelos científicos são geralmente estruturados para fornecer uma descrição matemática bem próxima da realidade, com a inclusão dos principais fenômenos de interesse (PORTO et al., 1991). ESKES & CRESTANA (1996) salientam que a metodologia baseada em modelos científicos garante que as previsões sejam as mais exatas possíveis em contraponto com o uso de índices, ao se tratar dos processos físico-químicos em uma escala local.

Posteriormente CRESTANA & POSADAS (1996) ao analisarem os problemas da degradação do meio ambiente, observaram que torna-se necessário o conhecimento dos diferentes mecanismos físicos, químicos e biológicos existentes nos processos de transporte da água e solutos através do solo, para sua prevenção. Esses mecanismos somente poderão ser compreendidos através da formulação de modelos matemáticos que estabeleçam os processos básicos para descrição de sistemas que interessam ser avaliados.

2.2.1 Principais modelos disponíveis

Segundo YOUNG et al. (1989) alguns modelos tem sido desenvolvidos para responder os eventos de precipitação em bacias hidrográficas rurais, tais como: Erosion Productivity Impact Calculator - EPIC; Areal Non Point Source Watershed Environmental Response Simulation - ANSWERS ou Simulator for Water Resources in Rural Basin - SWRRB. Entretanto, estes modelos são limitados quanto ao tamanho da bacia ou requerem muitos dados de entrada, aumentando sua complexidade para serem executados em qualquer computador.

Analisando diferentes modelos de simulação, PESSOA et al. (1997) fizeram as seguintes considerações: o modelo EPIC baseia-se em componentes físicos (hidrologia, clima, erosão, sedimentação, nutrientes, preparo da área e temperatura do solo), nas simulações do escoamento superficial, erosão e crescimento de plantas, para áreas de até 1 ha; o ANSWERS simula o movimento de poluentes em microbacias e prevê taxas de escoamento superficial e transporte de sedimentos; o CREAMS trabalha com módulos de hidrologia e erosão e apresenta ampla aplicação no manejo agrícola, ao tratar escoamento superficial e da erosão de partículas de solo; e o SWRRB é similar ao CREAMS.

TISCARENO et al. (1992) apresentam o Water Erosion Prediction Project - WEPP como um modelo de nova tecnologia baseada nos conceitos estocásticos voltado à hidrologia, ciência das plantas, física do solo, infiltração, hidráulica e erosão mecânica. O modelo opera com simulações contínuas através de três componentes: a declividade que compõe os cálculos do escoamento superficial, os cursos de água que determinam a erosão e deposição, relacionados com a concentração do fluxo nas áreas com canais ou voçorocas e o componente terraços que calcula a deposição dos sedimentos dentro dos terraços. Posteriormente, ASCOUGH II et al. (1997) concluíram que o WEPP foi capaz de identificar zonas de transporte e deposição de sedimentos, simular sob certas condições o fluxo nos canais em locais com remanso devido a vegetação e, também, a representar espacial e temporalmente as variáveis erosão e deposição.

O Groundwater Loading Effects of Agricultural Management - GLEAMS, é um modelo que foi adaptado do Chemical, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems - CREAMS, utilizado para avaliação de perda química no escoamento superficial e sedimentos, incluindo a lixiviação de pesticidas. O modelo possui três componentes: hidrologia, erosão e pesticidas. No componente hidrológico, o modelo usa os dados diários de precipitação como parâmetros de entrada, aliado às características do solo e da cultura. A precipitação é dividida entre o escoamento superficial e a infiltração, utilizando o método da curva número da Soil Conservation

Service - SCS. O transporte de sedimentos por erosão do solo utiliza nas simulações a Equação Universal de Perdas de Solo - USLE em eventos de precipitação. Os pesticidas são estimados com base na sua concentração e na massa agregada aos sedimentos. O modelo requer, também, parâmetros de manejo do solo nas culturas, bem como os conceitos de física do solo e suas propriedades químicas. Como resultados são apresentados a estimativa de sedimentos e pesticidas no escoamento superficial (LEONARD, et al. 1992).

O modelo EPIC foi desenvolvido para previsão a longo prazo dos efeitos da erosão do solo na produtividade agrícola e tem sido usado, também, para avaliação dos impactos de práticas de manejo agrícola sobre a qualidade das águas. Segundo MARCHETTI et al. (1997), a dinâmica do modelo é similar ao GLEAMS.

2.2.2 Descrição do modelo AGNPS

O modelo AGNPS foi desenvolvido pelo Agriculture Research Service - ARS do United States Department of Agriculture - USDA, em cooperação com a Minnesota Pollution Control Agency - MPCA e a Soil Conservation Service - SCS, para obter estimativas de qualidade do escoamento superficial com ênfase nos nutrientes, pesticidas e sedimentos, utilizando um microcomputador. O objetivo do modelo é comparar os efeitos do controle de poluição através de práticas que são incorporadas dentro do manejo conservacionista do solo em bacias hidrográficas rurais. O AGNPS foi desenvolvido para análise e previsão de estimativas do escoamento e qualidade da água em bacias de até 20.000 ha (50.000 acres).

O modelo executa suas funções através de uma cadeia de células que obedecem a um sistema matricial, onde são determinadas as condições de fluxo pela identificação das células por um conjunto de números ordenados seqüencialmente. Sua operação é realizada através de células de grade com resolução de 1,012 ha (2,50 acres) até 16,189 ha (40 acres), subdivididas na bacia, permitindo análise em qualquer ponto. Para bacias menores que 809,45 ha (2.000 acres) são recomendadas células

com 4,047 ha (10 acres), para bacias superiores a 809,45 ha, células com 16,189 ha são normalmente utilizadas. A precisão dos resultados pode ser melhorada com a redução do tamanho das células, e conseqüente aumento do número de células (YOUNG et al., 1987).

A execução do AGNPS ocorre em três estágios, baseados em 23 parâmetros de informação para cada célula. Os cálculos iniciais são realizados no primeiro estágio. Estes incluem estimativas da erosão do solo, volume e tempo do fluxo de escoamento superficial, nível de poluentes solúveis que deixam a bacia, além de sedimentos e do escoamento superficial que deixam os terraços. No segundo estágio, calcula-se o volume do escoamento superficial que deixa a célula contendo terraços e a produção de sedimentos para a célula primária. O fluxo de sedimentos e nutrientes através da bacia se realizam no terceiro estágio.

O modelo trabalha com um simples evento de base, presumindo ser uniforme os padrões de precipitação. Os componentes básicos do modelo incluem: hidrologia, erosão, transporte químico e sedimentos. Os componentes hidrológicos calculados como o volume e pico do escoamento superficial são estimados utilizando o método da curva número - CN da SCS (YOUNG et al. 1987). O pico do escoamento é estimado utilizando as mesmas relações empíricas utilizadas no modelo CREAMS (SMITH & WILLIAMS⁵ apud YOUNG et al., 1989), com base na área de drenagem, declividade do canal, volume do escoamento e a relação comprimento - largura da bacia hidrográfica (ARAKERE & MOLNAU, 1994).

Os dados necessários para executar o modelo AGNPS são classificados em duas categorias: dados da bacia e da célula, conforme apresentado no Quadro 4.

⁵ SMITH, R. E. ; WILLIAMS, J. R. Simulation of surface water hydrology . "In: **CREAMS, A Field Scale Model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agriculture Management Systems**. Cons. Res. Rpt. 26. Agr. Res. Serv., U.S.Dept. Agr., Washington, DC. p. 15. 1980.

QUADRO 4. Dados de entrada do modelo AGNPS.

Parâmetros de entrada.	
1. Nome de identificação da bacia.*	11. Comprimento do declive médio da drenagem
2. Área da células.	12 Coeficiente da rugosidade de Manning
3. Número total de células.	13. Fator terraços (indica a presença de um sistema de terraços dentro da célula).
4. Precipitação	⇒ Coeficiente de erosão do solo:
5. Índice de erosão - EI_{30} *	14. Fator erodibilidade do solo (K) - USLE.
⇒ Informações do fluxo:	15. Fator cobertura (C) - USLE.
1. Número da célula.	16. Fator práticas (P_c) - USLE.
2. Célula divisora.	17. Constante das condições superficiais (fator baseado no uso da terra).
3. Aspecto (indica uma das 8 possibilidades da direção de drenagem de cada célula).	18. Textura do solo (areia, silte, argila, turfa).
4. Número da célula receptora da drenagem.	19. Fontes pontuais
5. Canal indicador (indica a presença de um canal definido dentro da célula).	20. Fontes de voçorocas (estima a erosão de voçorocas na célula, toneladas).
⇒ Caracterização hidrológica:	⇒ Dados químicos:
6. Curva número (CN) da SCS.	21. Nível de fertilização (baixo, médio, alto, e a definir), Fator disponibilidade de N e P(%).
7. Declividade média do terreno (%).	22. Fator incorporação (% de fertilização).
8. Declividade média do canal (%).	23. Fator demanda química de oxigênio
9. Declividade média do talude do canal (%).	
10. Fator forma do declive (uniforme, convexo ou côncavo).	

Fonte: YOUNG et al., 1987.

A erosão e o transporte de sedimentos são computados em cinco classes (argila, silte, areia, e em pequenos e grandes agregados) e são estimados usando-se a equação modificada da Equação Universal da Perda de Solo - USLE (WISCHMEIER & SMITH, 1978). No transporte, o sedimento é encaminhado de célula para célula através da bacia até a saída, empregando-se as relações de transporte e deposição de sedimentos descritos por FOSTER⁶ et al. apud YOUNG et al. (1987). Segundo HESSION & SHANHOLTZ (1988), esta equação calculou a poluição potencial que deixa cada célula, prevendo uma base para comparações relativas. O nitrogênio, o fósforo e a Demanda Química de Oxigênio - DQO são estimados em toda a bacia, baseados nas relações adaptadas pelo modelo CREAMS. O modelo trata, também, de sedimentos oriundos de voçorocas.

O modelo AGNPS foi testado com dados de bacias hidrográficas rurais com práticas conservacionistas, tendo sido alcançados boas correlações entre precipitação

⁶ FOSTER, G.R. et al. Estimating erosion and sediment yield on field-sized areas. *Trans. of the ASAE*. 24:p 1253-1262, 1981.

e a produção de sedimentos, como verificado por CHENG & WANN (1993), na análise dos efeitos de diferentes práticas de manejo do solo em pastagens. Posteriormente, KWONG (1995), utilizando o AGNPS associado à técnicas de SIG - ARC/INFO, verificou os problemas de erosão e estimativas de perdas de solo em duas bacias hidrográficas em Taiwan, identificando as áreas com elevados níveis de produção de sedimentos, relacionando seu controle através da prescrição de técnicas de manejo e conservação do solo. Em outro estudo com o modelo AGNPS, TIM et al. (1995) obtiveram estimativas uniformes e precisas da qualidade do escoamento das águas com ênfase nos nutrientes e sedimentos. Segundo os autores, o modelo pode ser usado para comparar a efetividade de várias práticas de controle da poluição com alternativas de manejo.

2.3 Sistema de informação geográfica - SIG

CALIJURI (1996)⁷ comenta que o termo “Sistema de Informação Geográfica - SIG” é freqüentemente aplicado à tecnologia computacional orientada geograficamente. Os SIGs são sistemas computacionais utilizados para armazenar e manipular informações geográficas. De acordo com uma visão mais geral, “um SIG é projetado para a coleta, armazenamento e análise de objetos e fenômenos onde a localização geográfica é uma característica importante ou fundamental para análise (...) enquanto o manuseio e a análise de dados referenciados a uma localização geográfica são ferramentas chaves de um SIG, a potencialidade do sistema é mais visível quando a quantidade de dados envolvidos é muito grande para a manipulação manual”. O armazenamento de dados que são encontrados em um mapa são de dois tipos: a) as definições geográficas das características da superfície da terra; e b) os atributos ou qualidades que estas características possuem.

As principais áreas de aplicação do SIG, são: a) gerenciamento de recursos renováveis - água, ar, solo, floresta, habitat com vistas à demanda ambiental; b)

⁷ CALIJURI, M. L. “In: Curso de Sistemas de Informações Geográficas.” EESC/USP. São Carlos, setembro, 1996. 115p.

mapeamento e levantamentos; c) análise e monitoramento ambiental - sobretudo os impactos de obras civis, seja em áreas rurais e/ou urbanas (PAREDES, 1994).

2.3.1 Caracterização dos sistemas

PAREDES (1994) descreve que existem centenas de SIGs em funcionamento em todo o mundo, sendo praticamente impossível um cadastramento completo. Tais sistemas variam de aplicações acadêmicas a profissionais. Os mais conhecidos no Brasil são o IDRISI que foi desenvolvido pela Clark University, Massachussets, e é baseado na forma “raster” de representação de dados; o ARC/INFO desenvolvido pela Environmental System Research Institute - ESRI, na forma “vector” com base no relacionamento espacial entre entidades e símbolos da realidade geográfica.; o SIR, desenvolvido pela Companhia de Pesquisa de Recurso Minerais - CPRM, que é composto de módulos destinados à cartografia digital, análise geoquímica e geofísica; e o SITIM que é um sistema desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE, que integra o Sistema de Tratamento de Imagens.

2.3.2 Técnicas

Existem duas técnicas de representação em SIG: “vector” e “raster”. Na representação “vector”, os limites das características são definidos por uma série de pontos, que, quando interligados com retas, formam a representação gráfica. Os pontos são codificados com um par de números que dão as coordenadas x e y no sistema (latitude/longitude, coordenadas - Universal Transversa Mercator - U.T.M.). A segunda forma de representação é a “raster”. Neste sistema a representação gráfica das características e dos atributos que elas possuem é armazenada em arquivos de dados unificados (CALIJURI, 1996). O banco de dados é o núcleo do sistema e pode ser entendido como uma coleção de mapas e informações associadas na forma digital. O banco de dados é composto por dois elementos, um banco de dados espaciais descrevendo a geografia (forma e posição) das características da superfície do terreno

e um banco de dados de atributos descrevendo as características ou as qualidades destas características.

2.3.3 O uso de sistemas de informações geográficas

A análise de dados espaciais geo-referenciados pode ser executado mais precisa e rapidamente com a utilização do Sistema Geográfico de Informação - SGI como exemplo de aplicação, cita-se o estudo de ASSAD et al. (1993) realizado junto a microbacia do córrego Taquara, na região de Planaltina, DF, Brasil, com área aproximada de 4.350 hectares, pertencente a Bacia do rio São Bartolomeu. A avaliação permitiu comprovar o grande potencial do SGI, na integração de dados geocodificados no planejamento de manejo e de conservação de solo e água, de uma microbacia hidrográfica.

MERTEN et al. (1995) concluíram que o Sistema de Informação Geográfica - SIG - ARC/INFO é uma adequada ferramenta de trabalho para obtenção de mapas de erosão potencial e avaliação de tecnologia conservacionistas, quando aplicado na determinação de mapas de erosão potencial e atual da microbacia piloto de Água Grande e Pensamento, Mamborê.

2.3.4 O modelo AGNPS integrado a um SIG

TIM & JOOLY (1994) estudando a avaliação do AGNPS integrado ao SIG - ARC/INFO em modelos hidrológicos, observaram boa eficácia destes no controle e planejamento das fontes não pontuais de poluição. Também constataram que tais técnicas podem ajudar a caracterizar as fontes de poluição difusa em uma paisagem. LUZIO et al. (1995), ao tratarem da aplicabilidade do modelo AGNPS integrado ao SIG em uma bacia hidrográfica com 77 km² de área, no norte da Itália, verificaram a adequabilidade de se usar os dados espaciais da variável precipitação para relacionar com a ocorrência das reais condições de poluição e erosão em escala de uma bacia hidrográfica.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo é a microbacia hidrográfica Água Grande e Pensamento, localizada no município de Mamborê, Paraná, Brasil, a 15 km da sede municipal, nas coordenadas geográficas 24°20' de latitude sul e 53°40' de longitude oeste. A rede de drenagem é formada pela confluência das águas do Córrego Água Grande e Ribeirão Pensamento, afluentes do Rio Sununu, pertencente à bacia hidrográfica do Rio Piquiri, que drena o Estado do Paraná no sentido leste - oeste, desaguando no Rio Paraná. A microbacia ocupa uma área de 4.348 ha com perímetro de 35,7 km e, no ordenamento dos canais, foi classificada como bacia de quarta ordem, segundo sistema introduzido por Horton e modificado por Strahler (CHOW, 1964 e TUCCI et al., 1993).

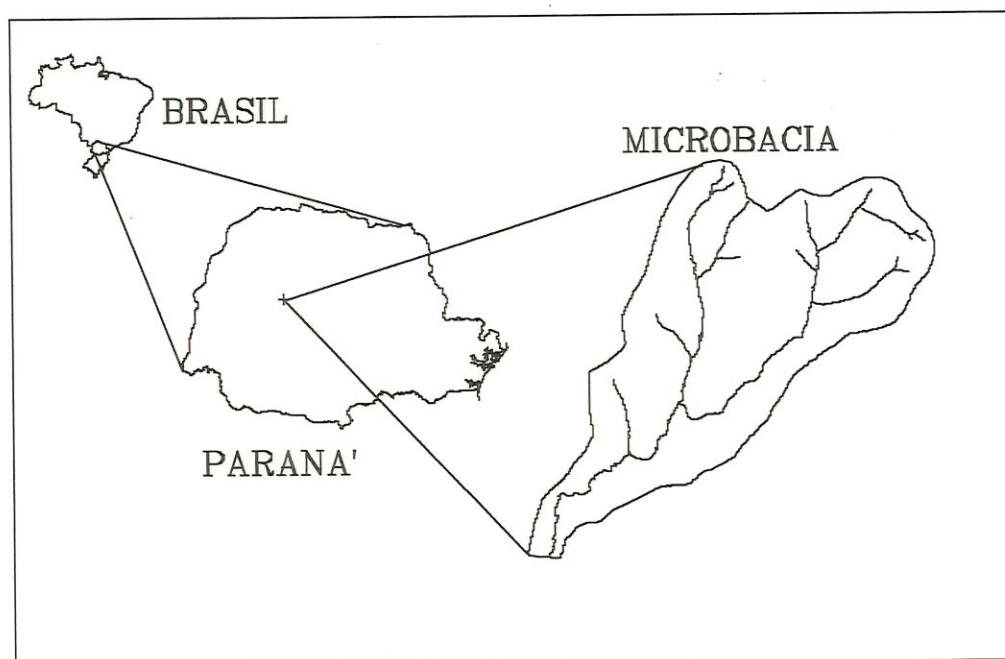


FIGURA 1 - Localização da microbacia hidrográfica Córrego Água Grande e Ribeirão Pensamento.

