

UERJ

Dissertação de Mestrado em Engenharia da Computação

**DESENVOLVIMENTO DE PROCEDIMENTOS
COMPUTACIONAIS PARA INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS DE
INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA COM MODELO HIDROLÓGICO
CHUVA-VAZÃO EM BACIAS URBANAS**

Autor: Ezer Urpia Rosa

Orientador: Margareth Simões Penello Meirelles

Co-orientador: Luciene Pimentel da Silva

Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Computação – Área de
Concentração em Geomática

Dezembro - 2002



Faculdade de Engenharia

**DESENVOLVIMENTO DE PROCEDIMENTOS
COMPUTACIONAIS PARA INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS DE
INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA COM MODELO HIDROLÓGICO
CHUVA-VAZÃO EM BACIAS URBANAS**

Ezer Urpia Rosa

Dissertação submetida ao corpo docente da
Faculdade de Engenharia da Universidade do
Estado do Rio de Janeiro – UERJ, como parte
dos requisitos necessários à obtenção do título
de Mestre em Engenharia da Computação

Orientador: Margareth Simões Penello Meirelles

Co-orientador: Luciene Pimentel da Silva

Programa de pós-Graduação em Engenharia da Computação – Área de
Concentração em Geomática

Rio de Janeiro

Dezembro de 2002

ROSA, EZER URPIA.

Desenvolvimento de Procedimentos Computacionais para Integração de Sistemas de Informação Geográfica com Modelos Hidrológico Chuva-Vazão em Bacias Urbanas [Rio de Janeiro] 2002

ix, 134 p. 29,7 cm (FEN/UERJ, M.Sc., Engenharia da Computação – Área de Concentração Geomática, 2002)

Dissertação – Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ

1.Previsão de Enchentes

2.Sistemas de Informações Geográficas

3.Modelagem Hidrológica

I. FEN/UERJ II. Título (série)

FOLHA DE JULGAMENTO

TÍTULO: Desenvolvimento de Procedimentos Computacionais para Integração de Sistemas de Informação Geográfica com Modelos Hidrológicos Chuva-Vazão em Bacias Urbanas

Candidato: Ezer Urpia Rosa

Programa: Pós-Graduação em Engenharia da Computação – Área de Concentração em Geomática

Data da Defesa: 18/12/2002

Aprovada Por:

Margareth Simões Penello Meirelles, Ds. C., UFRJ/ITC

Luciene Pimentel da Silva, Ph. D., Newcastle Upon Tyne

Ubiratan Porto dos Santos, Ph. D., Imperial College of
Science

Rui Carlos Vieira da Silva, Dr., Toulouse

DEDICATÓRIA

Aos meus Pais, Edmary e Issa Mak,
À Minha Irmã, Claudia
À minha esposa, Simone,
e em especial a minha primeira filha,
Helena,
luz e vida da minha alma.

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo a Deus, por esta oportunidade de contribuir com mais este grão de areia ao relógio da vida, e de buscar ser útil aos meus semelhantes e ao meu País.

Aos meus pais pela oportunidade de estudar e pelo amor sempre incondicional.

A minha esposa pelo apoio, esperança e amor que me tem dedicado sempre, e onde a recíproca é verdadeira.

A minha co-orientadora Prof^a Luciene Pimentel da Silva, pela sua infinita paciência e dedicação em me conduzir pelo universo, para mim às vezes não tão sereno, do reino das águas.

A minha Orientadora Prof^a Margareth Simões, pelos conhecimentos passados de forma abnegada.

A Faculdade de Engenharia, pelo apoio e oportunidade, não deixando de fazer referência ao conjunto de seus funcionários, sempre tão solícitos e prestativos.

A Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro - PCRJ, na consulta aos seus arquivos históricos;

A Secretaria Municipal de Obras – SMO, pelo apoio de amigos e incentivadores;

A Fundação Instituto das Águas – Rio-Águas, pela presença sempre próxima, e por permitir de forma sempre solícita, a consulta a sua biblioteca e coleção de projetos sobre a área tema;

A Coordenadoria Geral de Conservação - CGC, por me liberar muitas vezes das minhas atividades, afim de concluir este trabalho.

A Geo-Rio, pela cessão dos dados pluviométricos de forma muito atenciosa.

A Secretaria Municipal de Meio Ambiente – SMAC, e ao Instituto de Urbanismo Pereira Passos - IPP, pelas entrevistas com seus técnicos de forma a esclarecer alguns aspectos sobre a origem dos dados, bem como pela cessão dos mesmos.

A Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas – SERLA, pela solicitude de seus funcionários, e pela cessão de dados hidrológicos de extrema valia na proposta deste trabalho.

Ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH, pela cessão de material bibliográfico.

Ao grupo Agenda 21 - AP-4.0, e a Associação de Moradores de Vargem Grande - AMVG.

Resumo da Tese apresentada à FEN/UERJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc)

**DESENVOLVIMENTO DE PROCEDIMENTOS
COMPUTACIONAIS PARA INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS DE
INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA COM MODELO HIDROLÓGICO
CHUVA-VAZÃO EM BACIAS URBANAS.**

Ezer Urpia Rosa

Dezembro/2002

Orientadores: Margareth Simões Penello Meirelles, Ds.C., UFRJ/ITC

Luciene Pimentel da Silva, Ph.D. Newcastle Upon Tyne

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação – Área de Concentração
Geomática

Este trabalho propõe a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas juntamente com modelos chuva-vazão, mais especificamente o IPH II, para fins de determinação da influência do processo de urbanização na ação catalisadora dos grandes eventos de cheias. A metodologia proposta para tal, é a obtenção dos parâmetros do referido modelo através de técnicas de geoprocessamento e a conseqüente integração destes dados ao modelo hidrológico chuva-vazão, como subsídios para a fase de simulação. A metodologia proposta é aplicada a uma área urbana denominada Lote 3, na bacia de Jacarepaguá, zona oeste do município do Rio de Janeiro. Este trabalho representa uma contribuição de ordem prática, de como as técnicas de geoprocessamento podem ser aplicadas em especial na modelagem hidrológica de bacias urbanas, de forma a auxiliar na rápida apropriação dos parâmetros fisiográficos.

Abstract of Dissertation presented to FEN/UERJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M. Sc.)

**DEVELOPMENT OF COMPUTATIONAL PROCEDURES TO
INTEGRATE GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS AND
HYDROLOGICAL RAINFALL-RUNOFF MODELS FOR URBAN
CATCHMENTS**

Ezer Urpia Rosa

DECEMBER/2002

Advisors: Margareth Simões Penello Meirelles, Ds.C., UFRJ/ITC

Luciene Pimentel da Silva, Ph.D. Newcastle Upon Tyne

Program Computing Engineering – Field of Geomatic

This work proposes the application of Geographical Information Systems and hydrological modelling on studying the effects of urbanization on flood events. Arcview 3.2 System and IPH II model were applied. The proposed methodology consists on integrating data obtained by geoprocessing techniques, more specifically hydrological model parameters, on model's calibration and simulation. An application to Morto river catchment - Lote 3, Jacarepaguá Basin (urban area), Rio de Janeiro city west zone is presented.. This work represents a contribution of practical order, of as the geoprocessing techniques they can be applied especially in the hydrologic modelling of urban basins, in way the auxiliary in the fast appropriation of the physiographic parameters.

Keywords: Geomatic, Forecasting Floods, Hydrologic Modelling

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABELAS	ix
1 Introdução	2
2 Sistemas de Informações Geográficas	6
2.1 Introdução aos Sistemas de Informações Geográfica	6
2.2 Aplicação dos SIGs	7
2.2.1 Dados Geográficos	8
2.2.1.1 Tipos de Dados Geográficos	9
2.2.1.2 Propriedades dos Dados Geográficos	11
2.2.2 Modelos de Dados para Banco de Dados Geográficos	13
2.2.3 Componentes de um SIG	14
2.2.4 Modelagem Dinâmica nos Sistemas de Informações Geográficas	18
3 Modelagem Hidrológica	20
3.1 Ciclo Hidrológico	20
3.2 Definição dos Modelos Hidrológicos	22
3.3 Classificação dos Modelos Hidrológicos	24
3.4 Calibração dos Modelos	25
3.5 Modelo IPH II	26
3.5.1 Modelagem Hidrológica de Bacias Urbanas	26
3.5.2 Estrutura do Modelo IPH II	28
3.5.2.1 Perdas por evaporação e interceptação	31
3.5.2.2 Separação do Escoamento (infiltração)	32
3.5.2.3 Propagação Superficial e Subterrânea	35
3.5.3 Conceituação dos Parâmetros do Modelo IPH II	36
4 A Aplicação dos Modelos Hidrológicos no Contexto dos SIGs: Integração Arcview v. 3.2 – IPH II	37
4.1 Formas de Integração dos SIGs com os Modelos Hidrológicos	37
4.2 Estrutura da Integração Arcview v. 3.2 – IPH II	45
4.3 Arcview v. 3.2	47
4.3.1 Planos de Informação	48
4.3.2 Representação das Informações	48

4.4	<u>Modelo Digital do Terreno</u>	49
4.4.1	<u>Representação do Escoamento - Mapa de Direção de Fluxo</u>	50
4.4.2	<u>Processamento do Mapa de Direção de Fluxo</u>	51
4.4.2.1	<u>Mapa de Direção de Fluxo Acumulado</u>	52
4.4.2.2	<u>Mapa de Declividade</u>	53
4.4.2.3	<u>Bacia Hidrográfica</u>	54
5	<u>Estudo de Caso: A Bacia Hidrográfica do Rio Morto - Jacarepaguá</u>	58
5.1	<u>Enchentes</u>	58
5.1.1	<u>Inundação Natural da Várzea Ribeirinha</u>	59
5.1.2	<u>Inundações devido à Urbanização</u>	60
5.1.3	<u>Mudanças Climáticas e Inundações Urbanas</u>	61
5.2	<u>Enchentes no Município do Rio de Janeiro : O Caso de Jacarepaguá</u>	63
5.3	<u>A Bacia do Rio Morto</u>	74
5.3.1	<u>Localização</u>	74
5.3.2	<u>Relevo</u>	76
5.3.3	<u>Drenagem</u>	76
5.3.4	<u>Vegetação e Uso do Solo</u>	76
5.4	<u>Dados Disponíveis sobre a Bacia do Rio Morto</u>	78
5.4.1	<u>Dados Cartográficos</u>	78
5.4.2	<u>Dados hidrometeorológicos</u>	80
5.5	<u>Aplicação do Modelo IPH II Integrado ao Arcview 3.2 à Bacia do Rio Morto</u>	80
5.5.1	<u>Obtenção dos parâmetros no Arcview 3.2</u>	81
5.5.2	<u>Calibração e Validação dos Parâmetros do Modelo IPH II</u>	95
5.5.3	<u>Análise dos Resultados</u>	102
6	<u>Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros</u>	104
	<u>ÍNDICE BIBLIOGRÁFICO</u>	109
	<u>APÊNDICE A</u>	122
	<u>APÊNDICE B</u>	124
	<u>APÊNDICE C</u>	126
	<u>APÊNDICE D</u>	127
	<u>APÊNDICE E</u>	130

ÍNDICE DE FIGURAS

<u>Figura 2-1 – Componentes de um Sistema de Informação Geográfica (Fonte: CÂMARA, 1996)</u>	14
<u>Figura 3-1 Ciclo Hidrológico (fonte: SMA-SP, 2002)</u>	20
<u>Figura 3-2 - Desenho esquemático do algoritmo do modelo IPH II</u>	30
<u>Figura 4-1- Método D8 (oito direções) (Fonte: INPE, 2000)</u>	41
<u>Figura 4-2 – Representação em um SIG das informações espaciais (Adaptação: SIMÕES, 1993)</u>	42
<u>Figura 4-3 - Fluxograma da metodologia utilizada na obtenção dos parâmetros fisiográficos de uma bacia hidrográfica</u>	46
<u>Figura 4-4 – Desenho esquemático de eliminação dos Fossos (“Sinks”)</u>	51
<u>Figura 4-5 - Desenho esquemático de definição da direção do fluxo</u>	52
<u>Figura 5-1 - Os efeitos da urbanização nos processos hidrológicos (HALL, 1984)</u>	60
<u>Figura 5-2 - Evolução da Temperatura Média Mundial (Fonte: US EPA, 2002)</u>	62
<u>Figura 5-3 - Concentração de CO2 na atmosfera do Planeta (Fonte: MCT, 2001)</u>	63
<u>Figura 5-4 - Áreas de Planejamento do Município do Rio de Janeiro – Regiões Administrativas da AP-4</u>	65
<u>Figura 5-5– Lotes da Bacia de Jacarepaguá – AP 4 (Fonte: PRODEC 1998)</u>	67
<u>Figura 5-6 - Localização das estações hidrometeorológicas da bacia de Jacarepaguá (Rede SERLA e Sistema AlertaRio)</u>	73
<u>Figura 5-7 – Localização relativa da Bacia do Rio Morto no Lote 3</u>	75
<u>Figura 5-8 - Representação matricial da elevação (Grid) da Bacia do Rio Morto</u>	83
<u>Figura 5-9 - Opção de menu da extensão "Hydro", com as funções disponíveis</u>	84
<u>Figura 5-10 – Mapa de Direção de Fluxo (Flow Direction) para a área considerada, segundo as oito direções (origem no leste - valor 1, com sequência no sentido horário)</u>	85
<u>Figura 5-11 – Mapa de Direção de Fluxo Acumulado (Accumulated Flow Direction), segundo um valor de acúmulo por células</u>	86
<u>Figura 5-12 – Plano de informação com a determinação do ponto de saída da bacia</u>	87
<u>Figura 5-13 –Bacia hidrográfica do Rio Morto, delimitada pelo Arcview 3.2, juntamente com o plano curso d’água</u>	88

<u>Figura 5-14 – Detalhe do Limite da Bacia Hidrográfica do Rio Morto, por sobre o plano das isolinhas</u>	88
<u>Figura 5-15 – Tela do Arcview 3.2 com o item de menu IPH II – customização desenvolvida para os cálculos dos parâmetros</u>	89
<u>Figura 5-16 – Tela de customização do ambiente SIG, para entrada de parâmetros (planos de informações), para cálculo do máximo caminho</u>	90
<u>Figura 5-17 – Plano que delimita áreas de mesmo tempo de viagem, até o ponto de saída da bacia - "Flow lengths"</u>	91
<u>Figura 5-18 – Plano de Informação do máximo caminho para a bacia do Rio Morto, com sobreposição aos planos da bacia hidrográfica e do plano de curso d'água</u>	92
<u>Figura 5-19 – Tela que permite exibição/edição dos parâmetros fisiográficos da Bacia do Rio Morto – Item de menu “Calcula Parâmetros, Opção IPH II</u>	96
<u>Figura 5-20 – Tela de entrada das variáveis fisiográficas – Sistema de Calibração</u>	97
<u>Figura 5-21 – Tela de Calibração dos parâmetros do modelo IPH – Sistema de Calibração</u>	98
<u>Figura 5-22 – Figura exibindo adequação entre vazão observada e calculada, juntamente com a pluviometria</u>	100
<u>Figura 5-23 – Figura exibindo distribuição da vazão observada e calculada</u>	100
<u>Figura 5-24 – Figura exibindo coeficiente de determinação – grau de ajustamento</u>	101
<u>Figura 5-25 - Gráfico com o regime de vazões para diferentes percentuais de áreas impermeáveis Evento de 19/04/1977 (Parâmetro IMP)</u>	102

ÍNDICE DE TABELAS

<u>Tabela 3-1 – Lista dos Poluentes urbanos constante do escoamento superficial (Fonte : US EPA, 1999b)</u>	28
<u>Tabela 3-2 - Quadro de parâmetros do modelo IPH II</u>	37
<u>Tabela 4-1 - Lista de Extensões necessárias a modelagem Hidrológica -ArcView</u>	47
<u>Tabela 5-1 – Número de grandes eventos de inundações e prejuízos associados pelo mundo (Fonte: JOHN, 2001)</u>	58
<u>Tabela 5-2 – Eventos históricos de enchentes na cidade do Rio de Janeiro (Fonte: Galvão, 1924)</u>	64
<u>Tabela 5-3 - Número de Habitantes para a área da Bacia de Jacarepaguá (AP 4) em contraste com a AP 1 – Região “Central” da cidade (Fonte: IPP, 2000)</u>	69
<u>Tabela 5-4 – Relação das Estações Pluviométricas da SERLA para a Bacia de Jacarepaguá com as suas respectivas Coordenadas</u>	71
<u>Tabela 5-5 – Relação das Estações do Sistema AlertaRio para a área de Jacarepaguá com as suas Respectivas Coordenadas</u>	72
<u>Tabela 5-6 - Relação das Estações Fluviométricas da SERLA para a Bacia de Jacarepaguá, com as suas Respectivas Coordenadas</u>	72
<u>Tabela 5-7 – Progressão do Uso e Cobertura do Solo século XIX, até os dias atuais</u>	78
<u>Tabela 5-8 - Relação dos produtos cartográficos da cidade do Rio de Janeiro, disponibilizados pelo IPP - Instituto Pereira Passos</u>	79
<u>Tabela 5-9 - Lista dos Planos de Informações iniciais utilizados na aplicação da metodologia de obtenção dos parâmetros fisiográficos</u>	82
<u>Tabela 5-10 – Relação dos tamanhos das células por tipo de aplicação - Adaptado de Maidment, (1996)</u>	83
<u>Tabela 5-11 – Tabela contendo os valores dos parâmetros para os três eventos selecionados</u>	99
<u>Tabela 5-12 – Comparação dos Parâmetros obtidos e/ou calculados pelo Arcview 3.2 x PRODEC (1998)</u>	103

1 Introdução

À proporção que o grau de urbanização de uma cidade evolui, os impactos das modificações ambientais levadas a termo pelo homem, tendem a afetar a população ali estabelecida, de maneira substancial. Assim, na atualidade, as enchentes se configuram com certa frequência nos grandes centros urbanos, adquirindo eventualmente, proporções alarmantes, a medida que trazem prejuízos de toda ordem, expondo a população sob o seu alcance.

Desta forma, o processo de urbanização ocorrido nas últimas décadas, demandou uma série de obras de infra-estrutura, que sem o devido gerenciamento, sem políticas de planejamento urbano, de ocupação do solo e aliadas a especulação imobiliária, proporcionou um incremento considerável da área impermeável, gerando impactos no ciclo hidrológico na região.

O aspecto dinâmico das ações antrópicas sobre o meio, tem conduzido a uma demanda sempre crescente por parte do homem, no manejo deste mesmo meio, aumentando a necessidade por tecnologias que consigam equacionar os novos paradigmas propostos pela atividade expansionista do homem.

Com o desenvolvimento da tecnologia computacional, os modelos hidrológicos têm tido sua utilização amplamente difundida que, juntamente com o aprimoramento e desenvolvimento das técnicas estatísticas, no final da década de 50 e durante a década de 60, alavancaram os primeiros modelos hidrológicos, com vistas a uma modelagem mais realista dos fenômenos hidrológicos, seu dimensionamento e simulação.

Assim, a utilização de modelos hidrológicos no contexto urbano, para a representação do comportamento do ciclo da água, sofreu um incremento considerável, tendo como demandante, não apenas a evolução tecnológica, mas também a magnitude dos fenômenos de inundação, dos prejuízos decorrentes destes eventos, e devido a necessidade de compreensão e manejo por parte do homem do meio em que vive.

Os modelos hidrológicos urbanos possuem na sua conceituação, a peculiaridade de terem sido desenvolvidos para ambientes onde os fenômenos naturais sofrem uma considerada mutação, devido aos elementos artificiais sobre os quais eles ocorrem, como por exemplo a presença preponderante de superfícies impermeáveis ou o transporte de água através de canais artificiais, o que de forma decisiva alteram a análise efetuada. No contexto deste trabalho, o modelo hidrológico utilizado é o modelo chuva-vazão IPH II, um modelo amplamente utilizado no Brasil em bacias urbanas.

Os SIGs são ferramentas poderosas na coleta, armazenamento, recuperação e análise dos dados cuja localização espacial é uma componente preponderante. Os SIGs têm na representação gráfica dos fenômenos espaciais, juntamente com a análise e cruzamento dos dados tabulares sua maior virtude, pois de uma forma simples e intuitiva veiculam a informação espacial.

Uma vez que os fenômenos hidrológicos têm lugar sobre a superfície física, e são fenômenos espaço-temporais, nada mais apropriado que a integração destes modelos, a uma ferramenta que teve sua gênese nas ciências das informações espaciais. Os sistemas de informações geográficas como ferramenta de análise, têm uma ampla contribuição a dar no sentido da análise integrada do meio ambiente sobre o fenômeno hidrológico, dentro do contexto urbano com as suas variantes espaciais, seja quais forem os aspectos considerados, sejam naturais ou artificiais.

Os esforços empreendidos na direção de uma integração dos sistemas informações geográficas e os modelos hidrológicos, ainda que relativamente recentemente iniciados, mostram-se essenciais e necessários, como demonstram os sistemas computacionais comerciais. Estes têm uma demanda baseada na conceitualização das duas ferramentas “mater.”, e que nos dias atuais compreendem uma solução que além de simples inventário hidrológico, com um mapa contendo rios e informações tabulares sobre estes rios e sobre estações hidrometeorológicas, possa também efetuar análises e simulações mais complexas, do ponto de vista dinâmico.

Assim sendo, aspectos estruturais e circunstanciais do binômio homem x natureza, mais precisamente cidade x água, podem ser avaliados, dimensionados e até mesmo simulados com antecedência, com a utilização de ferramentas, produto da integração dos modelos hidrológicos e dos sistemas de informações geográficas, onde eventos como inundações, cheias, o dimensionamento de projetos e obras de arte, qualidade da água, abastecimento, entre outras, que tão fortemente estão relacionadas a qualidade de vida nos grandes centros, possam ser devidamente tratadas e equacionadas, o que por outro lado, sendo preteridas, promovem conseqüências desastrosas de ordem social, econômica, política e humana.

Tendo em mente as considerações descritas a “priori”, como objetivos principais desta dissertação este estudo visa do ponto de vista prático, a integração entre os sistemas de informações geográficas com os modelos hidrológicos, mais especificamente Arcview 3.2 - IPH II. Desta forma, é formulada uma metodologia clara e concisa para aquisição dos parâmetros fisiográficos de uma bacia hidrográfica urbana,

utilizados no modelo hidrológico chuva-vazão IPH II, com a subsequente aplicação em um estudo de caso da bacia do Rio Morto, Jacarepaguá, município do Rio de Janeiro.

Ainda no contexto desta dissertação, são dimensionados os aspectos sociais, econômicos, históricos e ambientais, na caracterização das cheias urbanas para a bacia do Rio Morto, sendo esta considerada como bacia típica representativa da área de Jacarepaguá, em escala de relevo, vegetação, processo de urbanização e hidrografia.

Seguindo-se a esta introdução, o presente trabalho tem como conteúdo os seguintes capítulos:

- i. capítulo 2 - Neste capítulo será efetuado uma breve revisão sobre os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), definições, fisiologia e aplicações, enfatizando as propriedades e características dos dados, para posterior foco na integração dos SIG's com os modelos hidrológicos.
- ii. capítulo 3 - são apresentados os modelos hidrológicos com a definição, classificação e a estrutura geral do modelo IPH II, apresentando também os parâmetros fisiográficos a serem dimensionadas pelo SIG, dentro do contexto da aplicação do modelo chuva-vazão IPH II à bacias urbanas.
- iii. capítulo 4 - Neste capítulo será apresentada e descrita a metodologia para mensuração das variáveis fisiográficas, com foco na integração de uma ferramenta SIG (Arcview 3.2) com o modelo hidrológico chuva-vazão IPH II.
- iv. capítulo 5 – Neste capítulo será apresentado o estudo de caso para a bacia do Rio Morto, Jacarepaguá, município do Rio de Janeiro, como forma de aplicação da técnica desenvolvida no capítulo anterior. Adicionalmente, serão caracterizados os aspectos sociais, econômicos, ambientais, bem como os dados hidrometeorológicos compilados para a área de Jacarepaguá, inserindo neste contexto o estudo das cheias urbanas, causas e efeitos para a área de Jacarepaguá.

- v. capítulo 6 - Neste capítulo será apresentada a conclusão do trabalho, com análise crítica dos resultados obtidos no capítulo anterior, apresentando ainda sugestões para trabalhos futuros.

2 Sistemas de Informações Geográficas

2.1 Introdução aos Sistemas de Informações Geográfica

Desde tempos remotos, a coleta, armazenamento e recuperação de dados sobre o meio físico, sempre foram objeto da atividade humana. Tais funções estão intimamente relacionadas aos aspectos de sobrevivência, do poder inter e intra-tribal.

Podemos identificar nas pinturas rupestres formas de registro das interações do homem para com o meio em que vive, onde o registro das áreas de caça, pesca, local aprazível para acampamentos eram e o são ainda hoje, objetos constantes de registro. Seriam os primeiros esboços de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Os sistemas de informações geográficas constituem um conjunto de ferramentas para coleta, armazenamento, recuperação, transformação e exibição de dados espaciais do mundo real para um conjunto particular de propósitos (BURROUGH, 1989, v. 40, p. 477-492). Adicionalmente, são ferramentas poderosas na manipulação de dados espaciais e não espaciais, provendo uma forma íntegra (confiável), e integrada, de armazenamento, manipulação e recuperação dos dados, onde o ponto em comum, a referência, são as coordenadas. Desta forma, a partir de uma posição geográfica, pode-se obter uma informação descritiva acerca daquele ponto, e vice-versa.

Os SIGs têm na sua gênese, as inovações e conquistas dos diversos ramos da ciência, como a engenharia, a estatística, a ciência da computação, a cartografia, geodésia, geografia, entre outras, consolidando a multidisciplinaridade e o caráter integrador de tal ferramenta.

A partir desta concepção integradora e de sua multidisciplinaridade, os SIGs fornecem um conjunto de procedimentos e funções analíticas capazes de manipular uma ampla e vasta gama de informações; fornecem ainda a integração dos dados espaciais e não espaciais oriundas de diversas classes de dados, permitindo análises e simulações, sobre um mesmo plano de fundo. Além disso, permite o desenvolvimento de diferentes relacionamentos espaciais entre as entidades geográficas, relacionadas a sua posição. Entenda-se por entidade geográfica, qualquer fenômeno do mundo real, que possua atributos associados a sua localização sobre a superfície da terra, num certo instante ou intervalo de tempo (CÂMARA, 1996).

2.2 Aplicação dos SIGs

Nas últimas décadas evidencia-se um crescente interesse pelo termo “*geográfico*”, pelo espaço físico, e a tentativa do homem de açambarcá-lo na sua inteireza e complexidade.

O verdadeiro valor do SIG está na habilidade de analisar os dados espaciais (GOODCHILD, 1988, v. 47).

Devido ao seu caráter multidisciplinar, os SIG têm tido o seu emprego ampliado e difundido. Têm sido utilizados por diversas instituições públicas e privadas, por organismos sem fins lucrativos, possuindo ainda uma vasta área de aplicação, como agricultura, arqueologia, geologia, planejamento urbano, etc.

Neste sentido, tem sido presenciado o desenvolvimento de técnicas, que buscam uma forma de modelar o aspecto posicional do mundo real, tanto no que diz respeito ao aspecto da organização destas informações, seu armazenamento, como no aspecto da manipulação e extração de relações que permitam um melhor entendimento dos fenômenos.

Ramirez (1994), divide em cinco grupos principais as áreas de aplicação dos SIGs:

- i. Ocupação Humana - redes de infra-estrutura; planejamento e supervisão de limpeza urbana; cadastramento territorial urbano; mapeamento eleitoral; rede hospitalar; rede de ensino; controle epidemiológico; roteamento de veículos; sistema de informações turísticas; controle de tráfego aéreo; sistemas de cartografia náutica; serviços de atendimentos emergenciais.
- ii. Uso da Terra - planejamento agropecuário; estocagem e escoamento da produção agrícola; classificação de solos; gerenciamento de bacias hidrográficas; planejamento de barragens; cadastramento de propriedades rurais; levantamento topográfico e planimétrico; mapeamento do uso da terra.
- iii. Uso de Recursos Naturais - controle do extrativismo vegetal e mineral; classificação de poços petrolíferos; planejamento de gasodutos e oleodutos;

distribuição de energia elétrica; identificação de mananciais; gerenciamento costeiro e marítimo.

- iv. Meio Ambiente - controle de queimadas; estudos de modificações climáticas; acompanhamento de emissão e ação de poluentes; gerenciamento florestal de desmatamento e reflorestamento.
- v. Atividades Econômicas - planejamento de *marketing*; pesquisas sócio-econômicas; distribuição de produtos e serviços; transporte de matéria-prima.

Adicionalmente às categorias relacionadas por Ramirez (1994), convém lembrar que nem sempre há uma classificação unívoca para uma dada aplicação. Como exemplo, podemos citar o estudo do impacto urbano devido as ocorrências de enchentes a nível local; este estudo envolve tanto aspectos sócio-econômicos, como ambientais e de planejamento e uso da terra.

2.2.1 Dados Geográficos

Os seres humanos estão inseridos num mundo, onde a componente espacial é um aspecto preponderante no atuar e desenvolver-se de forma planejada, ordenada e monitorada no meio que os cerca. Geralmente, cada decisão que é tomada no dia a dia, é influenciada, ditada ou tem um alto nível de correlação com o espaço físico. As atividades e pesquisas desenvolvidas pelo homem há milênios, nos mais diversos ramos da ciência, como física, química, astronomia, geografia, sociologia, estão associadas ou correlacionadas, direta ou indiretamente à variável espacial.

Para demonstrar que tal aspecto é de relevada importância, estudos indicam que 90% das decisões tomadas a âmbito Municipal, Estadual ou Federal, estão relacionadas de forma direta ou indireta com o fator localização.

Os aspectos espaciais permitem fazer e responder perguntas como: onde se situa? quais as características do objeto naquela posição? qual o relacionamento deste objeto com objetos de outras localidades e entre suas características?

O termo SIG, pode ser decomposto e analisado. O termo *Sistema* é definido como um conjunto de partes que se inter-relacionam e interdependem entre si, com um

objetivo comum. O termo *Sistema de Informação* é usado como sinônimo de “Sistema de Base de Dados”. Um sistema desenhado para armazenamento, processamento e recuperação de informações, onde a função de um sistema de informação é prover informação ao usuário de modo a executar ou adotar decisões na pesquisa, planejamento e no gerenciamento. O termo *Informação Geográfica* é um conjunto de dados cujo significado contém uma associação ou relação com uma localização específica sobre a superfície terrestre.

Os SIGs manipulam dados georeferenciados ou dados geográficos. O termo *dados geográficos ou georeferenciados* significa fatos, objetos, fenômenos que ocorrem sobre a superfície terrestre e que possuem uma alta correlação com a sua localização sobre a superfície do globo terrestre, em um dado instante ou período de tempo.

2.2.1.1 Tipos de Dados Geográficos

A obtenção de dados geográficos não se constitui em uma tarefa fácil, pois é muito mais que uma simples inserção de dados em um sistema convencional. As dificuldades surgem por duas razões: primeiro por se tratar de informações gráficas, o que naturalmente já é uma tarefa mais complexa do que entrada de dados alfanuméricos, embora os SIGs manipulem entradas de dados alfanuméricas. A segunda, e a principal, é devida a natureza das fontes de dados dessas aplicações (LISBOA FILHO, 1997).

Os dados para os SIGs podem ser capturados sobre as mais variadas fontes, Mapas, Imagens de Satélites, Imagens de Radares, entre outras.

A forma mais comum de representação gráfica dos dados geográficos e seus inter-relacionamentos são os mapas. Os mapas se constituem na mais antiga forma de armazenamento e comunicação da distribuição, dos padrões, do inter-relacionamento dos dados geográficos, representando e planificando a complexidade do mundo real para o usuário. Os mapas possuem características que definem e indicam seu uso, e que precisam ser identificadas quando do uso do mesmo para entrada de dados nos SIGs. São elas: escala, generalização, sistemas de coordenadas, sistema de projeção, extensão da área representada.