O clima na região é transacional Cfb e Cfa (classificação de Köppen), correspondente ao clima subtropical úmido, mesotérmico, com temperatura média anual de 19,5°C. O mês de julho apresenta as mais baixas temperaturas (média de 15°C) e fevereiro as mais altas (média de 23°C). A altitude é variável entre 500 e 720 metros e a precipitação média anual é 1600 mm, sendo os meses mais chuvosos os de dezembro, janeiro e fevereiro e os mais secos os de junho, julho e agosto (IAPAR, 1991).

O material geológico constituiu-se de rochas eruptivas básicas, formação “Serra Geral” do grupo São Bento, referente ao período Juro - Cretáceo e pelo grupo Caiuá, também do grupo São Bento, que se encontram assentados nos últimos derrames vulcânicos de basalto (EMBRAPA, 1988).

O relevo é variável, predominando o ondulado e suave ondulado na parte superior da microbacia e forte ondulado nas áreas mais baixas. As classes de solos predominantes na área são o Latossolo Roxo álico A, moderado, textura argilosa, fase subtropical perenifólia, relevo suave ondulado; o Latossolo Roxo distrófico A, moderado, textura argilosa, fase cerrado e cerradão subtropical relevo suave ondulado e praticamente plano; o Latossolo Roxo distrófico A, moderado, textura argilosa, fase floresta subtropical perenifólia, relevo ondulado; e a Terra Roxa Estruturada eutrófica A, moderado, textura argilosa, fase floresta tropical perenifólia, relevo ondulado.

As florestas remanescentes são do tipo subtropical perenifólia, predominando árvores de grande porte, tais como pinheiro, imbuia, cedro, cerejeira e outras.

3.2 Etapas do trabalho

Adotou-se o procedimento apresentado esquematicamente na Figura 2, também utilizado por KWONG, (1995) na análise de fontes não pontuais em bacias hidrográficas no Taiwan, com o modelo AGNPS e técnicas de SIG - ARC/INFO.

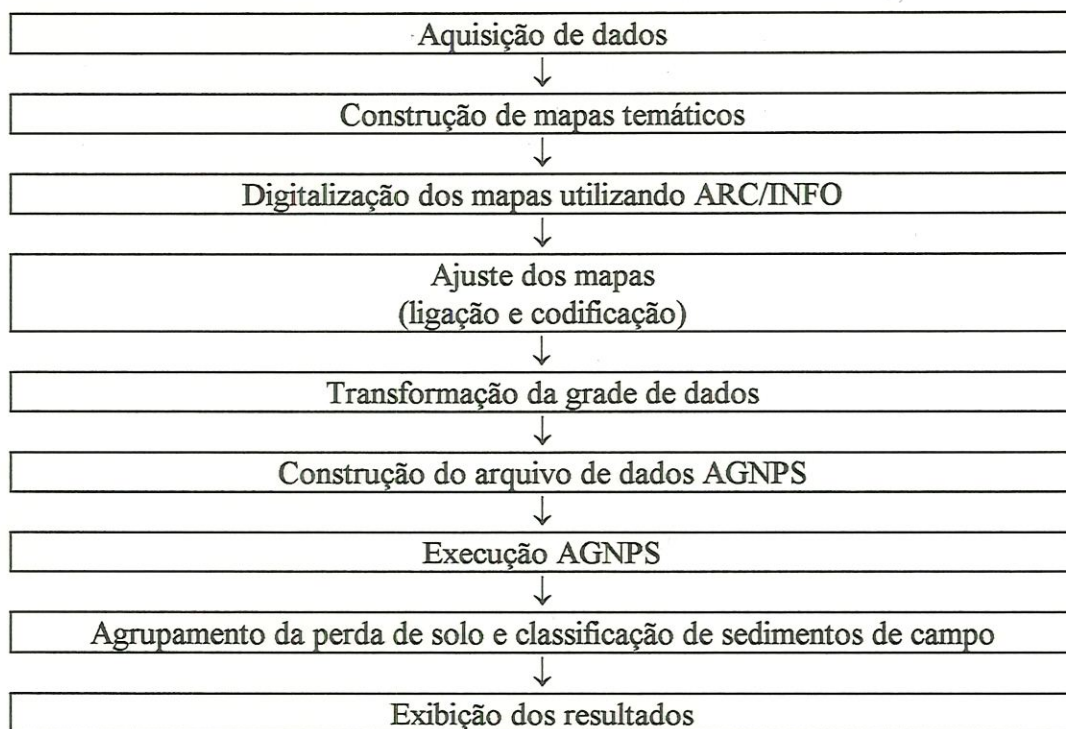


FIGURA - 2 Procedimento para a integração do SIG - ARC/INFO com AGNPS (KWONG, 1995).

3.3 Aquisição de dados

3.3.1 Estações pluviográficas

Visando obter dados para correlacionar precipitação - deflúvio, foram instalados pluviógrafos modelo HC, com superfície de 200 cm², que registram continuamente o volume das precipitações. A chuva recolhida passa por um tubo metálico e despeja em uma cisterna onde se processa um sifonamento automático a cada 10 cm³ de precipitação. Esse movimento aciona a pena traçadora no papel gráfico sendo feito o registro. Devido ao registro automático, as medições estão livres de erros oriundos do registro humano.

3.3.1.a Localização e instalação

De maneira a captar o total precipitado na microbacia, foram instalados 3 (três) pluviógrafos nas seguintes regiões: na nascente, instalado em 07/08/91; na

seção média, instalado em 10/07/91; e na parte final da microbacia, instalado em 07/08/91. Os locais escolhidos permitiam o acesso em qualquer época do ano. A instalação foi feita em uma base de concreto com um suporte metálico, obedecendo ao critério altura da base igual a 1,50 metros, em relação ao nível do terreno, estando confinado em um cercado de 4,0 x 4,0 metros, gramado.

3.3.1.b Operação e manutenção

A operação das estações e a troca de papel gráfico eram realizadas diariamente às 7:00 horas da manhã, quando da ocorrência de chuva. Caso contrário, foi utilizado o mesmo papel para outros períodos, fazendo-se um pequeno deslocamento da pena, para o registro claro de reuso. Foram também anotados em local próprio no papel gráfico: hora, dia, mês e ano, nome do observador e localidade. Os observadores foram treinados ficando perfeitamente instruídos quanto à operação e manutenção do equipamento, como: troca do papel gráfico, corda na relojoaria, verificação de tinta nas penas, etc. (GARCEZ & ALVAREZ, 1988). Nas estações foram colocadas placas de identificação definindo o tipo de pesquisa que se estava realizando. A frequência de visita foi bimensal segundo os critérios de BRASIL (1970a).

3.3.1.c Tratamento dos dados

No tratamento dos dados foram inventariadas séries históricas de estações pluviométricas da região com coleta e armazenamento de dados do período. O tratamento dos dados pluviográficos foi realizado através da determinação do EI_{30} e do cálculo dos volumes das precipitações mensais e anuais.

3.3.2 Estação fluviométrica

3.3.2.a Localização e instalação

Na escolha do local de medição foram consideradas as facilidades de acesso, principalmente durante as estações chuvosas, no que se refere às condições topográficas e de escoamento convenientes à precisão das leituras. O trecho definido tinha pouca sinuosidade e margens bem definidas, altas e estáveis, evitando assim o extravasamento da calha. Foram colhidas, também, informações seguras sobre as cotas por enchentes e estiagem notáveis, através de moradores mais antigos da região, de modo a evitar que as águas ultrapassassem os limites superiores e inferiores das escalas (BRASIL, 1970b e NETTO & ALVAREZ, 1982).

Para a coleta de dados referentes à variação dos níveis de água, foi instalada uma estação fluviométrica, em 01/03/91 próxima ao ponto mais a jusante da microbacia. Esta estação foi destinada à observação direta do nível da água. Tratavam-se de réguas graduadas, metálicas em perfil “U”, esmaltadas, numeradas de 2 em 2 centímetros, em vermelho/branco/preto, fixados em suporte de madeira de lei, instaladas e escalonadas ao longo da seção transversal de escoamento. As escalas foram relacionadas ao nível de referência, localizados em dois pontos firmes e protegidos, possibilitando sua verificação periódica (BRASIL, 1970b e NETTO & ALVAREZ, 1982).

3.3.2.b Operação e manutenção

Foram realizadas duas observações diárias, às 7:00 hs. e 17:00 hs., por pessoa treinada e com moradia próxima. As cotas lidas foram anotadas em cadernetas e registradas duas vias. A segunda via ficou na estação, evitando a perda de dados.

Nas inspeções pelos técnicos na estação, foram realizadas o levantamento da seção transversal de escoamento na parte molhada, por sondagem, e na parte em seco, por nivelamento geométrico. As seções de medição foram mantidas livres de

vegetação junto às margens sendo periodicamente realizado o serviço de limpeza e capina. A frequência de visita foi bimensal segundo os critérios de BRASIL (1970b).

3.3.3. Estação fluviográfica

A estação fluviográfica foi composta pelo aparelho denominado linígrafo que registra, em diagramas apropriados, as oscilações dos níveis de água no transcorrer do tempo. O equipamento utilizado foi o Linígrafo de Pressão modelo - LNG-16 constituído pela associação do Sensor de Nível Manométrico, modelo - SNM - 1, com o Registrador Mecânico modelo - REM - 3, (GARCEZ & ALVAREZ, 1988).

3.3.3.a Localização e instalação

Para a coleta de dados referentes à variação dos níveis de água, foi instalada, também no ponto próximo de jusante da microbacia, a estação fluviográfica em 02/04/91 e de medição de vazão em 04/07/91. O linígrafo foi instalado em um abrigo de madeira, coberto, com 2,0 x 2,0 x 2,5 metros, de maneira a não só alojar o equipamento, mas também o material sobressalente de manutenção e operação, tais como: cadernetas e fichas de anotações, caneta esferográfica, fita veda rosca, mercúrio, barbante, pena para papel gráfico, grades plásticas, garrafas coletoras e outros materiais. Este registro sistemático foi a base dos estudos fluviométricos, sobretudo pela facilidade de obtenção e a possibilidade de serem relacionadas às vazões instantâneas medidas.

3.3.3.b Operação e manutenção

Foram estabelecidas visitas a cada dois meses para a manutenção do equipamento, segundo os critérios de BRASIL (1970c), tais como: troca do cilindro de gás de nitrogênio, do papel gráfico, pena, pilhas, baterias, entre outros. Foram anotadas, também, as seguintes informações em papel gráfico quando da sua remoção: a) nome completo da estação; b) dia, mês e ano; c) hora lida no relógio,

usando o sistema 24 horas; d) hora lida na pena do linógrafo; e) cota externa, lida nas réguas; f) cota interna lida no dispositivo registrador; e g) assinatura do técnico.

3.3.5 Medição de vazão em rios

O método adotado para a medição da vazão dos cursos dos rios foi o baseado no conhecimento das velocidades de escoamento, ao longo de uma seção transversal nas diferentes verticais. Para determinação das velocidades de uma seção transversal foi utilizado o Micromolinete, tipo americano - Price, eixo vertical (TUCCI et al. 1993). As constantes a e b fornecidas pelo fabricante foram: $a=0.2847$ e $b=0.06782$. Para contar os impulsos gerados pelo micromolinete foi utilizado um conta-giros, com contador eletrônico e cronômetro integrado. O tempo de medição foi de 50 segundos, conforme calibração do equipamento. O micromolinete foi utilizado empregando-se uma haste graduada, com o operador ficando em pé no leito do rio (medição a vau). A determinação da seção transversal de escoamento do rio, foi realizada através de um cabo de aço graduado, entre margens, onde foram levantadas as diferentes profundidades. Para verticais mais profundas do que 1,0 metro, a partir da superfície, foram adotadas leituras a 20% e 80% da profundidade total e foi calculada a média. Para verticais inferiores a 1,0 m, a partir da superfície, foi adotada leitura a 60% da profundidade (VILLELLA & MATTOS, 1975).

O princípio do método foi o seguinte: a) divide-se a seção transversal de escoamento do rio, em um certo número de posições para levantamento do perfil de velocidades; b) levanta-se o perfil de velocidades; c) encontra-se a velocidade média para cada perfil; d) calcula-se a vazão através da somatória do produto de cada velocidade média por sua área de influência. As vazões foram calculadas a partir de velocidades médias observadas nas verticais. Considerou-se, então, a vazão (Q) como a soma das vazões parciais (q_i) que atravessaram as faixas determinadas de medição, $Q=\sum q_i$.

3.3.5.a Determinação da Curva-chave

O traçado da curva de calibração foi a primeira fase da transformação das cotas em descargas. Segundo TUCCI et al. (1993), o traçado da curva-chave, altura em função da vazão, ou seja $h=f(Q_c)$, onde “ h ” foi a altura da lâmina de água em metros e “ Q_c ” foi a vazão em $m^3 \cdot s^{-1}$. Para o traçado da curva-chave foram realizadas medições de vazão nos níveis altos, médios e baixos das águas, procurando-se estabelecer os pontos extremos da tábua.

3.3.5.b Metodologia

Para ajustar a curva ao conjunto de medições foi empregada a técnica dos mínimos quadrados. Da reta resultante obteve-se duas características importantes: a) a soma dos desvios verticais dos pontos em relação à reta foi zero, e b) a soma dos quadrados desses desvios foi mínima (isto é, nenhuma outra reta daria menor soma de quadrados de tais desvios). Foram realizadas 89 medições de vazão de julho de 1991 a dezembro de 1996, obtendo-se $r^2 = 0,92$.

3.3.5.c Tratamento dos dados

O tratamento dos dados fluviométricos e/ou fluviográficos foi realizado através da construção de linigramas; análise da curva-chave e extrapolação dos níveis máximos; determinação das hidrógrafas de cheia e formação de séries históricas de vazões máximas anuais.

3.3.6 Estação sedimentométrica

A estação sedimentométrica foi estabelecida no mesmo local da linigráfica.

3.3.6.a Operação e manutenção

3.3.6.a.1 Sedimentos em suspensão

A descarga sólida foi obtida através da medida da concentração de sedimentos em suspensão (duas amostragens diárias, às 7:00 hs. e 17:00 hs), com início em 06/08/91. Para a coleta das amostras de sedimentos em suspensão foi utilizado o amostrador UDSH-48, o qual possui formas aerodinâmicas que causam distúrbio mínimo na corrente, com bocal pré calibrado com $\frac{1}{4}$ " de diâmetro e peso de 3,0 kg (TUCCI, et al. 1993). A amostragem ocorreu através da integração na vertical, com objetivo de determinar a concentração média do material em suspensão. As amostras foram armazenadas em garrafas de plástico escuro com capacidade de 1 litro - (água sanitária), devidamente catalogadas com etiquetas auto adesivas, constando: hora, dia, mês e ano da coleta, armazenados em grades plásticas até o momento do transporte. A frequência de visita foi bimensal segundo os critérios de BRASIL (1970c).

3.3.6.b.1 Sedimentos de fundo

Para sedimentos de fundo foi utilizada a draga de Petersen, com coletas bimensais. As amostras foram armazenadas em sacos de plástico escuro e posteriormente encaminhadas para análise no Laboratório de Solos do IAPAR, Londrina, PR.

3.3.6.b.2 Tratamento dos dados

O cálculo do fluxo de sedimentos foi feito pelo produto da vazão líquida ($m^3 \cdot s^{-1}$) com a concentração de sedimentos ($g \cdot m^{-3}$ ou $mg \cdot l^{-1}$) e uma unidade constante de conversão para dias ou anos (MARTINELLI et al, sd.; CARVALHO, 1994).

3.4 Representação espacial de informação

O estudo iniciou-se a partir das informações do mapa topográfico elaborado pelo Instituto Ambiental do Paraná - IAP, pela reconstituição do terreno a partir de fotos aéreas de 1980, na escala 1:100.000. A projeção adotada para o georeferenciamento de dados espaciais foi a oficial no Brasil, denominada U.T.M. e baseada no Datun - DSAP-69. Para isso, foi utilizado o mapa gerado pela Divisão de Serviço Geográfico do Ministério do Exército, folha SG.22-V-A-III, escala 1:10.000, Mamborê, situado entre as seguintes coordenadas - eixo x: 326.438 e 336.497 metros e eixo y 7.303.077 e 7.313.135 metros.

O mapa de solos utilizado foi resultado do levantamento semi-detalhado realizado pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo (EMBRAPA, 1988), na Escala 1:25.000.

Os mapas de uso da terra utilizados foram: a) março de 1991, elaborado pelo Instituto Ambiental do Paraná no Laboratório Integrado de Sensoriamento Remoto do Paraná - IAP/LISERP, a partir da interpretação digital de imagens, obtidas pelo sensor TM do satélite LANDSAT - com órbita 223 ponto 77 quadrante B, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Bandas 5, 4 e 3; b) janeiro de 1994, agosto de 1995 e julho de 1996, na escala 1:20.000 elaborado pela SENAGRO - Sensoriamento Remoto S/C Ltda., a partir de imagens multiespectrais digitais, obtidas pelo sensor TM do satélite LANDSAT 5 - INPE, Bandas 5R, 4G e 3B.

O estudo utilizou a versão 5.0 do AGNPS (YOUNG et al., 1987) e os dados necessários para sua execução foram obtidos a partir da divisão da bacia hidrográfica em grade de células com tamanhos uniformes. A microbacia Água Grande e Pensamento foi dividida em 268 células de base (células com 402,35 x 402,35 metros, área de 16,189 ha). Posteriormente, algumas destas células foram subdivididas quatro vezes, com áreas de 4,047 ha (10 acres), e 1,012 ha (2,5 acres) cada, com o intuito de melhorar a precisão.

3.4.1 Tratamento digital

Para levantamento dos dados geográficos da microbacia hidrográfica, realizou-se a planificação ambiental através de mapas gerados no SIG pela digitalização. A digitalização é um processo de converter as entidades espaciais do mapas em formato digital. Entidades como pontos, linhas e áreas, que compõem o mapa, foram convertidas em coordenadas x e y (PAREDES, 1994). Este sistema permitiu que mapas existentes em papel fossem convertidos para a forma digital. Esta técnica empregou um aparelho eletromagnético e eletrostático denominado mesa digitalizadora e um cursor que registrou a localização da coordenada correspondente (ASSAD et al, 1993).

Os mapas planialtimétrico, com curvas de nível de 5 em 5 metros, de solos, de contorno da bacia (divisor de águas) e dos cursos de água foram digitalizados em ARC/INFO, gerando arquivos na forma “vector”, (PAREDES, 1994), importados para o programa IDRISI/WINDOWS e transformados para a forma “raster”, (CALIJURI, 1996). As imagens criadas referentes à topografia podem ser vistas nas Figuras 3 e 4 respectivamente.

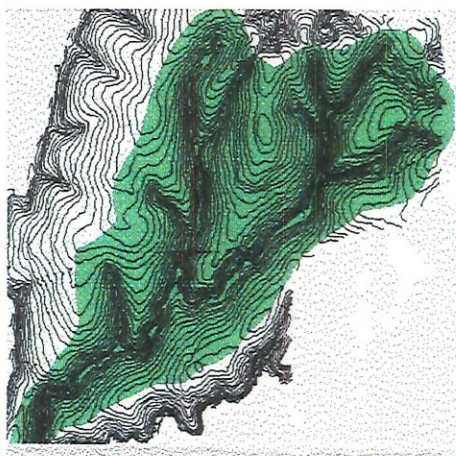


FIGURA 3 - Imagem vector: curvas de nível, divisor e cursos d'água.
Escala: 1:160.940

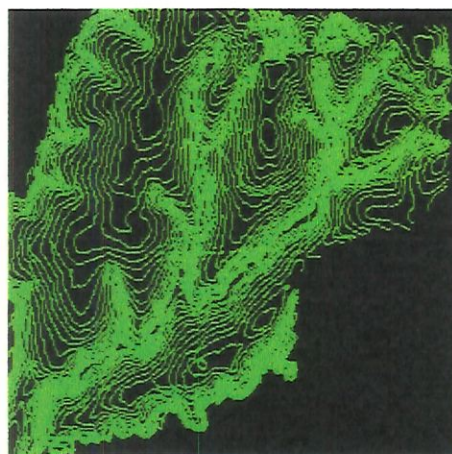


FIGURA 4 - Imagem raster: curvas de nível.
Escala: 1:160.940

3.5 Arquivo de dados para o AGNPS

3.5.1 Determinação das faixas de declividade

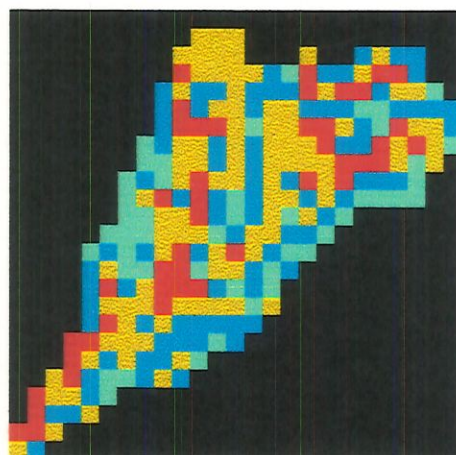
A carta de declividade foi determinada através da interpolação da imagem “raster” das curvas de níveis e a declividade (%), estabelecida pelas faixas de declive selecionadas com base no fator práticas de manejo do solo proposto por MERTEN et al. (1995). A Tabela 1 apresenta as faixas de declividade.

TABELA 1 - Determinação declividade segundo a USLE.

Faixa	Declividade
1	0 - 3%
2	3 - 6%
3	6 - 12%
4	> - 12%

Fonte: MERTEN et al., 1995.

Visando atender aos requisitos do AGNPS para formação das células, reduziu-se o número de linhas e colunas em 10 vezes o da imagem “raster” gerada, aumentando a resolução e estabelecendo células com área de 16,189 ha (40 acres), como apresentado na Figura 5.



LEGENDA:

Escala: 1:160.940





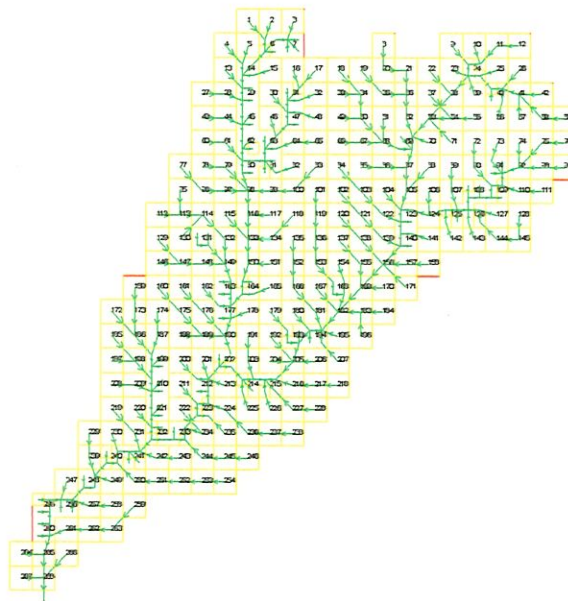
Faixa de Declividade	Fator P_c	Faixa de Declividade	Fator P_c
 0 - 3%	$P_c = 0,55$	 6 - 12%	$P_c = 0,50$
 3 - 6%	$P_c = 0,55$	 > 12%	$P_c = 0,60$

FIGURA 5 - Fator práticas de manejo conservacionista - P_c .

Fonte: MERTEN, et. al., 1995.

3.5.2 Direção do escoamento

O escoamento superficial foi definido através das células em função das características da drenagem de modo que o fluxo em qualquer ponto pudesse ser examinado. O sentido da drenagem foi definido como a direção de fluxo que deixa a célula e foi baseado na forma e topografia existentes em cada célula, com auxílio do mapa topográfico na escala 1:10.000. A Figura 6 apresenta a imagem do escoamento superficial gerado pelo modelo AGNPS.



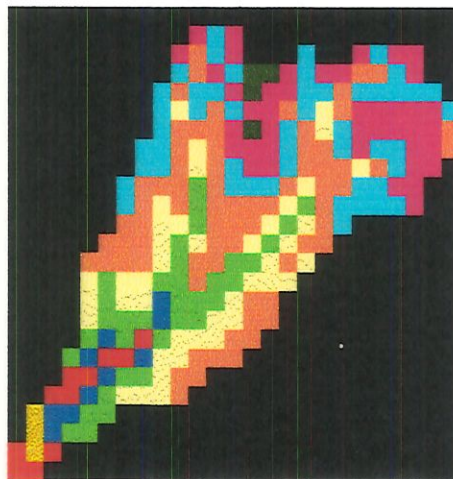
LEGENDA Sem escala
 FIGURA 6 - Direção do fluxo de escoamento.

3.5.3 Modelo de elevação digital do terreno

O modelo de elevação digital do terreno foi obtido pela interpolação da imagem “raster” das curvas de nível com a reclassificação da carta de declividade,



determinando as faixas de altitude. A Figura 7 apresenta o modelo de elevação digital do terreno.



LEGENDA: Escala 1: 1:160.940











Faixa	Altitude (metros)	Faixa	Altitude (metros)	Faixa	Altitude (metros)
	500 - 520		580 - 600		680 - 700
	520 - 540		600 - 620		700 - 720
	540 - 560		620 - 640		
	560 - 580		640 - 660		

FIGURA 7 - Modelo de elevação digital do terreno.

3.5.4 Declividade média do canal principal

A declividade média do maior curso de água (o Água Grande), foi determinada através da medição dos diferentes comprimentos entre cotas, utilizando o mapa topográfico, na escala 1:10.000, e o curvímeter - modelo Tax-Meter (Minerva - Swiss). Para maior precisão, realizaram-se três medições e o resultado final foi calculado pela média aritmética.

Para o declive da encosta ou barranco do rio, foi adotado o valor 10%, conforme sugestão de YOUNG et al., (1987).

3.5.5 Fator de forma do terreno

O fator de forma (uniforme, côncavo e convexo) em cada célula, foi resultado do estudo de dois mapas: um baseado na sobreposição do mapa “raster” declividade com o vetor cotas, e o mapa topográfico, em escala 1:10.000. Esse último foi quadriculado em células conforme os padrões de YOUNG et al. (1987), onde foram levantadas as características de cada célula.

3.5.6 Comprimento do declive médio de drenagem

O comprimento do declive médio foi determinado através da direção do fluxo percorrendo cada célula e em função da forma do terreno (uniforme, convexo e/ou côncavo). Segundo YOUNG et al. (1987), uma maneira de simplificar os cálculos foi dividir o maior comprimento do declive em três segmentos iguais. Para a forma convexa, aplicou-se à primeira terça parte do segmento um gradiente de 2%, à segunda um gradiente de 7%, e à última terça parte o gradiente de 12%. Para a forma côncava, aplicou-se à primeira terça parte do segmento um gradiente de 12%, à segunda um gradiente de 7%, e à última o gradiente de 2%. Para os declives uniformes o valor médio adotado foi de 7%.

3.5.7 Definição do uso da terra nas células

Para estabelecimento dos diferentes cenários de avaliação, utilizou-se os mapas temáticos elaborados a partir da interpretação de imagem de satélite, pelo IAP/LISERP e pela empresa SENAGRO - Sensoriamento Remoto S/C Ltda., nos seguintes períodos: março de 1991, Escala 1:25.000; janeiro de 1994, agosto de 1995, e junho de 1996, Escala 1:20.000. Para o levantamento do uso do solo, quadriculou-se os mapas de acordo com padrões de YOUNG et al., (1987). De acordo com a legenda específica de cada mapa foram adotados diferentes usos para cada célula. Para células com mais de uma forma de uso da terra foi adotada aquela que possuía maior cobertura, em termos da área.

Após esse estudo inicial, elaborou-se uma planilha para cada um dos 4 (quatro) diferentes usos em cada célula, na qual estabeleceu-se uma correlação entre as respectivas células, uso e ano. Em visita a campo realizada em agosto de 1997, foram definidas as áreas com mata ciliar e florestas, relacionado-as com as células junto aos ribeirões.

3.5.8 Coeficiente de rugosidade de Manning

Para os córregos e ribeirões, o valor adotado para o coeficiente de Manning foi de $n = 0,050$, que indica cursos de água limpos e tortuosos, com algumas áreas com vegetação e pedras, que caracterizam o Água Grande e o Pensamento, com base na ilustração fornecida pelos autores NETTO & ALVAREZ (1985), a qual mostra semelhança com as características da área de estudo.

O coeficiente de Manning estabeleceu, também, valores para as células de acordo com o seu uso, através da cobertura vegetal e dos resíduos culturais (YOUNG et al., 1987). Para a área de estudo foram adotados os valores apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 - Relação massa seca e o coeficiente de Manning.

Espécie	Plantio Convencional		Plantio Direto	
	(ton .ha ⁻¹) *	Manning	(ton .ha ⁻¹) *	Manning
Milho	5,83	0,084	6,22	0,090
Soja	2,90	0,075	3,10	0,080
Trigo	4,10	0,120	7,25	0,122
Pousio	2,99	0,077	4,00	0,115

Fonte: * CALEGARI, 1995.

Nas áreas com culturas perenes, o valor adotado correspondeu a presença de boas pastagens, segundo valores tabulados por YOUNG et al. (1987), apresentando $n = 0,08$. YOUNG et al. (1987) estabeleceram, também, para as florestas e mata ciliar o valor de $n = 0,300$ e, para lagoas e represas, o valor de $n = 0,990$.

3.5.9 Constante das condições superficiais - SCC

O parâmetro constante das condições de superfície (SCC) foi baseado nas condições atuais de uso do solo e manejo, correspondendo a valores tabulados por YOUNG et al., (1987), (ANEXO - IV).

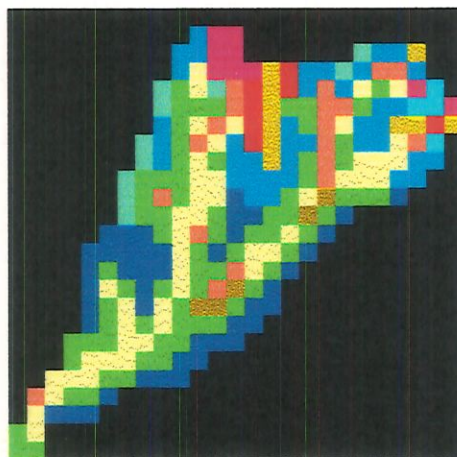
3.5.10 Terraceamento

MERTEN et al. (1995) em trabalho realizado na microbacia em estudo, estabeleceram que a distância entre terraços é função da declividade. Para declives de: 3 - 6% - $L_T = 28$ metros; 6 - 12% - $L_T = 22$ metros e maior que 12% - $L_T = 20$ metros, onde L_T é a distância entre terraços. O maior comprimento do declive (determinado em função do fator de forma) foi dividido pelos espaçamentos entre terraços, resultando no número de terraços existentes na célula.

3.5.11 Solos

O mapa de solos foi digitalizado em ARC/INFO, gerando arquivo na forma "vector" (PAREDES, 1994), e importado para o programa IDRISI/WINDOWS e transformado para a forma "raster" (CALIJURI, 1996)⁸. Para atender à condição do modelo AGNPS quanto à formação das células, reduziu-se o número de linhas e colunas em 10 vezes, simultaneamente, aumentando assim a resolução estabelecendo células com área de 16,189 ha (40 acres). A Figura 8 apresenta a imagem dos diferentes tipos de solos encontrados na microbacia.

⁸ CALIJURI, M. L. "In: Curso de Sistemas de Informações Geográficas." EESC/USP. São Carlos, setembro, 1996. 115p.



LEGENDA Escala: 1:160.940

Solo	Tipo	Área	Solo	Tipo	Área
	LEa1	3,72%		LRa3	17,54%
	LEa2	14,55%		Tre	7,09%
	LEa3	3,72%		Pea1	1,87%
	LEa4	2,60%		Pea2	3,36%
	LRa1	16,78%		Ce	0,05%
	LRa2	26,85%		Ae	1,87%

FIGURA 8 - Mapa de solos. Fonte: EMBRAPA, 1988.

3.5.11.1 Análise granulométrica

No levantamento semi-detalhado de solos realizado pela EMBRAPA (1988), foram realizadas amostragens em diferentes locais e perfis de solo, apresentando como resultado a granulometria nas frações: silte, argila e areia em (%). Para as classes de solos foi adotada a média aritmética dos valores amostrados de acordo com o tipo de solo, nos horizontes superficial e subsuperficial.

TABELA 3 - Análise granulométrica do solo dos horizonte A e B - Água Grande e Pensamento.

Tipo de solo	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
LEa1	47,17	6,50	46,33
LEa2	44,50	6,75	48,75
LEa3	61,40	6,00	32,60
LEa4	53,89	4,22	41,89
LRa1	15,30	12,35	72,35
LRa2	16,88	14,82	68,30
LRa3	15,67	14,00	70,33
Tre	23,67	10,33	66,00
Pea1	50,00	5,50	44,50
Pea2	62,00	1,00	37,00
Ce	41,80	13,00	45,20
Ae	nd.	nd.	nd.

Fonte: EMBRAPA, 1988. - *nd. - não determinado.

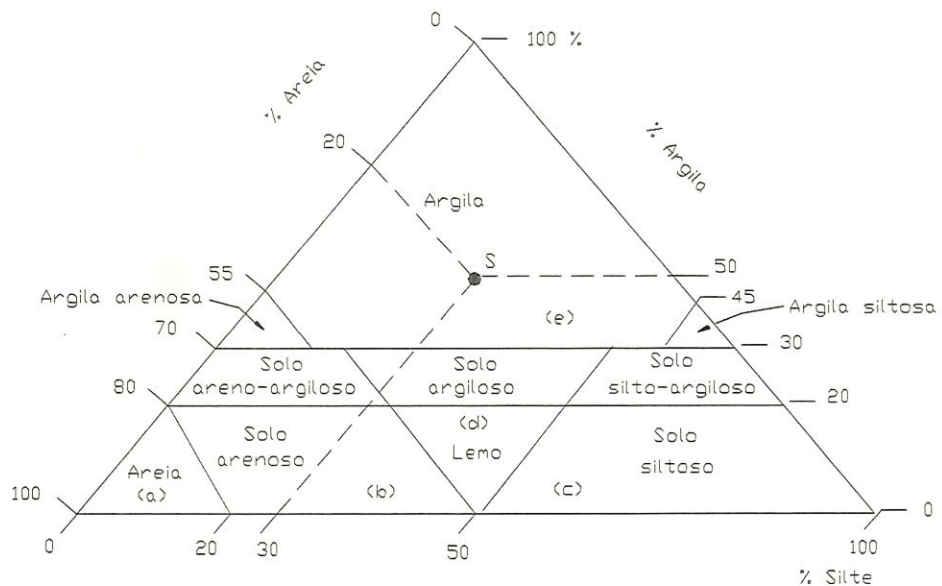


FIGURA 9 - Triângulo de Classificação Granulométrica (Bureau of Public Roads).
Fonte: VARGAS, 1977 e YOUNG et al., 1987.