Segundo Câmara (1996), os dados geográficos representados em um mapa, são caracterizados a partir de três tipos de componentes:

- i. Característica Espacial – Relativo a localização do fenômeno no espaço. Este georeferenciamento ocorre quando relacionamos o dado geográfico a um sistema de coordenadas terrestres, comumente UTM, latitude, longitude, coordenadas polares. Esta característica ainda explicita relações topológicas e forma (geometria).
- ii. Característica Descritiva – Característica descritiva das entidades espaciais, seus atributos, suas propriedades. Descrevem o que são, geralmente representam grandezas de ordem física, ambientais, sócio-econômico, e infra-estrutura, como exemplo, podemos citar a salinidade média da água em uma bacia, ou em um curso d'água.
- iii. Característica Temporal – Que diz respeito ao período ou época da ocorrência do fenômeno, e sua validade. Muitos fenômenos geográficos permitem estudos sistemáticos por apresentarem padrões temporais regulares, enquanto outros podem ser lineares, cíclicos, irregulares, etc. Quando um dado apresentar regularidade cíclica e espacial, o processo de observação e medição é bastante fácil, e a imposição de uma estrutura para os processos de interpretação é facilitada. O tempo de recorrência de um evento de chuva, que é o período dessa mesma chuva ser igualada ou superada, determinada por processos estatísticos, é um exemplo clássico da importância do aspecto temporal a ser considerado em um SIG, pois tal fenômeno tem influência na determinação e análise de processos hidrológicos.

Dado o caráter aleatório e diverso dos fenômenos sobre a superfície terrestre, estes têm a sua distribuição espacial em uma, duas ou três dimensões. Mensurações feitas em uma estação pluviométrica (dados pontuais); a determinação de uma rede de transmissão, redes de drenagem (dados 1D); monitoramento da área de inundação em uma bacia hidrográfica (dados 2D); e estudos de fenômenos hidrológicos, como análise de uma bacia hidrográfica, cálculo de declive, plano de vertentes, cálculo volumétrico da capacidade de uma barragem (3D).

2.2.1.2 Propriedades dos Dados Geográficos

Os fenômenos espaciais ou dados geográficos possuem propriedades inerentes a sua condição espacial, e que necessitam ser conhecidas, sobretudo para os propósitos de geocodificação.

- i. Localização – Assim como se usa a terceira dimensão (Z), para descrever a elevação a partir da superfície terrestre, as duas dimensões (X,Y) de localização sobre o plano ou sobre a esfera são propriedades básicas para determinar as posições dos dados geográficos.
- ii. Volumetria – Bases de dados geográficos e cartográficos possuem milhares de ou milhões de elementos de dados. Muitos problemas de processamento de dados cartográficos estão relacionados aos problemas de grande conjunto de dados, ocasionando problemas de memória e eficiência na estrutura de dados, bem com de acesso e recuperação.
- iii. Dimensionamento – As entidades em cartografia, são divididas em pontos, linhas e áreas. Sabe-se que o mensuramento varia desde nominal, ordinal, intervalo até razão.
- iv. Continuidade – Alguns tipos de mapas como os altimétricos, assumem uma distribuição contínua da grandeza representada, enquanto outros, como mapas cloropléticos assumem uma distribuição descontínua. A continuidade é uma propriedade geográfica importante, mas que nem sempre obedece à distribuição estatística.
- v. Tamanho – Um ponto é medido ao nível de localização (X,Y), adjacência e elevação. Uma linha possui comprimento, direção, conectividade e movimentação. Um polígono possui topologia, área, limites, perímetro, localização e orientação. O volume tem topologia, continuidade, declividade, vertente, superfície, localização e elevação. Muitas dessas propriedades são relativamente fáceis de medir, se a base cartográfica estiver codificada.

- vi. Distribuição – A densidade é uma medida de distribuição dos fenômenos que se distribuem no espaço. A densidade pode ser calculada pela contagem dos objetos cartográficos e pelos atributos de um conjunto de unidades cartográficas. A densidade de um fenômeno geográfico possui grande aplicação não apenas na medida e geocodificação, mas também na sua generalização, tematização e simbolização dos mapas.
- vii. Padrão – Os padrões descrevem a estrutura da distribuição dos fenômenos geográficos. Essa descrição envolve proximidade e cruzamento entre os objetos. Esse relacionamento envolve distância e tamanho dos padrões bem como evidencia sua repetitividade.
- viii. Vizinhança – Se o padrão é a repetição de um atributo sobre o espaço, a vizinhança define a variação do dado geográfico no espaço. Cada variação depende da distância, indicando que distâncias de separação pequenas significam similaridade e grandes distâncias indicam não uniformidade. Dentro da geografia, a função distância tem sido caracterizada e medida usando-se ferramentas como funções de correlação, modelos de interação espacial, modelos de distribuição de distâncias, etc.
- ix. Contiguidade – Normalmente a contiguidade está relacionada à justaposição dos dados, por isso, é uma expressão geográfica do campo topológico. No partilhamento de limites comuns em mapas políticos, interessa o comprimento desse limite, medido geograficamente, assim como em cobertura de solos, uso de solo, etc. A contiguidade é expressa de diversas maneiras e definida em termos de limite partilhado, como redes, indicando conectividade e na forma de pixels na estrutura grade.
- x. Forma – A medição da forma é bastante complexa e difícil. A forma representa a composição de gráficos de pequenas dimensões.
- xi. Escala – É uma propriedade quantitativa dos dados cuja representação varia e sua faixa é limitada pela finalidade cartográfica dos fenômenos. Sua

particularidade é prover precisão cartográfica e características métricas aos dados ou fenômenos geográficos.

Em relação a classificação acima, devemos incluir uma característica relativa ao aspecto temporal. Este aspecto de suma importância é uma característica intrínseca ao dado ou fenômeno geográfico, pois relaciona seu período de vigência e de coleta, fornecendo indicações importantes no comportamento, mensuração e avaliação de outras características, como distribuição, volumetria e etc.

2.2.2 Modelos de Dados para Banco de Dados Geográficos

Consolidar as características dos dados geográficos, características descritivas, espaciais e temporais, levando em conta as propriedades destes mesmos dados geográficos, torna a tarefa de armazenamento e análise complexa.

Assim como em outros sistemas gerenciadores de bancos de dados (SGBD), a necessidade de modelarmos o universo da aplicação se faz necessária em um SIG, pois da correta modelagem do universo de uma aplicação, em especial uma aplicação espacial, depende a fiel tradução tanto quanto seja possível deste mesmo universo, e consequentemente o correto armazenamento e análise dos dados espaciais e não espaciais, de forma íntegra e integrada.

Modelos são abstrações acerca de alguma coisa, cujo propósito é permitir que se conheça essa coisa antes de construí-la. Como um modelo omite os detalhes não essenciais, sua manipulação é mais fácil que a própria entidade (RUMBAUGH, 1994).

Um modelo de dados conceitual fornece as estruturas para descrição das informações, dos possíveis domínios dos dados e das regras a eles aplicadas.

Considerando-se que os SIGs são sistemas que permitem a realização de análises complexas, a partir da integração de dados espaciais, e considerando-se também que estes dados espaciais tem a sua caracterização definida pela posicionamento no domínio x, y, z e t, além dos atributos a eles associados, um modelo para base de dados espaciais deve ser capaz, então, de modelar o aspecto espaço-temporal, topológicos, das múltiplas representações de um mesmo fenômeno geográfico, da temporalidade dos dados, entre outros.

Assim sendo, este modelo deve prover estruturas que visem representar o aspecto contínuo dos fenômenos naturais, com as suas variações espaço-temporais, em uma linguagem computacional, de caráter discreto.

2.2.3 Componentes de um SIG

Os SIGs, são sistemas que tornam possível a coleta, processamento e exibição de dados espaciais e não espaciais. Os SGBDs, desempenham um papel importante na função de armazenamento e recuperação, e na manutenção da integridade destes dados (Figura 2-1).

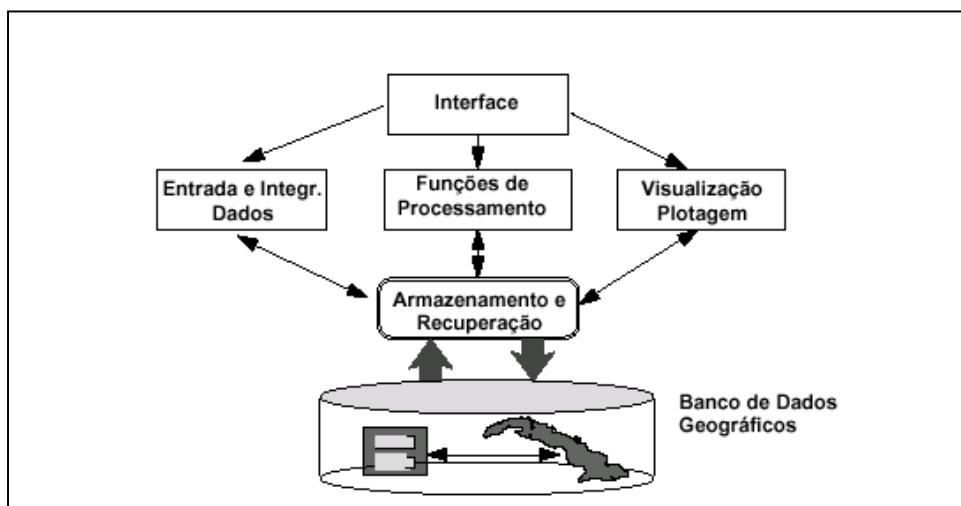


Figura 2-1 – Componentes de um Sistema de Informação Geográfica (Fonte: CÂMARA, 1996)

O enfoque orientado a processos atribuído aos SIGs, utiliza o fato de que SIGs são coleções de sub-sistemas integrados, onde dados espaciais passam por uma sequência de processos de Entrada e Integração de Dados, armazenamento, processamento e Visualização e Plotagem (CÂMARA, 1996).

- i. Entrada e Integração de Dados - A obtenção de dados, é o resultado da observação direta ou indireta do mundo real. Estas observações podem ser: medidas de atributos, determinação de localização e forma ou enumeração de entidades de expressão espacial associadas a fenômenos geográficos e as resultantes das atividades humanas. Pela natureza das observações e dos dados inerentes a um SIG, tal tarefa não é tão simples e imediata como a de um sistema de software convencional.

Os processos de obtenção de dados para SIGs evoluíram e demandaram dos próprios SIGs, uma forma de manipular uma vasta forma de dados. Logo, os dados para SIGs podem ser obtidos através de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto, Levantamentos de Campo, Mapas existentes, GPS (Global Positioning System), Informações Tabulares, Imagens VHS, etc.

A coleta por si só não assegura uma adequabilidade dos dados aos SIGs. Um processo de conversão dos dados analógicos para digitais, e até mesmo digitais para digitais, padronização de escala e sistema de coordenadas, estabelecimento das relações topológicas precisam ser consideradas. É necessário ter em mente também os domínios das entidades geográficas e as próprias entidades geográficas, afim de termos uma relação direta dos dados levantados e convertidos para a modelagem efetuada do universo da aplicação no SIG.

Os métodos mais utilizados na conversão de dados analógicos para digitais em SIG, são digitalização, scannerização, leitura a partir de dispositivos óticos ou de armazenamento secundários.

- ii. Armazenamento – Este sub-sistema é responsável pelo estabelecimento da estrutura de armazenamento e recuperação e, da inserção dos dados, levando-se em conta as características intrínsecas aos dados geográficos, como forma, posição, topologia, escala, continuidade, etc. Cabe ainda neste sub-sistema, a organização da estrutura dos dados convencionais, ditos tabulares e o estabelecimento do inter-relacionamento entre os dados geográficos e não geográficos, a fim de termos uma visão integrada dos vários aspectos que compõem o meio.

Esta tarefa é desempenhada pelos sistemas de base de dados, e está baseada na modelagem de dados que busca retratar com a máxima semelhança possível um conjunto de fenômenos selecionados da realidade geográfica.

No que diz respeito a realidade geográfica, duas abordagens distintas são utilizadas na estruturação da representação desta realidade associadas aos dados geográficos: estrutura matricial (“Raster”) e a estrutura vetorial.

A estrutura matricial é uma representação que divide a área de estudo em uma grade regular constituindo *pixels*, onde cada célula ou *pixel* contém um valor único.

A estrutura vetorial usa primitiva geométrica (ponto e linha), para definição das primitivas gráficas (ponto linha e polígono). Desta forma, na representação vetorial temos a representação da realidade de forma contínua, onde nem todo o espaço é utilizado.

- iii. Processamento – Neste sub-sistema reside o poder diferenciador entre os SIGs e os outros sistemas de informações. Os dados por hora inseridos no SIG ganham uma maior dimensão; as ferramentas de pré-processamento e análise espacial são responsáveis pela agregação e transformação dos dados geográficos em informações com semântica, de forma a atender as indagações formuladas pelos usuários, derivando estas indagações em outras.

Em Teixeira et al. (1992) apud Unesp (2001), dividem as operações que podem ser efetuadas em pré-processamento e processamento. As funções de pré-processamento permitem modificar os dados como um todo com o objetivo de efetuar:

- a. mudanças de escala, projeção cartográfica, estrutura (por exemplo, de vetorial para matricial ou vice-versa);
- b. união de bases de dados;
- c. conversão entre tipos de arquivos, etc...

Para aqueles autores, as funções de processamento propriamente dito, tem por objetivo extrair informações de acordo com as necessidades do usuário, destacando-se as funções de:

- d. Localização de uma entidade e listagem de seus atributos;
- e. atualização dos dados;
- f. cálculo de áreas, perímetro e distâncias;

- g. posicionamento;
- h. operações aritméticas;
- i. cálculos estatísticos;
- j. classificação entre planos de informação;
- k. filtragens espaciais.

A partir dos produtos desta fase como o Modelo Digital do Terreno (MDT), que objetiva a representação digital de uma grandeza com variação contínua no espaço (altimetria por exemplo); cartas temáticas como declividade, solos, uso e ocupação do solo, hidrografia, dados tabulares como pluviometria, vazões, entre outros, é possível se fazer análises espaciais.

- iv. Visualização e Plotagem – Este sub-sistema é responsável pelo formato de saída das informações pertinentes às questões formuladas pelos usuários. Analogamente a quantidade das fontes de entrada de dados em um SIG, a formatação da saída de dados é derivada da formulação da questão e dos dados relacionados, e podem ser de diferentes tipos, tais como mapas impressos, arquivos digitais de imagem, dados tabulares e arquivos multimídia.

De acordo com Câmara (1996), a primeira geração de SIGs era baseada em CAD, com forte ênfase na tradição cartográfica, onde o mapa desempenha papel fundamental. A segunda geração de SIGs, chegou ao mercado no início da década de 90, e foi concebida segundo uma arquitetura dual, com um componente SGBD relacional, e outro componente de software para manipulação dos dados geográficos, mantendo e realizando as conexões com o SGBD. Alguns SIGs comerciais se utilizam ainda de sistemas gerenciadores de arquivos para armazenamento e recuperação dos dados (Spring¹). A terceira geração pode ser prevista como sendo um centro de dados geográficos, ou uma biblioteca digital geográfica, com o gerenciamento de grande quantidade de dados, com acesso remoto.

Observa-se na atualidade uma tendência a modularização dos Sistemas de Informações Geográficas, buscando atender a uma demanda específica dos clientes, sem a necessidade de aquisição de todo o produto, caso da ESRI, com o ArcIms, ArcExplorer, Autodesk, com o Autocad Map, MapGuide, Author, entre outros.

2.2.4 Modelagem Dinâmica nos Sistemas de Informações Geográficas

Tradicionalmente, os SIGs abstraem a representação dos fenômenos espaciais no computador de forma estática, através de mapas (PEDROSA e CÂMARA, 2002). Na representação da realidade física em uma estrutura computacional, indo do universo do mundo real até o universo da implementação, passando pelo universo matemático, conceitual e o universo da representação (paradigma dos quatro universos), a primeira aproximação após a realidade física, é a do universo conceitual, onde o espaço geográfico é modelado segundo duas visões: em campos e objetos. O primeiro modela o espaço geográfico como uma superfície contínua, enquanto o segundo a enxerga como algo discretizado, como entidades distintas.

Esta concepção baseada no modelo newtoniano, onde o espaço é populado por objetos, pontos e referências, por si só não é suficiente e nem captura a variação contínua das componentes espaço-temporal dos inúmeros processos ambientais, quer sejam eles naturais ou artificiais (SUI e MAGGIO, 1999, p. 33-51; PEDROSA e CÂMARA, 2002). Assim sendo, a modelagem dinâmica busca ultrapassar as limitações atuais dos SIGs, onde o seu objetivo é a simulação numérica de processos onde a componente temporal relativa aos fenômenos que ocorrem sobre o espaço, é um dos elementos a serem modelados, a exemplo do que ocorre nos modelos hidrológicos, que simulam quantitativa e qualitativamente o fluxo e transporte da água e de seus sedimentos (BURROUGH, 1998 apud PEDROSA e CÂMARA, 2002).

Tipicamente os SIGs são desenvolvidos a partir de suposições pré-estabelecidas quanto a homogeneidade, uniformidade e universalidade das propriedades de seus principais componentes, que incluem o espaço e as relações espaciais, o tempo e o modelo matemático que descreve o fenômeno. Entretanto, para modelar processos dinâmicos em SIG com o nível necessário de realismo, estas suposições rígidas têm que ser flexibilizadas de tal forma que o sistema seja capaz de representar (COUCLELIS, 1997 apud PEDROSA e CÂMARA, 2002):

¹ Spring – Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas - INPE

- i. espaço como uma entidade não homogênea tanto nas suas propriedades quanto na sua estrutura;
- ii. as vizinhanças como relações não estacionárias;
- iii. as regras de transição como regras não universais;
- iv. a variação do tempo como um processo regular ou irregular;
- v. sistema como um ambiente aberto a influências externas.

Dentro do contexto no uso de modelos que buscam representar a dinamicidade dos fenômenos espaciais na dimensão do tempo, os autômatos celulares vem prestar uma enorme contribuição. Desta forma, neste item, a título de tendências em termos de pesquisas no campo da modelagem dinâmica, faremos menção aos autômatos celulares. A teoria básica é de que o espaço é representado por um vetor de células, onde cada célula pode assumir diferentes estados ao longo do tempo. O tempo varia em intervalos discretos e o estado de todas as células muda simultaneamente em função do seu próprio estado, do estado das demais células em sua vizinhança e de acordo com um conjunto específico de regras de transição (ENGELN, 1995 apud PEDROSA e CÂMARA, 2002).

Ainda segundo Pedrosa e Câmara (2002), como aplicação da modelagem dinâmica na modelagem de processos físicos, processos tais como escoamento da água de chuva, são exemplos clássicos de fenômenos de alto grau de variação do estado da superfície do solo, ao longo do tempo, variação esta determinado pelos inúmeros componentes do fenômeno, sendo sua complexidade dada pelo dimensionamento utilizado e equacionamento matemático utilizado.

3 Modelagem Hidrológica

3.1 Ciclo Hidrológico

Hidrologia é a ciência que estuda toda a manifestação de água na natureza, sua ocorrência, distribuição, circulação, propriedades físico-químicas, o seu efeito sobre o meio ambiente e sobre os seres vivos.

A hidrologia está relacionada ao estudo das precipitações e do escoamento, à associação destes eventos com o meio físico e as alterações deste sobre o meio, como o dimensionamento de obras estruturais, ou seja, abastecimento de água, controle de inundações, drenagem, projetos de barragens, etc.

Os aspectos hidrológicos em que se consideram as constantes movimentações da água no planeta, através da mudança, passando pelos seus diversos estados físicos, denomina-se ciclo hidrológico ou ciclo da água. (Figura 3-1).

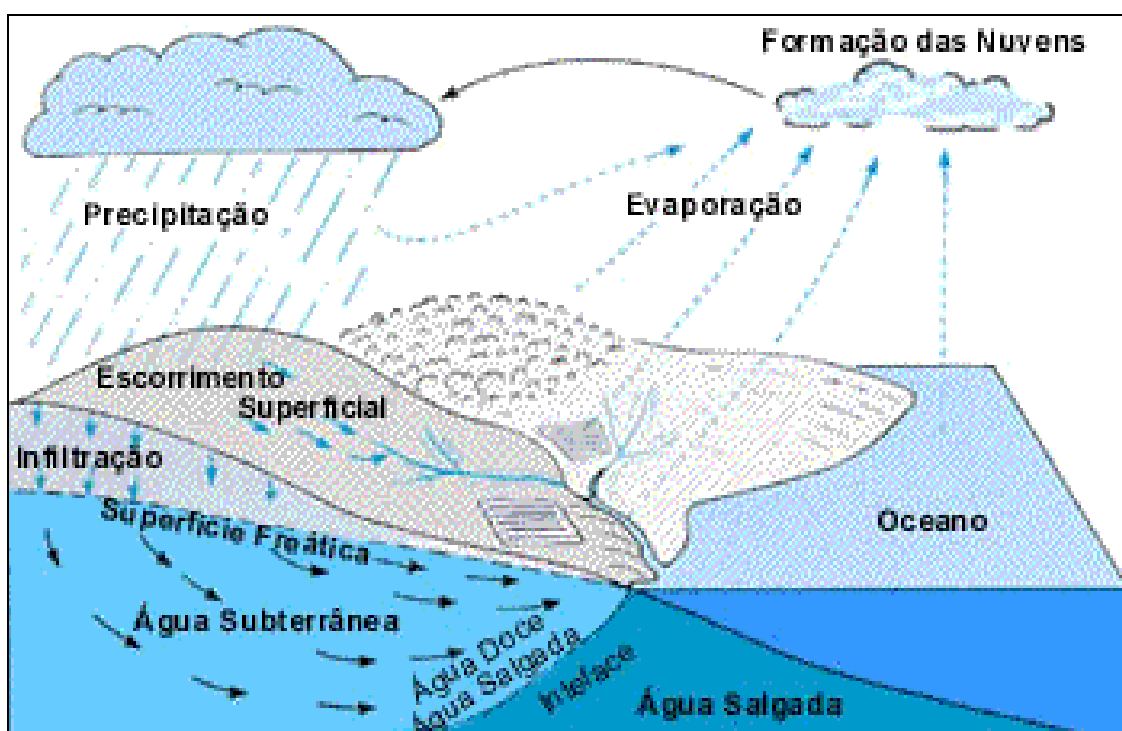


Figura 3-1 Ciclo Hidrológico (fonte: SMA-SP, 2002)

Uma definição simplista, não pode açambarcar no todo a realidade de um fenômeno tão complexo. Assim sendo, podemos de uma forma simplificada destacar alguns tópicos do ciclo hidrológico, não considerando variados aspectos como a íntima relação da frequência e intensidade do ciclo hidrológico com a geografia e o clima local, e as interrupções de vários de seus estágios (STUDART, 2001).

Por ser denominado de ciclo hidrológico, não há determinado um início ou fim para o processo ininterrupto de movimentação das massas de água no planeta. Iniciando a partir da fase de emissão de calor pelo sol, que é a fonte de energia e agente principal do ciclo hidrológico.

O calor liberado pelo sol atua sobre as superfícies, estimulando a água a transformação de estado, do líquido para o “gasoso”. A ascensão do vapor d’água, que conduz à formação de nuvens, onde essas por sua vez, podem deslocar-se sob a ação dos ventos para variadas regiões. Sob condições favoráveis, a água condensada nas nuvens precipita (sob a forma de chuva, granizo, neve), podendo ser dispersa de diversas formas, são elas:

- i. Retenção por parte da vegetação;
- ii. Retenção temporária no solo próximo onde caiu;
- iii. Escoamento sobre a superfície do solo;
- iv. Penetração no solo.

As depressões superficiais porventura existentes retêm a água precipitada temporariamente. Essa água poderá retornar para compor as fases seguintes do ciclo pela evaporação e transpiração das plantas.

Os escoamentos superficiais e subterrâneos decorrem preferencialmente da ação da gravidade, podendo parte desta água ser evaporada ou desviada antes de atingir o curso d’água. Atingindo os cursos d’água, a água prossegue seu caminho de volta ao oceano, completando o ciclo.

A evaporação acompanha o ciclo hidrológico em quase todas as suas fases, seja durante a precipitação, seja durante as diversas fases do escoamento.

3.2 Definição dos Modelos Hidrológicos

Nos últimos anos, os modelos matemáticos têm estado presentes no desenvolvimento de diversas áreas do conhecimento humano, científico e das ciências naturais, como na física, astronomia, biologia, agricultura e hidrologia.

A importância dos modelos reside, entre outros aspectos, no fato de poder obter relações de causa e efeito, sem que com isso tenhamos efetivamente realizado alguma ação sobre o modelo físico real.

No âmbito da hidrologia, modelar deve ser entendido como a representação de um sistema (hidrológico), que busca representar no todo ou em partes o comportamento de um processo hidrológico ou conjunto de processos, em um dado instante ou intervalo de tempo.

Assim, nos modelos hidrológicos, o sistema físico, real, que geralmente é representado, é cada um dos componentes do ciclo hidrológico, no âmbito da bacia hidrográfica.

Segundo Mota (1999), o objetivo de um modelo hidrológico é determinar com eficiência e precisão, os componentes do ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica, e estimar eficientemente o comportamento e a magnitude da água nos fenômenos menos frequentes. A importância e uso dos modelos hidrológicos são primordiais para apreciar, simular e prever os danos causados pelas inundações, solucionar problemas práticos de levantamentos, planejar, projetar e administrar, na tomada de decisão e na gestão dos recursos hídricos.

Modelos matemáticos proporcionam uma forma indireta de simulação, envolvendo a representação de um protótipo do sistema através do uso de equações, incluindo expressões lógicas e relações entre variáveis e parâmetros.

Um modelo de simulação, de um modo geral, pode ser definido como a representação de um sistema através de equações matemáticas, ou seja, a representação do comportamento de uma estrutura, esquema ou procedimento, real ou abstrato, que num dado intervalo de tempo interrelaciona-se com uma entrada, causa ou estímulo de energia ou informação, e uma saída, efeito ou resposta de energia ou informação (TUCCI, 1987, p. 213-324).

Com o desenvolvimento da tecnologia computacional, os modelos matemáticos hidrológicos têm tido sua utilização amplamente difundida, dado o desenvolvimento, disseminação e popularização das técnicas computacionais. No final da década de 50 e

durante a década de 60 foram desenvolvidos os primeiros modelos hidrológicos, com especial destaque para *Stanford Watershed Model-SWM* (CRAWFORD e LINSLEY, 1966). Depois do SWM, muitos modelos foram desenvolvidos, podendo-se citar: (i) SACRAMENTO (BURNASH *et al.*, 1973); (ii) HYMO (WILLIAMS e HANN, 1973), (iii) HEC-1 (HEC, 1981), (iv) IPH II (TUCCI *et al.*, 1981) e (v) SMAP (LOPES *et al.*, 1981) e (vi) MODHAC (LANNA & SCHWARZBACH, 1989).

Com o desenvolvimento de pesquisas visando um maior conhecimento do comportamento dos processos físicos na bacia hidrográfica e relacionados a questões ambientais, foram desenvolvidos modelos hidrológicos mais próximos da realidade física. Exemplos destes modelos físicos incluem: (i) SHE (ABBOTT *et al.*, 1986a, n. 87, p. 45-59; 1986b n. 87, p. 61-77), (ii) TOPMODEL (BEVEN, 1977; BEVEN e KIKBY, 1979), e (iii) IDHM (BEVEN, *et al.*, 1987 apud OLIVEIRA, 1999).

A maior vantagem que estes modelos apresentam em relação aos modelos anteriores, decorre da relação mais direta entre os parâmetros e as características fisiográficas da bacia, o que permite avaliar os efeitos hidrológicos decorrentes de mudanças climáticas e do uso do solo das bacias hidrográficas.

Alguns modelos hidrológicos têm buscado representar não apenas a quantidade de água, mas também a qualidade da água e a produção de sedimento nas bacias. Nesta categoria podem ser citados os modelos: (i) CREAMS (KNISEL, 1980); (ii) SWRRB (WILLIAMS *et al.*, 1985, p. 970-986; ARNOLD *et al.*, 1990) e (iii) SWAT (KING *et al.*, 1996) apud (OLIVEIRA, 1999).

Eventualmente alguns modelos hidrológicos são denominados de chuva-vazão, já que são muitas vezes aplicados com o objetivo de a partir de uma precipitação conhecida, simular a resposta da bacia em termos de vazão para uma determinada seção fluvial de interesse.

No contexto nacional os modelos IPH II - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, (TUCCI *et al.*, 1989, p. 213-324) e o SMAP - *Soil Moisture Accounting Procedure*, (LOPES *et al.*, 1981) são exemplos de modelos hidrológicos chuva-vazão conceituais que têm tido bastante divulgação.

A utilização de modelos matemáticos do tipo hidrológico é baseada em três condições fundamentais: (i) objetivos do estudo, (ii) dados históricos disponíveis e (iii) metodologia proposta. O objetivo do estudo define o nível de precisão desejado para a representação dos fenômenos que ocorrem na bacia hidrográfica. Em contrapartida, esta precisão depende da quantidade e qualidade dos dados disponíveis para aferir a

metodologia, assim o modelo hidrológico é escolhido de acordo com o objetivo do estudo, que definirá o nível de precisão desejado, estando implícito, as questões relacionadas à disponibilidade dos dados (TUCCI, 1987, p. 213-324).

3.3 Classificação dos Modelos Hidrológicos

Os modelos hidrológicos podem ser classificados segundo diferentes aspectos, podendo ser encontrado em Wood e O'Connell (1985, p. 505-558), ou ainda em Maidment (1993, cap. 14, p. 147-167), Vertessy et al (1993, n. 150: p. 665-700), Tucci et al (1998b, v. 3, p. 27-37), apud Rennó e Soares (2000), Zoppou (2001, p.195-231), Clarke (1973), Hydrocomp (2001).

Em uma aproximação inicial, os modelos hidrológicos são aqueles afectos principalmente ao ciclo hidrológico, e os hidráulicos modelam explicitamente o escoamento em canais. Este enfoque está relacionado ao processo modelado. De forma analítica, modelos hidrológicos satisfazem a equação da continuidade, enquanto modelos hidráulicos ou hidrodinâmicos, além da equação da continuidade, satisfazem também à equação da dinâmica ZOPPOU (2001, p.195-231).

De forma geral, os modelos são classificados dentre outras formas, de acordo com o tipo de variáveis utilizadas na modelagem: (i) Determinístico, (ii) Estocástico; pelo tipo de relação entre estas variáveis: (iii) Empíricos, (iv) Conceituais; pela discretização espacial: (v) Concentrados, (vi) Distribuídos; pela forma de representação dos dados: (vii) Discretos ou Eventuais, (viii) Contínuos.

Por determinístico, entende-se aqueles modelos que reproduzem respostas idênticas para o mesmo conjunto de entradas. Por outro lado se na modelagem envolvida, uma das variáveis tem um comportamento aleatório, possuindo distribuição de probabilidade, o modelo é considerado estocástico. No entanto, note que se uma variável de entrada tiver caráter aleatório, ainda assim o modelo pode ser determinístico, se para cada valor de entrada tivermos um único valor de saída.

Os modelos empíricos, são derivados do conceito de que sua formulação não possui nenhuma representação explícita dos processos físicos da bacia, possuindo uma característica regionalista. O enfoque conceitual, também denominado de baseados em processos, pois procuram descrever todos os processos que estão envolvidos no fenômeno estudado. Estes modelos estão fundamentados em formulações físicas, como

a equação da continuidade, associada a uma ou mais equações empíricas que relacionam variáveis e parâmetros do processo.

Adicionalmente, os modelos de base física consideram as equações de conservação de massa, energia e quantidade de movimento, para descrever o movimento das águas sobre a superfície do solo, e nas zonas saturada e insaturada do terreno. Os sistemas resultantes das equações das derivadas parciais são resolvidos geralmente através de técnicas de discretização numérica, como por exemplo, o método das diferenças finitas, dos elementos finitos ou dos volumes finitos. O cálculo é feito para cada célula da malha que representa a bacia. Um exemplo deste tipo de modelo é o *Système Hydrologique Européen* (SHE) apresentado por ABBOTT et al. (1986 a, n. 87, p. 45-59; 1986 b, n. 87, p. 61-77).

Nos modelos concentrados, a área considerada é representada de forma única. Para as variáveis meteorológicas e hidrológicas, bem como para os parâmetros são atribuídos valores médios representativos para toda a área. Já os modelos distribuídos, permitem que a área considerada seja dividida em unidades menores, assumidas como hidrológicamente homogêneas, desta forma, reconhecendo a influência da componente espacial nas variáveis e parâmetros considerados. Os modelos distribuídos então, permitem uma discretização espacial, levando em consideração a variabilidade espacial das variáveis meteorológicas, hidrológicas e parâmetros dos modelos.

Ainda que os fenômenos naturais aconteçam de forma contínua no tempo, na maioria dos casos eles são modelados de forma discreta. Por modelos discretos ou eventuais, pode-se tomar aqueles modelos que representam um simples evento, dependendo da disponibilidade de dados, do evento a ser estudado e da precisão desejada. Nos modelos contínuos temos o período de simulação estendido a um amplo período, sendo determinado a simulação em todos os períodos, quer de cheia ou de seca.