A textura do solo foi determinada segundo os padrões do AGNPS (1 - areia; 2 - silte; 3 - argila; e 4 - turfa) da seguinte forma: através da análise granulométrica nas porções areia, silte e argila da Tabela 3, definiu-se sua fração junto ao Triângulo de Classificação Granulométrica da Figura 9. Com esses resultados e os dados ANEXO - V, foi classificado a textura do solo como de Classe B de acordo com YOUNG et al., (1987), ANEXO - VI.

TABELA 4 - Determinação da textura do solo.

Tipo de solo	Triângulo Equiv.	Textura	Textura AGNPS
LEa1	Argila/arenosa	Argilosa	1
LEa2	Argila/arenosa	Argilosa	1
LEa3	Areno/argiloso	média	1
LEa4	Argila/arenosa	média	1
LRa1	Argila	muito argilosa	3
LRa2	Argila	muito argilosa	3
LRa3	Argila	muito argilosa	3
Tre	Argila	Argila/muito argilosa	3
Pea1	Argila	média	1
Pea2	Areno/argiloso	média argilosa	1
Ce	Areno/argiloso	média fase pedregulhosa	1
Ae	nd.	nd.	nd.

Fonte: YOUNG et al., 1987. - *nd. - não determinado.

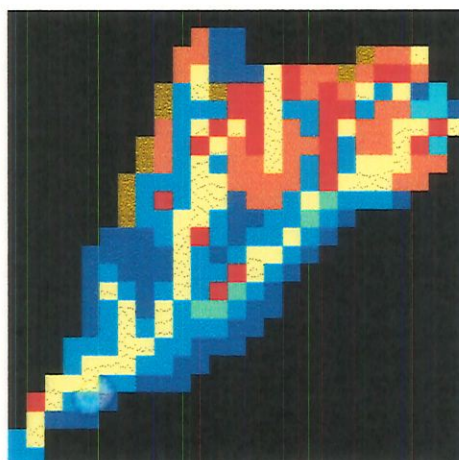
3.5.12 Levantamento dos nutrientes: fósforo, nitrogênio e matéria orgânica

No levantamento semi-detalhado de solo realizado pela EMBRAPA (1988) foram realizadas amostragens em diferentes locais e perfis de solo, apresentando como resultados a concentração do Fósforo (mg l^{-1}) e o Carbono Orgânico (%). Para estes resultados foi adotada a média aritmética dos valores amostrados de acordo com o tipo de solo, no horizonte superficial. Os resultados encontravam-se no sistema métrico e foram convertidos para o sistema britânico.

3.5.13 Determinação dos mapas de concentrações de nutrientes

Para a composição das Figuras 10, 11 e 12, criou-se imagens vazias através do IDRISI/WINDOWS para o P, MO, e N, onde foi reclassificada a Figura 8, que representa o mapa de solos já caracterizado em células.

3.5.13.1 Concentração de fósforo - P



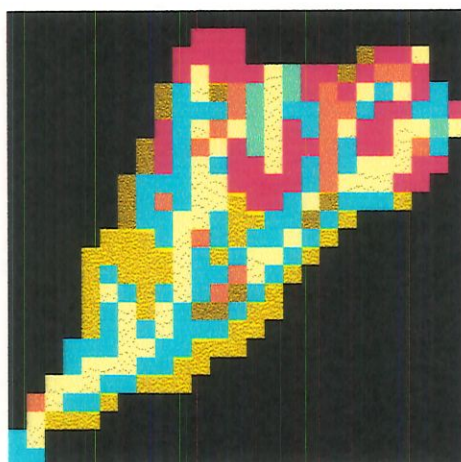
LEGENDA			Escala 1:160.940		
Solo	Fator Fósforo		Solo	Fator Fósforo	
	(ppm)	(lbP .lbs ⁻¹)		(ppm)	(lbP .lbs ⁻¹)
	12,17	$1,22 \times 10^{-5}$		3,10	$3,10 \times 10^{-6}$
	6,30	$6,30 \times 10^{-6}$		1,65	$1,80 \times 10^{-6}$
	14,58	$1,46 \times 10^{-5}$		10,55	$1,89 \times 10^{-5}$
	8,18	$9,60 \times 10^{-6}$		17,30	$3,31 \times 10^{-5}$
	10,14	$1,01 \times 10^{-5}$		5,53	$5,53 \times 10^{-6}$
	5,81	$5,81 \times 10^{-6}$		-	-

FIGURA 10 - Teor de fósforo no horizonte A do solo. Fonte: EMBRAPA, 1988.

Como não eram conhecidos os valores de concentração do Fósforo, adotou-se $P = 0,5$ ppm., conforme sugestão de YOUNG et al., (1987).

Para os demais fatores, tais como, concentração de P na água intersticial excedente, ($P = 2,0$ ppm.), o coeficiente de extração do P pelo escoamento superficial ($P = 0,025$), e o coeficiente de extração do P por lixiviação ($P = 0,25$), foram adotados os valores sugeridos por YOUNG et al. (1987).

3.5.13.2 Teor de matéria orgânica - MO



LEGENDA

Escala 1:160.940

Solo	C _o (%)	M. O (%)	Solo	C _o (%)	M. O (%)
	2,52	4,33		1,75	3,00
	2,40	4,12		1,92	3,29
	2,68	4,61		3,33	5,72
	2,38	4,09		1,21	2,08
	2,24	3,85		1,48	2,54
	2,13	3,66		-	-

FIGURA 11 - Teor de matéria orgânica no horizonte A do solo. Fonte: EMBRAPA, 1988.

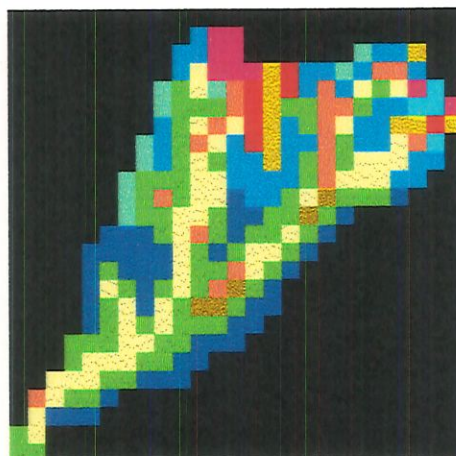
Para os solos aluviais o teor de matéria foi considerado igual a zero, por se tratar de solos provenientes da erosão e devido a falta de valores no levantamento realizado pela EMBRAPA, (1988).

Handwritten calculations:

$$\begin{array}{r} 102 \\ 7 \\ \hline 109 \\ 329 \quad | \quad 1,92 \\ 192 \quad | \quad 1,7 \\ \hline 370 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 254 \\ 148 \\ \hline 1030 \\ 1022 \\ \hline 380 \end{array} \quad \begin{array}{r} 1748 \\ 1189 \\ \hline 1,7 \end{array}$$

3.5.13.3 Concentração de nitrogênio - N



LEGENDA		Escala 1:160.940			
Solo	Nitrogênio (%)	Nitrogênio (lbN .lbs ⁻¹)	Solo	Nitrogênio (%)	Nitrogênio (lbN .lbs ⁻¹)
	21,64	0,22		15,01	0,15
	20,60	0,21		16,47	0,16
	23,07	0,23		28,60	0,29
	20,47	0,20		10,41	0,10
	19,25	0,19		12,71	0,13
	18,32	0,18		-	-

FIGURA 12 - Teor de nitrogênio na matéria orgânica no horizonte A do solo.
Fonte: EMBRAPA, 1988.

Como não eram conhecidos os valores de concentração do Nitrogênio adotou-se $N = 1\%$, conforme sugestão de YOUNG et al., (1987). Para os demais fatores, tais como, a concentração de N na água intersticial excedente, ($N = 5,0$ ppm.), o coeficiente de extração do N pelo escoamento superficial ($N = 0,05$), e o coeficiente de extração do N por lixiviação ($N = 0,25$), foram adotados os valores sugeridos por YOUNG et al. (1987).

3.5.14 Uso e manejo do solo

Para fins práticos o ano agrícola foi dividido em cinco períodos correspondentes a diferentes estágios da cultura, definidos de modo que os efeitos de cobertura e manejo possam ser considerados aproximadamente uniformes ao longo de

cada período (DEDECEK et al., 1986). Adjacentes aos períodos, têm-se as datas referindo-se à realidade local de acordo com o ano agrícola (ANEXO - VII).

(a) Período 0 - do preparo do solo ao plantio;

verão → soja → 15/08 a 10/09;

inverno → trigo, aveia, adubação verde → 15/03 a 15/04;

(b) Período 1 - do plantio a um mês após;

verão → soja → 11/09 a 15/11;

inverno → trigo, aveia, adubação verde → 16/04 a 15/05;

(c) Período 2 - do fim do período 1 até dois meses após o plantio;

verão → soja → 16/11 a 15/12;

inverno → trigo, aveia, adubação verde → 16/05 a 15/06;

(d) Período 3 - crescimento e maturação: de dois meses após o plantio até a colheita;

verão → soja → 16/12 a 28/02;

inverno → trigo, aveia, adubação verde → 16/6 a 15/08;

(e) Período 4 - resíduo: da colheita até o preparo do solo;

verão → 01/03 a 15/04;

inverno → 15/08 a 15/09.

3.5.15 Determinação do fator cobertura - C

3.5.15.1 Culturas anuais: trigo e soja

O fator C para culturas anuais foi obtido a partir dos resultados experimentais do ensaio de avaliação de perda de solo e água, para chuvas naturais, de RUFFINO⁹ et. al. apud MERTEN (1995), realizado em Latossolo Roxo distrófico, em uma área próxima da microbacia, no município de Campo Mourão. Foram consideradas, também, o plantio direto e convencional, com seus efeitos já incluídos na estimativa do fator C.

TABELA 5 - Fator cobertura para culturas anuais.

Cultura	Fator C	
	Plantio convencional	Plantio direto
Soja	0,138	0,035
Trigo	0,187	0,179

Fonte: MERTEN et al., 1995.

3.5.15.2 Culturas anuais: milho

Para a cultura do milho procurou-se uma relação com os trabalhos apresentados por BERTONI & LOMBARDI (1985) nos mapas isoerodentes, que mostram os valores médios do índice de erosão - R para o Estado de São Paulo. Segundo RUFFINO et al. (1993), a microbacia apresenta o fator $R = 872,93$ ($\text{ton. ha}^{-1} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{hora}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$). Com este valor e devido à estreita relação dos valores de R, foi definida a região de Ribeirão Preto como base nos estudos para a determinação do fator C.

Para sua determinação, foram considerados cinco anos de rotação de culturas entre pastagem, milho, pousio, soja e milho, com preparo convencional para todas as culturas. Os períodos da cultura foram definidos no Quadro 5.

⁹ RUFFINO, R.L.; BISCAIA, R.C.M.; MERTEN, G.H. Fator C para sucessão trigo-soja cultivada em Latossolo roxo distrófico em preparo convencional e plantio direto. IAPAR. Programa Recursos Naturais Renováveis. Informe Interno. Londrina, IAPAR. (não publicado), 1993.

QUADRO 5 - Valores adotados para o fator cobertura do solo para o milho.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	
Ano	Operações	Data dia/mês	Valor médio anual	Estágio das culturas (*)	Índice erosão período (%)	Razão perdas de solo (%)	Coluna (5)x(6)	Valor de C
1987	Plantio Pastagem	15/09-15/11	1	-	-	-	-	-
1988	Rotação	15/09-15/11	101	G	100	40	0,40	
1989	Preparo do solo milho	15/08-15/09	201	G	100	0,4	0,004	0,4040
	Plantio milho	15/09-15/11	209	D	8	10	0,008	
		15/12	221	1	12	11	0,0132	
1990		15/01	244	2	23	8	0,0184	
	Colheita	15/04	298	3	54	4	0,0216	
	Pousio	15/4-15/09						
	Preparo do solo soja	15/08-15/09	301	4	3	1	0,0003	0,0615
	Plantio soja	15/09-15/11	309	D	8	15	0,0120	
		15/12	321	1	12	12	0,0144	
1991		15/01	344	2	23	20	0,0460	
	Colheita soja	15/04	399	3	51	4	0,0200	
								0,0924
	Plantio milho e trigo na palhada	15/04-15/05		-	3			
		15/06	400	1	1	5	0,0005	
		15/07	401	2	1	2	0,0002	
	colheita	15/8-15/09		3	0	1	0	
	resíduo	15/09	404	4	3	1	0,0003	
								0,0010
	Total rotação cinco anos							0,5579
	Valor médio anual de C para rotação							0,1120

Fonte: BERTONI & LOMBARDI, 1985. (*) O estágio das culturas indicadas referem-se a: G - germinação; D - do preparo do solo até o plantio; 1 - do plantio até uma mês após o período; 2 - fim do período 1 até dois meses; 3 - crescimento e maturação.

3.5.15.3 Culturas perenes: pastagens

Para as pastagens foram adotados os mesmos procedimentos descritos no item 3.5.15.2. Na sua determinação foram considerados quatro anos de rotação entre

pastagens (capim-gordura), milho, pousio, soja, com preparo convencional para todas as culturas. Os períodos da cultura foram definidos no Quadro 6.

QUADRO 6 - Valores adotados para o fator cobertura do solo para pastagens.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	
Ano	Operações	Data dia/mês	Valor médio anual	Estágio das culturas	Índice erosão período (%)	Razão perdas de solo (%)	Coluna (5)x(6)	Valor de C
1987	Plantio Pastagem	15/09-15/11	1	-	-	-	-	-
1988	Rotação	15/09-15/11	101	G	100	40	0,40	
1989	Preparo do solo milho	15/08-15/09	201	G	100	0,4	0,004	0,4040
	Plantio milho	15/09-15/11	209	D	8	10	0,008	
		15/12	221	1	12	11	0,0132	
1990		15/01	244	2	23	8	0,0184	
	Colheita	15/04	298	3	54	4	0,0216	
	Pousio	15/4-15/09						
	Preparo do solo soja	15/08-15/09	301	4	3	1	0,0003	0,0615
	Plantio soja	15/09-15/11	309	D	8	15	0,0120	
		15/12	321	1	12	12	0,0144	
1991		15/01	344	2	23	20	0,0460	
	Colheita soja	15/04	399	3	51	4	0,0200	
	Plantio Pastagem							
	Pastagens formadas	15/10	402	4	3	3	0,0009	0,0933
	Total rotação quatro anos							0,5588
	Valor médio anual de C para rotação							0,1397

Fonte: BERTONI & LOMBARDI, 1985.

Para florestas e mata ciliar foi adotado fator $C = 0,02$, e para lagoas $C = 0$, conforme sugestão de YOUNG et al.(1987).

3.5.16 Nível de fertilização

Para MUZILLI et al. (1978) um modo de facilitar a aplicação dos adubos e garantir a adequada proporção dos nutrientes, é utilizar fórmulas contendo NPK, expressas em porcentagens de N, P₂O₅ e K₂O. O tipo de fertilização adotado no local foi obtido da Emater de Mamborê, (Engenheiro Paulo Cesna, comunicação pessoal), com base nos resultados de análises de solo. Para a cultura de soja adotou-se: 200 kg .ha⁻¹, na seguinte proporção (N,P,K - 0,20,20 e 0,25,25) e para o milho: 250 kg .ha⁻¹, na seguinte proporção (N,P,K - 5,25,25 e 8,30,20). Segundo a Emater, esta adubação vem sendo adotadas desde o ano de 1991. Deste modo, as doses aplicadas para soja e milho são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Doses de adubos formulados contendo NPK, e correspondentes valores de nutrientes aplicados (kg .ha⁻¹), de acordo com a cultura.

Culturas	Dose (kg .ha ⁻¹)	Fórmula	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Soja	200	0-20-20	0	40	40
		0-25-25	0	50	50
Milho			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Milho	250	5-25-25	12.5	62.5	62.5
		8-30-20	20	75	50

Para as florestas e mata ciliar foi adotada fertilidade equivalente à baixa, de acordo com YOUNG et al. (1987), como mostrado na Tabela 7.

TABELA 7 - Nível de fertilização.

Nível	N	P	Valor
Baixa fertilização	50	20	1
Média fertilização	100	40	2
Alta fertilização	200	80	3

Fonte: YOUNG et al., 1987.

Os defensivos agrícolas não foram tratados neste trabalho, porém o modelo possui um grande arquivo que trata de herbicidas, inseticidas, fungicidas, dessecantes foliares entre outros, existentes no mercado mundial. O modelo trata, também, da erosão oriunda de voçorocas, contudo, este fator, também não foi avaliado devido à inexistência na microbacia, assim como as fontes pontuais de poluição geradas por confinamento de animais.

3.5.17 Fator disponibilidade de fertilização

Este fator está diretamente relacionado aos diversos métodos do preparo do solo e ao grau de incorporação dos nutrientes. Para as matas e florestas em que não existe a aplicação direta de fertilizantes pelo homem, admitiu-se que o fator disponibilidade era igual a 100%. Para casos onde existam mais de uma prática realizada no período, utilizou-se o produto dos dois fatores dividido por 100, conforme sugestão de YOUNG et al. (1987). Nas células onde existem lagoas ou represas o valor adotado foi igual a zero (0), (ANEXO - VIII).

Os valores do fator disponibilidade foram definidos com base em duas situações distintas. A primeira considerou a existência de práticas conservacionistas, como o plantio em nível, mas com técnicas convencionais de preparo do solo (aração e gradagem). Na segunda considerou-se, além do plantio em nível, a implementação do plantio direto (semeadora e pulverizador).

Tabela 8 - Fator disponibilidade de fertilização de acordo com as práticas agrícolas.

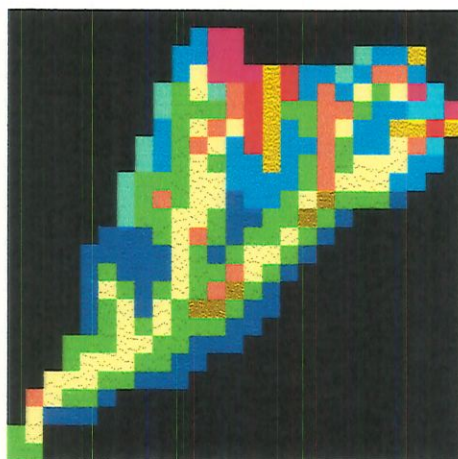
Práticas Agrícolas	Fator Disponibilidade (%)
Disco	50
Escarificador	67
Pulverizador	85
Semeadora	85
Grade niveladora	100
Lagoas	0

Fonte: YOUNG et al., 1987.

3.5.18 Determinação do fator erodibilidade

Para o fator erodibilidade do solo os valores adotados no trabalho foram os sugeridos por DENARDIN¹⁰ apud MERTEN et al. (1995), que propôs um modelo para estimar a erodibilidade a partir de uma regressão entre os resultados em condições experimentais (em solos do Brasil e dos Estados Unidos) e as características físicas e químicas dos solos estudados.

Para a composição da Figura 13, criou-se uma imagem vazia, segundo os padrões do IDRISI/WINDOWS, e procedeu-se à reclassificação da Figura 8, que representa o mapa de solos já caracterizado em células.



LEGENDA

Escala 1:160.940

Fator K				Fator K			
Solo	Tipo	Sist.Inter	Sist.Ing	Solo	Tipo	Sist.Inter	Sist.Ing
	LEa1	0,022	0,167		LRa3	0,020	0,152
	LEa2	0,022	0,167		Tre	0,016	0,122
	LEa3	0,008	0,061		Pea1	0,006	0,046
	LEa4	0,008	0,061		Pea2	0,020	0,012
	LRa1	0,020	0,152		Ce	0,038	0,289
	LRa2	0,020	0,152		Ae	0,000	0,000

FIGURA 13 - Fator erodibilidade do solo - K. Fonte: MERTEN et al., 1995. e SILVA, 1984.

Utilizou-se o valor de $0,1019 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, convertido do sistema britânico ($1,292 \text{ ton} \cdot 100 \cdot \text{acre}^{-1} \cdot \text{pés}^{-1} \cdot \text{ton}^{-1} \cdot \text{pol}^{-1}$) utilizando-se o método de conversão de SILVA (1984)¹¹.

3.5.19 Demanda química de oxigênio - DQO

¹⁰ DENARDIN, J.E. Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físico e químicos. Tese de Doutorado. ESALQ-USP. Piracicaba, 81pp.

¹¹ SILVA, J.R.C. Fatores da equação universal de perda de solo e sua conversão para o sistema métrico internacional. UFC, 1984. (não publicado).

O fator DQO foi estimado em função das condições de uso da terra. Nas células com ocorrência de mais de um uso, a DQO foi determinada a partir da média ponderada em função da área. O fator DQO adotado corresponde a valores tabulados por YOUNG et al. (1987), (ANEXO - IX).

3.5.20 Fator chuva - R e EI₃₀

3.5.20.1 Determinação do fator R

A determinação de R foi realizada segundo RUFFINO et al. (1993), que estabeleceu as equações para o fator R de acordo com as regiões no Estado do Paraná, a partir da utilização de dados mensais de coeficientes de correlação de chuva. A equação utilizada para Mamborê foi a seguinte:

$$R = 18,64 + 5,73 \cdot \chi \quad (10)$$

sendo:

R = índice de erosão da chuva, MJ .ha⁻¹ .mm .h⁻¹ .ano⁻¹;

$\chi = p^2 \cdot P^{-1}$, sendo p = precipitação média mensal em mm, e

P = precipitação média anual (mm).

Para a série histórica da estação pluviométrica operada pela SUREHMA/IAP em Mamborê, no período de 1966 a 1988, determinou-se o valor de R = 873,47 ton .ha⁻¹ .mm.hora⁻¹ .ano⁻¹.

Segundo RUFFINO et al. (1993) e MERTEN et al. (1995), para a microbacia piloto Água Grande e Pensamento o fator R é de 8.563,4 MJ .ha⁻¹ .mm .h⁻¹ .ano⁻¹ que, convertidos para o sistema métrico decimal, resultam em 872,93 ton .ha⁻¹ .mm .h⁻¹ .ano⁻¹ (valor adotado). A conversão do sistema métrico internacional para sistema métrico decimal foi realizado através de SILVA (1984)¹¹.

¹¹ SILVA, J.R.C. Fatores da equação universal de perda de solo e sua conversão para o sistema métrico internacional. UFC, 1984. (não publicado).

3.5.20.2 Determinação da intensidade de chuva - I_{30}

Os valores de intensidade máxima da chuva em trinta minutos foram calculados pelos diagramas de três pluviógrafos instalados no período de agosto de 1991 a janeiro de 1997. A metodologia de plotagem dos diagramas de chuva foi a de CABEDA (1976)¹², sugerida por LOMBARDI NETO¹³ (1977) apud CATANEO et al. (1982), a qual determina a intensidade máxima de chuva em intervalos de tempo de cinco minutos. A equação utilizada foi a seguinte :

$$I_{30} = \frac{P_s}{(H_f - H_i)} \cdot 60 \quad (11)$$

sendo:

I_{30} = intensidade máxima em 30 minutos, mm .h⁻¹;

P_s = precipitação no segmento, mm;

H_{is} = horário inicial do segmento, minutos;

H_{fs} = horário final do segmento, minutos.

A intensidade de chuva no segmento de precipitação uniforme foi alocada a cada cinco minutos de segmento. Feito isso para vários segmentos, foi criado um vetor de intensidades relativas (I), a cada cinco minutos de chuva, em ordem seqüencial. Para se encontrar a intensidade máxima de precipitação ocorrida em intervalos de 10 minutos, foram tomados os vetores de intensidade relativas dois a dois, de cinco em cinco minutos, para o intervalo de 30 minutos, realizou-se a mesma rotina, agrupando os vetores de intensidade.

¹² CABEDA, M.S.V. Computation of storm EI values. West Lafayette, Purdue University, 1976. 6p. (Unpublished).

¹³ LOMBARDI NETO, F. Rainfall erosivity, its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil. Tese de Mestrado. West Laphayette Purdue University, 1977, 53 f.

3.5.20.3 Determinação do fator - EI_{30}

O fator EI_{30} é o produto da energia cinética total de uma precipitação com o máximo de 30 minutos de intensidade. Sua determinação foi feita através de duas metodologias:

3.21.3.a Sistema métrico e sistema inglês - (Cabeda, 1976)¹⁴

A energia e intensidade máxima - EI_{30} , é dada pelo produto:

$$EI_{30} = E_c \cdot I_{30} \cdot 10^{-3} \quad (12)$$

sendo:

EI_{30} = energia e intensidade, ton .m .ha⁻¹ .mm .h⁻¹;

E_c = energia cinética da chuva, ton .m .ha⁻¹ .mm⁻¹;

I_{30} = intensidade máxima em 30 minutos, mm .h⁻¹.

3.5.20.3.b Sistema métrico internacional - (Castro F°, 1982)

O fator EI_{30} foi determinado pela seguinte equação:

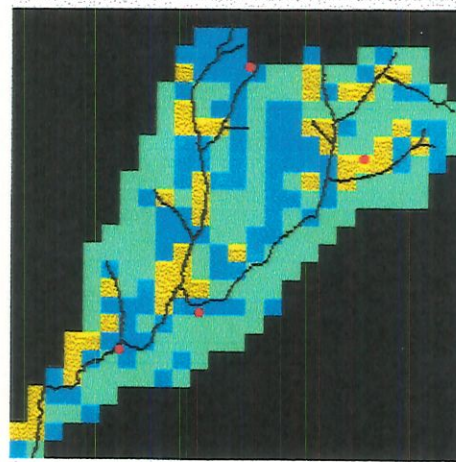
$$EI_{30} = [28,814 + (10,80 + 7,896 \cdot \lg I_{30}) \cdot P_s] \cdot I_{30} \cdot 10^{-3} \quad (13)$$

3.5.21 Disposição das estações de monitoramento

As estações foram localizadas no mapa topográfico na escala 1:10.000, e posteriormente, inseridas nos arquivos do SIG através do comando “digitize” sobre uma imagem raster, criando os vetores para as estações. A Figura 14 apresenta a

¹⁴ CABEDA, M.S.V. Computation of storm EI values. West Lafayette, Purdue University, 1976. 6p. (Unpublished).

localização das estações pluviométricas dispostas nas nascentes e seção média e pluviométrica na parte final.



LEGENDA:		Escala 1: 1:160.940		
Estações	% da área de influência em relação ao total	Coordenadas geográficas		
		Altitude (metros)	Latitude	Longitude
Pluviométrica 3	22,76	678	23°50'44"	53°46'18"
Pluviométrica 2	30,97	654	23°53'30"	53°46'18"
Pluviométrica 1	46,27	577	23°54'28"	53°46'18"
Fluviométrica	86,19	550	23°54'53"	53°46'18"

FIGURA 14 - Localização das estações de monitoramento

3.5.22 Cálculo da precipitação média

A precipitação média foi determinada pelo método de Thiessen, dividindo a bacia em 3 áreas pluviométricas de acordo com a Tabela 10.

Tabela 9- Aplicação do método de Thiessen.

Estação	Área do Polígono Interna à Bacia (ha)	% da área de influência em relação ao total
Pluviométrica 1	2.012,00	46,27%
Pluviométrica 2	1.346,74	30,97%
Pluviométrica 3	989,78	22,76%
Total	4.348,52	100,00%

3.5.23 Cálculo do volume e vazão de pico do escoamento superficial

A determinação da precipitação efetiva considerou a área de drenagem que gerou o escoamento superficial. As porções de chuva que não alcançaram os canais foram chamadas de perdas e incluíram a interceptação pela vegetação, evaporação, infiltração, armazenamento em depressões superficiais e detenções superficiais de longo período.

O tempo de pico do hidrograma triangular adotado foi o de 37,50%, como sugerido por YOUNG et al., (1987). O Apêndice 1 apresenta a determinação do hidrograma unitário triangular para a microbacia de estudo, onde foi considerada toda a área coberta com pastagens.

3.6 A execução do modelo AGNPS

A microbacia Água Grande e Pensamento foi dividida em 268 células de grade células com 402,35 x 402,35 metros, com área de 16,189 há (40 acres cada). Com o intuito de aumentar a precisão, algumas células, próximas aos cursos de água, foram subdivididas em quatro vezes, e oito vezes em áreas de 10 acres e 2,5 acres respectivamente. Uma vez que o modelo opera através de um sistema matricial, com células identificadas seqüencialmente, foi possível constituir o banco de dados através de planilhas obedecendo os mesmos padrões. Um dos resultados gerados pelo modelo foi a produção de sedimentos gerada pela chuva erosiva selecionada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise estatística dos resultados de campo

Na série histórica dos trabalhos realizados em campo, 26 eventos foram inicialmente contemplados para as comparações entre chuvas erosivas, picos de onda de cheia e número de dias antecedentes sem chuva. Em uma segunda análise que determinou o grau de dispersão dos pontos em torno da reta de regressão, foram eliminados sete eventos pelas seguintes circunstâncias: a) coleta de amostras, a rotina de amostragem para determinação da concentração de sedimentos em suspensão, obedeceu ao procedimento empregado nas séries temporais, que tratam de um conjunto de observações tomadas em tempos determinados, e em intervalos iguais, para os eventos selecionados, a ocorrência da onda de cheia não foi compatível com os horários da coleta de amostras, portanto não retratam a realidade; b) condições hidrológicas do solo, com a ocorrência de chuvas nos dias anteriores a estes eventos, modificaram-se as condições de mistura imposta pela CN, apresentando o solo nas condições de capacidade de campo e saturado; c) fator cobertura (C), os valores adotados foram baseados na ampla cobertura vegetal, mas alguns eventos não refletiam as condições reais das culturas anuais, que ora se encontravam em diferentes estágios de crescimento e, também, relacionados com o período em que se encontram as atividades agrícolas, segundo seu cronograma anual apresentado no ANEXO - VII e, d) na análise de dispersão procurou-se determinar o intervalo de confiança, centrado na estatística amostral.

Os dados de precipitação e produção de sedimentos observados mostraram uma dependência polinomial cuja equação da reta está impressa na Figura 15.

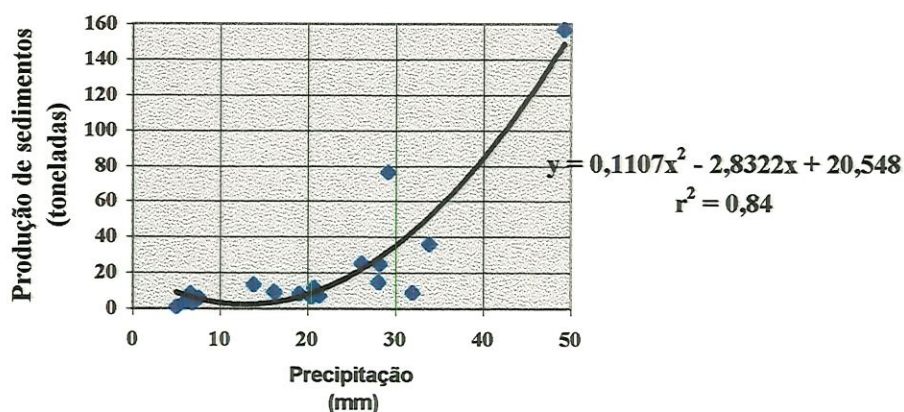


FIGURA 15 - Gráfico da correlação entre os valores observados de precipitação e produção de sedimentos.

A correlação dos dados de chuvas erosivas e produção de sedimentos apresentou, um coeficiente de determinação - r^2 igual 0,84. Posteriormente, recorreu-se ao teste t de Student para análise da significância que atingiu 97%. Outros fatores não considerados nesta análise, foram relacionados à distribuição espacial das chuvas na microbacia, pois em algumas situações há variação nos registros dos papéis gráficos, aliado à sua hidrografia a qual é composta por dois cursos de água, o Água Grande responsável por 55% da vazão e o Pensamento por 45%, em observações medidas em campo, o que diminui o nível de confiança do pico de onda de cheia.

4.2 Análise dos resultados referentes à produção de sedimentos gerados pelo modelo

O modelo AGNPS foi utilizado para a estimativa da produção de sedimentos em diferentes cenários nas culturas de inverno e verão, em anos subsequentes, em uma microbacia hidrográfica rural sob condições reais de produção. Os critérios para seleção dos diferentes cenários consideraram a implantação de práticas de manejo conservacionista, na microbacia no período de 1988 a 1993. Os dados das simulações foram comparados com os obtidos pelo monitoramento. Deve-se lembrar que o monitoramento não foi planejado para ser comparado com os resultados gerados pelo modelo AGNPS. A análise da relação entre produção de sedimentos estimados e

observados mostrou uma correlação linear cuja equação da reta está impressa na Figura 16.

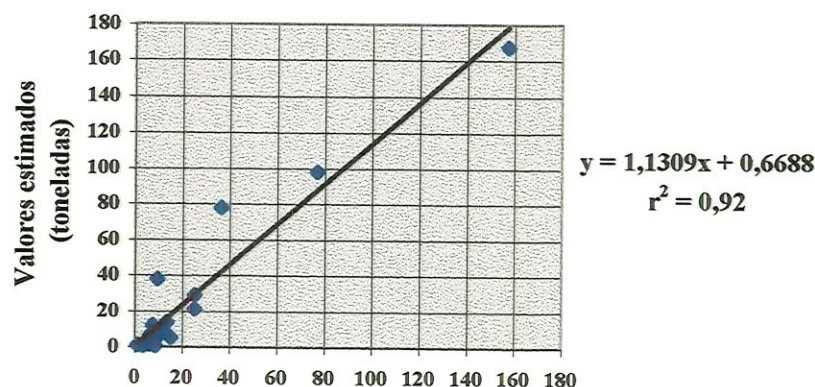


FIGURA 16 - Gráfico da correlação entre os valores observados e estimados da produção de sedimentos.

A correlação entre produção de sedimentos observados e estimados, apresentou um $r^2 = 0,92$. A significância foi de 97% segundo o teste t de Student.

A discrepância entre as estimativas da produção de sedimentos pelo AGNPS e os valores observados em campo foram devidas às seguintes razões: as áreas de abrangência em cada uma das situações foram diferentes, uma vez que a modelagem considerou toda a área da microbacia e os valores observados corresponderam 86,19% da área total; o modelo AGNPS operou presumindo serem uniformes os padrões de precipitação, o que não ocorreu entre os eventos de chuvas erosivas, como apresentado nos registros de precipitação das estações e; à hidrografia da microbacia, qual é composta por dois cursos de água.

Outra causa da imprecisão da estimativa pelo AGNPS pode ser atribuída à definição do fator uso da terra para cada célula. Nesse caso, a definição de uso obedeceu a área com maior cobertura do solo, de acordo com a legenda específica do mapa temático. Esta situação foi melhorada com a redução do tamanho da célula, mas existe um certo ajuste nas áreas, o que envolve algumas variações nos parâmetros de entrada do modelo. Assim como o uso da terra, o fator erodibilidade do solo passou

por um ajuste quando da formação das células pelo SIG - IDRISI/WINDOWS. Neste caso, sabe-se que para uma mesma chuva incidindo sobre diferentes condições de solo, obter-se-á diferentes quantidades de erosão, em função dos diferentes valores de erodibilidade dos solos (COGO, 1988).