3.4 Calibração dos Modelos

Uma das etapas a serem consideradas na aplicação dos modelos hidrológicos é a calibração, que visa a determinação dos valores dos parâmetros do modelo. Esta calibração pode se dar por meio interativo (tentativa e erro) ou automática.

Pelo método tentativa e erro, o usuário interativamente testa diferentes conjuntos de parâmetros, prosseguindo nesta operação, até alcançar um vetor de parâmetros que

quando utilizado no modelo possa tanto quanto possível, representar a resposta natural da bacia àquela precipitação. Este método é suscetível à experiência do usuário, onde usuários mais experientes por uma correta interpretação dos parâmetros podem convergir para valores coerentes com a precisão almejada mais rapidamente.

No método automático a busca por um vetor adequado de parâmetros, através de métodos matemáticos de otimização, é feita pela minimização (ou maximização) de uma função objetivo que mede o desvio entre as séries de vazão observada e simulada. A função objetivo é a representação matemática desta diferença, e a calibração busca um vetor de parâmetros representativo, capaz de achar o ponto ótimo da função. A cada passo, o algoritmo calcula novo valor da função objetivo, compara com o último valor calculado e segue na direção do valor ótimo para a função objetivo, quando então verifica-se a convergência e encerra-se o processo iterativo. O processo termina ao ser encontrado um ponto ótimo da função (TUCCI et al., 1981; GERMANO, TUCCI E SILVEIRA, 1998, v. 3 n. 4, p. 103-120)

3.5 Modelo IPH II

3.5.1 Modelagem Hidrológica de Bacias Urbanas

O Brasil apresentou, ao longo das últimas décadas, um crescimento significativo da população urbana. No Brasil, o índice de concentração da população residente em áreas urbanas é de 76%. O processo de urbanização acelerado ocorreu depois da década de 60, gerando uma população urbana com uma infra-estrutura inadequada (TUCCI, 1997, p. 5-12).

Em Tucci (1997, p. 5-12) e Zoppou (2001, p.195-231), tem-se que a medida que a cidade se urbaniza, em geral ocorre: (i) aumento das vazões máximas; (ii) aumento da produção de sedimentos; (iii) degradação da qualidade da água.

Em Germano, Tucci e Silveira (1998, v. 3 n. 4, p. 103-120), são apresentadas algumas das dificuldades para a estimativa da vazão em bacias urbanas, são elas: (i) número reduzido de postos fluviométricos, por causa da dificuldade em estabelecer uma curva de descarga, nos efeitos de jusante na seção de medição e na manutenção e operação do posto sujeito a muito vandalismo, e (ii) devido a alteração do uso do solo, as séries hidrológicas não são homogêneas, o que influencia a vazão resultante.

Os componentes básicos de um modelo urbano a serem analisados segundo Zoppou (2001, p.195-231) são: (i) modelagem do escoamento, gerados a partir do escoamento superficial e sub-superficial em decorrência do excesso de chuva; (ii) modelagem da fase de transporte, através da canalização dos poluentes e partículas em suspensão, pelos condutos, canais e etc.

Quando do evento da chuva sobre uma bacia, a mesma pode escoar por uma superfície impermeável ou permeável. Em uma área urbana, considerando a ação do homem, a parcela ínfima que precipita sobre a área permeável segue o ciclo regular, infiltrando e indo alimentar as camadas mais profundas do solo.

Assim, o desenvolvimento da malha urbana tem produzido impactos consideráveis no desenrolar dos processos naturais, sobre esta mesma malha. Para representar e dimensionar a grande diversidade dos fatores envolvidos nestes processos, a tecnologia se faz necessária, através de ferramentas (modelos). Os modelos hidrológicos e recentemente os hidráulicos ou hidrodinâmicos, são as respostas a esta demanda.

Em uma área urbana, o fator preponderante está na parcela que precipita sobre uma área impermeável, que tende a escoar sobre esta superfície. O processo de infiltração é quase nulo, a parcela escoada sobre a superfície impermeável além de aumentar a vazão de pico, vai lixiviando tudo a sua frente, o que em uma bacia urbana implica em poeira, detritos, partículas em suspensão, sendo transportados através da bacia, pelos canais e condutos, e que são denominados “Non Point Source” - NPS. A forma e a quantidade de detritos transportados, são influenciadas pela intensidade e duração da precipitação, e o tempo transcorrido desde a última precipitação. Segundo US. EPA (1999 b), as fontes de contaminações têm suas origens nos mais diversos meios (Tabela 3-1).

Na gestão do espaço urbano concorrente ao gerenciamento dos recursos hídricos, não apenas o escoamento superficial e o aumento da vazão de pico devem ser observados, ou seja, a quantidade, mas também a qualidade da água, uma vez que esta tem reflexo na saúde, na economia, agricultura, no fornecimento de água, entre outros aspectos.

**Tabela 3-1 – Lista dos Poluentes urbanos constante do escoamento superficial
(Fonte : US EPA, 1999b)**

Poluentes	Fonte dos Poluentes
Sedimentos e poluentes em suspensão	Logradouros, Estradas, Construção Civil, Erosão pluvial
Pesticidas e Herbicidas	Canteiros Residenciais, Áreas de agricultura, Acostamentos de estradas, Áreas Comerciais e Industriais
Material Orgânico	Canteiros Residenciais, Jardins, Dejetos Animais
Metais	Automóveis, Pontes, Áreas Industriais, Combustão
Bactéria e Vírus	Dejetos Animais, Ligação de sistema fluvial com Sanitário
Óleos e Hidrocarbonetos	Áreas de estacionamento, Estradas, Postos de Gasolina
Nitrogênio e Fósforo	Fertilizantes, detergentes, dejetos animais, atmosfera

Em alguns modelos urbanos, o escoamento sub-superficial não é considerado, uma vez que a superfície em uma bacia urbana é predominantemente impermeável, impedindo a infiltração.

Outra característica, que deve ser tomada como tendência, está no fato de que na sua grande maioria os modelos hidrológicos urbanos, tendem a integrar um componente relativo ao aspecto da qualidade da água e do transporte de poluentes, ambos decorrentes do processo de urbanização, conforme será exposto na seção 5.1.2.

3.5.2 Estrutura do Modelo IPH II

O modelo IPH II faz parte de uma família de modelos desenvolvidos pelo IPH/UFRGS (Instituto de Pesquisa Hidráulica / Universidade Federal do Rio Grande do Sul), sendo um modelo determinístico - conceitual, para simulação chuva-vazão. O IPH II tem como uma de suas características, ser um modelo simples, com a manipulação de um número mínimo de parâmetros, e baseado em metodologias bem difundidas.

O modelo IPH II, foi desenvolvido no Brasil, possui código fonte aberto, sendo seu algoritmo de fácil compreensão e de amplo suporte. Adicionalmente, tem sido utilizado na simulação de processos chuva-vazão em bacias urbanas.

O modelo baseia-se principalmente no algoritmo de separação de escoamento, desenvolvido por Berthelot (1970). Este algoritmo foi obtido a partir da integração da equação da continuidade, em combinação com a equação Horton, e uma função empírica para a percolação. Berthelot et al. (1972), Sanchez (1972), Muñoz e Tucci (1974), Germano, Tucci e Siveira (1998, v. 3 n. 4, p. 103-120), utilizaram este algoritmo para compor um modelo chuva-vazão tendo-o aplicado, respectivamente às bacias dos rios Capivari, Cauca e Chasqueiro, com resultados convincentes.

O modelo é composto pelos seguintes algoritmos: (i) Perdas por evaporação e interceptação, (ii) Separação de escoamento, (iii) Propagação dos escoamentos superficiais e subterrâneos (Figura 3-2).

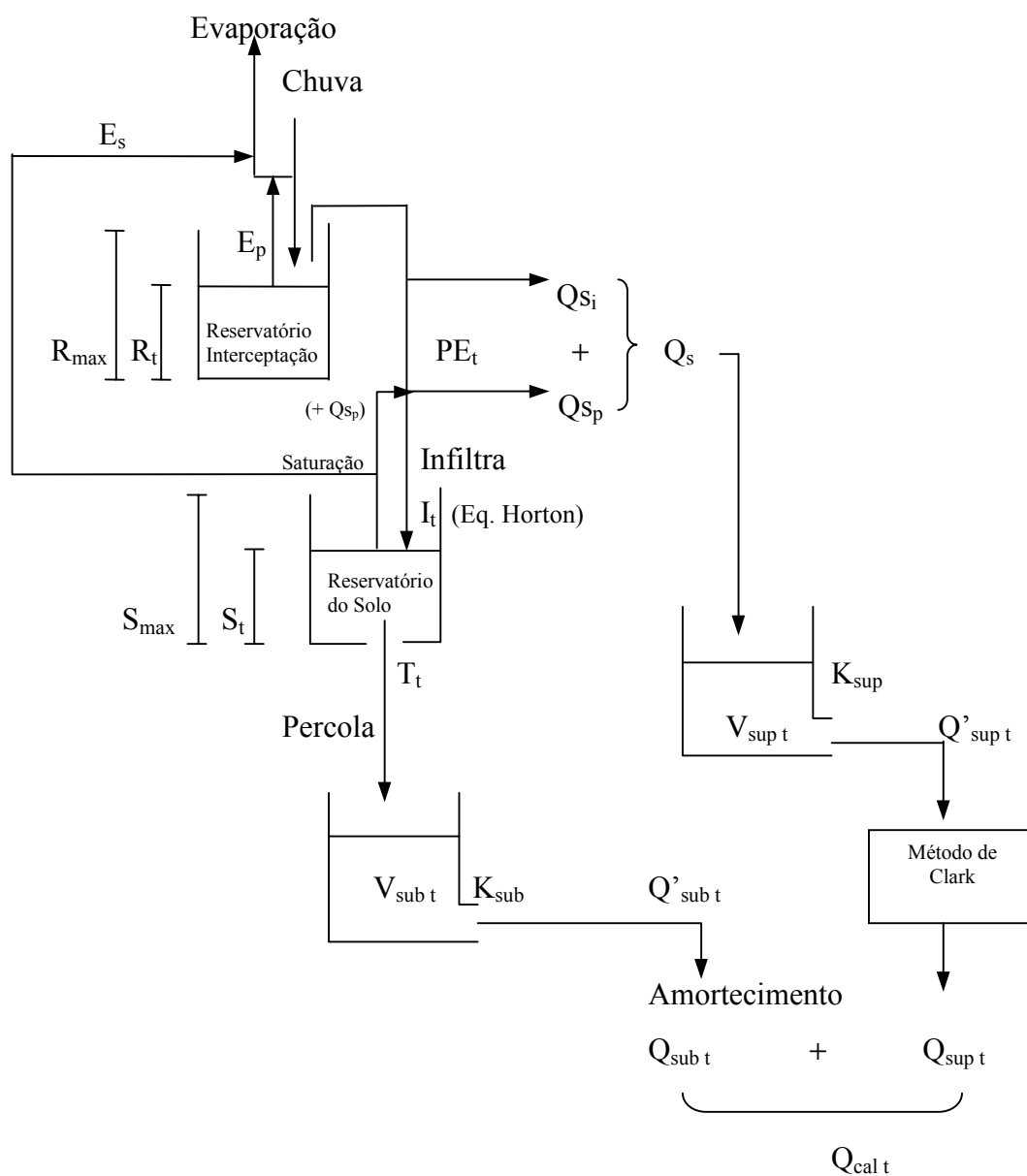


Figura 3-2 - Desenho esquemático do algoritmo do modelo IPH II

O modelo IPH II é descrito a seguir (TUCCI et al., 1981; TUCCI e CAMPANA, 1993, p. 495-504).

3.5.2.1 Perdas por evaporação e interceptação

Nesta etapa são representadas as abstrações provenientes da perda por evaporação e da interceptação. Existem dois parâmetros do modelo associados a esta etapa: um é o nível máximo do reservatório de interceptação “ R_{\max} ” e o outro é “ S_{\max} ”, teor máximo de umidade do solo.

Inicialmente a evaporação potencial é subtraída da precipitação, podendo ocorrer duas situações:

- i. ($P_t > EP_t$) - Se a chuva (P_t) for superior à evaporação potencial (EP_t), a diferença será a chuva excedente; esta então será comparada com o valor da lâmina livre do reservatório de interceptação ($R_{\max} - R_t$), onde o R_t é a variável de estado do reservatório de interceptação (Figura 3-2). Se for menor, toda a chuva será retida no reservatório e a chuva efetiva (PE_t) será nula; se for maior, a diferença entre a chuva excedente e o valor retido constituirá a chuva efetiva, que chega ao solo, e que eventualmente contribuirá para a formação do escoamento superficial.
- ii. ($P_t \leq EP_t$) - Se a chuva for inferior ou igual à evaporação, toda a chuva será absorvida para atender à evaporação e a chuva efetiva será nula. Se ainda houver evaporação residual, esta será suprida pelo reservatório de interceptação. Se este ainda não for suficiente, o déficit de evaporação potencial será alimentado pela umidade do solo, segundo relação linear:

$$ES_t = \frac{EP_t * S_t}{S_{\max}} \quad \text{Eq. 3-1}$$

Onde:

- ♦ ES_t é a taxa de evaporação do solo no tempo t ;
- ♦ EP_t é a evaporação potencial no tempo t ;
- ♦ S_t é a umidade do solo no tempo t ;
- ♦ S_{\max} é o teor máximo de umidade do solo.

Parte da chuva efetiva, é considerada precipitando-se sobre a área permeável, e é utilizada no algoritmo de infiltração, para o cálculo dos componentes de escoamento superficial (Q_{sp}) e percolado (T_t). A outra parte da precipitação resultante, sobre as áreas impermeáveis, é escoada apenas superficialmente, sem passar pelo algoritmo de infiltração (Q_{si}), onde a soma destas duas componentes perfaz o escoamento superficial (Q_s).

IMP é o parâmetro utilizado para definir a porcentagem de área impermeável na bacia. Embora IMP seja um parâmetro, pode ser determinado com base em mapas de uso e cobertura do solo, e nesse caso não estando sujeito a calibração.

3.5.2.2 Separação do Escoamento (infiltração)

Constitui-se basicamente no algoritmo de Berthelot. A versão utilizada para o modelo é decorrente de uma simplificação feita por Tucci (1979).

Nesta fase existem três parâmetros do modelo relacionados: (i) I_o , (ii) I_b , capacidade inicial e mínima de infiltração do solo, respectivamente, e (iii) k_s , taxa de depleção da capacidade de infiltração do solo.

A equação da continuidade aplicada a camada superior do solo, é expressa por:

$$\frac{dS}{dt} = I_t - T_t \quad \text{Eq. 3-2}$$

Onde:

- ♦ S é o armazenamento na camada superior do solo;
- ♦ I_t é a taxa de infiltração no tempo t ;
- ♦ T_t é a taxa de percolação, considerada como escoamento que deixa a camada superior do solo no tempo t .

Para representar I e T , o modelo faz uso, respectivamente, das equações de Horton e Berthelot (TUCCI et al; 1981);

A taxa de infiltração (I) a cada intervalo de tempo “t”, é dada pela equação de Horton:

$$I_t = I_b + (I_o - I_b) e^{-kt} \quad \text{Eq. 3-3}$$

Onde:

- ♦ I_t é a capacidade de Infiltração no tempo t
- ♦ I_b é a capacidade mínima de infiltração no solo
- ♦ I_o é a capacidade inicial de infiltração do solo para $t = 0$
- ♦ k é a taxa de decaimento da capacidade de infiltração, é um parâmetro empírico relacionado ao tipo de solo.

E, de acordo com o algoritmo de Berthelot a percolação (T), para o reservatório é dada por:

$$T_t = I_b (1 - e^{-kt}) \quad \text{Eq. 3-4}$$

Substituindo as equações de Horton (Eq. 3-3) e da percolação (Eq. 3-4) na equação da continuidade (Eq. 3-2) e integrando-se, resulta:

$$S_t = S_o + \frac{I_o}{-k} (e^{-kt} - 1) \quad \text{Eq. 3-5}$$

Onde:

- ♦ S_o é o estado de umidade do solo quando se inicia a percolação
- ♦ I_o é a capacidade de infiltração correspondente

Isolando-se o termo e^{-kt} nas equações de Horton e na da percolação, Eq. 3-3 e 3-4 respectivamente, e substituindo-se na equação 3-5, tem-se:

$$S_t = a_i + b_i I_t \quad \text{Eq. 3-6}$$

$$S_t = b_i * T_t \quad \text{Eq. 3-7}$$

A chuva utilizada nesta fase é a que resultou da aplicação do algoritmo de perdas por evaporação e interceptação, ou seja, chuva efetiva (PE_t).

No algoritmo de Berthelot, a separação dos escoamentos ocorre de duas formas:

- i. ($PE_t \geq I_t$) – Precipitação efetiva (PE_t), taxa excedente da fase de interceptação e evaporação, for superior ou igual à taxa de infiltração durante o intervalo. Integrando-se a equação de Horton, tem-se que:

- ♦ Volume infiltrado

$$V_i = I_b * \Delta t + \frac{I_t - I_b}{e^{-kt}} (e^{-kt} - 1) \quad \text{Eq. 3-8}$$

- ♦ Volume Escoado

$$V_e = (PE_t - I_b) * \Delta t - \frac{I_t - I_b}{-k} (e^{-kt} - 1) \quad \text{Eq. 3-9}$$

- ♦ Volume Percolado

$$V_{perc} = I_b * \Delta t - \frac{Perc_{(t + \Delta t)} - Perc_t}{-k} \quad \text{Eq. 3-10}$$

Onde:

Δt é o intervalo de tempo.

- ii. ($PE_t < I_t$) – Quando a precipitação efetiva (PE_t), é inferior a taxa de infiltração durante o intervalo de tempo. Neste caso assume-se que toda a precipitação efetiva se infiltra, ocorrendo duas possibilidades:

$$a) I_{t+\Delta t} > PE_t$$

$$\diamond V_i = PE_t \quad \text{Eq. 3-11}$$

$$\diamond V_e = 0 \quad \text{Eq. 3-12}$$

$$\diamond V_{perc} = PE_t * \Delta t - S_{t+1} + S_t \quad \text{Eq. 3-13}$$

$$b) I_{t+\Delta t} > PE_t$$

Neste caso deve-se dividir o intervalo de tempo Δt , em duas partes, sendo Δt_x , a duração do primeiro subintervalo, do qual $I_x = P$. Após a cálculo de S_x e T_x , através do mesmo procedimento seguido no caso (a), ou seja, $I_{t+\Delta t} > PE_t$, extrai-se o valor de Δt_x da equação da continuidade.

O volume escoado superficialmente no primeiro subintervalo será nulo. Observando-se que $V_t = PE_t * \Delta t_x$, as variáveis do segundo subintervalo podem ser calculadas como no caso $I_t > PE_t$, utilizando como Δt o valor $(\Delta t - \Delta t_x)$. Os volumes são obtidos pela soma dos dois intervalos.

3.5.2.3 Propagação Superficial e Subterrânea

A fase de propagação representa todos os processos de translação, amortecimento do escoamento superficial e subterrâneo. Nesta fase, dois parâmetros do modelo estão relacionados: K_{sup} , coeficiente de recessão do reservatório superficial, e K_{sub} coeficiente de recessão do reservatório subterrâneo.

O escoamento superficial ($Q'_{sup \ t}$) será submetido a um procedimento de translação e de amortecimento através do método de Clark, resultando em:

$$Q_{sup \ t+\Delta t} = Q_{sup \ t} e^{-1/K_{sup}} + V_{sup \ t} \left[1 - e^{-1/K_{sup}} \right] \quad \text{Eq. 3-14}$$

Onde:

- ♦ $V_{sup\ t}$ é o volume superficial após a translação pelo histograma tempo-área

Por sua vez o escoamento subterrâneo ($Q'_{sub\ t}$) passará por um procedimento de amortecimento em reservatório linear simples, resultando na seguinte expressão:

$$Q_{sub\ t+\Delta t} = Q_{sub\ t} e^{-1/K_{sub}} + V_{sub\ t} \left[1 - e^{-1/K_{sub}} \right] \quad \text{Eq. 3-15}$$

Onde:

- ♦ $V_{sub\ t}$ é o volume subterrâneo após o procedimento de amortecimento pelo modelo de reservatório linear simples.

A vazão gerada pelo modelo será dada então:

$$Q_{cal\ t} = Q_{sup\ t} + Q_{sub\ t} \quad \text{Eq. 3-16}$$

3.5.3 Conceituação dos Parâmetros do Modelo IPH II

Os parâmetros utilizados pelo modelo (Tabela 3-2), são parâmetros que, de acordo com as características da bacia hidrográfica, como solo, uso e cobertura, umidade, e também das condições climáticas antecedentes a evento, necessitam ser reajustados.

Assim sendo, bacias com alto grau de urbanização, ou com solos em condições de saturação, apresenta pequenos valores para R_{max} . Já bacias com alto índice de cobertura vegetal, possuem altos valores para R_{max} .

I_o , I_b e h , são parâmetros da fase de separação do escoamentos. O parâmetro I_o , define a capacidade máxima de umidade do solo, I_b define a capacidade mínima de infiltração, enquanto h depende do tipo de solo.

Segundo Tucci (1979), os parâmetros I_o e I_b , variam com o valor de h . O aumento de I_o , I_b e h , produzem a redução do volume escoado superficialmente. Ainda, a influência de I_o diminui a medida que diminui a o valor de h , aumentando a influência de I_b .

Os parâmetros k_{sup} e t_c , determinam a propagação superficial. O parâmetro k_{sup} , que é o tempo de retardo do escoamento superficial, depende do tempo de concentração da bacia, do armazenamento e da celeridade da onda, que é função da vazão de pico. O tempo de concentração define o histograma tempo-área e pode ser estimado previamente por expressões adequadas ao sistema.

O parâmetro K_{sub} , representa o tempo médio de esvaziamento do reservatório de escoamento subterrâneo. Este parâmetro pode ser estimado a partir da recessão dos hidrogramas observados. (GERMANO, TUCCI E SILVEIRA, 1998, v. 3 n. 4, p. 103-120).

Tabela 3-2 - Quadro de parâmetros do modelo IPH II

<i>Parâmetros</i>	<i>PARÂMETROS MODELO IPH II</i>	<i>Unidades</i>
R_{max}	Nível máximo do reservatório de interceptação	mm
S_{max}	Teor máximo de umidade do solo	mm
I_o	Capacidade de infiltração para $t=0$	$mm\ h^{-1}$
I_b	Capacidade de infiltração mínima	$mm\ h^{-1}$
k	Parâmetro empírico função tipo do solo	adim.
T_c	Tempo de concentração	h
K_{sup}	Coefficiente de recessão do reservatório superficial	h
K_{sub}	Coefficiente de recessão do reservatório subterrâneo	h
IMP	Porcentagem de área impermeável	%

4 A Aplicação dos Modelos Hidrológicos no Contexto dos SIGs: Integração Arcview v. 3.2 – IPH II

4.1 Formas de Integração dos SIGs com os Modelos Hidrológicos

Os SIGs são utilizados em aplicações que geralmente, envolvem uma quantidade de dados muito grande para serem manuseados por processos convencionais. Um SIG pode manipular uma base de dados georreferenciados que considere centenas de

características de uma região, bem como centenas de fatores associados a cada característica ou localização (SIMÕES, 1993).

Na previsão e determinação de áreas sujeitas a inundações e aos seus efeitos, vários fatores são preponderantes. Fatores como volume do escoamento superficial, descarga máxima, velocidade, área impermeável da bacia, cobertura do solo, precipitação, drenagem, morfologia, entre outros. Cabe aqui ressaltar que os fatores citados são afetos aos modelos hidrológicos utilizados e que a sua escolha está subordinada a fatores e aspectos diversos.

De acordo com Tucci (1998a), a aplicação de modelos hidrológicos chuva-vazão, é baseada principalmente na:

- ♦ Discretização da bacia hidrográfica (dependente do modelo);
- ♦ Definição e aprendizado do modelo;
- ♦ Seleção e preparo das variáveis de entrada (chuva, evapotranspiração potencial, e dados de vazão para calibração);
- ♦ Aquisição de dados físicos das bacias;
- ♦ Determinação dos parâmetros.

Tendo em mente que os processos hidrológicos variam no espaço e no tempo, e que os sistemas de informações geográficas são ferramentas por excelência na coleta, armazenamento, recuperação, análise e apresentação de dados destas dimensões. O que se busca com a utilização dos modelos hidrológicos aplicados ao contexto SIG, além de fornecer uma boa representação/visualização do meio físico, são novas perspectivas de implantação, monitoramento de medidas profiláticas na condução da gestão do planejamento urbano, visando um maior controle do processo de urbanização e dos fatores que conduzem aos eventos de enchentes.

Neste sentido, os SIGs se alinham a esta proposição de uma forma explícita, uma vez que a fisiologia de um SIG, tem como característica intrínseca a análise espacial, combinando e manipulando dados espaciais e não espaciais, oriundos de diversos planos de informação, gerando novos planos, que possam ser utilizados em outras combinações

e contextos diferenciados daquele inicial. Estas análises têm a característica precípua de serem georreferenciadas.

O termo Modelagem Hidrológica Espacial (MAIDMENT, 1996), traduz a integração destas duas tecnologias: a modelagem hidrológica que visa simular o comportamento, a quantidade e a qualidade da água existente sobre a superfície da terra, e o SIG, enquanto ferramenta de análise aplicada sobre esta mesma superfície.

Uma das características preponderantes dos SIGs, está na natureza integradora de diversas tecnologias. Disciplinas como Geografia, Cartografia, Geodésia, Matemática, Estatística, Engenharia Civil, Ciência da Computação, Inteligência Artificial, Sensoriamento Remoto, e muitos outros ramos das ciências sociais, humanas e tecnológicas, contribuem para esta natureza, formando o pano de fundo para as mais variadas operações na dimensão do espacial.

Estas técnicas que compõem e integram um SIG, quando utilizadas de forma isolada, não são capazes nem suficientes para dar subsídios, nem prover de informações suficientes um sistema de informações geográficas. Assim sendo, o sensoriamento remoto por si só não efetua a mensuração de vazão ou pico de cheia, mas pode ser inserido no contexto de modelagem hidrológica a partir do momento em que pode suprir de informações, tais como geometria da bacia, uso e cobertura do solo, rede de drenagem.

O sensoriamento remoto pode também servir para imagear áreas inundadas para fins de inferência, adquirindo-se imagens a partir de cenas obtidas quando da passagem da órbita do satélite por sobre aquela bacia, ou área objeto, sem prejuízo do período de retorno da órbita; os efeitos de uma inundação podem ser observados por até duas semanas ou mais após a ocorrência do evento, não sendo assim necessário o imageamento logo após a inundação, tornando-se possível aguardar a passagem do satélite pela área em questão (AWRA, 1974, p. 1023-1086).

Em Pilar et al. (2000), tem-se a aplicação do sensoriamento remoto na caracterização da cobertura vegetal e da classificação e uso do solo, como elementos a partir dos quais foram estimados os coeficientes de rugosidade para as células pertencentes a rede de drenagem. Neste contexto foram utilizadas imagem LANDSAT TM 3 e TM 4 (resolução do pixel de 30 x 30 m). Os coeficientes de rugosidade foram utilizados na determinação dos tempos de deslocamento por célula, onde acumulando estes tempos de deslocamento por célula, até a saída da bacia, foi obtido um outro mapa que é o mapa de tempos de concentração por célula, derivando daí o mapa de isócronas,

ou seja, um mapa que exhibe as linhas que unem os pontos de mesmo tempo de deslocamento ao exutório da bacia.

Em Pilar e Depettris (2000), a determinação de áreas impermeáveis foi realizada através da classificação de imagens LANDSAT TM5 (resolução 30 x 30), nas sete bandas. Foram utilizadas também fotografias aéreas (escala 1 : 5000 aproximadamente) como subsídio para identificação das áreas de treinamento para a classificação das imagens. O método utilizado na classificação das imagens foi o da classificação supervisionada.

O uso de Modelos Digitais do Terreno (MDT), possibilitam a extração de informações como a declividade, por conseguinte das direções preferenciais de fluxo superficial, o que possibilita a estimativa do tempo de viagem da água de um ponto da bacia até o seu exutório. O MDT permite ainda o mapeamento da área atingida pelo evento de inundação, exibindo o alcance do evento às autoridades, auxiliando no trabalho de assistência às vítimas.

Nas análises hidrológicas, o caminho por onde a água escorre, a delimitação das áreas ou sub-regiões que contribuem para formar cada sistema ou rede de drenagem, ou de bacias de contribuição, são informações básicas para modelagem hidrológica. Essas informações são retiradas da forma do relevo, através de mapas de uso e cobertura, geomorfologia, e por conseguinte e adequada representação digital de mapeamento temático.

Um dos métodos para obtenção da rede de drenagem é conhecido como D8 (INPE, 2000). A idéia central do método, é que para cada célula componente da representação do relevo, procurar-se o vizinho (oito direções) (Figura 4-1), que possua valor de cota menor que a cota do ponto central considerado. A rede de drenagem será determinada a partir da grade acumulada.

Para a delineação das áreas de contribuição, das bacias hidrográficas, a metodologia utilizada, também baseada na representação do relevo no formato grade, é a determinação das células que efetivamente contribuem para um dado ponto de saída. A linha de contorno destas células delimitarão a área de contribuição de um dado sistema de drenagem (INPE, 2000).

120	96	123
80	← 100	176
105	99	126

Figura 4-1- Método D8 (oito direções) (Fonte: INPE, 2000)

De uma forma parcial ou total, temos a contribuição dos SIGs como ferramentas de apoio ao gerenciamento e controle dos recursos hídricos.

Assim sendo em Pilar et al. (2000) foi encontrada uma proposta de utilização de um MDT na obtenção do hidrograma unitário (HU), decorrente do Histograma Tempo-Área (HTA), sendo este último subsídio para a obtenção do hidrograma unitário. Nesta proposta o SIG foi considerado, como ferramenta de apoio a complementariedade dos dados hidrológicos.

Em Silveira e Desbordes (1999, v. 4, n. 1, p. 35-48), uma proposta de adoção de modelo chuva-vazão distribuído com uma abordagem simples, para simulação de cheias freqüentes na bacia semi-urbanizada do arroio Dilúvio, em Porto Alegre. O modelo foi concebido com apenas três parâmetros: a velocidade de escoamento de pixel a pixel, a constante do modelo reservatório linear simples e a capacidade de infiltração sub-urbanas (rurais).

Os planos de informação materializados através do SIG para este mesmo estudo, introduzem as espacializações das grandezas relacionadas com o escoamento: drenagem, topografia, uso e cobertura do solo, impermeabilização, etc. Assim para cada informação distribuída no espaço, existe um plano que atribui a cada célula o valor correspondente a informação espacial (Figura 4-2).



Figura 4-2 – Representação em um SIG das informações espaciais (Adaptação: SIMÕES, 1993)

Este estudo (ibid.), permitiu avaliar satisfatoriamente o papel relativo das superfícies urbanas e sub-urbanas na produção de escoamento, a possibilidade de representação do processo de propagação e a influência da distribuição espacial da precipitação e da ocupação do solo na geração dos escoamentos.

Em Cordero e Medeiros (2001), foi analisado um modelo distribuído chuva-vazão, para a previsão de cheia em tempo real, com a utilização de um SIG. O modelo possui dois componentes fundamentais: um algoritmo que determina as perdas hidrológicas, utilizado para determinar o escoamento superficial em cada célula da bacia e outro algoritmo que realiza a propagação do escoamento superficial, de célula a célula até a saída da bacia. Foram utilizados os dados da litologia, do uso do solo e do MDT, segundo uma resolução espacial de 400 m x 400 m. Também foram usados os dados de chuva de diversos postos pluviográficos e de vazões da seção considerada.

A delimitação de áreas ribeirinhas potencialmente sujeitas à inundação, e a concorrência por parte do homem para ocupação destas áreas são objetivo do estudo em Anhert (2001) e Ferraz (1996), onde são propostas a criação de áreas com restrição de ocupação, em função das enchentes e da declividade. O primeiro estudo, utiliza o

método de Stevens para a determinação dos níveis de água de um curso d'água, enquanto o segundo se faz valer de uma regressão linear para logo em seguida ambos, com a utilização dos SIGs, efetuarem a delimitação das áreas inundadas e as análises espaciais necessárias para a criação das áreas com restrição de uso de solo.