A estimativa do modelo foi limitada, também, pela consideração das matas ciliares, as quais ficaram restritas a pequenas faixas existentes junto às margens dos ribeirões, minimizando assim a contaminação das águas. Devido às dimensões das células, as matas não foram inseridas nas simulações, alterando deste modo os desvios na relação estatística da Figura 16. A adubação verde de inverno, como a aveia preta, também não foi considerada, sendo que este fator pode ser traduzido na melhoria do fator C, e conseqüente manutenção do resíduo cultural na superfície, propiciando uma maior rugosidade superficial (MERTEN et al. 1995).

Outra característica importante que não foi aplicada no modelo matemático refere-se a rodovia BR - 369 que corta toda a microbacia em uma extensão de 12,50 km. Esta representa a área de uma célula ou seja, 0,37% de área impermeável distribuída na área, bem como as estradas rurais e os pequenos grupos de habitações isoladas existentes.

Estas imprecisões somadas a um monitoramento não planejado para comparação com o modelo, serviu como base de avaliação do planejamento experimental.

A taxa de infiltração utilizada pelo AGNPS foi determinada pela classe hidrológica dos solos, caracterizado pela textura e fator erodibilidade. Do mesmo modo, ao analisar os sistemas de terraços, o modelo estimou que todo o volume armazenado foi infiltrado, devido a inexistência de um canal escoadouro. Para os cursos de água o modelo apresenta, também, diversas obras hidráulicas que possam vir a existir como: barragens, retificações, canais com diferentes coeficientes de rugosidade, além da predição da erosão do leito.

Apesar das limitações, o modelo mostrou-se eficaz na predição da produção de sedimentos em função da precipitação e características hidráulicas da bacia, podendo ser aplicado em estudos considerando diferentes cenários.

4.3 Simulações

Através do modelo AGNPS foram realizadas diferentes simulações para diversos cenários na microbacia, referindo-se a anos agrícolas e eventos de chuva distintos. Uma vez que o modelo sómente foi executado através da verificação de todos os parâmetros de entrada, tornou-se necessário ajustar os valores adotados, buscando uma melhor aferição dos resultados finais obtidos referentes à produção total de sedimentos.

Foram realizadas 4 simulações utilizando dados experimentais obtidos na análise estatística mostrada na Figura 15, onde a realidade local refletia a alteração do sistema de produção agrícola, quanto ao uso do solo, aos eventos de precipitações erosivas e os números de dias antecedentes de chuva. Os cenários considerados foram:

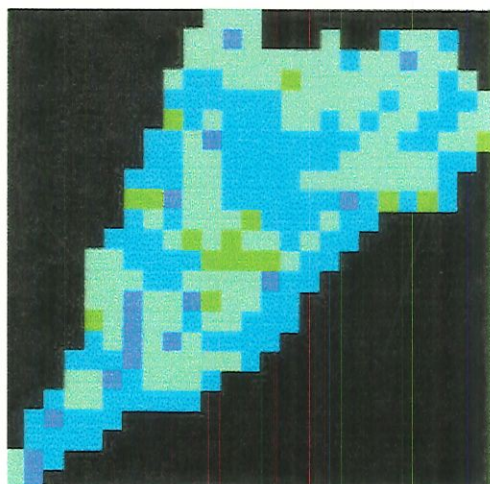
- Simulação 1 - Para culturas perenes (pastagens) foi considerado o sistema de plantio convencional;
 - Para as culturas anuais (soja e milho) considerou-se o tratamento com plantio convencional e a implantação do plantio direto.
- Simulação 2, 3 e 4 - Para culturas perenes (pastagens) não foram considerados quaisquer tratamentos;
Para as culturas anuais (soja, trigo e milho) considerou-se toda a área com o plantio direto.

1ª SIMULAÇÃO

A primeira simulação foi realizada no mês de março de 1992, e considerou toda a bacia com a sucessão de trigo, soja e milho, e pastagem como cultura perene. A Figura 17 apresenta a projeção de usos do solo para o ano de 1992, onde parte das culturas foram tratadas com plantio convencional e parte com plantio direto. As áreas com plantio convencional empregaram arado de disco e grade niveladora e aquelas com plantio direto, semeadora e pulverizador. As regiões com solo descoberto foram consideradas com plantio convencional. Para as florestas, o fator incorporação foi de 100%, o que representa ausência de atividade. Os eventos de chuvas erosivas selecionados para esta simulação são apresentados na Tabela 10.

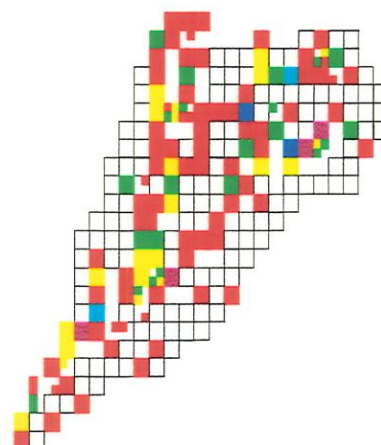
Data dos eventos	Precipitação (mm)	EI ₃₀ (MJ .mm .há ⁻¹ .h ⁻¹)
29/09/91	49,17	13,26
05/10/91	31,94	20,18
26/12/91	26,15	25,76
02/02/92	16,26	17,18

TABELA 10 - Valores de precipitação, energia e intensidade para 30 minutos - (EI₃₀) dos eventos utilizados no AGNPS.



LEGENDA		Escala - 1:160.940	
		Área (%)	% da área crítica de produção
	Pastagem	44,94	55,23
	Plantio Convencional.	35,45	31,63
	Plantio Direto.	8,20	7,79
	Floresta	5,07	-
	Solo descoberto	6,34	5,35

FIGURA 17 - Relação entre as áreas das culturas anuais e perenes, no verão de 1992, e percentagem das áreas críticas de produção de sedimentos.



LEGENDA		Escala - sem escala	
		Faixa (ton .ha ⁻¹)	Área (%)
	0	1,24	61,28
	1.25	2,50	23,97
	2.51	3,73	5,50
	3.74	4,99	6,25
	5,00	6,23	0,75
	6,24	7.49	1,50
	7,50	8,72	0,75

FIGURA 18 - Estimativa da produção de sedimentos para cada uma das células nas culturas anuais e perenes de verão de 1992.

Uma vez que o modelo trabalha com grade de células numeradas sequencialmente, a determinação dos fatores relevantes na produção de sedimentos foi de fácil análise com o uso de planilhas do Microsoft Excel, através da correlação das respectivas células com seu uso, os fatores K, C, P, a declividade e o comprimento do declive. Desta forma, tornou-se possível a identificação dos fatores mais críticos, que na primeira simulação, resultou que 44,28% da produção de sedimentos foi devida ao fator cobertura do solo, 28,33% devida ao fator comprimento do declive, e 27,39% ao fator declividade. A Figura 17 apresenta também, o percentual de áreas com maior produção de sedimentos e relacionadas ao uso do solo.

A determinação das áreas críticas de produção de sedimentos são apresentadas na Figura 18, bem como sua estimativa para cada célula e para toda a microbacia hidrográfica. Na Figura 18 pode-se identificar, também, que as áreas com maior produção de sedimentos estão relacionadas aos maiores valores do fator erodibilidade do solo, bem como nas regiões que possuem relevo ondulado.

Nesta simulação, as áreas consideradas críticas foram as mesmas para todos os eventos de chuvas erosivas aplicados, porém, os valores limites da produção de sedimentos variaram de acordo com a energia e a intensidade da precipitação (EI_{30}).

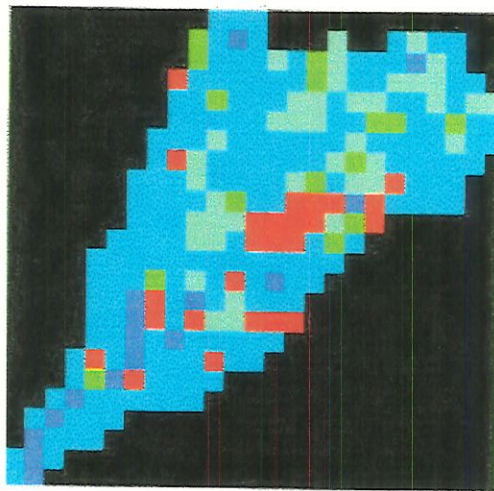
2ª SIMULAÇÃO

Para as simulações subsequentes, as áreas com culturas anuais foram tratadas em sua totalidade com plantio direto. Nas áreas com solo descoberto foram consideradas a palhada da cultura anterior. Para as pastagens e florestas, o fator disponibilidade utilizado foi de 100%, que representa ausência de atividade.

A segunda simulação foi para a cultura de verão de 1994, apresentada na Figura 19, onde foi considerada toda a bacia com a sucessão de culturas de trigo, milho e soja. Os eventos de chuvas erosivas selecionados para esta simulação são os apresentados na Tabela 11.

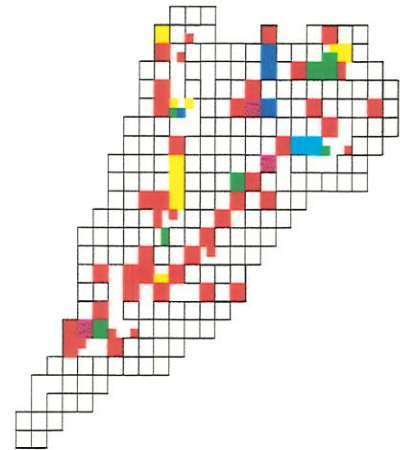
Data dos eventos	Precipitação (mm)	EI_{30} (MJ .mm .há ⁻¹ .h ⁻¹)
30/11/93	21,32	34,38
10/12/93	16,15	5,03
29/1/94	13,79	22,07
05/02/94	20,68	30,61
28/02/94	20,44	18,36

TABELA 11 - Valores de precipitação, energia e intensidade para 30 minutos - (EI_{30}) dos eventos utilizados no AGNPS.



LEGENDA		Escala - 1:160.940	
		Área (%)	% da área crítica de produção
	Pastagem	15,02	40,09
	Soja	60,21	32,88
	Milho	12,87	18,02
	Floresta	5,74	-
	Solo descoberto	6,06	9,01
	Lagoa	0,09	-

FIGURA 19 - Relação entre as áreas das culturas anuais e perenes, no verão de 1994, e percentagem das áreas críticas de produção de sedimentos.



LEGENDA		Escala - sem escala	
	Faixa (ton .ha ⁻¹)		Área (%)
	0	1,95	78,73
	1,96	3,88	13,81
	3,89	5,83	2,05
	5,84	7,76	2,33
	7,77	9,71	1,21
	9,72	11,64	1,12
	11,65	13,59	0,75

FIGURA 20 - Estimativa da produção de sedimentos para cada uma das células nas culturas anuais e perenes de verão de 1994.

Na segunda simulação, constatou que 45,39% da produção de sedimentos foi devida ao fator cobertura do solo, 21,12% ao fator comprimento do declive e 33,49% ao fator declividade. Pode-se identificar, também, que as áreas críticas estão relacionadas com o fator erodibilidade, destacando-se os locais com relevo ondulado. A Figura 19 apresenta, também, o percentual de áreas com maior produção de sedimentos de acordo com o uso do solo.

A determinação das áreas críticas de produção de sedimentos é apresentada na Figura 20, bem como sua estimativa para cada célula e para toda a microbacia hidrográfica. Observou-se, também, nas duas primeiras simulações a mudança do

sistema de produção de culturas perenes para as anuais. Neste processo ocorreu, também, a implantação do plantio direto, ou seja, uma melhor cobertura do solo e portanto um aumento na rugosidade de Manning.

O modelo ofereceu, através do fator disponibilidade, a diversificação do sistema de produção no tratamento das culturas, com base na forma de preparo do solo, estabelecendo diferentes explorações das culturas. Desta forma, os resultados apresentados nestas duas primeiras simulações corroboram com as implementações ocorridas na microbacia, com a adoção do plantio direto e por fim na redução da produção de sedimentos.

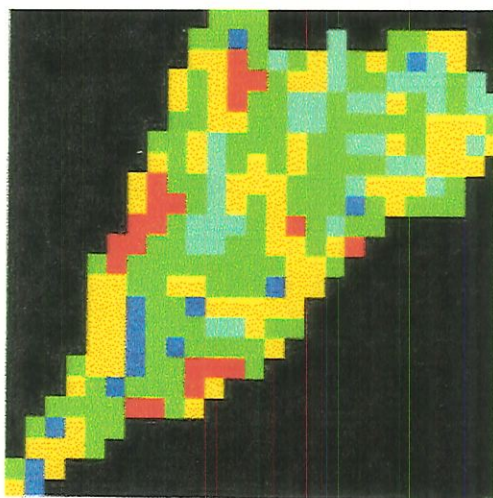
Nesta simulação, as áreas determinadas críticas foram as mesmas para todos os eventos de chuvas erosivas aplicados, contudo os valores limites da produção de sedimentos variaram de acordo com a energia e intensidade de precipitação (EI_{30}).

3ª SIMULAÇÃO

A terceira simulação considerou a cultura de inverno de 1995, apresentada na Figura 21, e toda a bacia com sucessão soja, trigo e milho. Os eventos de chuvas erosivas selecionados para esta simulação estão apresentados na Tabela 12.

Data dos eventos	Precipitação (mm)	EI_{30} (MJ .mm .há ⁻¹ .h ⁻¹)
17/04/95	6,83	3,01
19/04/95	6,60	0,81
16/05/95	5,87	2,79
24/06/95	4,96	3,88
26/06/95	7,56	5,94
07/07/95	29,16	13,29

TABELA 12 - Valores de precipitação, energia e intensidade para 30 minutos - (EI_{30}) dos eventos utilizados no AGNPS.

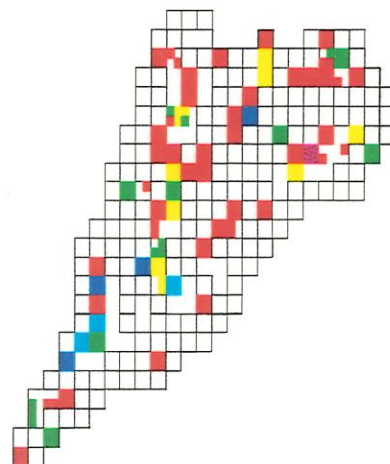


LEGENDA		Escala - 1:160.940	
		Área (%)	% da área crítica de produção
	Pastagem	13,99	36,80
	Trigo	28,45	43,30
	Milho	7,56	8,60
	Floresta	4,95	-
	Solo descoberto	44,96	11,30
	Lagoa	0,09	-

FIGURA 21 - Relação entre as áreas das culturas anuais e perenes, no inverno de 1995, e porcentagem das áreas críticas de produção de sedimentos.

Na terceira simulação, a correlação das respectivas células com seu uso, resultou que 34,74% da produção de sedimentos foi consequência do fator cobertura do solo, 34,42% do fator comprimento do declive, e 30,84% do fator declividade e do fator erodibilidade do solo.

A determinação das áreas críticas de produção de sedimentos é apresentada na Figura 22, bem como sua estimativa para cada célula e para toda a microbacia hidrográfica.



LEGENDA		Escala - sem escala	
		Faixa (ton .ha ⁻¹)	Área (%)
	0	0,17	77,43
	0,18	0,32	13,06
	0,33	0,49	3,45
	0,50	0,64	3,08
	0,65	0,82	1,49
	0,83	0,96	0,37
	0,97	1,14	1,12

FIGURA 22 - Estimativa da produção de sedimentos para cada uma das células nas culturas anuais e perenes de inverno de 1995.

Nesta simulação observaram-se mudanças nas variáveis envolvidas nos processos de produção de sedimentos, uma vez as chuvas de inverno são menos erosivas quando comparadas com as do verão. Ainda segundo a SEAB (1994), a região apresenta tendências a baixas precipitações nos períodos de abril a setembro.

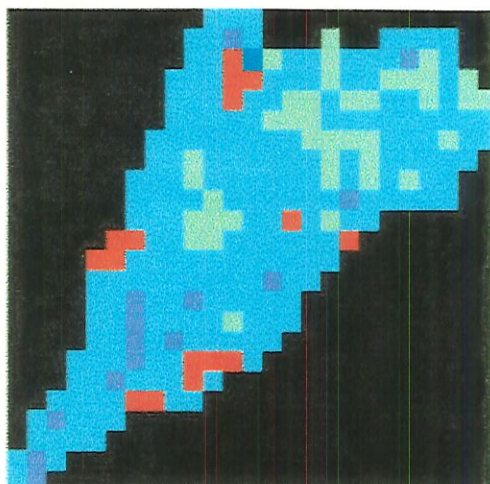
Os resultados mostraram que as áreas críticas foram as mesmas para todos os eventos de chuvas erosivas, mas os valores limites da produção de sedimentos variaram de acordo com a energia e intensidade de precipitação.

4ª SIMULAÇÃO

A quarta simulação foi realizada para a cultura de verão de 1996, apresentada na Figura 23, sendo considerada toda a bacia com a sucessão das culturas de trigo, soja e milho. Os eventos de chuvas erosivas selecionados para esta simulação são apresentados na Tabela 13.

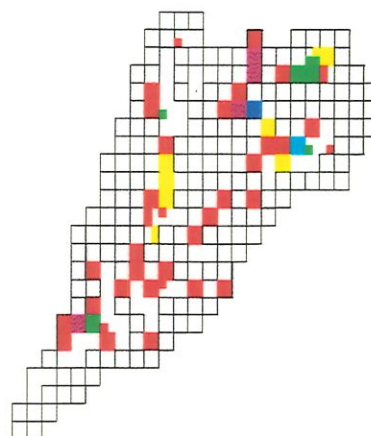
Data dos eventos	Precipitação (mm)	EI ₃₀ (MJ .mm .há ⁻¹ .h ⁻¹)
27/09/95	33,83	8,17
16/10/95	28,16	2,80
26/11/95	18,98	12,68
28/12/95	28,08	15,39

TABELA 13 - Valores de precipitação, energia e intensidade para 30 minutos - (EI₃₀) dos eventos utilizados no AGNPS.



LEGENDA		Escala - 1:160.940	
		Área (%)	% da área crítica de produção
	Pastagem	15,67	45,65
	Soja	57,84	50,00
	Milho	15,11	4,35
	Floresta	5,13	
	Solo descoberto	6,16	
	Lagoa	0,09	

FIGURA 23 - Relação entre as áreas das culturas anuais e perenes, do verão de 1996, e percentagem das áreas críticas de produção de sedimentos.



LEGENDA		Escala - sem escala	
	Faixa (ton .ha ⁻¹)		Área (%)
	0	0,32	82,09
	0,33	0,62	11,66
	0,63	0,94	1,49
	0,95	1,24	2,52
	1,25	1,56	0,375
	1,57	1,85	1,49
	1,86	2,17	0,375

FIGURA 24 - Estimativa da produção de sedimentos para cada uma das células nas culturas anuais e perenes de verão de 1996.

Na quarta simulação, verificou-se que 31,27% da produção de sedimentos foi consequência do fator cobertura do solo, 27,41% do fator comprimento do declive, e 41,31% do fator declividade, sendo este último o fator mais crítico na produção de sedimentos. Pode-se constatar, nesta última simulação, que ocorreu uma diminuição das áreas determinadas críticas na produção de sedimentos devido à modificação do sistema de produção. As simulações realizadas em diferentes épocas e sistemas de produção (manejo do solo e rotação de culturas) geraram resultados diferenciados quanto à identificação de áreas críticas de produção de sedimentos. O modelo AGNPS mostrou ser um instrumento eficiente para identificação de áreas críticas e para avaliação de alternativas tecnológicas visando a redução dos impactos ambientais das atividades agropecuárias.

As áreas críticas de produção de sedimentos são apresentadas na Figura 24 , bem como sua estimativa para cada célula e toda a microbacia hidrográfica. Pode-se identificar, também, que as áreas com maior produção de sedimentos estão relacionadas aos maiores valores do fator erodibilidade do solo, bem como nas regiões que possuem relevo ondulado.

Na análise temporal, observou-se, nas áreas críticas, uma diminuição da produção de sedimentos com a alteração do fator cobertura do solo, devido à alteração no sistema de produção, de preparo convencional para o plantio direto. Os resultados deste estudo corroboram as considerações feitas por BERTOL et al. (1997), no que se referem ao tratamento mais eficaz na redução da erosão, através de semeadura direta com os resíduos culturais. Assim como, OLIVEIRA & SILVA (1982) que descrevem o preparo do solo com gradagem isoladamente, como sendo o tratamento que mais aumenta o risco da erosão, bem como é o responsável pelas menores produções agrícolas.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Nesta capítulo são apresentadas as principais conclusões e as sugestões para trabalhos futuros.

5.1 Conclusões

A avaliação da produção de sedimentos em bacias rurais com o uso do modelo matemático AGNPS aliado à técnicas de SIG, é um trabalho pioneiro no Brasil. Na análise temporal, observou-se, nas áreas críticas, uma diminuição da produção de sedimentos com alteração do sistema de produção, de preparo convencional para o plantio direto. Já para a análise espacial, a variabilidade nos limites dos valores da produção de sedimentos, estão relacionados com a variação do produto total da energia e intensidade da precipitação - EI_{30} e a alteração no sistema de produção.

Constatou-se que as áreas determinadas críticas estão relacionadas com as classes de solo que apresentaram o maior valor do fator erodibilidade (K).

O fator cobertura do solo (C), por estar relacionado com as diferentes etapas de crescimento das culturas anuais, merece especial atenção no tratamento da análise temporal.

O domínio da manipulação de um modelo de previsão de perdas de solo e sedimentos como o AGNPS, associado a sistemas de informações geográficas, permite não somente avaliar dados simulados com dados medidos, conforme constatado neste trabalho, mas também permite planejar o experimento antes da sua execução.

O uso de modelos simuladores, SIGs e dados disponíveis têm se mostrado como uma ferramenta valiosa no planejamento experimental pois permite prever e portanto dimensionar melhor as amostragens, o número de repetições, custo e tempo, entre outros benefícios.

Através das simulações, identificou-se as áreas críticas de produção de sedimentos como apresentado nas Figuras 18, 20, 22 e 24, atingindo desta forma os objetivos do trabalho. Constatou-se, também, que as áreas potenciais estão relacionadas com as classes de solo que apresentaram o maior valor do fator erodibilidade e a variabilidade nos limites dos valores da produção de sedimentos nas células estão relacionados com o produto total da energia e intensidade da precipitação - EI_{30} .

Face à grande quantidade de informações necessárias para sua execução, o modelo AGNPS somente pôde ser aplicado na microbacia devido à disponibilidade de dados relacionados à conservação dos solos.

Constatou-se uma boa integração entre os SIG - ARC/INFO com IDRISI/WINDOWS no manuseio de informações geográficas, mostrando praticidade na sua utilização junto ao modelo AGNPS.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Nesta seção fazemos algumas sugestões visando o aprimoramento da coleta resultados que possam ser utilizados em simulações:

- a) Na calibração do modelo, sugere-se a utilização de estações automáticas para coleta de sedimentos em suspensão ou, de resultados, em parcelas experimentais, de perda de solo através de simuladores de chuva. Da mesma maneira, a comparação dos resultados de produção de sedimentos em microbacias poderá ser

realizada tomando-se como base os padrões de drenagem em bacias de mesma ordem de magnitude;

- b) o fator práticas conservacionistas (P_c) pode ser utilizado para verificação da pior situação, buscando com isso uma sensibilidade nos resultados;
- c) repetir a simulação para duas situações distintas, visando avaliar os efeitos que representam as matas ciliares, que funcionam como um filtro na contaminação das águas;
- d) comparar os resultados de simulação para duas bacias hidrográficas de mesma ordem de drenagem, mas com culturas diferentes (anuais e perenes);
- e) comparar os resultados de simulação para duas bacias de mesma ordem de drenagem, mais com problemas de fontes pontuais como voçorocas e animais confinados e;
- f) comparar os resultados destas simulações com outros modelos matemáticos citados no presente estudo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAKERE, A MOLNAU, M. Performance of AGNPS in the Pacific Northwest.

Trans. of the ASAE., (94-2156): p 1 - 16, 1994.

ASCOUGH II, J.C. et al. The WEPP watershed model: I. Hydrology and erosion.

Trans. of the ASAE., (40-1220): p 921 - 933, 1997.

ASSAD, E. D. et al. Estruturação de dados geoambientais no contexto de microbacia no Brasil. p.89-108. "In: Assad, E. D. & Sano, E. E. (ed.).

Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1993. 274 p.

BELTRAME, A .de V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação.** Florianópolis, Ed.da UFSC, 1994.

BERTOL, I.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. **Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e na ausência dos resíduos culturais.**R. Bras. Ci. Solo. 21: p.409-418, Viçosa, 1997. R. Bras. Ci. Solo. 6: p.236-239, Campinas, 1982.

BERTON, R. S. Fertilização e poluição. p.299-313. "In: Dechen A . R.; Boaretto, A . E.; Verdade, F. da C. (coord.). **Adubação, produtividade e ecologia; simpósios**". Campinas, Fundação Cargil, 1992. 425p.

BERTONI, J.; LOMBARDI, F.N. **Conservação do solo.** Piracicaba, Livroceres, 1985. 392p.

BRANCO, S.M. **Hidrologia aplicada a engenharia sanitária**. 2 ed. CETESB. São Paulo, 1978.

BRASIL, Ministério da Agricultura. Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas. **Manual Operativo**. Brasília: PNMH - Coordenação Nacional, 1987. 60p.

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

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

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

BUCKMAN, H.O; BRADY, N.F. **Natureza e propriedades dos solos**. 3 ed. Rio de Janeiro, 1974. 594 p. il.

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

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

CASTRO Fº, C.; BISCAIA, R.C.M., Estudo de conservação do solo em bacias hidrográficas. **In: Anais do III Encontro Nacional de Pesq. sobre Conservação do solo**, Recife, 1981. p. 378 - 402.

CATANEO, A ; CASTRO F^o, C. ACQUAROLE, R.M. **Programa para cálculo de índices de erosividade de chuvas.** R. Bras. Ci. Solo. 6: p.236-239, Campinas, 1982.

CETESB - **Drenagem urbana: manual de projeto.** 3. Ed. São Paulo, 1986. 464p.

CHENG, C.C. & WANN, S.S. **Prediction of soil erosion and nutrient transport on pasture watersheds.** Journal of the Agricultural Association of China. Taiwan. 1993, n. 163: 39-55p. september; ref. /Abstract/.

CHOW, V. T. **Handbook of applied hydrology.** New York: McGraw-Hill. Paginação irregular. 1964.

COGO, N.P. Conceitos e princípios científicos envolvidos no manejo de solos para fins de controle de erosão hídrica. p.251-262, "In: Moniz, A . C., Furlani, P.R., Freitas, S.S. (ed.). **A Responsabilidade social da ciência do solo.** Campinas, 1988. 525 p.

CRESTANA, S. & POSADAS, A N. Dinâmica da água e de solutos na região não-saturada do solo: modelagem determinística e estocástica. p.263-291, "In: Crestana, S. Cruvinel, P., Mascarenhas, S., Biscegli, C.I., Neto, L.M., Colnado, L.A (ed.). **Instrumentação agropecuária: contribuições no limiar do novo século.** São Carlos, 1996. 291p,

CRUCIANI, D.E. **A drenagem na agricultura.** São Paulo. Nobel. 1980.

DEDECK, R. A .; RESCK, D. V. S.; FREITAS JR,E. de. Perdas de solo, água e nutrientes em latossolo vermelho-escuro dos Cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. **Revista brasileira de ciência do solo.** v.10, p.265-272, Campinas, 1986.

DERPSCH, R. ; SIDIRAS, N. ; HEINZMANN, F.X. **Manejo do solo com coberturas verdes de inverno.** Pesquisa Agropecuária Brasileira - EMBRAPA. v.20., p.761-773. 1985.

DERPSCH, R. ; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N. ;KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo.** GTZ - IAPAR. Eschborn, Alemanha, 1991.

EMBRAPA - Levantamento semi detalhado dos solos da microbacia de Água Grande e Pensamento, Mamborê, Paraná, Brasil. Informe. Londrina, IAPAR 1988. (não publicado).

ESKES, S.J.T.; CRESTANA, S. Uma abordagem estocástica para quantificar a lixiviação de pesticidas no solo em uma escala de bacia hidrográfica. **In: Anais I Simpósio de Ciências da Engenharia Ambiental e III Simpósio do Curso De Ciências da Engenharia ambiental.** São Carlos, 1996. p. 86 - 88.

FREITAS, P.L.; KER J.C. As pesquisas em microbacias hidrográficas: situação atual, entraves e perspectivas no Brasil. p.43-57. "In: Castro Fº, C & Muzilli, O (ed.) **Manejo integrado de solos em microbacias**". Londrina, 1996. 312p.

GARCEZ, L.N.; ALVAREZ, G.A. **Hidrologia.** Ed. Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 1988.

HENDERSEN, F.M. **Open channel flow.** Toronto, 1970.

HESSION, W.C.; SHANHOLTZ, V.O. **A geographic information system for targeting nonpointsource agricultural pollution.** Journal of Soil and Water Conservation, 43(3): p.264-266, may-june, 1988.

IAPAR (Londrina, PR). **Contribuição para a sistematização do uso da água na agricultura paranaense**. Londrina, 1986. 23p. (Documento IAPAR, 13).

JACCON, G.; CUDO, K. J. **Hidrologia curva chave**. Brasília, 1989.

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

KWONG, Lo. A. F. **Quantifying soil erosion for the Shihmen reservoir watershed**. Taiwan. Agricultural Systems. Ankey, Iowa, 45: p.105-116, 1994.

KWONG FAI, Lo. A. **Erosion assessment of large watersheds in Taiwan**. Journal of Soil and Water Conservation. Ankey, Iowa, 50(2): p. 180-183. 1995.

LEONARD, R. A. et al. **Pesticide runoff simulations: long-term annual means vs. event extremes**. *Weed Technology*. A Journal of the Weed Science Society of America. 6(2):p. 725-730. 1992.

LINSLEY, R.K.; FRANZINI, J.B. **Engenharia de recursos hídricos**. São Paulo, 1978.

LUZIO, M. di; LENZI, M.A; Di-LUZIO, M.; HEATWOLE, C. The importance of proper rainsfall for the applicability of the AGNPS model integrated with geographic information system at watersheds scale. Water quality modelling; porceedings of the International Symposium, Orlando, Florida, USA, 2-5 april, 1995, p. 259-273; 18 ref. /Abstract/.

MARCHETTI, R. et al. **Testing denitrification functions of dynamic crop models**. *Journal of Environmental Quality*, 26(2): p 394 - 401, 1997.

- MARTINELLI, L.A. et al. **Suspend sediment load in the Madeira River**. CENA, Piracicaba, s.d. /Separata/
- MERTEN, G. H. et al. **El uso del modelo USLE para determinar mapas de erosion potencial y actual en las Microcuencas pilotos de Agua Grande y Córrego do Pensamento, Mamborê, Paraná, Brasil**. Proyecto Regional GCP/RLA/107/JPN (Documento de Campo 6). IAPAR/EMBRAPA/FAO, Santiago, 1995.
- MOORE, I. D.; BURCH, G.J. **Modelling erosion and deposition: topographic effects**. *Trans. of the ASAE.*, 20(6): p. 1624-1630, 1986.
- MUZILLI, O. et al. **Análises de solos: interpretação e recomendação de calagem e adubação para o Estado do Paraná**. IAPAR. Londrina, 1978. 49p. (Circular, 9).
- NETTO, A.; ALVAREZ, G.A. **Manual de hidráulica**. Ed. Edgard Blucher Ltda. 7 ed. v.1 e 2, São Paulo, 1982.
- ODUM, E.P. **Fundamentos de ecologia**. 4ª ed. Lisboa, 1971. 927p.
- OLIVEIRA J.B de & SILVA, J.R.C. **Efeitos do manejo do solo na erosão do podzólico vermelho-amarelo equivalente eutrófico e planossolo solódico da microregião homogênea 69 do Ceará**. *R. Bras. Ci. Solo.* 6: p.231-235, Campinas, 1982.
- PAREDES, E. A. **Sistema de informação geográfica**. São Paulo, 1994.

- PEREIRA, V. de P.; GENEVÍCIUS. A. Considerações sobre sistema de terraços integrados a microbacias. p.273-288. "In: **Moniz, A . C. , Furlani, .R., Freitas, S.S. (ed.). A Responsabilidade social da ciência do solo.** Campinas, 1988. 525p.
- PESSOA , M.C.P.Y. et al. **Principais modelos matemáticos e simuladores utilizados para análise de impactos ambientais das atividades agrícolas.** Jaguariúna: Embrapa - CNPMA, 1997. 83P. (Documentos, 8).
- PINTO, N.L.S. ; HOLTZ, A.C.T.; MARTINS, J.A.; GOMIDE, F.L.S. **Hidrologia básica.** Ed. Edgard Blucher Ltda. Rio de Janeiro, 1976.
- PORTO, R.L.L. (org.) **Hidrologia ambiental / Samuel Murgel Branco...[et al.];** ABRH: Edusp. São Paulo, 1991.
- RUFINO, R.L.; BISCAIA, R.C.M.; MERTEN, G.H. **Determinação do potencial erosivo da chuva do Estado do Paraná, através de pluviômetro: terceira aproximação.** R. Bras. Ci. Solo. 17: 439-444, Campinas, 1993.
- SÃO PAULO, Secretaria de Energia e Saneamento. DAEE. **Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para controle de boçorocas urbanas.** São Paulo, DAEE/IPT, 1989.
- SEAB, **Manual operativo do fundo de manejo e conservação dos solos e controle da poluição.** Curitiba, 1989. 105 p.
- SMITH, R. E. ; WILLIAMS, J. R. Simulation of surface water hydrology . "In: **CREAMS, A Field Scale Model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agriculture Management Systems.** Cons. Res. Rpt. 26. Agr. Res. Serv., U.S.Dept. Agr., Washington, DC. p. 15. 1980.

- TIM, U.S.; JOLLY, R. **Evaluating agricultural nonpoint-source pollution using integrated geographic information systems and hydrologic/water quality model.** Journal of Environmental Quality, 23(1): p. 25-35. 1994.
- TIM, U.S.; JOLLY, R.; LIAO, H.H. **Impact of Landscape feature and Feature Placement on Agricultural Non-Point-Source-Pollution Control.** Journal of Water Resources Planning and Management, p.463-469, november-december, 1995.
- TISCARENO, M. L. et al. **Sensitivity analysis of the WEPP watershed model for rangeland conditions.** The American Society of Agricultura Engineers. Charlotte, North Carolina. 21-24 June, 1992. paper n° 922018.
- TUCCI, E.E.M., (org.). **Hidrologia, ciência e aplicação.** ABRH : Edusp. Porto Alegre, 1993.
- VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos.** Mcgraw-Hill do Brasil, EDUSP, São Paulo, 1977.
- VILLELA, S.M.; MATTOS,A. **Hidrologia aplicada.** Mc Graw-Hill do Brasil. São Paulo, 1975.
- YOUNG, R.A; ONSTAD, C.A; BOSH, D.D.; ANDERSON, P. **AGNPS: An agricultural nonpoint-source pollution model: A watershed analysis tool.** US Department of Agriculture Conservation Research Report 35, Washington, DC, USA, 1987.
- YOUNG, R.A; ONSTAD, C.A; BOSH, D.D.; ANDERSON, P. **AGNPS: A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds.** Journal of Soil and Water Conservation, 44(2): p.168-173,march-april,1989.

WINTER, E.J. A água, o solo e a planta. EDUSP, São Paulo, 1976.

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

7. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 17.ed. Whashington: AWWA/ASCE/APA, 1989.

CASTRO F^o, C. & ZOBECK, T.M. **Evaluation of the topographic factor in the universal soil loss equation on irrregular slopes.** Journal of Soil and Water Conservation, 41(2): p. 113-116. 1986.