Dando um passo adiante, relativo aos aspectos operacionais e de análise espacial, nos últimos tempos tem-se evidenciado uma forte tendência à integração dos modelos hidrológicos aos Sistemas de Informações Geográficas. Esta tendência busca disponibilizar dados geográficos, proporcionando facilidade de manuseio e rapidez nas análises, aspectos afins, ou seja, a componente espacial juntamente com eventos relacionados a esta componente espacial.

Assim em Ahrens, Olivera e Maidment (1998), é apresentada uma nova versão do modelo HEC-1, o Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Esta nova versão traz embutida além de inovações operacionais, funções que permitem a integração da referida interface com produtos oriundos dos SIG's, como temas de cursos d'água, bacias hidrográficas entre outros.

O HEC-HMS é uma ferramenta desenvolvida para servir de pré-processamento aos parâmetros necessários a uma larga variedade de modelos hidrológicos.

Em GISHYDRO'99 (2002), "Watershed Modeling System" (WMS) é apresentado como uma ferramenta de determinação dos parâmetros relacionados a um grande número de modelos, entre eles, HEC-1, HEC-HMS, HSPF, entre outros modelos conceituais.

O WMS foi desenvolvido com o intuito de subsidiar a geração dos temas de entrada, aos quais integrados ao MDT, fornecem subsídios para determinação de parâmetros de uma ampla gama de modelos, como: HEC-1, HEC-HMS, HSPF, entre outros.

Na integração entre os Sistemas de Informações Geográficas, e modelos hidrológicos, têm-se três elementos principais: (i) os modelos hidrológicos propriamente ditos, que emulam os processos hidrológicos; (ii) a representação gráfica, os mapas da área onde o evento estudado se materializa (bacias hidrográficas); e (iii) os dados tabulares, descritivos tanto dos parâmetros dos modelos, como das séries hidrológicas necessárias aos processos de calibração e simulação (MAIDMENT, 2002).

Os mapas e os dados tabulares, podem ser integrados utilizando-se a tecnologia de geoprocessamento. Os SIGs são sistemas capazes de proceder à operações de banco de dados, relacionadas a componente espacial, efetuando simulações e análises. Este

interrelacionamento entre dados gráficos e os dados tabulares, permite uma interação dinâmica entre as alterações efetuadas nestes dados, e a sua representação gráfica, onde estas alterações são refletidas imediatamente.

Embora na atualidade os Sistemas de Informações Geográficas sejam utilizados como pré-processadores ou pós-processadores de informações para os modelos hidrológicos, funcionando muito bem no papel de visualizadores, parametrizadores, para manipular dados, ainda há problemas a serem resolvidos, e técnicas a serem implementadas, no sentido de promover uma melhor integração entre os SIGs e os modelos hidrológicos (MAIDMENT, 2002).

Em Sui e Maggio (1999, p. 33-51), são apresentadas basicamente quatro formas de integração dos SIGs com os modelos hidrológicos, são elas: i) Encapsular SIG no modelo hidrológico; (ii) Encapsular os modelos hidrológicos no SIG; (iii) Baixo acoplamento entre modelos hidrológicos e SIGs; e (iv) Alto acoplamento entre modelos Hidrológicos e SIGs.

O primeiro caso, objetiva o uso por parte do modelo hidrológico das funcionalidades dos SIGs, que passa a ser visto como mero visualizador, e de caráter irrelevante no processo de modelagem. A implementação não se submete a nenhuma restrição de estrutura de dados, existente em um SIG, e este tipo de integração contemplam a possibilidade de incorporação de modelos mais novos. Como exemplo deste tipo de integração, têm-se as últimas versões do RiverCAD, HEC-RAS 2.0, RiverTools, and MODFLOW (amplamente citados na literatura).

No segundo caso, SIGs encapsulando modelos hidrológicos, vemos empresas comerciais de SIGs promovendo integração de soluções de modelagem e análise hidrológica aos seus produtos. É o caso do ArcStorm's e ArcGrid da ESRI, InRoad's da InterGraph, entre outros. Este enfoque é um incremento nas funcionalidades de um SIGs, porém longe de ser satisfatório no sentido de integração e análise. As funcionalidades de modelagem são usualmente simplistas, e a operação de calibração deve ser implementada fora do ambiente SIG.

A integração com forte acoplamento, encapsula modelos hidrológicos aos SIGs, através de programação, ou macros. Este enfoque propicia um único ambiente de interação para o usuário, simplificando a operação do produto.

No enfoque de baixo acoplamento entre SIGs e modelos hidrológicos, a comunicação é feita via arquivos, padrão ASCII (American Standard Code for Information Interchange). Este enfoque é mais racional para as operações de

modelagem e análise, uma vez que envolve produtos já consagrados nos dois domínios, mantendo suas funcionalidades intactas e minimizando programação. Este foi o enfoque adotado nesta dissertação, conforme apresentado a seguir.

4.2 Estrutura da Integração Arcview v. 3.2 – IPH II

Basicamente pode-se dividir a metodologia adotada na integração Arcview v. 3.2 – IPH II, em dois grupos de atividades: o grupo de atividades realizado genuinamente por ferramentas SIG, e o grupo de atividades realizado pelo modelo hidrológico chuva-vazão IPH II.

Ambos os grupos de atividades foram integrados em um único ambiente, e de forma transparente podem ser executados em um SIG, devendo ser observada a precedência das operações (Figura 4-3).

Através da ferramenta SIG, obtêm-se os parâmetros necessários a utilização do modelo hidrológico chuva-vazão IPH II. No processo de modelagem hidrológica, além do modelo propriamente dito, com a representação do todo ou parte do ciclo hidrológico, existem também uma série de dados de ordem fisiográfica, como área da bacia, fator de forma, comprimento do talvegue de contribuição desta bacia, entre outros, que são necessários ao processo de modelagem e calibração. Na figura 4-3, tem-se a precedência das operações a serem realizadas até o processo de modelagem hidrológica.

Observa-se na Figura 4-3 que, partindo-se do plano de informações das curvas de nível (isolinhas) e de mais dois planos, hidrografia (rede de drenagem) e pontos cotados, o MDT é elaborado, seguido de uma correção necessária à modelagem hidrológica, e que é procedida eliminando-se os fossos (do termo em inglês “sink”) conforme será descrito na seção 4.4.1.

A partir do MDT “corrigido”, transformando-se este plano para uma representação matricial (grid), onde aplicando-se o método D8, define-se a direção do fluxo, célula a célula, denominado mapa de direção de fluxo ou mapa de escoamento (do termo em inglês “flow direction”, conforme descrito na seção 4.4.2).

(“Watershed Delineation”), cuja determinação é auxiliada pelo plano do ponto de exutório da bacia (“outlet point”), conforme descrito na seção 4.4.2 e seus subitens.

Adicionalmente, complementando o conjunto de informações necessárias a determinação dos parâmetros do modelo IPH II, a partir da utilização de fotografias aéreas em formato digital e georreferenciadas (formato GeoTiff), pode-se obter além da área impermeável, a classificação do uso e cobertura do solo para a área considerada, servindo de entrada também para a determinação do coeficiente CN, de amplo emprego em hidrologia.

A partir destes planos de informações, é que os parâmetros de caráter fisiográficos, como área da bacia (A), declividade (S), fator de forma (XN^2), comprimento do maior talvegue (L), tempo de concentração (T_c) e área impermeável (IMP) para o modelo IPH II puderam ser obtidos, servindo à determinação de parâmetros do modelo, e por conseguinte ao processo de calibração.

Ainda, uma vez de posse das variáveis fisiográficas, por simples emprego destes, obtêm-se o tempo de concentração, observando-se a conversão das unidades e a semântica das variáveis nas fórmulas. Assim temos o cálculo para Ribeiro, Ventura, Germano e Kirpich e outros.

4.3 Arcview v. 3.2

O “software” SIG utilizado foi o ArcView, versão 3.2, por ser de ampla aceitação, utilização e suporte, além de ser um padrão reconhecido de mercado, com uma vasta base implantada.

A modularização de produtos é uma forma encontrada pelo mercado de dar escalabilidade aos seus produtos. Assim sendo, neste trabalho foram utilizados extensões do ArcView 3.2 relacionadas as atividades realizadas. Destas extensões, relacionadas na Tabela 4-1, algumas são genuínas do ArcView e outras foram obtidas de bibliotecas públicas de extensões para o ArcView.

Tabela 4-1 - Lista de Extensões necessárias a modelagem Hidrológica -ArcView

² Ainda que geralmente na literatura o fator de forma seja definido com K_f , nesta dissertação será adotado XN , decorrente do uso do sistema utilizado na fase de calibração, na modelagem hidrológica com IPH II

Extensões	Versão	Descrição	Fonte
Spatial Analyst	2.00	Implementa análise e modelagem espacial	ESRI ³
3D Analyst	1.00	Modelagem de superfícies e visualização em 3D	ESRI
Hydro	1.1	Extensão do Spatial Analyst para suporte à modelagem hidrológica	ESRI
Xtools	-	Ferramentas para manipulação de temas vetoriais e matriciais, como interseção, união, etc.	ESRI Download
Watershed Delineation	-	Delineação de bacias hidrográficas topográficas	ESRI Download

4.3.1 Planos de Informação

No processo de modelagem hidrológica, além do modelo propriamente dito, com a representação do todo ou parte do ciclo hidrológico, existem também uma série de dados de ordem fisiográfica, conforme descritos na seção 4.2, que são aplicados na determinação de alguns dos parâmetros do modelo.

Essas informações são obtidas de diferentes planos de informação. Entende-se por plano de informação, a organização das informações geográficas de uma forma lógica e estruturada, onde cada coleção de características geográficas e descritivas semelhantes, são reunidas e agrupadas. Assim, uma base cartográfica pode ser separada segundo estas características geográficas e descritivas em diversos planos de informação, como hidrografia, estradas e curvas de nível.

4.3.2 Representação das Informações

De acordo com Câmara (1996), no universo de representação definem-se as possíveis representações geométricas que podem estar associadas às classes do universo

³ A fonte descrita como ESRI, significa o site da empresa, em <http://arcscripits.esri.com>, onde podem ser dados "download" das extensões mencionadas na tabela 4.1

conceitual. Inicialmente deve-se considerar as duas grandes classes de representações geométricas: A representação Matricial e a representação Vetorial.

Na representação vetorial, a representação de um elemento ou objeto do mundo real, é feita de forma a tentar representá-lo da forma mais fiel quanto possível. Qualquer entidade ou elemento gráfico constante em um mapa é representado pelas primitivas gráficas: ponto, linha, área ou polígono. Na representação matricial, o posicionamento das entidades ou objetos gráficos são determinadas por pares de coordenadas, logo deve-se estabelecer uma cuidadosa relação entre o sistema de coordenadas na representação da entidade gráfica e o sistema de coordenadas geográficas adotado.

Na representação matricial, o termo raster, pixel, surge como sinônimo de células retangulares regulares, por intermédio do qual se constrói célula a célula o objeto a que se pretende reproduzir. Esta representação se utiliza do conceito de matriz para a representação do espaço, onde cada célula armazena o valor do atributo naquela região, sendo cada célula acessada de forma unívoca por suas coordenadas. A resolução do sistema é dada pela relação entre o tamanho da célula na representação gráfica, e a área por ela coberta no terreno.

4.4 Modelo Digital do Terreno

Segundo Simões (1993) o modelo digital do terreno (MDT) é a representação de superfícies físicas ou artificialmente criadas, através de processos matemáticos, ou seja, através da modelagem procura-se determinar a superfície que melhor representa um conjunto de dados pontuais, em geral por ajuste de funções ou por interpolações.

A modelagem digital de elevação é feita normalmente sobre estruturas em forma de grade, podendo ser regulares ou irregulares. As grades são polígonos que associadas umas as outras cobrem toda a superfície de interesse.

A grade regular comumente utilizada é a grade regular retangular, e traz na sua denominação a sua definição. Grade, por possuir uma estrutura matricial; regular por possuir um espaçamento tanto no eixo dos X como no eixo dos Y constante, e retangular pois este espaçamento mesmo sendo constante, são diferentes para os eixos X e Y.

A adoção deste modelo está muito ligada a facilidade de associação da sua representação, que por ser matricial é de fácil concepção; além do fato de a grande maioria das amostras serem fornecidas neste formato.

Porém este modelo não é de fácil manutenção, uma vez que na inserção ou remoção de um dado ponto, toda a malha deve ser refeita em toda a sua totalidade. Ainda neste mesmo modelo, o número de redundâncias é grande devido a estrutura matricial rígida.

Na estrutura irregular (TIN – Triangular Irregular Network), a representação da superfície ocorre através de polígonos triangulares, com vértices sobre os pontos amostrais para compor o modelo, interligando-os três a três. Há várias formas de interligar estes pontos, porém a utilizada pelo Arcview 3.2, foi a triangulação de Delaunay. Na representação irregular a redundância é reduzida, já que em áreas com muita movimentação a malha triangular é mais fina, ao passo que em áreas com pouca movimentação a malha obedece a um padrão mais espaçoso, além do que, a representação de discontinuidades pode se dar por intermédio de linhas ou pontos.

4.4.1 Representação do Escoamento - Mapa de Direção de Fluxo

Consolidado o MDT, efetua-se uma transformação na representação deste modelo, passando de estrutura vetorial de representação para uma estrutura matricial, onde a cada célula é atribuído um valor numérico representativo da altitude para a área representada.

Após esta transformação, com a utilização da extensão Hydro para Arcview 3.2, constante da tabela 4-1, é caracterizado o mapa de direções de fluxo (flow direction), que nada mais é do que, célula a célula, a determinação da direção preferencial de escoamento do fluxo.

No entanto, antes desta operação, é necessário o pré-processamento deste plano, que consiste na eliminação de fatores que normalmente não existem no relevo real, mas que aparecem na construção da representação matricial do MDT. Os fatores a serem considerados no pré-processamento são as regiões de mínimos locais ou fosso (Sinks), e as regiões sem variação altimétrica, ou regiões simplesmente planas.

Na eliminação das regiões planas, lança-se mão de um algoritmo de transformação de morfologia matemática (ROSIM, 1999). A idéia é elevar o nível da

área de fosso até que um ponto de elevação da grade seja maior que o maior valor assumido para o fosso (Figura 4-4).

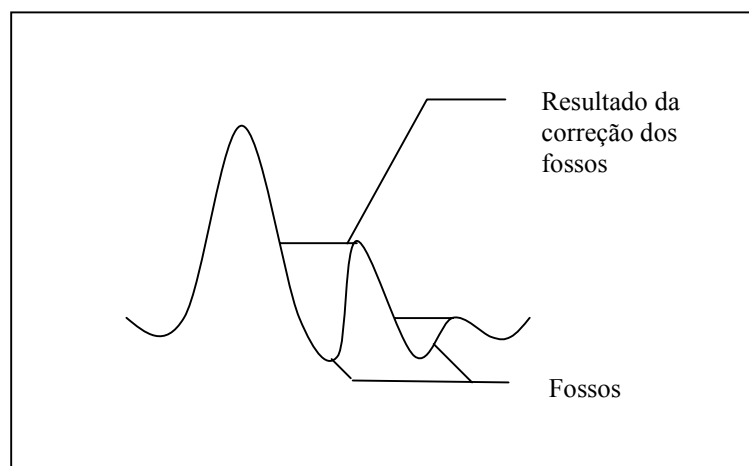


Figura 4-4 – Desenho esquemático de eliminação dos Fossos (“Sinks”)

A eliminação da área plana é obtida a partir da criação de uma rampa de distância geodésica (ROSIM, 1999).

Após esta etapa de pré-processamento, pode-se gerar finalmente a grade de direção de fluxo (DUGGER, 1997). Para esta operação se aplica o método D8 (ROSIM, 1999), conforme descrito na seção 4.1, e que consiste em para cada célula da grade, procurar o vizinho (vizinhança 8), que possua o menor valor de elevação, e que seja menor que o valor da elevação para o ponto central (Figura 4-1). Caso mais de uma célula vizinha satisfaça tal condição, apenas uma será escolhido, a que tiver mais próxima (direção norte-sul, leste-oeste). Se houver mais de uma célula que satisfaça a referida condição, será escolhida a primeira, no sentido horário, em relação a uma direção norte arbitrada (ROSIM, 1999).

4.4.2 Processamento do Mapa de Direção de Fluxo

A partir do mapa de direção de fluxo, da análise ao nível de célula, pode-se obter por funcionalidades do Arcview 3.2 vários produtos (MASON e MAIDMENT, 2000; GYSHIDRO, 2002), que serão descritos a seguir:

4.4.2.1 Mapa de Direção de Fluxo Acumulado

O mapa de direção de fluxo acumulado (“Flow Direction Accumulated”), representa uma grade em que cada célula representa o valor acumulado do fluxo, ou seja, o valor acumulado em uma determinada célula, em um local x , corresponde ao número de células que contribuem efetivamente para formar o fluxo e que chegam até aquele ponto (Figura 4-5 a e b).

A tradução prática deste plano de informação, é que o conjunto dos números de pixels acumulados para um determinado ponto, é a área de drenagem (A) para aquele ponto.

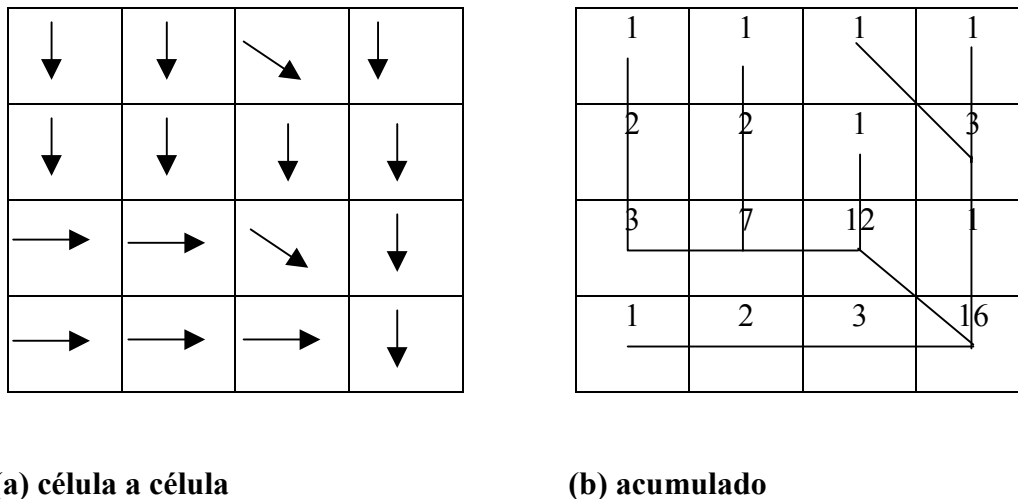


Figura 4-5 - Desenho esquemático de definição da direção do fluxo

A área de drenagem (A) é utilizada como parâmetro de entrada no cálculo do tempo de concentração, fórmula do Ventura, e ainda no processo de calibração do modelo IPH II, conforme Figura 5-18. Este valor de área é dado pelo valor acumulado de pixels para esta célula, multiplicado pela área da célula.

4.4.2.2 Mapa de Declividade

Cada célula presente no plano de informação de elevação é potencialmente circunvizinha de oito outras células. A declividade tomada sobre cada uma destas oito direções, é a diferença de elevação entre as células, sobre a distância entre as mesmas células consideradas, tomadas de centro a centro das mesmas.

A distância entre células tomada no sentido dos pontos cardeais (N, S, E, O), o comprimento é dado por “l”, e no sentido dos pontos colaterais (NE, SE, SO, NO), é dado por $l\sqrt{2}$.

Considerando a Figura 4-6, neste caso com uma resolução horizontal de pixel de 10 x 10m, e com elevação medida em metros, pode-se calcular a declividade da seguinte forma:

Pela fórmula temos que a declividade em relação à célula central, nas oito direções é:

- ♦ No sentido dos pontos cardeais:

$$\text{Decl} = (\Delta H) / l$$

Onde :

ΔH , é a diferença de altitude, tomada a partir do ponto central

l, é o comprimento de lado da célula

- ♦ No sentido dos pontos colaterais

$$\text{Decl} = (\Delta H) / l\sqrt{2}$$

130	110	120
90	100	110
60	60	80

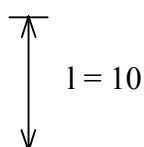


Figura 4-6 - Desenho esquemático para cálculo da declividade, célula a célula

4.4.2.3 Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica⁴, é definida a partir do plano mapa de direção de fluxo, mapa de direção de fluxo acumulado e das coordenadas do ponto de saída (“outlet point”), também denominado de exutório da bacia.

A área da bacia passa a ser configurada, como sendo o envoltório de todos os pontos que efetivamente contribuem para o fluxo e chegam até o exutório, ou a saída da bacia. O ponto de saída da bacia hidrográfica, deve ser definido sob a maior resolução possível, sobre a célula do plano mapa de direção de fluxo acumulado. Isto se faz necessário, para que de forma efetiva se obtenha o conjunto de pontos que contribuem, no sentido do fluxo, com o escoamento para àquele ponto, determinando assim a bacia.

No plano de informação Bacia Hidrográfica, temos a configuração da linha envoltória que reúne todos os pontos que contribuem para o fluxo de escoamento, e que deságuam no ponto de saída da bacia.

A partir da análise circumspecta às células que compõem a bacia hidrográfica, podemos inferir uma grandeza relativa a distância percorrida por uma gota de água, a partir de um ponto qualquer até o exutório da bacia, no momento em que a chuva se inicia, (“flow lengths ou travel distances”).

Esta grandeza consiste no somatório das distâncias, computadas célula a célula, a partir de um ponto qualquer localizado na bacia, até o seu exutório. Esta distância é

⁴ Bacia Hidrográfica, é a área definida por uma linha de contorno, drenada por um curso d’água ou um sistema interligado de cursos d’água dispondo de uma simples saída, para que toda a vazão efluente seja descarregada

medida na direção do fluxo de escoamento, e também tomada de centro a centro das células.

Como resultado desse processamento, temos um plano de informação que representa visualmente, áreas de mesma distância de viagem para a bacia em estudo, definidas por polígonos de tonalidade diferentes (Figura 4-7).

Sabendo-se que a distância de viagem é computada no sentido do fluxo, e que é dado de célula para célula a partir do ponto mais remoto da bacia, pode-se inferir que a distância de viagem do exutório desta mesma bacia é nulo, e o valor máximo está em algum lugar no divisor da bacia a montante.

Se o sentido de determinação da distância de viagem é invertido, e determinando como ponto de partida o exutório da bacia, o ponto de saída da bacia assumirá o valor máximo para distância da viagem, o mesmo valor máximo assumido pelos pontos localizados no divisor da bacia, localizado a montante, e determinado quando do sentido do fluxo do escoamento, ou seja, de montante para jusante.

De posse desses dois planos de informação, a distância de viagem computada no sentido do fluxo do escoamento e no sentido inverso, é efetuado uma adição desses dois planos.

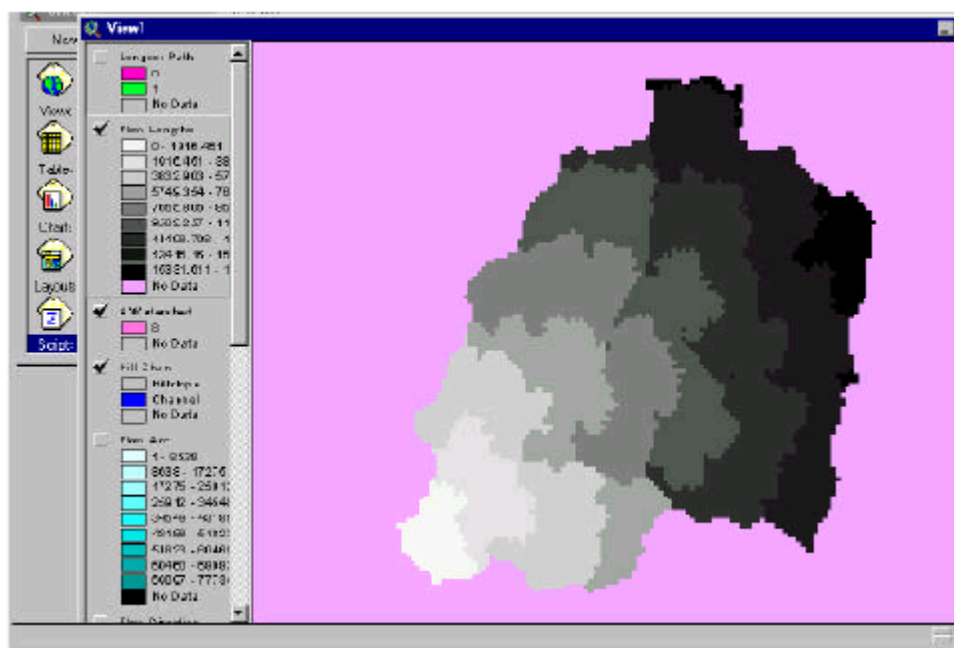


Figura 4-7– Mapa que delimita áreas de mesmo tempo de viagem, até o ponto de saída da bacia (Fonte: GISHYDRO’99, 2002)

O resultado desta adição será um plano de informação com valores de distância de viagem aumentados, onde cada pixel contém a soma da distância de si mesmo até o

exutório da bacia, e de si mesmo até o divisor, valores estes resultados da inversão do sentido do fluxo no cálculo da distância de viagem.

Neste plano resultante da adição haverá uma seqüência de pixels, onde o valor assumido por eles será o valor do máximo obtido tanto no ponto de saída da bacia como no divisor. Esta seqüência de pixels, esta linha, é a linha de maior distância (L) que uma gota d'água pode percorrer na bacia hidrográfica, até chegar no exutório (Figura 4-8)

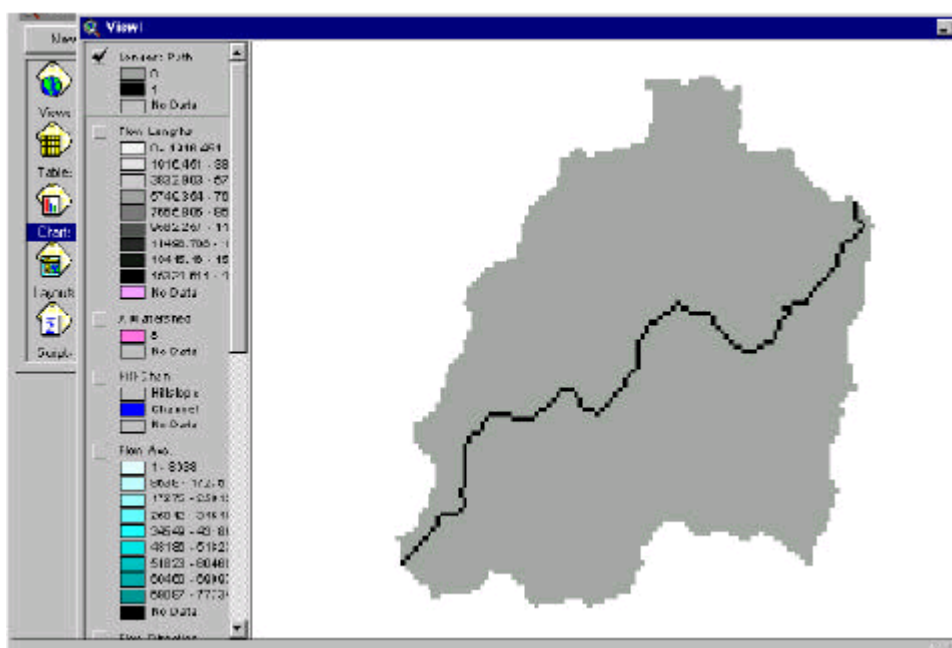


Figura 4-8 – Plano de Informação, contendo a maior distância a ser percorrida, para uma bacia.

O parâmetro área da bacia (A), também pode ser obtido através do plano bacia hidrográfica, este seria o somatório do conjunto de células, multiplicado pela área da célula.

Como plano derivado do plano da bacia hidrográfica, o plano do máximo comprimento do talvegue (L), é obtido para a bacia determinada, sendo a partir dele, determinado também o fator de forma (XN), sendo este a razão entre a área e o máximo comprimento do talvegue ao quadrado.

Ainda sobre o plano máximo comprimento do talvegue, pode-se determinar por funcionalidades do Arcview 3.2, a declividade para a bacia determinada (ver seção 4.4.2.2).

A utilização destes parâmetros se evidencia, quando do cálculo da propagação do volume superficial para o modelo IPH II, feita até a seção principal da bacia (ponto de saída).

Este cálculo é feito pelo método de clark (Figura 3-2), utilizando a teoria do histograma tempo-área para representar o efeito de translação, e do amortecimento pelo modelo do reservatório linear simples.

Na teoria do histograma tempo-área, as variáveis consideradas são a área da bacia (A), tempo de concentração (T_c) e fator de forma (XN) da bacia.

Para o cálculo da propagação do volume subterrâneo, igual comportamento se observa, através do modelo do reservatório linear simples, sendo considerados parâmetros como área da bacia (A) e o fator de forma (XN).

5 Estudo de Caso: A Bacia Hidrográfica do Rio Morto - Jacarepaguá

5.1 Enchentes

Desde tempos imemoriais as enchentes são fatos e incontestavelmente trazem prejuízos de ordem social, econômica, ambiental e humana.

Podemos evocar da história a primeira enchente que se tem notícia, onde Noé e sua família teriam sido os únicos sobreviventes.

Na mitologia grega, Zeus enviou uma enchente para exterminar os seres humanos da idade do Bronze, onde Prometeu, sabedor de tal destino da humanidade, exortou seu filho Deucalião, à construção de uma embarcação.

Podemos evocar ainda Heródoto, quando da citação: “*O Egito é uma dádiva do Nilo*”, fazendo alusão às enchentes do Rio Nilo, que carregava consigo uma lama constituída de material orgânico, depositando-a nas várzeas que eram aproveitadas na agricultura.

Apesar de toda a evolução tecnológica e conceitual aplicada à previsão, monitoramento, prevenção e contingência de desastres naturais, nunca o homem sofreu tantas e tão graves consequências com as chamadas "fúrias da natureza" como na última década (JOHN, 2001). A conclusão está no estudo (ibid.), que demonstra a estreita relação entre alterações feitas pelo homem no meio ambiente e o agravamento dos desastres por inundação (Tabela 5-1⁵).

Tabela 5-1 – Número de grandes eventos de inundações e prejuízos associados pelo mundo (Fonte: JOHN, 2001)

Década	Nº Eventos de Inundações	Prejuízos relativo a década de 50
1950	20	1x
1970	47	5x
1990	86	15x

⁵ Foram considerados grandes eventos, devido a extensão dos prejuízos e das vidas humanas, demandando ajuda internacional

Os riscos maiores estão nos grandes aglomerados urbanos e na interferência com os rios, seja pela ocupação de suas várzeas, pela construção de barragens, canalização, retificação. É cada vez maior o contingente humano exposto a enchentes ou às consequências destas transformações (JOHN, 2001). Identifica-se uma associação das enchentes com o processo de urbanização e as alterações e atividades do homem sobre a superfície do planeta.

5.1.1 Inundação Natural da Várzea Ribeirinha

São aquelas enchentes que atingem a população que reside no leito maior do rio, de acordo com os eventos chuvosos extremos, em média com tempo de retorno superior a dois anos. Esse tipo de enchente, normalmente ocorre em bacias maiores ($> 1000 \text{ km}^2$) e é decorrência do processo natural. Os impactos sobre a população são causados, principalmente, pela ocupação inadequada do espaço urbano. Essas condições ocorrem em geral, devido às seguintes ações:

- i. Como no plano Diretor Urbano da quase totalidade das cidades brasileiras, não existe nenhuma restrição quanto ao loteamento de áreas de risco de inundação, a sequência de anos sem enchentes é a razão suficiente para que empresários loteiem áreas inadequadas.
- ii. Invasão de áreas ribeirinhas que pertencem ao poder público, pela população de baixa renda.
- iii. Ocupação de áreas de médio risco, que são atingidas com frequência menor, mas que quando o são, sofrem prejuízos significativos.

Adicionalmente a estes itens, tem-se áreas que mesmo tendo sofrido intervenções estruturais no sentido de minimizar os efeitos das cheias, que, tendo sido dimensionadas dentro de um contexto histórico, quando confrontadas com as exigências atuais, estas intervenções não suportam a demanda oriunda da ocupação a "posteriori".

Ainda podem ser citados, aspectos relacionados aos fatores sócio-econômicos, onde no relacionamento com o meio que o cerca, é estabelecida a interação não harmônica, onde o acúmulo de lixo e detritos é uma marca evidente; o aspecto

econômico como fator segregante é decisivo na ocupação muitas vezes desordenada de áreas impróprias e sujeitas a inundação, ocasionando desmatamento de áreas ribeirinhas, aliada ao inchaço populacional das grandes cidades, que sem a devida infra-estrutura, faveliza a população para ela atraída.

5.1.2 Inundações devido à Urbanização

Em Hall (1984), é apresentado um fluxograma que contempla as duas grandes vertentes para as causas das enchentes urbanas, com as suas conseqüências: (i) Crescimento da densidade populacional, e (ii) Crescimento da densidade de construções (Figura 5-1).

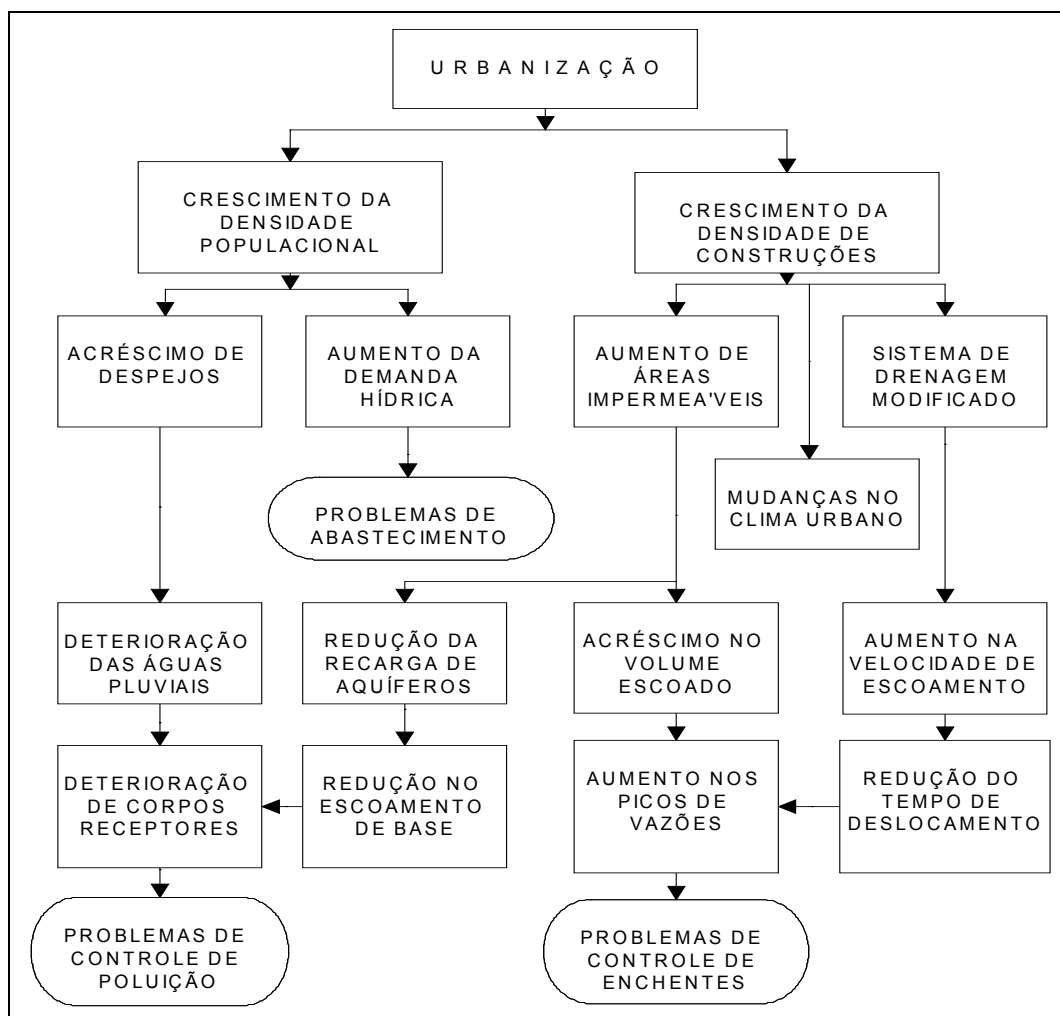


Figura 5-1 - Os efeitos da urbanização nos processos hidrológicos (HALL, 1984)

Com o crescimento da densidade populacional, aumenta a demanda por água. Adicionalmente, outro fator decorrente do aumento populacional, vem do sentido desta ocupação, que geralmente se concretiza de jusante para montante. Sendo o cálculo de drenagem feito de forma pontual, não considerando futuras descargas de áreas mais a montante, há um aumento do escoamento e da velocidade das águas, acarretando um estrangulamento nos exutórios das bacias. Adicionalmente, o crescimento da densidade populacional, resulta na alteração da qualidade da água. Durante e após os eventos de cheias, aumenta a concentração dos resíduos, com implicações na propagação das ondas de cheias.

Quanto ao aspecto do crescimento da densidade de construções, quando ocorre uma alteração no que concerne a ocupação do solo, de área de vegetação nativa, para área industrial, residencial, onde predominam avenidas, edifícios e grandes áreas impermeabilizadas, o sistema hidrológico da região sofre uma sensível alteração, pois aspectos como infiltração e escoamento são modificados, decorrente do aumento de área impermeável, acarretando acréscimo do volume escoado superficialmente, e depleção do nível dos aquíferos. Adicionalmente, o sistema de drenagem natural é modificado, dando lugar a canais retificados, e sistemas de micro e macro drenagens, demandados pelo processo de urbanização. Ainda neste contexto, é percebido uma modificação no regime de vazões, sendo seu tempo de pico reduzido.

Estas alterações do cenário natural, a aglomeração de pessoas e construções, a diminuição de cobertura vegetal, o aumento de áreas impermeáveis e a dinâmica do movimento dos ventos por parte das ações antrópicas, contribuem para possíveis alterações climáticas.

5.1.3 Mudanças Climáticas e Inundações Urbanas

Experimenta-se atualmente, em escala global, um crescimento da temperatura média (Figura 5-2). Essa tendência acentua-se a partir do início da era industrial, figurando como causa de algumas destas alterações, as ações antrópicas (JOHN, 2001; US EPA, 2002).

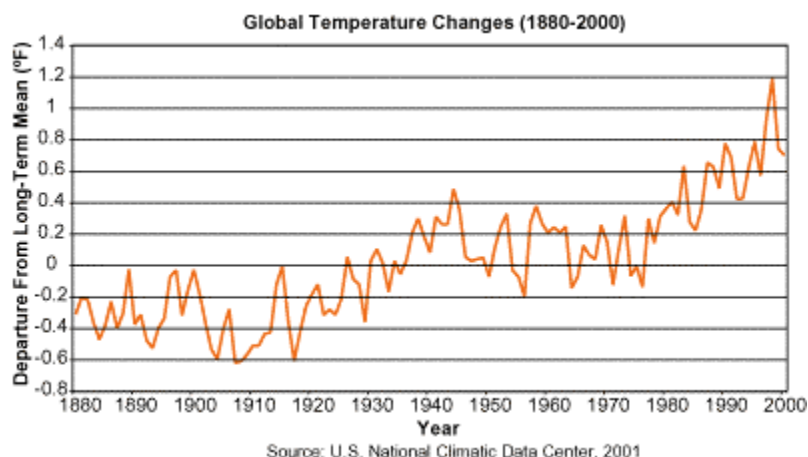


Figura 5-2 - Evolução da Temperatura Média Mundial (Fonte: US EPA, 2002)

O efeito estufa é um fenômeno natural, onde há a retenção por parte de certos gases e componentes da atmosfera terrestre, da energia calorífica refletida pela superfície do planeta, o que mantém a terra em uma temperatura média de 15° C, possibilitando a existência de vida. O que se observa é que em função do aumento das atividades humanas desenvolvidas sobre a superfície, temos um acentuado aumento das taxas de emissão de Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido Nitroso (N₂O), o vapor d'água na atmosfera terrestre, modificando o sistema climático do planeta (ROCCO, 1997).

Os níveis de concentração de dióxido de carbono na atmosfera tem aumentado (Figura 5-3), levando ao aumento da absorção de calor por parte da atmosfera, causando um superaquecimento e uma decorrente alteração do sistema climático terrestre (MCT, 2001).

O efeito estufa, provocado pelas alterações do meio ambiente pelo homem, provocam um aumento da temperatura e podem por consequência destes fatores causar um aumento dos níveis dos oceanos, aumento dos extremos do clima, com acentuadas ocorrências de chuvas, ventos e tempestades (US EPA, 1998).

Concorrendo para esta situação no perímetro urbano, pode ocorrer ao longo do tempo um aumento considerável da temperatura, devido à alta concentração de edificações, e superfícies impermeáveis, criando um clima urbano próprio (BRANDÃO, 1992, v. 21, cap. 6, p. 143-200; HALL, 1984); o pavimento sendo negro aumenta a

absorção de calor, irradiando-o para as suas adjacências. O aumento das temperaturas também cria condições de movimento de ar ascendente que pode propiciar o aumento da precipitação e intensificando os eventos convectivos, contribuindo para a intensificação das enchentes (HALL, 1984; TUCCI, 1999, p. 147-174).

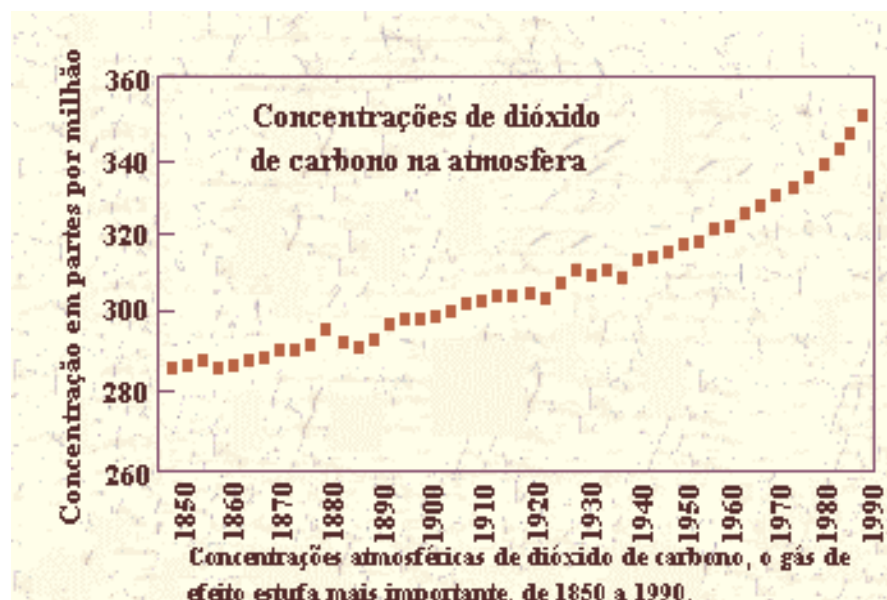


Figura 5-3 - Concentração de CO₂ na atmosfera do Planeta (Fonte: MCT, 2001)

5.2 Enchentes no Município do Rio de Janeiro : O Caso de Jacarepaguá

Na Cidade do Rio de Janeiro há registros de grandes eventos de chuva e inundações, datadas desde a época Brasil Colônia, onde uma enorme variedade de registros de fortes tempestades seguidas de enchentes, são ilustradas na literatura desde 1646 (Tabela 5-2). A cidade do Rio de Janeiro, tem sido afetada por fortes chuvas. Seu clima tropical, sua localização entre morros, além dos baixios e manguezais que cercavam e cercam a cidade, características que corroboram para dificultar o escoamento das águas e de forma tendenciosa para a ocorrência de enchentes.

Tabela 5-2 – Eventos históricos de enchentes na cidade do Rio de Janeiro (Fonte: Galvão, 1924)

Ano do Evento	Evento Histórico	Comentário
1646	Fortes tempestades seguidas de enchentes	Governador Duarte Corrêa, propõe a abertura de um canal partindo da praia da carioca, indo até a prainha (Praia contígua ao Morro de São Bento)
1711	Quando da invasão Francesa	Durante a batalha, a população se refugiava nas matas, sob intenso bombardeio e fortes chuvas
1811	Denominada “Água dos Montes”	Choveu durante sete dias consecutivos, inundando o campo de Sanct’Anna e dos ciganos. Isolou também o chefe de governo na Quinta da Boa Vista
1860	Baile em Homenagem aos Chilenos	Os convidados em vestidos de gala, molhados, com as calças arregaçadas, levando à mão suas botinas

Já em PCRJ (1922, p. 128-142), temos a citação de fatores a serem considerados na prevenção das cheias e que contribuíram para as inundações daquele ano:

“Outros elementos, porém não de menor valor, influem sobre as inundações, além da frequência e da quantidade das chuvas, e da grandeza da bacia em que ella se produz: o gráo de permeabilidade do terreno, o clima, o facto do rio estar sujeito a maré, a configuração hydrographica, a vegetação, e ainda nas cidades, a extensão da área calçada, a natureza dos calçamentos adoptados, e, por fim, a existencia ou não de um systema de esgotos de aguas pluviaes”.

No período mais recente pode-se ressaltar as enchentes de 1966, 1988 e 1996.

A Baixada de Jacarepaguá, área na qual a bacia hidrográfica do Rio Morto está inserida, pode ser tida como uma área representativa de toda a cidade do Rio de Janeiro, onde aspectos como baixios, contra-fortes, clima e ocupação urbanas estão presentes de uma forma escalar à do Município do Rio de Janeiro.

A Baixada de Jacarepaguá está situada no litoral sul do Estado do Rio de Janeiro, no município do Rio de Janeiro, estando limitada pelos paralelos 22° 53’ 29’’ S e 23° 04’ 25’’ S e meridianos 43° 15’ 24’’ W e 43° 33’ 28’’ W.

Segundo a divisão institucional da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, a Baixada de Jacarepaguá, está localizada na Área de Planejamento 4 (AP 4) (Figura 5-4), sendo constituída pelas Regiões Administrativas de Jacarepaguá e Barra da Tijuca, XVI e XXIV respectivamente. As Regiões Administrativas (RA) citadas compreendem 19 bairros, são eles: Jacarepaguá, Anil, Gardênia Azul, Cidade de Deus, Curicica, Freguesia, Pechincha, Taquara, Tanque, Praça Seca, Vila Valqueire, Joá, Itanhangá, Barra da Tijuca para a XVI RA, e Camorim, Vargem Pequena, Vargem Grande, Recreio dos Bandeirantes e Grumari para a XXIV RA.

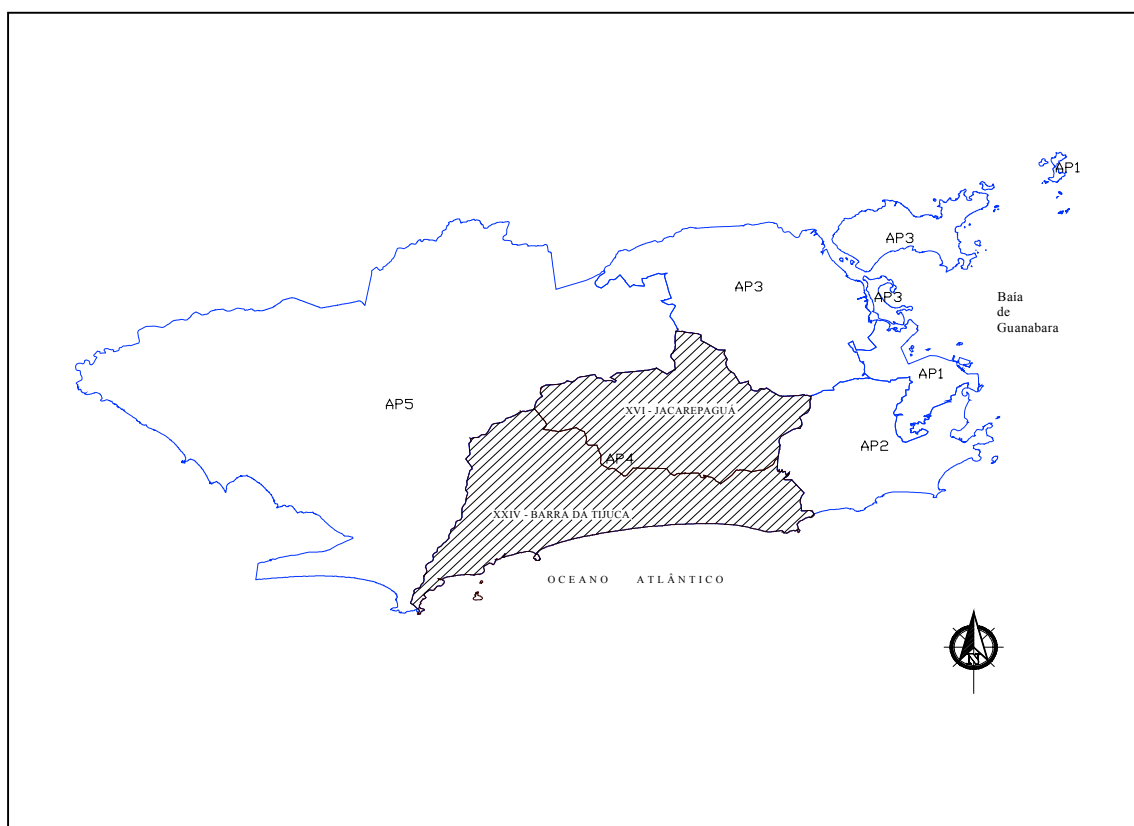


Figura 5-4 - Áreas de Planejamento do Município do Rio de Janeiro – Regiões Administrativas da AP-4

Seguindo na descrição da bacia da Baixada de Jacarepaguá, esta apresenta uma área de 301.40 km², dos quais aproximadamente 120 km², se encontram abaixo da cota 100, constituindo a chamada baixada.

A Bacia de Jacarepaguá tem como elementos determinantes da sua área, o maciço da Pedra Branca ao Norte, o Oceano Atlântico ao Sul, o Maciço da Tijuca a Leste e a Baixada de Guaratiba a Oeste.

Os maciços limítrofes desenharam a forma de um anfiteatro alongado, no sentido leste-oeste, aberto do lado Sul, onde a baixada se encontra com o Oceano Atlântico. Os maciços apresentam topografia acidentada típica da serra do mar, com elevações de até 1025m (maciço da Pedra Branca).

A morfologia é típica da costa Brasileira, entre o Sul da Bahia e o Sul de Santa Catarina, e a sua feição preponderante é a restinga, criando lagunas isoladas do oceano, sendo frequentes os manguezais.

No extremo Norte da bacia, os maciços formam um vale oblongo, com aproximadamente 5 Km de diâmetro, onde se localiza a zona mais urbanizada de Jacarepaguá, numa cota média de 10 m, decaindo até atingir as planícies paludiais em cotas entre 3 e 4 m acima do nível do mar, numa inclinação da ordem de 6 a 10 m/km.

Mais para o Sul encontramos lagunas, manguezais e areais numa cota média de 1 m. A restinga, característica desta morfologia, forma a praia dos Bandeirantes, onde se construiu a Av. Sernambetiba.

Na Baixada encontramos 3 lagunas principais, bastantes extensas e alongadas, e paralelas ao litoral, que são as lagoas da Tijuca, Jacarepaguá e Marapendi. Certas áreas destas lagoas recebem topônimos especiais e locais, como é o caso da Lagoa de Camorim, que liga a Lagoa de Jacarepaguá com a Lagoa da Tijuca.

Estas lagoas são remanescentes das antigas lagunas litorâneas, e são formadas por depósitos sedimentares paludiais, marinhos de águas rasas, e lagunares.

Vários rios, de regime principalmente torrencial, descem dos maciços, alimentando as lagoas que por sua vez se ligam ao mar, principalmente pelo canal da Barra da Tijuca. No extremo oeste da baixada existe outra rede de drenagem, formado pelo canal do Sernambetiba, que deságua na praia de mesmo nome, e possui uma rede de drenagem com canais secundários e forma de “espinha de peixe”.

Devido às elevadas precipitações pluviométricas e ao pequeno gradiente longitudinal desta rede drenagem natural, as enchentes são frequentes, sobretudo quando as chuvas intensas coincidem com as preamares. O assoreamento progressivo dos canais e lagoas, resultado também das pequenas declividades que contribuem para diminuir a capacidade de acumulação natural, e, por conseguinte, o efeito regulador destes reservatórios, agravando o problema do fluxo.

Em PRODEC (1998), no desenvolvimento do projeto de Macro drenagem, a Bacia de Jacarepaguá foi dividida em 3 sub-bacias, denominadas de lote 1, 2 e lote 3 (Figura 5-5).

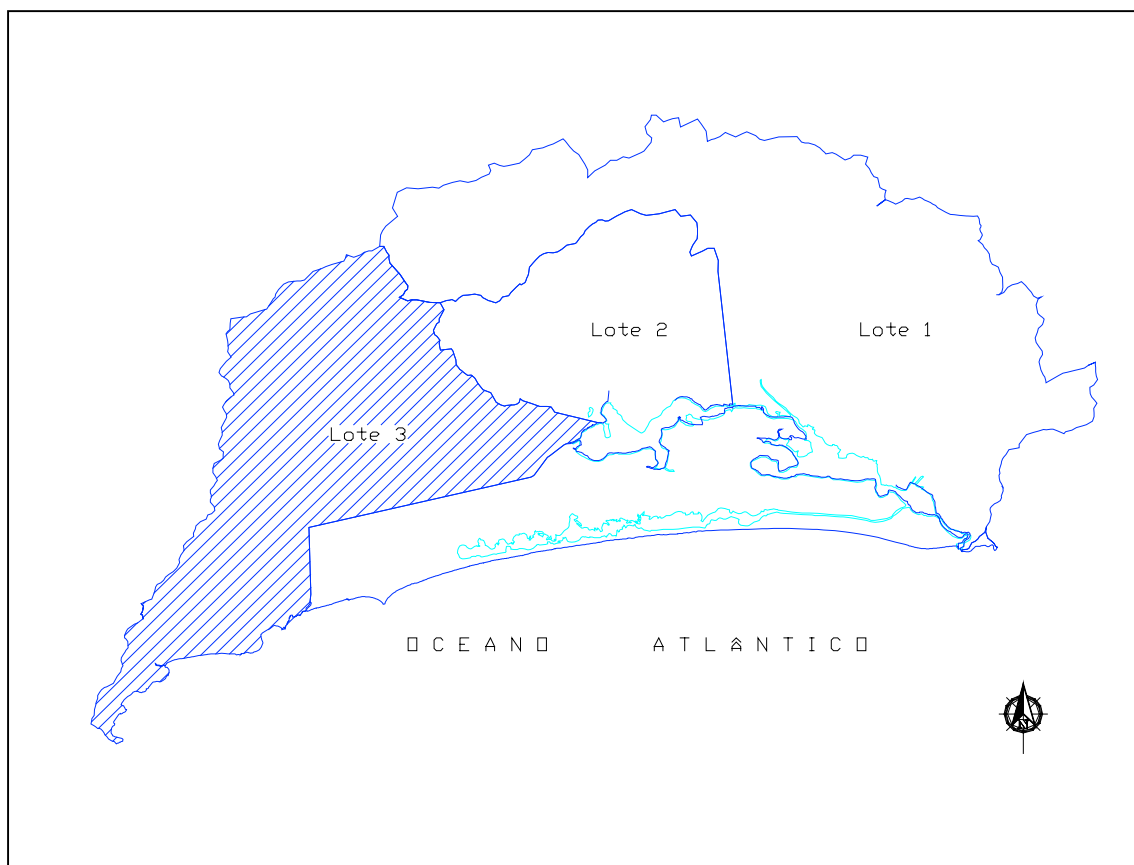


Figura 5-5– Lotes da Bacia de Jacarepaguá – AP 4 (Fonte: PRODEC 1998)

O lote 3, no qual está contida a bacia do Rio Morto, está situado no extremo oeste da Bacia de Jacarepaguá, conhecido também como sub-bacia dos canais, por possuir em sua hidrografia alto número de canais retificados pelo homem. Como exemplo temos o Canal de Sernambetiba, Canal do Urubu, Canal do Cascalho, Canal das Taxas, o que denota uma alta interferência no sistema hidrológico da região.

O lote 3 não apresenta uma taxa de urbanização muito alta em relação ao lote 1 e 2, e é composto pelos bairros de Vargem Grande, Vargem Pequena, Recreio dos Bandeirantes e Grumari. O exutório do lote está para o oceano Atlântico, possuindo além dos canais já citados, os seguintes rios: Morto, Marinho, Canal de Sernambetiba,

Sacarrão, Canal das Taxas, Canal do Urubu, Bonito, Cancela, Canal do Cascalho, Canal do Portello, Portão, Paineiras, Canal do Cortado, Vargem Grande, Vargem Pequena, Canal das Piabas, Calembá e Cabungui.

De acordo com PRODEC (1998), o clima da Baixada de Jacarepaguá enquadra-se no grupo “A” da classificação de Köppen, definido de modo geral, como clima tropical, e diferencia-se em dois tipos básicos: “Aw”, clima tropical quente e úmido, caracterizado por verão e inverno seco, predominando na área plana da baixada, e “Af”, como clima tropical quente e úmido sem estação seca, predominando nas montanhas, com uma precipitação de mais de 1500 mm/ano. Esta classificação ocorre, principalmente em função do contraste de topografia entre a área plana da Baixada propriamente dita e as encostas montanhosas que a envolvem. Os ventos marítimos saturados de umidade invadem sem obstáculos a Baixada e são retidos e defletidos para maiores altitudes pelos contrafortes montanhosos, propiciando a condensação da umidade e a precipitação pluvial.

Por razões históricas, podem ser identificadas duas regiões distintas com relação a ocupação da baixada de Jacarepaguá, e que hoje constituem a XVI e XXIV RA de posse de Gonçalo e Martim, ambos filhos do então governador Salvador Corrêa de Sá (1622).

Enquanto Martim tornou-se governador do Rio de Janeiro, Gonçalo ocupava sua sesmária construindo o Engenho do Camorim (1622) e arrendando boa parte de suas propriedades à terceiros. Assim, os domínios de Gonçalo se transformaram rapidamente em povoações.

De forma complementar ao desenvolvimento, tem-se para as primeiras décadas do século XX a integração desta área com o núcleo “central” da cidade, com a abertura das primeiras vias que de forma expressiva faziam a conexão com a cidade, que são a auto estrada Grajaú-Jacarepaguá (Av. Menezes Cortes), e a estrada de Furnas, fazendo a transposição do maciço da Tijuca, e ainda a Av. Niemeyer, via costeira que interliga a zona sul da cidade a Barra da Tijuca, consolidando assim o acesso e garantindo o processo de ocupação. Desta forma, até a atualidade, a outrora sesmária de Gonçalo vem se desenvolvendo, e se transformando no que hoje são os bairros da Freguesia, Taquara, Anil, Gardênia, Cidade de Deus, Tanque, Taquara e etc.

Na Tabela 5-3, podemos visualizar a verdadeira dimensão do sentido de ocupação destas áreas, para o período de 1996 a 2000, em contraste com a região central da cidade, considerada mais estável do ponto de vista da movimentação populacional.

Tabela 5-3 - Número de Habitantes para a área da Bacia de Jacarepaguá (AP 4) em contraste com a AP 1 – Região “Central” da cidade (Fonte: IPP, 2000)

<i>Área de Planejamento 4 (Gonçalo)</i>	1996	2000
XVI Jacarepaguá	541000	621661
Jacarepaguá	75 882	100 570
Anil	19 945	21 517
Gardênia Azul	13 056	19 075
Cidade de Deus	36 320	37 937
Curicica	22 420	24 895
Freguesia (Jacarepaguá)	51 294	55 225
Pechincha	27 859	31 494
Taquara	86 488	92 547
Tanque	28 512	32 458
Praça Seca	55 756	59 378
Joá	803	972
Itanhangá	11 135	21 807
Barra da Tijuca	82 702	92 122
Vila Valqueire	28 828	31 664
XXIV Barra da Tijuca (Martim)	34992	59234
Camorim	479	783
Vargem Pequena	6 516	11 554
Vargem Grande	7 457	9 275
Recreio dos Bandeirantes	20 414	37 486
Grumari	126	136
<i>Área de Planejamento 1</i>	1996	2000
II Centro	42239	39116
III Rio Comprido	81095	73628

No decorrer do processo de aumento da densidade populacional, de forma paralela, ocorre o aumento da densidade de construções, demandado pelos próprios cidadãos, para fins de moradia, comércio, lazer, entre outras atividades.

Neste processo de busca pelo espaço, os melhores locais vão sendo priorizados pelas camadas mais abastadas, sendo suprida de infra-estrutura, segurança e serviços públicos.

Assim, o primeiro processo de ocupação ocorreu às margens daquelas vias de acesso, feitas por famílias de alta renda, em busca do clima ameno, ladeado de florestas e o isolamento da núcleo central da cidade, se dando também o aparecimento da primeiras favelas.

Em um período mais recente, década de 70, foi deflagrado um processo de novos investimentos imobiliários para a área de Jacarepaguá, conjuntamente com o incentivo de implantações de indústrias na baixada, demandando mão de obra, ao mesmo tempo em que foram construídos os primeiros loteamentos de baixa renda, como exemplo pode-se citar a Cidade de Deus.

Em paralelo aos loteamentos regulares, a ocupação de área da baixada, e de áreas ribeirinhas se consumava em ritmo acelerado, com especial atenção às bacias do Rio Arroio Fundo, Rio Tindiba. Favelas como, Chacrinha, Muzenza e Rio das Pedras, tiveram sua gênese neste processo.

Em Brandão (1992, v. 21, cap. 6, p. 143-200) baseada em uma análise termo-pluviométrica da cidade do Rio de Janeiro, esta tenta inferir sobre uma possível alteração climática, devida a uma influência do crescimento urbano. Para o lote 3, Jacarepaguá, região onde se situa a bacia do Rio Morto, área que tem apresentado nos últimos anos alterações significativas do tecido urbano (conforme pode ser visto na Tabela 5-3), ainda não foi efetuado nenhum estudo sobre as possíveis alterações climáticas, decorrentes da expansão urbana. Nesta dissertação, não será efetuado nenhum estudo no sentido de um levantamento termo-pluviométrico afim de dimensionar uma possível alteração climática, estando fora do escopo desta dissertação, por conseguinte ficando este estudo como sugestão para trabalhos futuros (capítulo 6).

Para a bacia de Jacarepaguá, as estações pluviométricas operadas pela Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas – SERLA, estão presentes e distribuídas.

A Tabela 5-4 apresenta as estações pluviométricas localizadas na bacia hidrográfica da baixada de Jacarepaguá, operadas pela SERLA, com localização e período dos dados históricos disponíveis, tendo sido selecionada a estação de Mucuíba (grifada).

Os dados encontram-se consistidos no que concerne a consolidação das colunas diárias/mensais da precipitação, possuindo registro em meio magnético (planilha excel).

No que concerne ao registro da intensidade, ou seja, o registro da variação da precipitação no tempo, os dados ainda encontram-se em papel, sendo necessário uma compilação e subsequente digitalização dos dados, para as estações selecionadas.

As coordenadas da tabela 5.4 têm para Datum Horizontal SAD 69 - Brasil, tendo sido necessária uma transformação de Datum, pois originalmente estavam no sistema Córrego Alegre.

Tabela 5-4 – Relação das Estações Pluviométricas da SERLA para a Bacia de Jacarepaguá com as suas respectivas Coordenadas

Código Estação (SERLA)	Nome	Latitude (S)	Longitude (W)	Início Dados	Fim Dados
7521.9.180	Mucuíba	22° 57' 53''	43° 29' 26''	06/1972	05/1981
7952.9.090	Camorim	22° 57' 39''	43° 26' 50''	06/1972	05/1981
7939.9.250	Lab. Energia Nuclear	22° 59' 52''	43° 24' 54''	02/1975	12/1993
7981.9.750	Eletrobrás	22° 55' 18''	43° 25' 12''	01/1969	Dias Atuais
7956.9.830	Autódromo	N/D*	N/D*	01/1969	12/1974
7939.9.950	Via Onze	22° 59' 55''	43° 21' 59''	01/1970	Dias Atuais
7984.9.160	Florianópolis	22° 54' 05''	43° 21' 13''	01/1969	05/1981
7983.9.450	Cafundá	22° 54' 19''	43° 22' 49''	01/1969	05/1981
7985.9.910	Cidade de Deus	22° 56' 30''	43° 21' 04''	01/1969	01/1976

* N/D – Não disponível

Há ainda um conjunto de estações pluviométricas, constantes do Sistema Alerta Rio⁶, implantado desde janeiro de 1997, Decreto "N" Nº 15142, de 25 de setembro de 1996.

A Tabela 5-5 apresenta a relação das estações do sistema AlertaRio localizadas na região de Jacarepaguá, tendo sido grifado a estação de Grota Funda, por se localizar próxima a área selecionada. Todas as estações têm para as suas coordenadas o Datum Horizontal SAD 69 – Brasil.

A Figura 5-6 apresenta um mapa com a localização das estações hidrometeorológicas das redes da SERLA e do sistema AlertaRio.

Tabela 5-5 – Relação das Estações do Sistema AlertaRio para a área de Jacarepaguá com as suas Respectivas Coordenadas

Código Estação (GEO-RIO)	Nome	Latitude (S)	Longitude (W)	Início Dados	Fim Dados
14	Tanque	22° 54' 37''	43° 21' 59''	12/1996	Dias Atuais
17	Itanhangá	22° 59' 54''	43° 18' 08''	12/1996	Dias Atuais
18	Cidade de Deus	22° 56' 42''	43° 21' 44''	12/1996	Dias Atuais
19	Riocentro	22° 58' 30''	43° 24' 42''	12/1996	Dias Atuais
25	Grota Funda	23° 00' 52''	43° 31' 08''	12/1996	Dias Atuais
30	Itaúna	23° 00' 33''	43° 25' 29''	12/1996	Dias Atuais

Tabela 5-6 - Relação das Estações Fluviométricas da SERLA para a Bacia de Jacarepaguá, com as suas Respectivas Coordenadas

Código Estação (SERLA)	Nome Estação	Latitude (S)	Longitude (W)	Início Dados	Fim Dados
7523.0.530	Vargem Grande (Rio Paineiras)	22° 59' 35''	43° 29' 52''	12/1972	11/1988
7524.0.860	Vargem Alegre (Rio Morto)	22° 58' 55''	43° 29' 20''	12/1972	12/1989
7981.0.790	Eletrobrás (Rio Grande)	22° 55' 17''	43° 25' 12''	12/1968	05/1981
7982.0.910	Teixeiras (Rio Pequeno)	22° 54' 59''	43° 24' 48''	12/1968	05/1981
7983.0.820	André Rocha (Rio Grande)	22° 55' 15''	43° 22' 05''	12/1968	11/1980
7984.0.830	Jacarepaguá (Rio Sangradouro)	22° 56' 29''	43° 20' 28''	07/1969	05/1981
7984.0.890	Industriários (Rio Tindiba)	22° 55' 53''	43° 21' 49''	12/1968	02/1994
7985.0.150	Estiva (Rio Grande)	22° 56' 25''	43° 22' 02''	12/1968	05/1981

⁶ O sistema AlertaRio é um sistema de alerta de chuvas intensas e deslizamentos em encostas da Cidade do Rio de Janeiro, possuindo 32 estações pluviométricas e 02 climatológicas

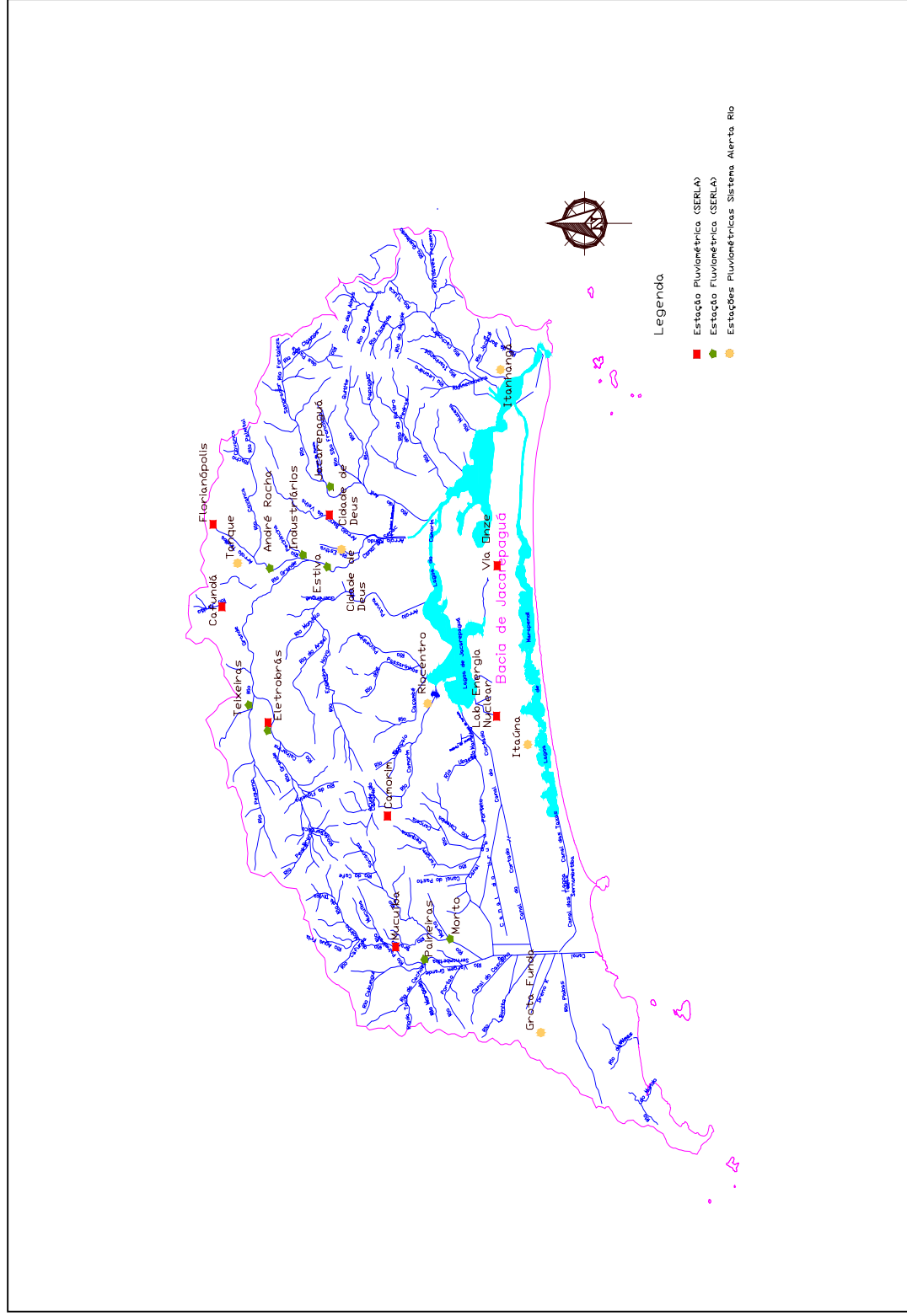


Figura 5-6 - Localização das estações hidrometeorológicas da bacia de Jacarepaguá (Rede SERLA e Sistema AlertaRio)

A Tabela 5-6 apresenta as estações pluviométricas localizadas na bacia hidrográfica da baixada de Jacarepaguá, operadas pela SERLA, com localização e período dos dados históricos disponíveis, tendo sido selecionada a estação de Vargem Alegre - Rio Morto (grifada).

As coordenadas da tabela 5-6 têm para Datum Horizontal SAD 69 - Brasil, tendo sido necessária uma transformação de Datum, pois originalmente estavam no sistema Córrego Alegre.

5.3 A Bacia do Rio Morto

A Bacia do Rio Morto, área selecionada para aplicação da metodologia que visa a integração dos sistemas de informações geográficas com os modelos hidrológicos, no sentido de obtenção dos parâmetros fisiográficos para uma bacia hidrográfica, ainda não sendo uma área densamente urbanizada, com a presença de fatores críticos e respostas crônicas ao aspecto populacional sobre a drenagem, apresenta características e indicações de potencial área de ocupação e expansão da cidade.

Além do aspecto de lazer, com a localização do centro gastronômico do Rio de Janeiro, aspectos industriais já começam a se observar para àquela região. A denominação de "zonas dos canais" também dá uma boa indicação dos projetos futuros de infra-estrutura, onde um estudo sobre os aspectos hidrológicos sobre a área é condizente com a titulação.

À parte o aspecto demográfico, temos para a área objeto, a implantação de vias expressas, projetadas para XXIV R.A.: O Túnel da Grota Funda, fechando o anel viário do Município do Rio de Janeiro⁷, sendo esta uma obra de alto custo, envolvendo desapropriações e estudos de impacto ambiental.

5.3.1 Localização

A bacia do Rio Morto localiza-se a nordeste do lote 3 (Figura 5-7), apresentando uma área aproximadamente 10 Km², sendo 9% desse total composta de área urbanizada (referência mapeamento atual, 1999), urbanização esta localizada sobre a foz do Rio

⁷ Esta Intervenção está a cargo da Coordenadoria Geral de Obras, órgão da Secretaria Municipal de Obras e Serviços Público. Sua execução está subordinada a alocação de verbas.

Morto. A bacia se encontra integralmente no bairro de Vargem Grande, bairro do extremo oeste da baixada de Jacarepaguá.

O Rio Morto deságua juntamente com o Rio Vargem Grande, dando origem ao canal de Sernambetiba, que deságua diretamente para o oceano atlântico.

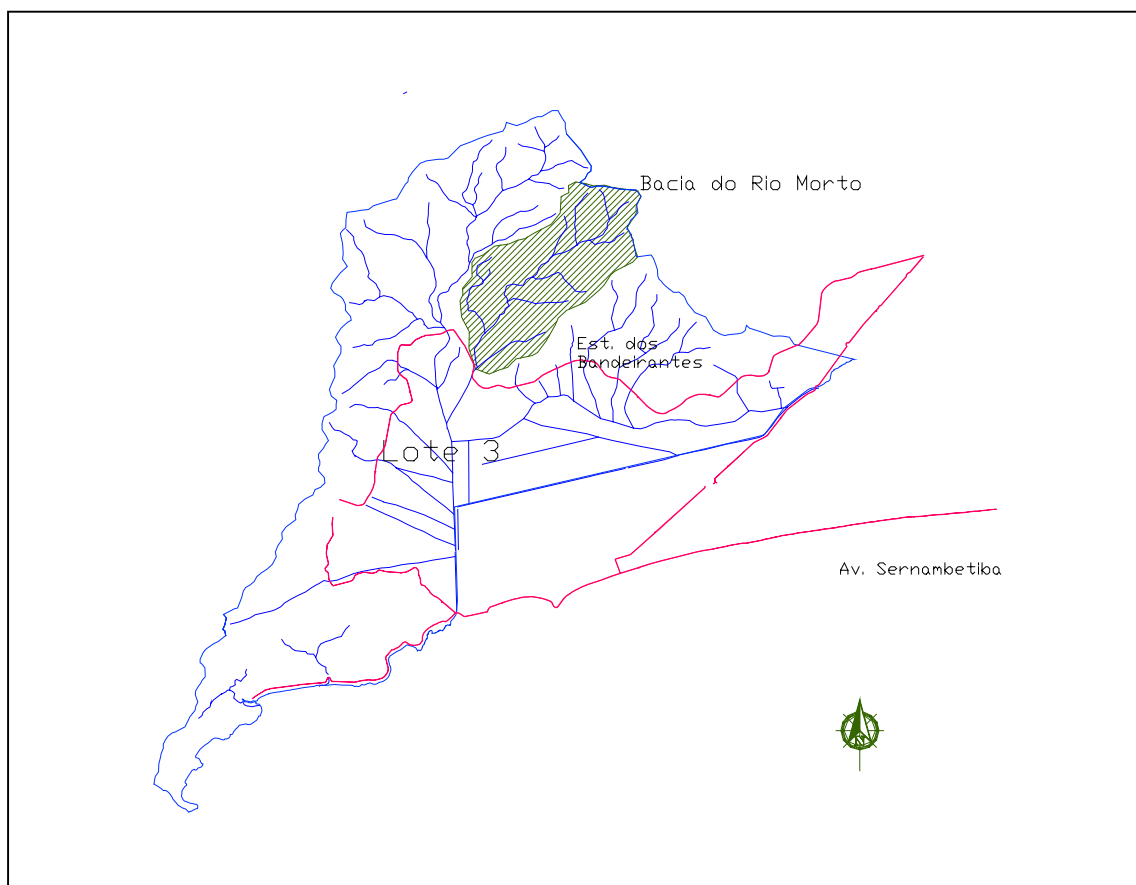


Figura 5-7 – Localização relativa da Bacia do Rio Morto no Lote 3

A bacia do Rio Morto, é uma bacia que nos últimos anos apresentou uma considerável movimentação, agregando na sua área um parque aquático, demandando uma infraestrutura dos serviços de abastecimento de água, além de agregar na sua periferia, indústrias do ramo de serviços e entretenimento.

5.3.2 Relevo

Pode-se considerar o relevo da bacia do Rio Morto, como que formado por montanhas e planícies paludiais, a exemplo da bacia de Jacarepaguá. As montanhas são formadas por rochas de embasamento cristalino (rochas ígneas e metamórficas), e de modo geral apresentam vertentes acentuadas, com uma cobertura vegetal tropical úmida, ocupando grande parte da área da bacia do Rio Morto, aproximadamente 70%.

Para a planície paludial, observa-se uma topografia plana, com declividade suave, apresentando as margens na foz do Rio Morto, elevação em torno de + 2,00 m. Esses terrenos são constituídos basicamente de depósitos sedimentares quaternários, marinhos e aluvionares, com altitudes máximas da ordem de 5 a 8 m, e apresentando uma maior movimentação do ponto de vista do processo de urbanização.

5.3.3 Drenagem

A área da Baixada de Jacarepaguá é drenada por duas grandes bacias de captação; uma menor, no oeste da área, aqui denominada drenagem do Canal de Sernambetiba, e outra maior, a leste, denominada de drenagem da Lagoa de Jacarepaguá. A bacia do Rio Morto, está situada na área de drenagem do Canal do Sernambetiba.

Verifica-se que a rede de drenagem é ativa, densa e de padrão dendrítico quando implantada no relevo montanhoso e no clinoplano., perdendo sua textura e desaparecendo na planície paludial, por falta de gradiente para o escoamento natural. O homem alterou esse quadro primitivo, rasgando canais artificiais de drenagem, como exemplo temos o caso do Canal do Urubu, Canal do Cortado, e por fim o próprio Canal do Rio Morto (parte), conduzindo o escoamento das águas fluviais para o mar, na área oeste.

5.3.4 Vegetação e Uso do Solo

A cobertura vegetal existente na bacia do Rio Morto, está condicionada a fatores diversos, dentre os quais se destacam a litologia aflorante, a topografia, a precipitação, a drenagem.

Com base na classificação de Silvio Fróes Abreu, em “O Distrito Federal e seus Recursos Naturais”, bem como no trabalho “Distribuição de Zonas e Sucessão na Restinga do Rio de Janeiro”, de Pierre Dansereau, e adaptando o conhecimento atual da área da Bacia do Rio Morto, poderíamos dividir em dois tipos a sua cobertura vegetal original, sendo elas: (i) Mata tropical úmida, (ii) Vegetação Paludial.

A mata tropical úmida está presente desde as encostas mais baixas até os pontos mais altos das montanhas. No caso da Bacia do Rio Morto, isto equivale a uma cota de 848 m. A sua existência está condicionada a locais de elevada precipitação, apresentando árvores de porte elevado.

A vegetação paludial, desenvolve-se no ambiente quente e superúmido da baixada, onde o solo permanentemente encharcado.

A parte ocidental da baixada de Jacarepaguá, por contexto a Bacia do Rio Morto, apresentou ao longo da sua história histórica, uma variada utilização por parte do solo (Tabela 5-7). Foi assim desde a época colonial, quando da posse desta área, por parte dos filhos do então Governador Salvador Corrêa de Sá, sendo arrendado a colonos, com a agricultura de subsistência, se modificando até a atual configuração de uso dos dias atuais.

Ainda para esta área, foi percebido por parte dos moradores do bairro de Vargem Grande, que após a instalação do parque aquático ocorreu um rebaixamento do nível do lençol freático, pois poços foram perfurados no seu interior, como fonte alternativa ao suprimento de água.

Deve ser acrescentado ainda, que o curso do Rio Morto que está dentro do perímetro do parque sofreu um alargamento da sua seção, retornando a seção natural quando da saída do parque, na altura da estrada dos Bandeirantes⁸.

⁸ Segundo fonte da Associação dos Moradores de Vargem Grande - AMVG

Tabela 5-7 – Progressão do Uso e Cobertura do Solo século XIX, até os dias atuais

Data	Uso e Cobertura	Comentários
1850	Cultura da Cana de Açúcar	Cultura iniciada por parte dos monges Beneditinos
1920	Início da holericultura	Com o surgimento do IPTU, as fazendas foram fracionadas e arrendadas a colonos, para fins de abastecimento da cidade
1950-1980	Uso misto. Zona rural e semi-urbana	Neste período convivem funções rurais, como gado e cultivo de hortaliças, juntamente com os primeiros focos de comércio.
A partir 1980	Expansão Urbana	Ano em que se identifica a expansão do tecido urbano, com a instalação de pequenas indústrias e parques

5.4 Dados Disponíveis sobre a Bacia do Rio Morto

5.4.1 Dados Cartográficos

A política de edição, manutenção e de divulgação da base cartográfica municipal, é de competência do Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos – IPP, Diretoria de Informações Geográficas - DIG.

Nesta linha, foram disponibilizadas pelo IPP (Tabela 5-8), em meio magnético, a base cartográfica do município do Rio de Janeiro, na escala de 1 : 2000, 1: 10000 e 1 : 50000. Os arquivos encontram-se no formato SEQ ou DXF, e ainda no formato Shape File (SHP) e Map Units File (ADF), para manipulação e visualização via Sistemas de Informações Geográficas.

Tabela 5-8 - Relação dos produtos cartográficos da cidade do Rio de Janeiro, disponibilizados pelo IPP - Instituto Pereira Passos

Escala de Restituição	Ano	Área de Cobertura	Observação
1 : 2000	1975	Totalidade do Município do Rio de Janeiro	Restituído em meio magnético na década de 1990
1 : 2000	1990	Apenas 200 km ² da área do município do Rio de Janeiro (Centro, Barra da Tijuca, Madurerira, Jacarepaguá e Recreio)	Cobriu apenas as áreas que apresentaram maior movimentação do ponto de vista da ocupação
1 : 2000	1997	Apenas 700 km ² da área do município	Vôo complementar ao realizado em 1990
1 : 2000	2000	Os 200 km ² cobertos pelo vôo de 1990	Este vôo ainda contemplou mais 140 km ² (Áreas do Alto da Boavista, Vargem Grande, Guaratiba e Bangu)
1 : 10.000	1999	Cobre a totalidade da área do município	Para este vôo ainda foram gerados ortofotos preto e branco e coloridas
1 : 50.000	1999	Cobre a totalidade do município do Rio de Janeiro	O único produto gerado nesta escala é o mapa de uso e cobertura do município do Rio de Janeiro

Como base cartográfica fonte da pesquisa realizada neste estudo, foram utilizadas as bases de 1999 na escala de 1 : 10000 (folhas 285E e 285C), juntamente com as ortofotocartas oriundas deste mesmo levantamento. As ortofotocartas foram ainda utilizadas como fonte no levantamento do uso e cobertura do solo, com certificação em campo.

5.4.2 Dados hidrometeorológicos

Neste estudo, as estações pluviométricas e fluviométricas selecionadas foram respectivamente, estação de Mucuíba (assinalada na Tabela 5-4) próxima a bacia do rio Morto, e a estação do Vargem Alegre - Rio Morto (assinalada na Tabela 5-6).

Observou-se ainda por parte da resposta dos registros fluviométricos em Vargem Alegre (Estação Rio Morto), boa correspondência com os registros pluviométricos na estação de mucuiba.

Os dados dos linígrafos (cotas) encontram-se em meio analógico, e foram gentilmente cedidos pela SERLA.

Os perfis da seção transversal onde se encontra a estação de Vargem Alegre (Rio Morto), foram também desenhados, para um determinado período, existindo ainda computado o comprimento do curso d'água principal, e a área de sua bacia.

Para estas estações foram levantadas as curvas-chaves, bem como o perfil transversal (SERLA), e o perfil longitudinal (STAEL, 1996) e (PRODEC, 1998).

O método utilizado para medição de vazão, na referida estação, foi o do molinete operados a vau. Os dados de medição se encontram em formato analógico, tendo sido calculado a descarga final, e representada graficamente a equação já existente da curva-chave.

A Figura 5-7 apresenta um mapa com a localização das estações pluviométricas e fluviométricas.

5.5 Aplicação do Modelo IPH II Integrado ao Arcview 3.2 à Bacia do Rio Morto

Conforme descrito nos capítulos anteriores, esta dissertação apresenta uma metodologia de integração do Arcview 3.2 ao modelo IPH II (Figura 4-3), para aquisição dos parâmetros fisiográficos da bacia hidrográfica do Rio Morto, como a área

da bacia (A), declividade (S), máximo comprimento do talvegue (L), fator de forma (XN), Área impermeável (IMP), e indiretamente o tempo de concentração (Tc), por diferentes formulações.

Nesta seção, serão descritos todos os passos necessários para a execução da metodologia proposta, desde a configuração do equipamento utilizado, até a sequência de códigos utilizados na customização do Arcview 3.2 (em anexos), para a obtenção dos referidos parâmetros, esperando assim apresentar um desfecho, que de forma clara e concisa possa conduzir um técnico a iguais êxitos para áreas distintas.

5.5.1 Obtenção dos parâmetros no Arcview 3.2

Uma vez que toda a base cartográfica da Cidade do Rio de Janeiro já se apresentava em meio digital, não foi necessário a utilização de periféricos, ou quaisquer outros dispositivos para conversão de dados, no sentido de complementar os dados disponíveis, apenas um micro computador⁹.

Assim sendo, são apresentados na Tabela 5-9, os planos de informação, utilizados nesta dissertação para a obtenção dos parâmetros da bacia do Rio Morto.

De posse destes planos de informação, e tendo em mente a área objeto deste trabalho, o primeiro passo dado foi delimitação da área de interesse, com a subsequente geração do MDT – Modelo Digital do Terreno.

A representação computacional sugerida e utilizada para os dados do MDT foi a representação em grade irregular - TIN e obtidas a partir do plano das isolinhas, com curvas de nível de 5 em 5 m.

Tal representação se mostrou mais adequada, devido a forte necessidade de uma melhor representação das discontinuidades, característica esta importante no processo de compreender o comportamento do fluxo do escoamento.

Ainda neste processo, com o auxílio dos planos de informação ponto cotado, cursos d'água e estradas, buscou-se suavizar alguns aspectos na geração do MDT, como pontos de cume e talvegues.

⁹ Micro computador Compaq, 850 MHz, 256 Mb de memória RAM, placa de vídeo 4 Mb e disco rígido de 20 Gb, monitor SVGA, 1024 x 1024 pixels, com 65536 cores, com DVDROM.

Tabela 5-9 - Lista dos Planos de Informações iniciais utilizados na aplicação da metodologia de obtenção dos parâmetros fisiográficos

Planos de Informação	Escala	Formato
Curvas de Nível (Isolinhas)	1 : 10.000	ArcView, Cad
Pontos Cotados	1 : 2.000	Cad
Cursos D'água	1 : 10.000	ArcView, Cad
Estradas	1 : 10.000	Arcview, Cad

Na fase de representação do escoamento, é necessária uma transformação na forma de representação do modelo, passando de vetorial para matricial (grid), sendo tal operação conduzida através da extensão Spatial Analyst (Tabela 4-1). Nesta operação, para cada célula é atribuído um valor numérico, representativo da altitude para a área considerada – Bacia do Rio Morto, apresentando uma gradação de cores, uma para cada faixa de altitude, segundo a dimensão do intervalo (Figura 5-8).

Em Mason e Maidment (2000), é sugerida para análises hidrológicas, uma resolução da ordem de 30 m de lado, indo até resoluções da ordem de 90 m, em estudos regionais. Em Maidment (1996), é proposta uma tabela com o tamanhos das células para o MDT, de acordo com o tipo de aplicação e uso (Tabela 5-10).

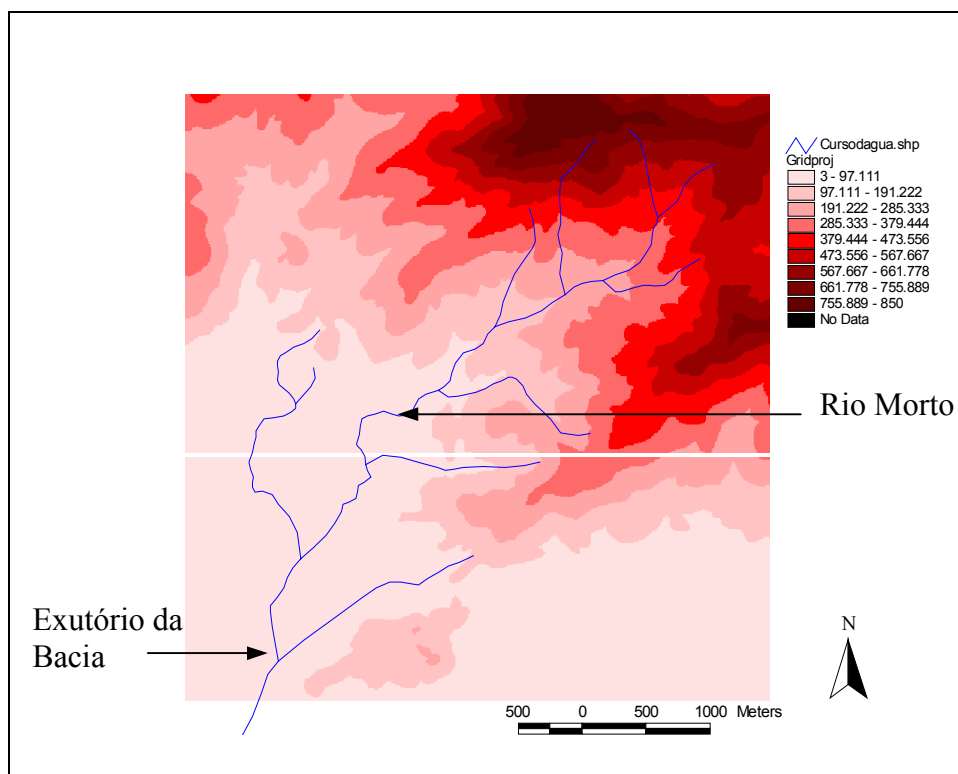


Figura 5-8 - Representação matricial da elevação (Grid) da Bacia do Rio Morto.

Tabela 5-10 – Relação dos tamanhos das células por tipo de aplicação - Adaptado de Maidment, (1996)

Tamanho da Célula (m)	Área da Bacia (km ²)	Área da Região (km ²)	Tipo de Aplicação
30	5	1000	Bacias Urbanas
90	40	8000	Bacias Rurais
460	1000	200.000	Bacias de grandes Rios
930	4000	800.000	Países
5600	150.000	30.000.000	Continentes
9300	400.000	90.000.000	Global

Dada a dimensão da área, e os recursos computacionais utilizados, além da escala dos planos de informações disponíveis, optou-se por uma resolução da ordem de 10 m de lado para cada célula, sendo este valor referendado quando da análise dos resultados.

Prosseguindo-se na aplicação da metodologia, de posse do grid, efetua-se a correção dos “sinks”, sendo esta correção necessária às análises hidrológicas, efetuadas através da extensão Hydro (Figura 5-9).

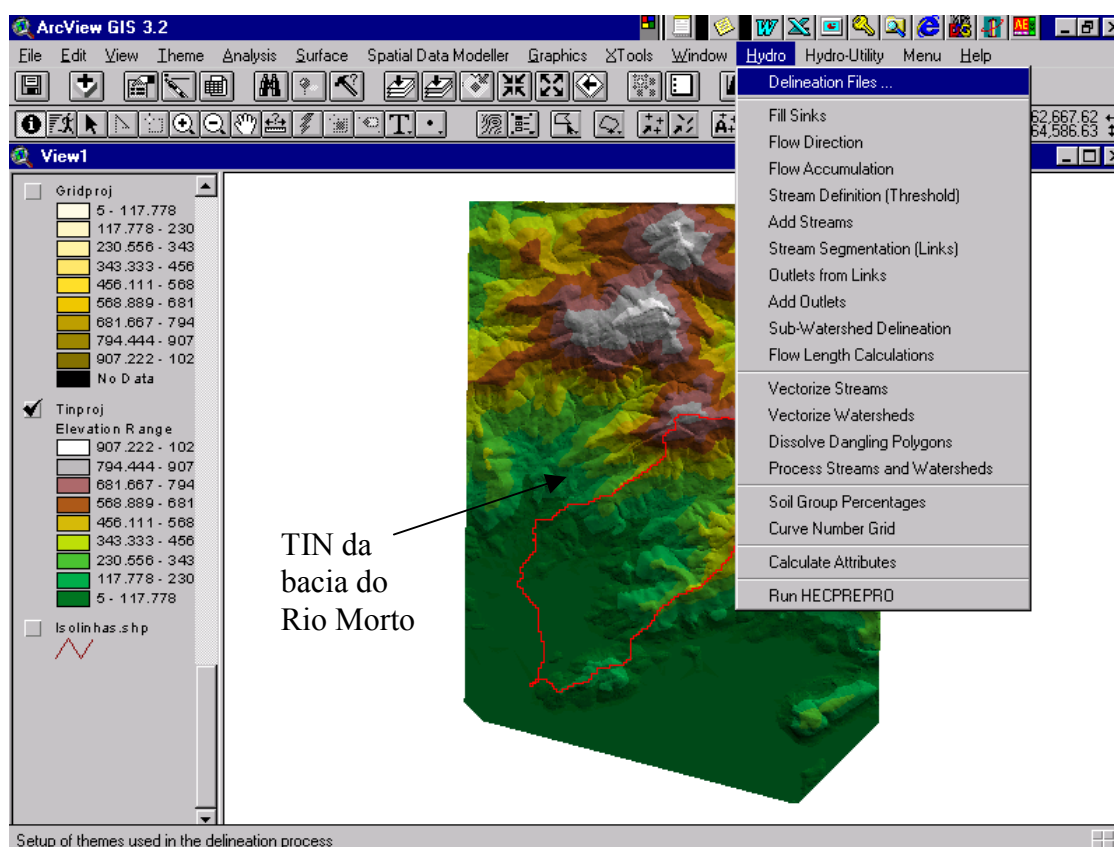


Figura 5-9 - Opção de menu da extensão "Hydro", com as funções disponíveis

Com base no plano de informação grid corrigido, por funcionalidades do SIG, mais especificamente do Arcview 3.2, obtêm-se planos intermediários no sentido de obtenção dos parâmetros da bacia são eles: (i) Mapa de direção de fluxo (Figura 5-10), que traduz o sentido do fluxo; (ii) Mapa de direção de fluxo acumulado (Figura 5-11), que representa a rede de células que de forma contígua, contribuem efetivamente para a formação do escoamento; (iii) Mapa da declividade, que é uma derivação matemática

do mapa de direção de fluxo, representando em termos de rampa, declividade, a direção do fluxo.

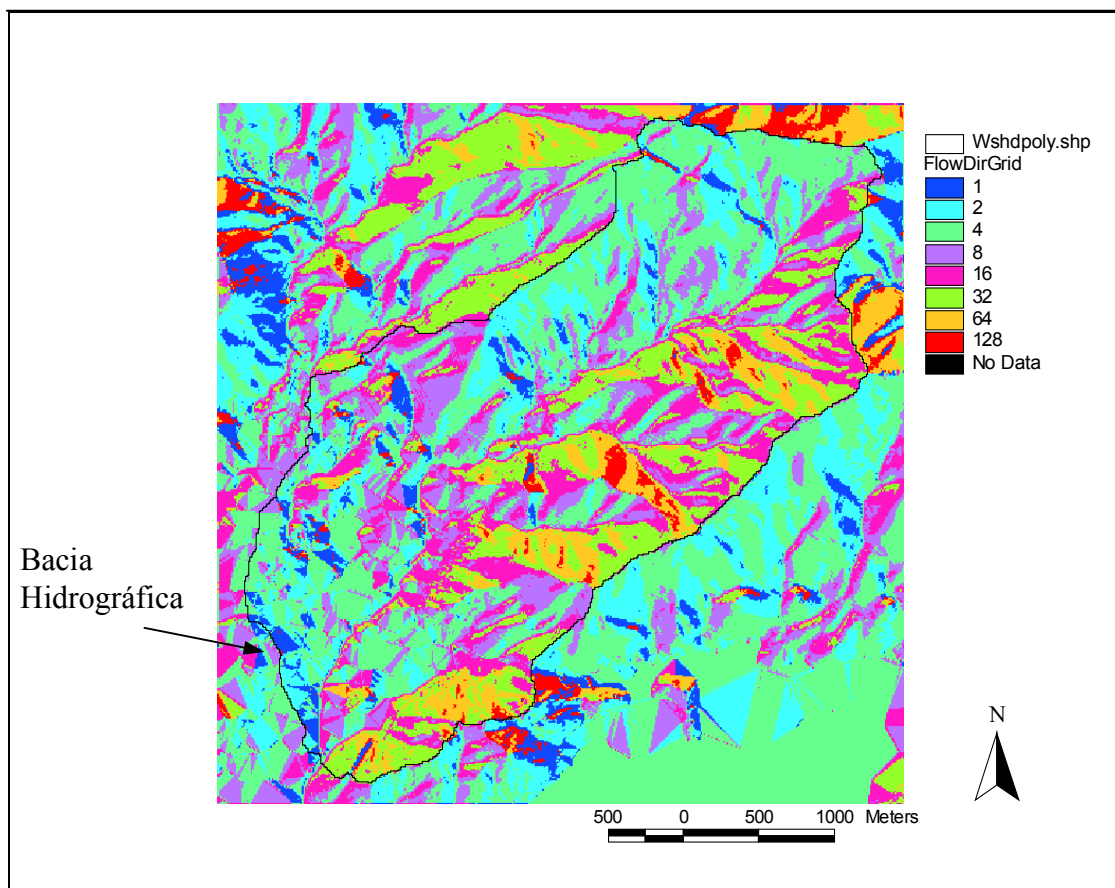


Figura 5-10 – Mapa de Direção de Fluxo (Flow Direction) para a área considerada, segundo as oito direções (origem no leste - valor 1, com sequência no sentido horário)

O mapa de direção de fluxo, conforme descrito na seção 4.4.1 traduz a direção preferencial do fluxo. Na Figura 5-10, também pode ser observado o plano da bacia hidrográfica, de forma a contribuir com a constatação da determinação da direção do fluxo.

No contexto do mapa de direção de fluxo acumulado (Figura 5-11), este plano representa aquelas células que satisfazem a um determinado valor, valor este definido pelo conjunto de células que contribuem para àquela célula.

Ainda no plano de mapa de direção de fluxo acumulado, observa-se a possibilidade de definição da rede de drenagem. Embora não seja o objetivo do presente trabalho, é exibido o plano do curso d'água juntamente com o plano mapa de direção de fluxo acumulado, para exemplificar esta funcionalidade.

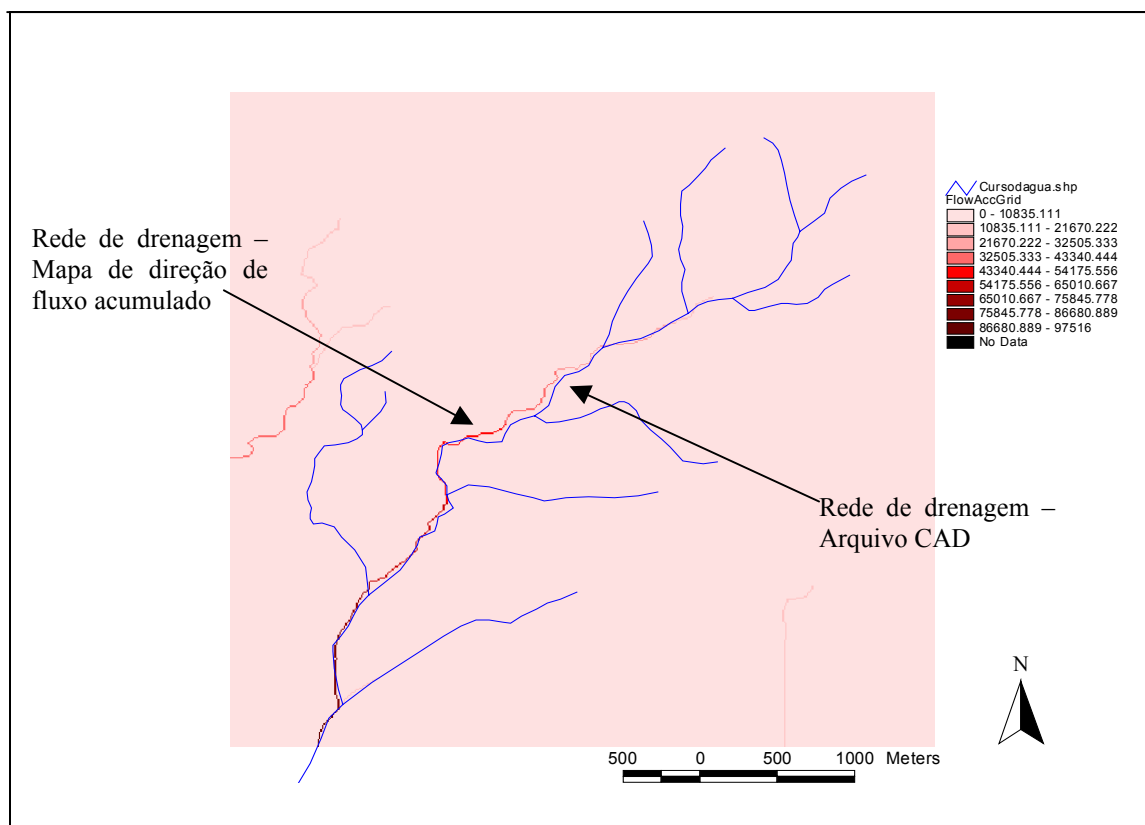


Figura 5-11 – Mapa de Direção de Fluxo Acumulado (Accumulated Flow Direction), segundo um valor de acúmulo por células

Outro plano de informação necessário à determinação dos parâmetros para a bacia do Rio Morto, é o que determina o ponto de saída (Figura 5-12), ou seja, o ponto do exutório da bacia. Este ponto deve ter sua representação no formato grid, devendo ser determinado, exatamente no centro ou na totalidade da célula que representa a região escolhida para este fim. Outra observação a ser seguida, é que este ponto deve ser determinado sobre a rede, configurada no plano Mapa de direção de fluxo acumulado.

Baseado sobre o ponto de saída, o exutório da bacia, têm-se todos os demais parâmetros determinados, de forma direta ou indireta.

Com estes planos de informações definidos, também por funcionalidades do Arcview 3.2, têm-se a determinação da bacia hidrográfica do Rio Morto, como sendo o conjunto de pontos que contribuem para o fluxo, convergindo para o ponto de saída considerado (Figura 5-13).

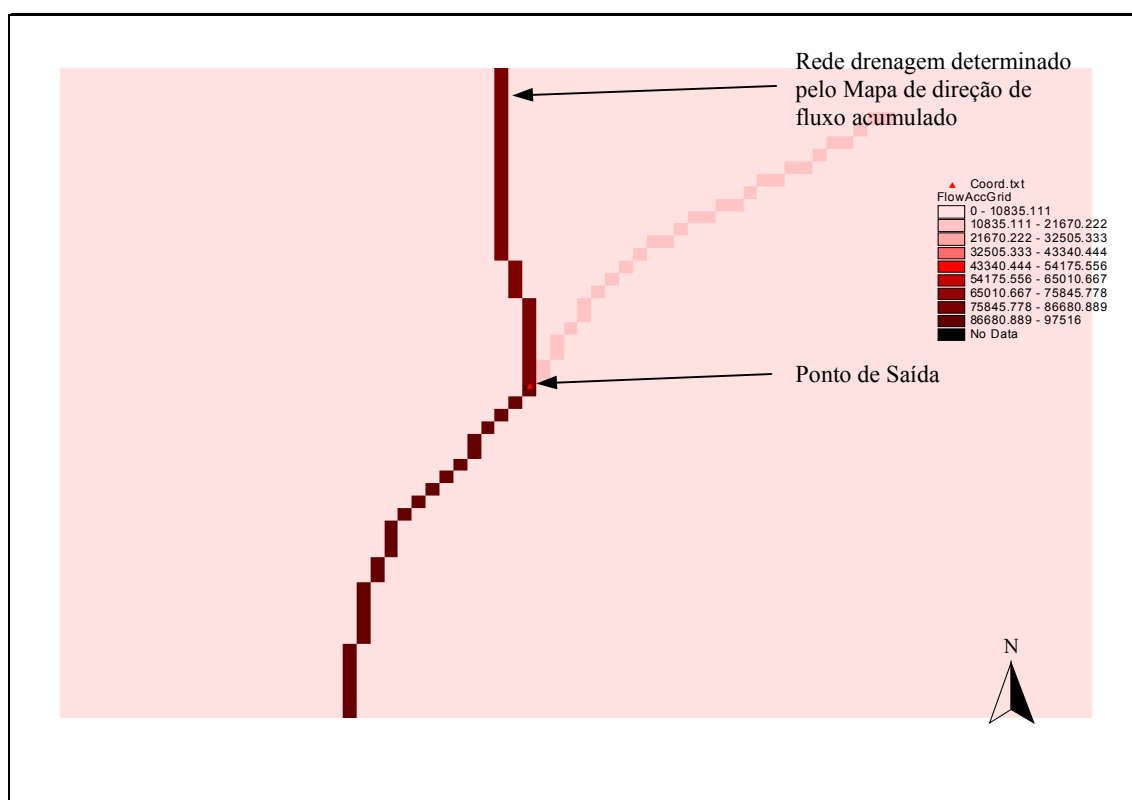


Figura 5-12 – Plano de informação com a determinação do ponto de saída da bacia

A Figura 5-14, apresenta um detalhamento maior do limite da bacia hidrográfica do Rio Morto, no sentido de corroborar com a definição de bacia hidrográfica, exibindo o lugar físico por onde passa a linha limítrofe da bacia, ou seja, pela linha de cumeada.

A determinação da bacia hidrográfica do Rio Morto, ainda utiliza a extensão hydro, constante da Tabela 4-1.

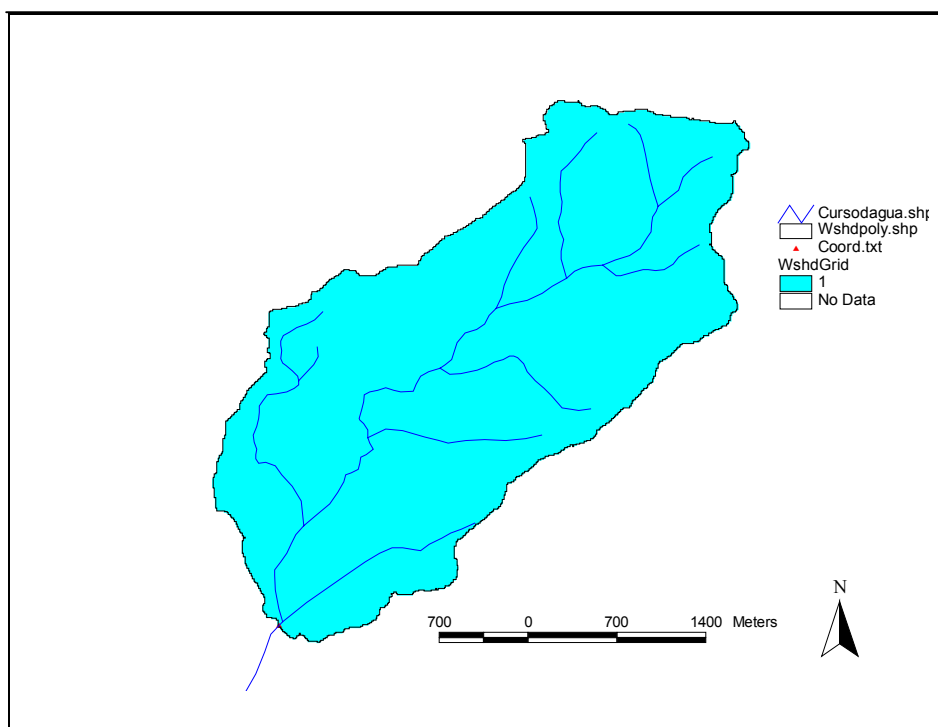


Figura 5-13 –Bacia hidrográfica do Rio Morto, delimitada pelo Arcview 3.2, juntamente com o plano curso d’água.

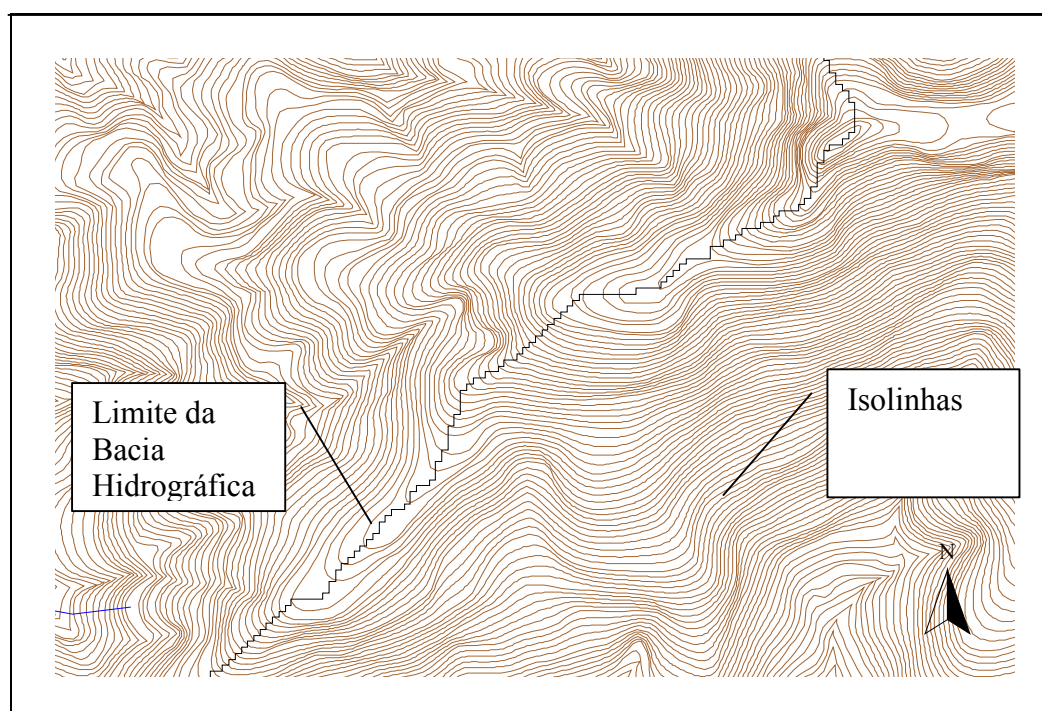


Figura 5-14 – Detalhe do Limite da Bacia Hidrográfica do Rio Morto, por sobre o plano das isolinhas

Até agora, tem-se obtido apenas os planos de informação, sem se preocupar em calcular os valores dos parâmetros. A partir do plano de bacias hidrográficas, os parâmetros descritos no início desta seção, são calculados e salvaguardados de forma compatível ao modelo IPH II. Este cálculo é efetuado através de customizações permitidas pelo Arcview 3.2, e exibidas na Figura (5-15)

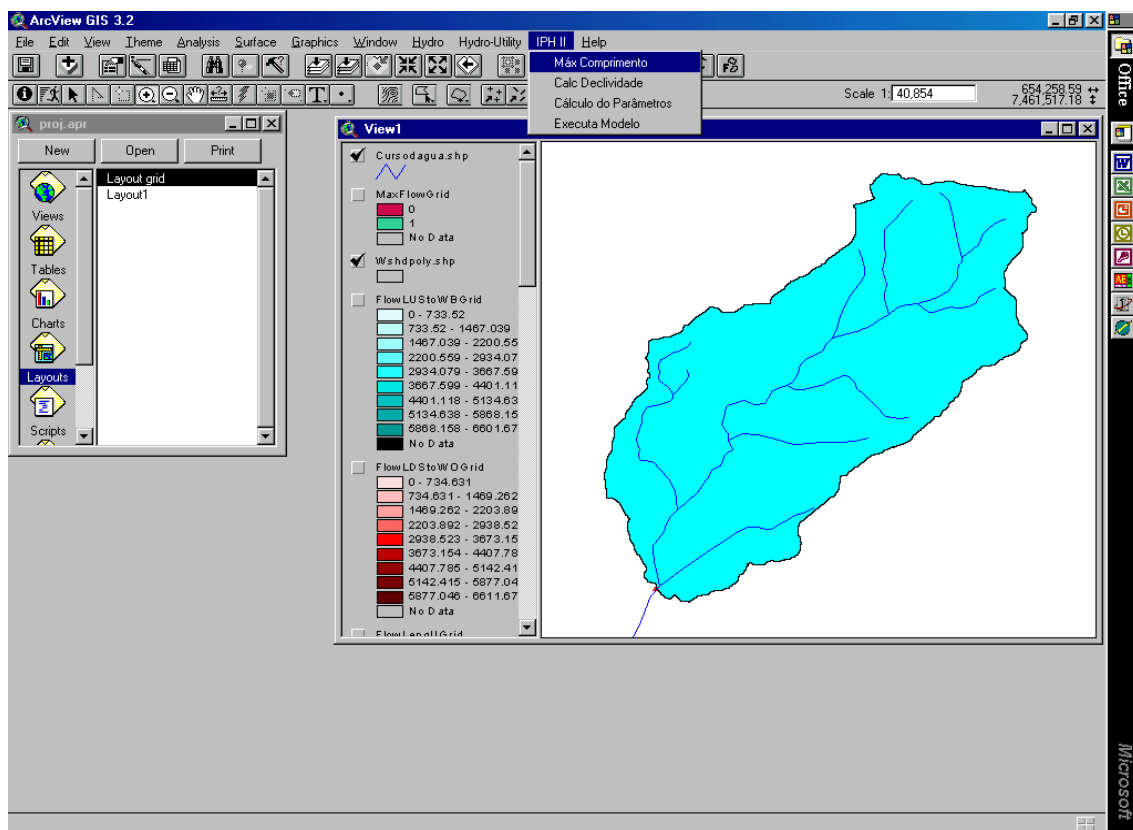


Figura 5-15 – Tela do Arcview 3.2 com o item de menu IPH II – customização desenvolvida para os cálculos dos parâmetros

Estas customizações são linhas de códigos em linguagem nativa, escritas a partir de um editor de "scripts", que permitem processar os planos de informação desenvolvidos até aqui. Estas linhas de código estão disponíveis nos anexos.

O primeiro cálculo a ser efetuado, é o do comprimento do máximo caminho (L) para a bacia do Rio Morto. Selecionado-se a opção “Max Comprimento”, na opção de

menu IPH II, temos a lista de parâmetros necessária ao cálculo (Figura 5-16) (código disponível no anexo A).

Conforme descrito na seção 4.4.2.3, a priori é necessário determinar o plano “flow lengths” (primeiro parâmetro), ou seja, o plano que representa áreas de mesmo tempo de viagem, com polígonos de tonalidades diferentes (Figura 5-17).

De posse deste plano, é possível obter outros dois planos, um que representa o tempo de viagem segundo o sentido do fluxo, e outro de igual definição, porém no sentido inverso do fluxo (segundo parâmetro), por fim, o último parâmetro, o plano de delimitação da bacia. Estes planos de informação servirão de parâmetro de entrada para o cálculo do máximo comprimento do talvegue para a bacia do Rio Morto.

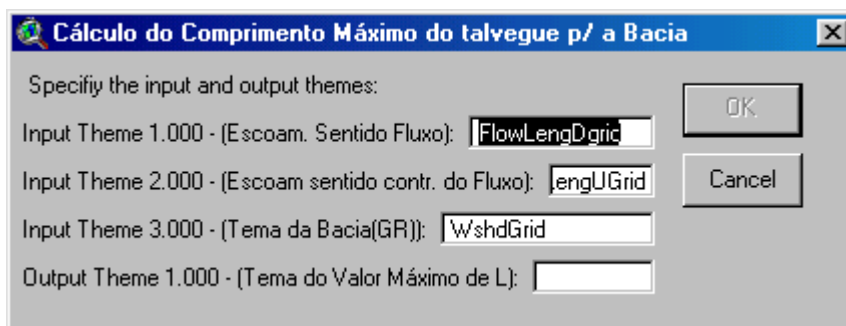


Figura 5-16 – Tela de customização do ambiente SIG, para entrada de parâmetros (planos de informações), para cálculo do máximo caminho.

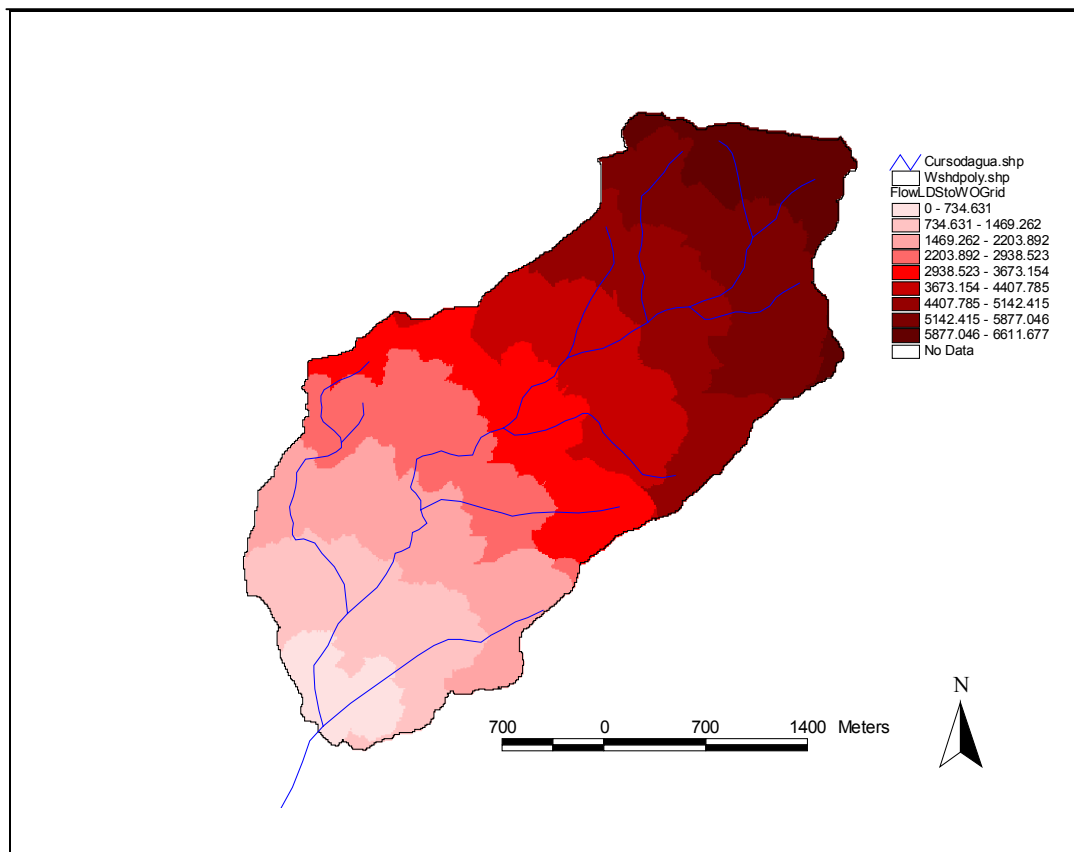


Figura 5-17 – Plano que delimita áreas de mesmo tempo de viagem, até o ponto de saída da bacia - "Flow lengths"

Como plano resultante do processamento dos parâmetros constante da Figura 5-16, temos o plano de informação que representa a linha de maior comprimento para a bacia considerada – Bacia do Rio Morto (Figura 5-18).

O parâmetro declividade, calculado sobre a linha definida para a obtenção do comprimento do máximo caminho, bastando para isso selecionar a opção “Declividade”, do menu customizado (Figura 5-15), sendo assim executado o código constante do Anexo B.

Os parâmetros área da bacia (A), fator de forma (XN), estão codificados no Anexo C, item de menu IPH II, opção “Cálculo dos Parâmetros” (Figura 5-15), .

Ainda no sentido de completar o cálculo dos parâmetros necessários a calibração do modelo IPH II, segue a determinação do tempo de concentração.

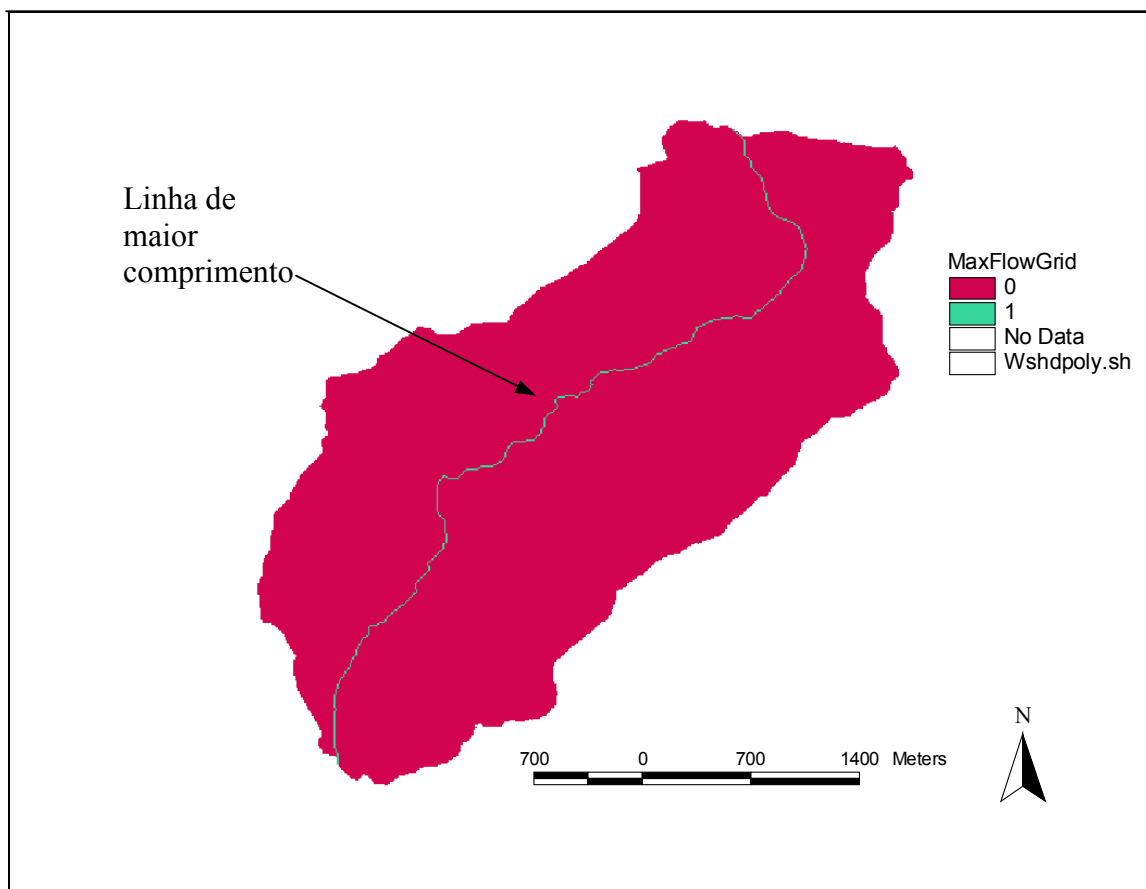


Figura 5-18 – Plano de Informação do máximo caminho para a bacia do Rio Morto, com sobreposição aos planos da bacia hidrográfica e do plano de curso d’água

O tempo de concentração (T_c), é definido como o tempo necessário para o escoamento superficial, partindo-se do ponto mais remoto. Assim, T_c pode ser entendido como sendo o intervalo de tempo, considerado a partir do início da chuva, para que toda a bacia passe a contribuir no exutório. O valor do T_c depende principalmente, da rugosidade e da declividade da superfície da bacia.

Na literatura, muitas fórmulas empíricas são apresentadas para estimativa do T_c . Para esta dissertação foram selecionadas algumas formulações para cálculo do tempo de concentração, onde os valores estão expressos em horas.

São elas:

- ♦ Ribeiro

$$T_c = \frac{16L}{60 * (1.05 - 2p) * (100 * S)^{0.04}} \quad \text{Eq. 5-1}$$

Onde:

L, é o máximo comprimento em km;

p, percentagem da bacia com cobertura vegetal;

S, declividade em m/m.

- ♦ Kirpich

$$T_c = 0.39 * \left(\frac{L^2}{S} \right)^{0.385} \quad \text{Eq. 5-2}$$

Onde:

L, máximo comprimento em km;

S, declividade %;

- ♦ Ventura

$$T_c = 0.0127 \left(\frac{A}{S} \right)^{1/2} \quad \text{Eq. 5-3}$$

Onde:

A, Área da bacia em km²

S, declividade em m/m

- ♦ Germano, Tucci e Silveira, 1998, v. 3 n. 4, p. 103-120

$$T_c = 18.628 \frac{L^{0.882}}{IMP^{0.272}}, \text{ para } R^2 = 0.815 \quad \text{Eq. 5-4}$$

Onde:

L, máximo comprimento em metros;

IMP, área impermeável;

R^2 coeficiente de determinação.

A formulação do tempo de concentração utilizada foi a de Germano, Tucci e Silveira (1998, v. 3 n. 4, p. 103 -120), cujo valor é de 1.72 h, para 3% de IMP.

As formulações do Ribeiro, Ventura e Kirpich, esta última adotada para o estudo da PRODEC (1998), têm para valores respectivamente 3.01, 0.43 e 1.93 h.

Muitas fórmulas empíricas são apresentadas para a estimativa do T_c , apresentando valores muitas vezes que não raramente diferem entre si (RAMOS, 404 p, 1989).

O plano de informação de uso e cobertura do solo foi originado a partir arquivos digitais da área da bacia do Rio Morto, na escala de 1 : 2.000, no formato "dxf" (Tabela 5-8), originados a partir de fotografias aéreas, em preto e branco, na escala de 1 : 8.000 datadas de 1976. O método utilizado, se serviu além dos arquivos digitais, também das próprias fotografias aéreas no sentido de dirimir qualquer dúvida apresentada no momento da classificação. Cabe ressaltar que as informações cartográficas disponíveis, são compatíveis com as séries hidrológicas utilizadas na modelagem hidrológica.

A partir da classificação, foi criada uma tabela onde consta para cada polígono de classe, atributos relativos ao código do tipo de classe, a descrição da classe, e um atributo relativo ao índice de impermeabilidade para aquela classe, e que posteriormente foram consolidadas e foram utilizadas a posteriori na determinação da área impermeável da bacia (IMP).

As classes para a classificação de uso e cobertura do solo utilizadas foram as classes constantes em (IBGE, 1999, n. 7).

5.5.2 Calibração e Validação dos Parâmetros do Modelo IPH II

O modelo IPH II foi calibrado, através de um sistema desenvolvido em linguagem Delphi – v. 5.0, onde basicamente este exerce uma função de uma interface amigável (front-end), para as rotinas fortran do modelo IPH II e SMAP suavizado. Este sistema permite a calibração dos parâmetros de forma manual e automática (seção 3.4), permitindo ainda a previsão de vazões e algumas análises, através de gráficos.

O procedimento de aplicação dos parâmetros fisiográficos obtidos através do Arcview 3.2, juntamente com os demais parâmetros do modelo IPH II, seguiu o enfoque de baixo acoplamento, segundo descrição constante no item 4.1, gerando o arquivo de parâmetros "ParamIPH.dat", utilizado pelo sistema de calibração, na operação de calibração.

A obtenção do arquivo ParamIPH.dat, ocorre através da opção de menu “Calcula Parâmetro”, constante do item de menu IPH II, na barra de menu. Ao executar este item, uma vez presente todos os planos de informações necessários (vide Figura 4-3), esta tela permite a exibição/edição dos parâmetros fisiográficos da bacia do Rio Morto (Figura 5-19).

Ainda na Figura 5-19, temos um conjunto de parâmetros do modelo IPH II (seção 3.5.2), cujos valores, são valores médios, explicitados no capítulo 3, seção 3.5.2, e constantes em Germano, Tucci e Silveira (1998, v. 3 n. 4, p. 103-120), derivados da aplicação do modelo IPH II em 28 bacias urbanas e suburbanas brasileiras, com a seleção de eventos, privilegiando uma uniformidade na discretização temporal, qualidade da curva de descarga e a existência de dados pluviográficos e linigráficos na mesma escalam.

Parâmetros Modelo IPH II

Parâmetros da Bacia

Área (km²): 9.4016 Fator de Forma: 0.2151

Máx Comp. (m): 6611.6787 Declividade m/m: 0.0083

Tempo Concentração (h): 1.218

Parâmetros IPH II

lo: 10.5 Ksub: 12

lb: 0.4 Rmax: 12

H: 0.7

Ks: 4

Salvar

Figura 5-19 – Tela que permite exibição/edição dos parâmetros fisiográficos da Bacia do Rio Morto – Item de menu “Calcula Parâmetros, Opção IPH II

Constante do anexo D, tem-se o trecho de código que permite evocar a tela da Figura 5-19, e proceder aos cálculos dos parâmetros. Ainda nesta mesma figura, observa-se o botão “Salvar”. Este botão permite que, após serem alterados os valores dos parâmetros fisiográficos, estes possam ser salvos, configurando assim um novo arquivo de parâmetros para a operação de calibração do modelo IPH II, cujo código fonte, consta do anexo E.

De posse dos parâmetros fisiográficos calculados, pode-se então evocar o sistema de calibração, onde, conforme está exibido na Figura 5-20, a tela de entrada onde são inseridos os parâmetros fisiográficos, obtidos por intermédio do Arcview 3.2.

Caso de Estudo

Nome do Local: Rio Morto 22

Área da Bacia: 9.4 Km²

Área Impermeável: 3 %

Intervalo de tempo: 30 minutos

NH: 5 n^o intervalos de tempo

XN: 0.21 adm

Modelo:

☐ SMAP II

☒ IPH II

Carregar caso de estudo

Dados de Entrada

Calibração | Previsão | Simulação

03 arquivos com chuva, evaporação e vazão independentes

Chuva: P220181.DAT

Evaporação: E220181.DAT

Vazão: Q220181.DAT

OK Cancelar

Figura 5-20 – Tela de entrada das variáveis fisiográficas – Sistema de Calibração

Nesta tela são inseridas algumas variáveis obtidas diretamente através do SIG, como área da bacia (A), área impermeável (IMP), XN (fator de forma), e outras variáveis obtidas indiretamente, como NH, que traduz em valor inteiro, a razão entre a tempo de concentração e o intervalo de discretização das informações hidrometeorológicas, os dados de chuva, vazão e evaporação, são discriminadas também nesta tela.

Os valores assumidos para as séries temporais da estação pluviométrica Mucuíba e a estação fluviométrica Vargem Alegre (Rio Morto) (Tabela 5-4 e 5-6), foram conforme item 5.4 consolidados a partir dados compilados da SERLA, exceto para evaporação, que foi considerada nula. O valor máximo para discretização temporal destas séries, foi de 30 minutos (intervalo de tempo).

De acordo com a disponibilidade dos dados, foram selecionados 3 eventos (Tabela 5-11), tendo seus dados consistidos e digitalizados.

Para a operação de calibração do modelo IPH II, para os eventos constantes na Tabela 5-11, foi utilizada o modo manual (seção 3.4), ou seja, método da tentativa e erro (Figura 5-21).

Intervalo de tempo (min.)

30

Tipo de calibração

☐ Automática ☒ Manual

Parâmetros Inicializações

<input checked="" type="checkbox"/> IO	10.5	mm/h	<input checked="" type="checkbox"/> RMAX	26.1	mm
<input checked="" type="checkbox"/> IB	0.4	mm/h	<input checked="" type="checkbox"/> ALF	18.4	adm
<input checked="" type="checkbox"/> H	0.9	adm			
<input checked="" type="checkbox"/> KS	6.6	dia			
<input checked="" type="checkbox"/> KSUB	5	dia			

Ferramentas de Análise

☒ Gráficos ☒ Análise de erros

Figura 5-21 – Tela de Calibração dos parâmetros do modelo IPH – Sistema de Calibração

Neste mesmo estudo (ibid.), busca-se estabelecer uma relação entre os parâmetros dos algoritmos de escoamento superficial, T_c e K_{sup} , e as características das bacias consideradas, tentando várias regressões com os valores ajustados. Assim, as melhores regressões obtidas, são as seguintes:

Para o tempo de concentração, a equação constante em Eq. 5-4, e para o K_{sup} , a seguinte regressão:

$$K_{sup} = 24.058 \frac{L^{1.063}}{S^{0.126} * IMP^{0.549}}, \text{ para } R^2 = 0.806 \quad \text{Eq. 5-5}$$

Onde:

L, comprimento do máximo caminho para a bacia, em km

S, declividade em %

IMP, área impermeável em %

De posse da equação 5.5, pode-se calcular o parâmetro K_{sup} , para a bacia do Rio Morto, sendo este valor igual a

Assim, seguindo a conceituação dos parâmetros do modelo IPH II, constante do item 3.5.3, adequando estes parâmetros ao conhecimento da área, chegou-se a um vetor de parâmetros, cujo coeficiente de determinação mostrou-se satisfatório para os eventos selecionados (Tabela 5-9).

Tabela 5-11 – Tabela contendo os valores dos parâmetros para os três eventos selecionados

Data do Evento	Io	Ib	H	Ksup	Ksub	Rmax	ALF	R ²
19/04/1977	11.0	0.4	0.9	7.0	32.0	59.7	18.4	0.936
24/11/1980	10.5	0.4	0.7	7.0	48.0	21.5	18.0	0.750
22/01/1981	10.5	0.4	0.9	6.6	5.0	26.1	18.4	0.938

As Figuras 5-22, 5-23 e 5-24, apresentam as análises gráficas constante do sistema de Calibração.

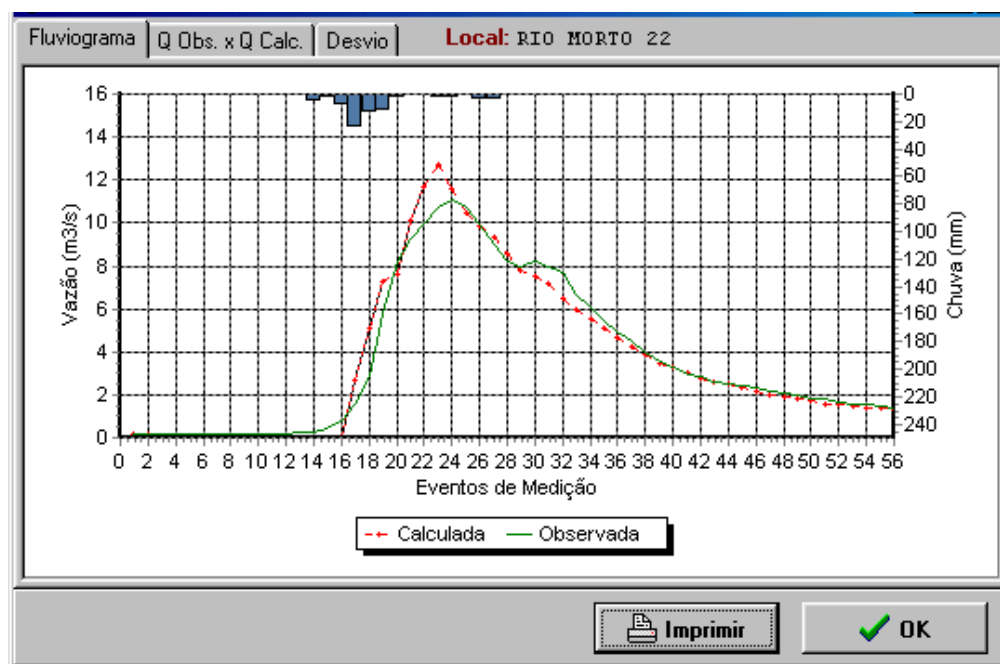


Figura 5-22 – Figura exibindo adequação entre vazão observada e calculada, juntamente com a pluviometria

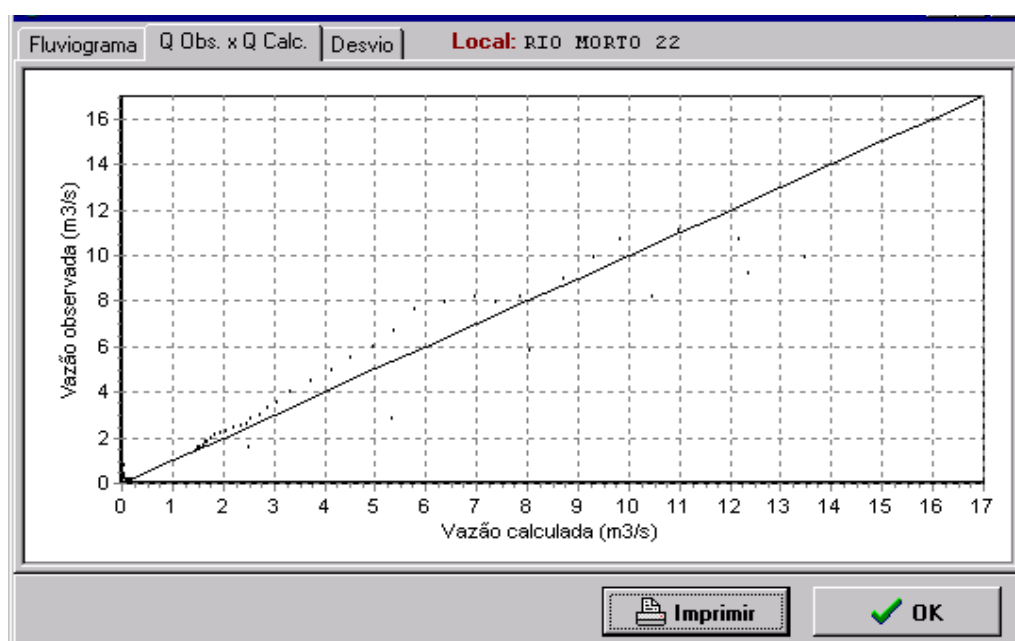


Figura 5-23 – Figura exibindo distribuição da vazão observada e calculada

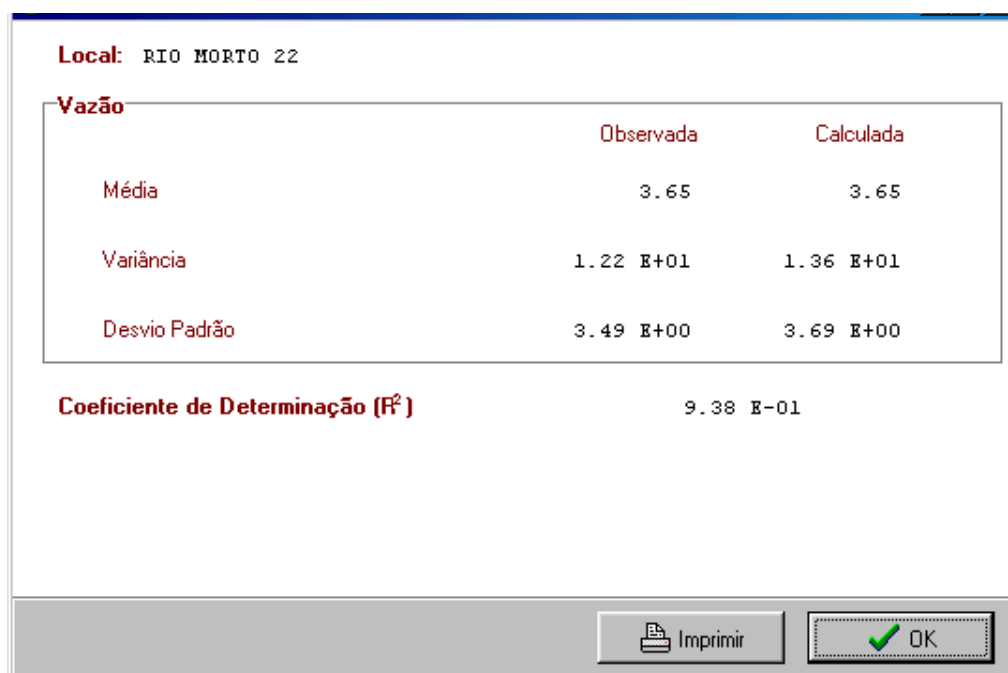


Figura 5-24 – Figura exibindo coeficiente de determinação – grau de ajustamento

Iniciando pela Figura 5-22, esta exhibe o ajuste entre o valor observado da vazão, e o valor calculado através da modelagem hidrológica. Ainda neste mesmo gráfico, é exibida a quantidade de chuva para aquele evento.

Para a Figura 5-23, observa-se a distribuição da vazão calculada em relação a vazão observada. Na Figura 5-24, é exibida a concordância entre os valores médios das vazões, observadas e calculadas, sendo exibido também o coeficiente de determinação, que denota o grau de ajuste entre os valores observados e modelados.

Os parâmetros do modelo IPH II, determinados para bacia do Rio Morto na fase de calibração, foram aplicados na simulação de vazões, para o evento de 19/04/1977, alterando-se apenas a área impermeável, utilizando-se o valor de 3% para o parâmetro IMP no ano de 1976, e 9% para o ano de 1999.

A Figura 5-25, exhibe a alteração do regime de vazão para a bacia do Rio Morto, em decorrência do processo de urbanização, com a modificação do percentual de área impermeável.

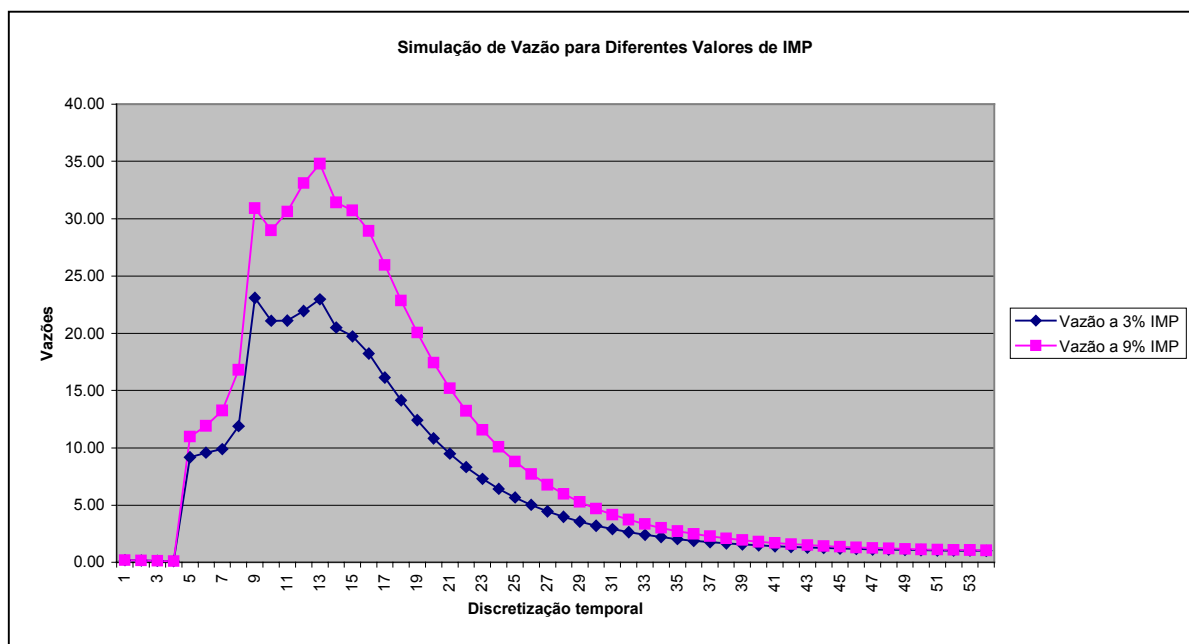


Figura 5-25 - Gráfico com o regime de vazões para diferentes percentuais de áreas impermeáveis Evento de 19/04/1977 (Parâmetro IMP)

5.5.3 Análise dos Resultados

Segundo Sui e Maggio (1999, p. 33-51) e Maidment (1996), é geralmente aceito que a integração SIG com modelos hidrológicos tem auxiliado os usuários a irem além do gerenciamento e mapeamento temático de dados geográficos, de fato propiciando análises e simulações. Os Sistemas de Informações Geográficas fornecem aos hidrólogos uma plataforma computacional ideal para estimativa de parâmetros, levantamento dos dados hidrológicos, visualização dos resultados, com isso auxiliando na calibração, implementação e utilização de diversos modelos.

A Tabela 5-9, relaciona os resultados obtidos a partir da técnica descrita neste capítulo, comparando estes valores com valores extraídos da Prodec (1998). Esta comparação, tem a função única e exclusiva de relacionar ordem de grandezas entre os valores obtidos pelo Arcview, e os valores obtidos por métodos mais tradicionais, estabelecendo assim uma grau de aceitação dos resultados obtidos a partir do Arcview.

Os valores obtidos acima por intermédio do Sistema de Informação Geográfica, foram os valores utilizados para fins de calibração e simulação do modelo hidrológico IPH II.

Os valores dos parâmetros da Prodec (1998), foram obtidos através de cartas na escala de 1 : 10.000 datadas de 1976, utilizando ainda cartas na escala de 1 : 2.000 para dirimir qualquer questão, como divisor de bacias, etc. Os métodos empregados foram os métodos ditos tradicionais, com mensurações efetuadas sobre a carta.

No estudo desenvolvido em Prodec (1998), na estimativa da área impermeável, não foi considerado um índice de impermeabilidade para cada classe, sendo considerada a área impermeável, a soma das áreas, que tenham tido algum tipo de alteração do uso e cobertura do solo, perfazendo uma área de total urbanizada de 36.9%. Foi alcançado um valor de mesma ordem de grandeza pelo presente trabalho (28.1%), sendo este o valor da soma das classes representativas daquelas que de alguma forma apresentam modificação do uso e cobertura do solo, como classe residencial, industrial, e etc.

Tabela 5-12 – Comparação dos Parâmetros obtidos e/ou calculados pelo Arcview 3.2 x PRODEC (1998)

Parâmetros	Arcview 3.2	PRODEC	% Dif.
Área da Bacia (km ²)	9.4	9.63	2.39
Comp. Talvegue (km)	6.65	7.23	8.02
Declividade (m/m)	0.0083	0.0083	0
Fator de Forma (adm)	0.21	-	-
Tempo de Concentração (min.)	Germano, Tucci e Silveira (2.31)	Kirpich (1.93)	10.88

No contexto dos parâmetros do modelo IPH II, mesmo tendo sido efetuado uma calibração manual, o modelo mostrou-se de fácil manuseio, claro e compreensível, sendo o vetor ótimo de parâmetros alcançado não de imediato, mas convergido de forma objetiva e direta.

6 Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

O estudo abordado por esta dissertação, compreende a integração de duas ferramentas: os sistemas de informações geográficas e os modelos hidrológicos, tendo como base, o atual estágio de desenvolvimento destas duas ferramentas, consideradas de forma singular e integrada.

A partir de uma ferramenta SIG (Arcview 3.2), e de um modelo hidrológico chuva-vazão (IPH II), este trabalho buscou a materialização desta integração, aplicando a metodologia desenvolvida na obtenção dos parâmetros fisiográficos da bacia do Rio Morto – Jacarepaguá, município do Rio de Janeiro. Ainda de forma complementar foi agregado um pequeno inventário das cheias urbanas para a região de Jacarepaguá.

Uma das contribuições desta dissertação esta no campo da obtenção dos parâmetros fisiográficos, necessários ao processo de calibração e simulação da modelagem dos fenômenos hidrológicos. Foram desenvolvidas rotinas computacionais, e criada uma extensão em Arcview 3.2, automatizando o processo de obtenção dos parâmetros fisiográficos do modelo. Tanto as rotinas computacionais, como a extensão podem ser facilmente utilizadas e codificadas em outras versões do software. Neste sentido, é apresentada uma metodologia clara e concisa de obtenção dos parâmetros fisiográficos, necessários para a aplicação do modelo chuva-vazão IPH II, a partir do sistema de informação geográfica Arcview 3.2. Adicionalmente, a aplicação do modelo IPH II integrado ao Arcview 3.2 à bacia do Rio Morto, além de demonstrar a metodologia proposta, com sua implícita clareza e facilidade de aplicação, agrega mais uma demonstração e contribuição, com a inferência de valores dos parâmetros de aplicação do modelo IPH II. A bacia do Rio Morto pode ser considerada como representativa da região de Jacarepaguá e a aplicação do modelo IPH II, com a determinação dos parâmetros para a mesma, juntamente com o pequeno inventário hidrológico, com respeito às cheias urbanas apresentado para a região, deverá contribuir para a extensão e aprofundamento do estudo ora apresentado para a bacia hidrográfica de Jacarepaguá.

Um dos aspectos que mais consomem tempo de projeto e adiciona custos a modelagem hidrológica urbana ou rural, é a determinação de parâmetros fisiográficos, sendo de forma acentuada no âmbito urbano, quando estas análises necessitam serem feitas para várias sub-bacias, onde uma discretização espacial de menor escala é exigida.

Desta forma, esta tese apresenta uma metodologia eficaz para aquisição dos parâmetros fisiográficos de ampla utilização na modelagem hidrológica de bacias hidrográficas, quer sejam urbanas ou rurais, minimizando o tempo gasto com a aquisição dos dados de entrada a efetuação da análise hidrológica.

Muito recentemente, foi veiculado pela imprensa oficial e por jornais de grande circulação, um projeto de estruturação urbana contemplando os bairros de Camorim, Vargem Pequena e Vargem Grande, estando a bacia do Rio Morto contida neste último bairro. Neste novo plano urbanístico, ocorre a redução da área de lote mínimo, como também é proposta a criação da chamada “vенеza” carioca, demandando estudos hidrológicos para a área, e favorecendo o processo de urbanização. Este trabalho contribui neste sentido, apresentando um panorama hidrológico para a área, caracterizando também aspectos sociais, econômicos, ambientais, de forma a correta apropriação do binômio homem x água, para o local.

Na obtenção dos parâmetros fisiográficos alguns aspectos são de relevada importância, tais como uma base cartográfica digital de boa qualidade, ponto de partida para análises espaciais a partir de um SIG (Arcview). Outro aspecto a ser considerado, e que está diretamente relacionado à base cartográfica, é a geração do MDT, pois este é o plano de informação de origem para todas as operações necessárias a determinação dos parâmetros fisiográficos, tais como a área da bacia (A), declividade (S), máximo comprimento do talvegue (L), fator de forma (XN), Área impermeável (IMP), e por formulação o tempo de concentração (Tc), perfazendo o conjunto de parâmetros utilizados no modelo IPH II, e eventualmente em outros modelos hidrológicos.

De forma direta, a dimensão do pixel está intimamente ligada ao plano que representa a altitude (isolinhas ou pontos cotados), e a escala da base cartográfica de origem. Desta forma, quanto maior a escala destes planos, maior a resolução da grade em termos de pixel, influenciando de forma direta a generalização espacial da altitude, significando maior precisão na representação das feições do terreno para o MDT e, por conseguinte maior precisão na determinação do fluxo e análises hidrológicas.

O emprego de uma grade para o arquivo raster, com tamanho de célula de 10 x 10m utilizado nesta dissertação, para os planos de informação sobre os quais foram efetuadas as análises e operações, em nada aumentou a latência do processamento, fato observado devido a configuração do equipamento, em segundo devido a extensão da área e em terceiro e último as operações a nível de célula não são operações complexas,

sendo na sua grande maioria operações aritméticas, quando no muito de aspecto cumulativo.

Desta forma, a utilização das cartas na escala de 1 : 10.000 com as curvas de nível com uma equidistância de 5 m, para o desenvolvimento do MDT, mostrou-se satisfatória neste estudo, porém na aplicação desta técnica em áreas onde haja pouca movimentação/declividade, isto pode exigir uma definição maior no espaçamento das curvas de nível, talvez de metro em metro, para garantir a precisão dos planos de informação, como MDT, MDT “corrigido”, mapa de direção de fluxo e planos derivados, com vista a não mascarar a determinação do fluxo, e por conseguinte a determinação da bacia de contribuição para um dado ponto.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, o Arcview 3.2 mostrou-se ainda ser uma ferramenta capaz de contemplar a demanda atual por funções de análise espacial, suportando todas as exigências a que foi submetido, apresentando ainda um vasto suporte, com uma comunidade ainda ativa, não obstante as versões mais recentes, como por exemplo o ArcGis 8.2.

Uma das dificuldades encontradas na execução desta dissertação foi na compilação dos dados fluviométricos. A forma de organização e registro ainda em papel, e a carência de armazenamento digital relativo aos dados, dificultou o acesso, a consulta e a devida apropriação para o processo de calibração e simulação do modelo IPH II.

A integração SIGs x Modelos Hidrológicos no atual estágio de desenvolvimento, ainda se mostra um assunto interessante e de perspectivas significativas, uma vez que segundo foi observado pelo conjunto da literatura consultada, em ambos os segmentos ainda não foram alcançados a total plenitude.

O estudo mostrou uma grande ênfase dos sistemas de informações geográficas atuais, na representação dos fenômenos ambientais de forma estática, tendo o mapa como sua principal forma de abstração. Assim uma boa parte dos fenômenos naturais, que se processam de forma dinâmica no domínio espaço-tempo, como por exemplo o escoamento da água da chuva, ainda não encontra a sua adequada representação.

Por sua vez, os modelos hidrológicos de forma relativamente recente, é que desfrutaram do surgimento da tecnologia computacional, buscando desta forma toda a expressão dos seus potenciais. Adicionalmente, de modo recente, têm-se observado a conjunção de esforços no sentido de integrar de forma eficaz a capacidade apresentação

e de análise espacial dos SIGs, com o poder de representação do ciclo da água, por parte dos modelos hidrológicos.

O estudo por ora apresentado é uma demonstração, de que não obstante o "status quo" do desenvolvimento da tecnologia relativa aos sistemas de informações geográficas e à modelagem hidrológica, é possível a integração destas duas ferramentas, de forma clara e concisa com vistas a obtenção dos parâmetros fisiográficos.

No tocante as sugestões para trabalhos futuros, podemos dividi-las em dois grupos: primeiro aquelas que tiveram como demandantes as dificuldades encontradas durante o trabalho de tese, e que uma vez executadas, facilitariam o uso da presente metodologia na obtenção dos parâmetros fisiográficos, para diversas bacias. Em segundo lugar aquelas sugestões que visam a futuras contribuições no campo da modelagem hidrológica de bacias urbanas.

O primeiro grupo visa propiciar a disponibilização e o acesso aos dados hidrometeorológicos da cidade, de uma forma rápida, segura e padronizada, e que de forma efetiva possa suprir de forma satisfatória, a tecnologia de geoprocessamento, que com o passar do tempo, irá demandar mais e mais informações.

Assim, no primeiro grupo temos:

- i. Criação de Banco de Dados de Bacias Urbanas no âmbito do Município do Rio de Janeiro
- ii. Densificação das Estações Fluviométricas e Pluviométricas
- iii. Medição das Cotas de Cheias Urbanas (Altura da nível da água)
- iv. Determinação de índices de impermeabilidade para áreas urbanas na cidade do Rio de Janeiro, segundo uma discretização espacial
- v. Classificação do solo segundo Nomenclatura do SCS

Quanto ao segundo grupo, sugestões para desenvolvimento no campo da modelagem hidrológica de bacias urbanas, fica a proposição de um estudo mais aprofundado do ponto de vista da evolução termo-pluviométrica para a área do lote 3, para as décadas de 1950-1990. Em tal estudo, poderá ficar evidenciado a influência do crescimento urbano nas alterações climáticas, demonstrando a contribuição do fator climático para com os eventos de inundação.

Corroborando no sentido do estudo dos eventos de cheias urbanas, com o produto da integração dos modelos hidrológicos e dos SIGs, efetuar uma simulação através do modelo IPH II, para diferentes períodos, com o uso dos parâmetros representativos da época, como por exemplo área impermeável. Desta forma poderia ser demonstrado o efeito do processo de urbanização no regime hidrológico da área, alterando aspectos como vazão de pico para a seção considerada.

Ainda relativo ao estudo das cheias urbanas, outro proposta a ser mencionada deve ser o mapeamento de áreas urbanas sujeitas a inundação, aplicáveis em situações que se disponham de dados sobre os níveis da água e das vazões correspondentes, ainda que oriundos de simulações através de modelagem hidrológica, e de medições efetuadas em campo, quando da ocorrência dos eventos. Neste sentido, o estudo do Fernando Ferraz pode de forma complementar a esta dissertação, apresentar um panorama mais realista das cheias urbanas, através de um zoneamento das áreas de risco, propiciando uma ferramenta para a análise e a conseqüente destinação de uso e ocupação.

O método da curva número (CN), é um método simples e amplamente utilizado na determinação do escoamento superficial a partir de uma evento de chuva.

Os sistemas de informações geográficas, através da operação de interseção dos planos de informação de uso e cobertura do solo, bem como do plano tipo de solo, proporciona uma forma simples e eficiente para a determinação do coeficiente curva número. É necessário "a priori", a confecção do plano de tipo de solo, segundo a qual o SCS apresenta uma classificação quanto a potencialidade de escoamento deste solo. A proposta que se encerra na sentença acima, é a confecção deste plano de tipo de solo, para auxílio na determinação do valor do CN através dos SIGs.

Outra sugestão para trabalhos futuros, reside no campo de estudos de viabilidade de aplicação e adoção das medidas não estruturais do tipo BMP ("Best Management Practices") para a cidade, em detrimento das medidas estruturais, geralmente mais onerosas. Este conjunto de medidas, implementadas pelo EPA no sentido de atenuar o escoamento superficial e seus efeitos, podem ser entre outras:

- i. Reservatórios de detenção;
- ii. Valas de infiltração;
- iii. Pavimentos Porosos;
- iv. Áreas de retenção;
- v. Seguro contra enchentes.

ÍNDICE BIBLIOGRÁFICO

ABBOTT, M. B., et al., An introduction to the European Hydrological System – Système Hydrologique Européen, "SHE", 1, History and philosophy of a physically-based, distributed modelling system. J. Hydrol., n. 87, p. 45-59, 1986a.

ABBOTT, M. B., et al., An Introduction to the European Hydrological System – Système Hydrologique Européen, "SHE", 2: Structure of a Physically-Based, Distributed Modelling System. J. Hydrology., n. 87, p. 61-77, 1986b.

AHRENS, S.; OLIVERA, F.; MAIDMENT, D., R., Digital Watershed Delineation and CRWR-PrePro. Austin, University of Texas, Disponível em : <<http://www.crrw.utexas.edu/gis/gishyd98/class/prepro/webfiles/prepro.htm#dem>>, Acesso em: 21 jan. 2002

AMERICAN WATER RESOURCES ASSOCIATION (AWRA), Satellite Analysis. Water Resour. Bull., 10 (5), p. 1023-1086, 1974.

ANHERT, F. , Aplicação de Sistemas de Informações Geográficas e Hidrologia Probabilística na Previsão e no Planejamento do Uso do Solo de Áreas de Inundação em Regiões Urbanas. In: Diálogo Interamericano de Gerenciamento de Águas – Em Busca de Soluções., 4., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais Eletrônicos...**Foz do Iguaçu. Disponível em: < <http://www.ivdialogo.com/.%5ctrabalhos%5cdial066.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2002

ARNOLD, J. G. et al., **SWRRB: A Basin Scale Simulation Model for Soil and Water Resources Management**. 1st Ed., College Station, TX: Texas A&M University Press, 1990. ISBN 08-909-6337-1.

BERTHELOT, R., **Hidrologia Sintética**. 1970. Dissertação (Mestrado) – IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BERTHELOT, R., et al., Inventário dos Recursos Hídricos Superficiais na Região de Imbituba. Instituto de Pesquisas Hidráulica/UFRGS, 1972, Relatório Técnico.

BEVEN, K. J., TOPMODEL: A physically-based variable contributing area hydrological model program. Working Paper 183, School of Geography, University of Leeds, UK, 1977.

BEVEN, K. J.; KIRKBY, M., A physically-based variable contributing area model of basin hydrology. 1979, Hydrology Science Bulletin, 24, p.43-69.

BEVEN, K. J.; CALVER, A.; MORRIS, E. M. The Institute of Hydrology Distributed Model – HDM. Institute of Hydrology, Wallingford University. United Kingdom. 1987, Technical Report 98.

BRANDÃO, A. M. P. M., As Alterações Climáticas na Área Metropolitana do Rio de Janeiro: Uma Provável Influência do Crescimento Urbano. In: ABREU, M. A., (Org.). Natureza e Sociedade no rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Coleção Biblioteca Carioca, 1992, v. 21, cap. 6, p. 143-200.

BURNASH, R. J. C.; FERRAL, R. L.; MCGUIRE, R. A. A General Streamflow Simulation System – Conceptual Modeling for Digital Computers. Joint Federal State River Forecasts Center. 1973, Technical Report.

BURROUGH, P. A. Fuzzy Mathematical Models for Soil Survey And Land Evaluation, Journal of Soil Science, v. 40, p. 477-492, 1989.

BURROUGH, P. Dynamic Modelling And Geocomputation. Geocomputation: A Primer. Ed. P. Longley, M. Batty and R. McDonnel. London, John Wiley & Sons, 1998.

CÂMARA, G., et al. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. 1ª ed, Campinas: Ed. Sagres, 1996, IX Escola de Computação.

CLARKE, R. T. A Review of Some Mathematical Models Used with Observations on their Calibration and Use. J. Hydrology, n. 19, p. 1-20, 1973.

CORDERO, A.; MEDEIROS, P. A., Um Modelo