EMBRAPA. Serviço nacional de levantamento e conservação de solos.(Rio de Janeiro). **Levantamento de reconhecimento dos solos do Paraná.** EMBRAPA-SNLCS / SUDESUL / IAPAR, 1984 (EMBRAPA/SNLCS, Boletim Técnico 57).

IAPAR (Londrina, PR). Relatório de atividades e resultados. Microbacias hidrográficas - Safra 1990/1991. Londrina, 1991.

NEVES, E.T. Curso de hidráulica. Ed. Globo. Porto Alegre, 1977.

SEAB, **Manual técnico do subprograma de manejo e conservação do solo.** 2^aed., Curitiba, 1994. 372p.

SILVA, S.A.; MARA, D. D. **Tratamentos biológicos de águas residuárias: lagoas de estabilização.** Rio de Janeiro, 1979.

SHAXSON, T.F. Produção e proteção integradas em microbacias. p.263-271. "In: **Moniz, A . C. , Furlani, .R .,Freitas, S.S. (ed.). A Responsabilidade social da ciência do solo.** Campinas, 1988. 525 p.

SPIEGEL, M.R. **Estatística.** São Paulo: Mc Graw - Hill do Brasil, 1975. 580p.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola de Engenharia de São Carlos. **Diretrizes para apresentação de dissertações e teses.** São Carlos, 1993.

8 ANEXOS

ANEXO I - Valores do parâmetro CN para bacias rurais.

Uso do solo	Tratamento ou práticas	Condições hidrológicas	Grupo hidrológico do solo			
			A	B	C	D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	Pobre	77	86	91	94
Plantações regulares	Com sulcos retilíneos	Pobre	72	81	88	91
	Com sulcos retilíneos	Boa	67	78	85	89
	Em curvas de nível	Pobre	70	79	84	88
	Em curvas de nível	Boa	65	75	82	86
	Em curvas de nível e terraceamento	Pobre	66	74	80	82
	Em curvas de nível e terraceamento	Boa	62	71	78	81
Plantações de cereais	Com sulcos retilíneos	Pobre	65	76	84	88
	Com sulcos retilíneos	Boa	63	75	83	87
	Em curvas de nível	Pobre	63	74	82	85
	Em curvas de nível	Boa	61	73	81	84
	Em curvas de nível e terraceamento	Pobre	61	72	79	82
	Em curvas de nível e terraceamento	Boa	59	70	78	81
Pastagens		Pobre	68	79	86	89
		Razoável	49	69	79	84
		Boa	39	61	74	80
	Em curvas de nível	Pobre	47	67	81	88
	Em curvas de nível	Razoável	25	59	75	83
	Em curvas de nível	Boa	6	35	70	79
Florestas			25	55	70	77
			36	60	73	79
Mata ciliar			49	69	79	84
Arruamentos e estradas	Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais -*		98	98	98	98
		Terra -*	72	82	87	89
Água			-	100		

Fonte: CHOW, 1964; YOUNG et al., 1987 e * TUCCI et al., 1993.



ANEXO II - Correção de CN para outras condições iniciais de umidade.

CN - AMC		CN - AMC		Valores de S (polegadas)
II	I	III		
100	100	100		0
98	94	99		0.04
96	89	99		0.08
94	85	98		0.13
92	81	97		0.17
90	78	96		0.22
88	75	95		0.27
86	72	94		0.33
84	28	93		0.38
82	66	92		0.44
80	63	91		0.50
78	60	90		0.56
76	58	89		0.63
74	55	88		0.70
72	53	86		0.78
70	51	85		0.86
68	48	84		0.94
66	46	82		1.03
64	44	81		1.12
62	42	79		1.23
60	40	78		1.33
58	38	76		1.45
56	36	75		1.57
54	34	73		1.70
52	32	71		1.85
50	31	70		2.00
48	29	68		2.16
46	27	66		2.34
44	25	64		2.54
42	24	62		2.76
40	22	60		3.00
38	21	58		3.26
36	19	56		3.56
34	18	54		3.88
32	16	52		4.24
30	15	50		4.66
25	12	43		6.00
20	9	37		8.00
15	6	30		11.34
10	4	22		18
5	2	13		38
0	0	0		Infinito

Fonte: CHOW, 1964, YOUNG et al., 1987 e TUCCI et al., 1993.

ANEXO III - Coeficiente de Manning para canais e áreas cultivadas.

	n
Canais dragados ou escavados - Natureza das paredes	
Concreto comum	0.013
Terra, reto, uniforme e limpo	0.022
Terra, reto, uniforme e limpo, mas com pequena vegetação e algas	0.027
Terra, tortuoso e lento, sem vegetação	0.025
Terra, tortuoso e lento, sem vegetação, mas com pequena vegetação e algas	0.030
Canais sem conservação, algas e alguma vegetação	0.080
Canais naturais	
Limpos e retos, sem fendas ou poço profundos	0.030
Limpos e tortuosos, alguns poços e bancos de areia	0.040
Limpos e tortuosos, algumas algas, pedras, e poços	0.048
Riachos lentos com algas e poços profundos	0.070
Terras cultivas	
Cobertura e densidade da cobertura	
Plano, solo nú	
menor do que 1 polegada profundidade	0.030
1 - 2 polegadas profundidade	0.033
2 - 4 polegadas profundidade	0.038
4 - 6 polegadas profundidade	0.045
Talo de milho - (assumir uma taxa residual da palhada ficando no local)	
1 ton/acre	0.050
2 ton/acre	0.075
3 ton/acre	0.100
4 ton/acre	0.130
Palha de trigo - (assumir uma taxa residual da palhada ficando no local)	
1 ton/acre	0.060
1,5 ton/acre	0.100
2 ton/acre	0.150
4 ton/acre	0.250
Pastagem	
Esparsa	0.040
Pobre	0.050
Razoável	0.060
Boa	0.080
Excelente	0.130
Densa	0.200
Muito densa	0.300
Pequenos cereais (20% fase adulta maturidade - fluxo na linha)	
Pobres, 7 polegadas linha	0.130
Pobres, 14 polegadas linha	0.130
Boas, 7 polegadas linha	0.300
Boas, 14 polegadas linha	0.200
Florestas	0.100
Lagos ou várzeas	0.990

Fonte: YOUNG et al., 1987.

ANEXO IV - Valores do parâmetro Constante das Condições Superficiais baseado no uso do solo.

Uso do solo	Superfície	Constante das condições superficiais
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	0.22
Plantações regulares	Em curvas de nível	0.05
Plantações de cereais	Em curvas de nível	0.29
Pastagens	Pobres, em curvas de nível	0.01
	Normais, em curvas de nível	0.15
	Boas, em curvas de nível	0.22
Florestas	Densas, alta transpiração	0.29
	Normais	0.59
Mata ciliar		1.00
Água		0

Fonte : YOUNG et al.,1987.

ANEXO V - Descrição da classificação da textura do solo segundo sua classe hidrológica.

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

Fonte: YOUNG et al., 1987.

ANEXO VI - Tipos de solos de acordo com a CN - SCS.

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.

Fonte: YOUNG et al., 1987.

ANEXO VII - Cronograma de atividades do ano agrícola.

Mês/Ano	Març 3	Abr 4	Mai 5	Jun 6	Jul 7	Ago 8	Set 9	Out 10	Nov 11	Dez 12	Jan 1	Fev 2	Mar 3	Abr 4
1)Culturas de verão														
Preparo						xx	xx							
Plantio							xx	xxxx	xx					
Max. cob.									xx	xxxx	xxxx	xxxx		
Colheita													xxxx	
Resíduos														xx
2)Culturas de inverno														
Preparo	xx	xx												
Plantio		xx	xx											
Max. cob.				xx	xxxx	xxxx	xx							
Colheita							xx							
Resíduos							xx							

Fonte: DEDECEK et al. 1986.

ANEXO VIII - Fator disponibilidade de fertilização de acordo com as práticas agrícolas.

Práticas Agrícolas	Fator Disponibilidade (%)
Grade de disco	40
Arado Aiveca	10
Escarificador	67
Disco	50
Limpeza de ervas	70
Pulverizador	85
Plantadeira	85
Grade niveladora	100
Lagoas	0

Fonte: YOUNG et al., 1987.

ANEXO IX - Fator Demanda Química de Oxigênio - DQO para várias situações de uso do solo.

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

Fonte: YOUNG et al., 1987.

ANEXO IX - Os valores do parâmetro CN para as bacias rurais estudadas.

Uso do solo	Tratamento ou práticas	Condições hidrológicas	Grupo Hidrológico do Solo			
			A	B	C	D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos		77	86	91	94
Plantações regulares	Em curvas de nível e terracemanto	Boa	62	71	78	81
Pastagens	Em curvas de nível	Boa	6	35	70	79
Mata ciliar			49	69	79	84
Água			-	100		

Fonte: CHOW, 1964, YOUNG et al., 1987 e TUCCI et al., 1993.

9 APÊNDICES

APÊNDICE 1 - Hidrograma Triangular

9.1 Determinação da capacidade máxima da camada superior do solo - S

$$S = (25.400 \cdot CN^{-1}) - 254$$

em que:

CN - é um fator tabela para diferentes tipos de solo e cobertura (ANEXO - I).

Para um exemplo hipotético, adotaremos CN para plantações regulares em curva de nível. CN = 78.

Então:

$$S = 71,64$$

9.2 Determinação do tempo de pico - t_p

$$t_p = \frac{2,6 \cdot L_h^{0,8} \cdot (S \cdot 25,4^{-1} + 1)^{0,7}}{1900 \cdot CS^{0,5}}$$

sendo:

L_h - comprimento hidráulico do rio, em metros;

CS - declividade média em percentagem.

para:

cota montante = 675 m;

cota jusante = 565 m;

$L_h = 12.514,10$ m.

$$CS = 0,879 \%$$

$$t_p = 7,073 \text{ horas} = 7 \text{ h } 04 \text{ m.}$$

9.3 Determinação do tempo concentração - t_c

O tempo de concentração se modifica com a alteração da cobertura da bacia.

$$t_c = t_p \cdot 0,60^{-1}$$

$$t_c = 11,79 \text{ horas} = 11 \text{ h } 47 \text{ m.}$$

9.4 Determinação do tempo total da hidrografa

$$t_t = t_p + t_c$$

$$t_t = 18,861 \text{ horas} = 18 \text{ h } 51 \text{ m.}$$

9.5 Determinação do Hidrograma Unitário Triangular

TUCCI et al. (1993), descreve que o SCS, apresentou um método em que o mesmo é considerado um triângulo. Para uma precipitação de 1 cm, sobre área A, em km^2 , t_p em horas, a equação da vazão fica:

$$q_p = 2,08 \cdot A \cdot t_p^{-1}$$

O tempo t'_p é contado do início da precipitação, e t_u é tempo de duração da chuva unitária, em horas, $t_u = 20$ minutos, (CETESB, 1986):

$$t'_p = t_{pu} \cdot (2^{-1}) + 0,60 t_c$$

$$t_p^2 = (2/6)/2 + 0,60. 11,79$$

$$t_p = 7,407 \text{ horas} = 7 \text{ h } 24 \text{ m}$$

para toda a microbacia com área $A = 43,4852 \text{ km}^2$, sendo

$$q_p = 2,08. A. t_p^{-1}$$

$$q_p = 12,211 \text{ m}^3. \text{s}^{-1}.$$

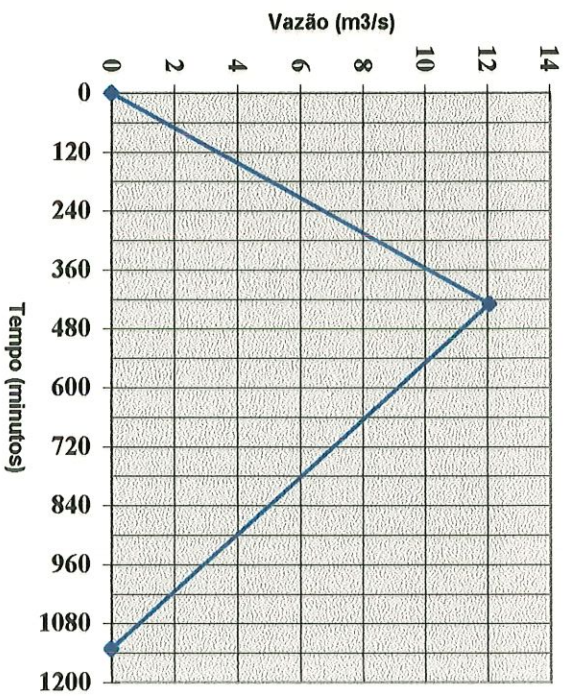


FIGURA 25 - Hidrograma Triangular Unitário (TUCCI et al., 1993).

APÊNDICE 2 - Hidrograma Unitário Snyder

9.2 Determinação do coeficiente - C_t

$$C_t = 7,81 \cdot (I_p)^{-0,78}$$

sendo:

C_t - coeficiente que tem influência sobre o tempo de pico e depende de outras características físicas da bacia;

I_p - percentagem de impermeabilização da bacia;

para:

$$I_p = 5\%.$$

$$C_t = 2,226$$

9.2.2 Determinação do tempo de retardo - t_p

$$t_p = 0,752 \cdot C_t \cdot (L \cdot L_{ca})^{0,30}$$

sendo:

L_h = comprimento ao longo do curso d'água, desde o ponto de estudo até os limites da bacia à montante;

L_{ca} = comprimento ao longo do curso d'água, desde o ponto de estudo até um ponto, localizado nesse mesmo curso d'água, mais próximo do centro de gravidade da área de drenagem;

para:

$$L_h = 12.514,10 \text{ metros};$$

$$L_{ca} = 9.635,86 \text{ metros}.$$

$$t_p = 7,412 \text{ horas} = 7 \text{ h } 25 \text{ m.}$$

9.2.3 Determinação do coeficiente - C_p

$$C_p = 0,89 \cdot C_t^{0,46}$$

sendo:

C_p - coeficiente relacionado com a vazão máxima de uma determinada bacia, e depende das referidas características físicas;

$$C_p = 1,286$$

9.2.4 Determinação de q_{ph}

$$q_{ph} = 2,755 \cdot C_p \cdot t_p^{-1}$$

em que:

q_{ph} - vazão de pico do hidrograma unitário por unidade de área, em $\text{m}^3/\text{s km}^2$;

$$q_{ph} = 0,478 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$$

9.2.5 Determinação de Q_p

$$Q_{ph} = q_p \cdot A_b$$

sendo:

Q_{ph} - vazão de pico do hidrograma unitário em $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, para uma chuva unitária de 1 centímetro;

A_b - área da bacia;

A_{est} = área até estação de medição;

para:

$$A_b = 4.348,52 \text{ hectares} = 43,4852 \text{ km}^2;$$

$$A_{est} = 3.868,52 \text{ hectares} = 38,6852 \text{ km}^2;$$

$$Q_{ph} = 20,786 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1};$$

$$Q_{est} = 18,492 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1};$$

9.2.6 Determinação da largura do hidrograma unitário total a 50% e 75% de Q_p

$$W_{50\%} = 3,706 \text{ horas} = 3\text{h } 42\text{m}$$

$$W_{75\%} = 1,853 \text{ horas} = 1\text{h } 51\text{m}$$

9.2.7 Determinação do tempo de escoamento da hidrografa

$$T_p = 60 \cdot t_p + t_u \cdot (2^{-1})$$

sendo:

t_u - tempo de duração da chuva unitária, em minutos;

$t_u = 20$ minutos, (CETESB, 1986);

$$T_p = 7,579 \text{ horas} = 7\text{h } 34\text{m}.$$

9.2.8 Hidrograma Unitário

9.2.8.1 Hidrograma Unitário total

$$Q_{50\%} = 10,390 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1};$$

$$Q_{75\%} = 15,585 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}.$$

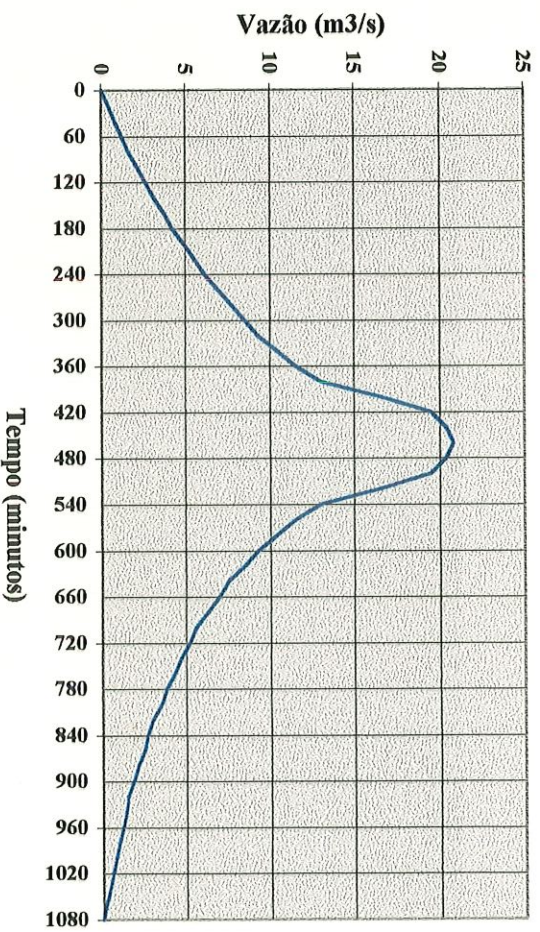


FIGURA 26 - Hidrograma Unitário segundo critério de Snyder. Fonte : CETESB, 1986.

9.2.9 Volume do Hidrograma Unitário de Snyder

$$V_{HU} = A \text{ (km}^2\text{)} \cdot 1 \text{ cm.}$$

$$V_{HU} = 434.852 \text{ m}^3.$$

$$V_{est} = 386.852 \text{ m}^3.$$

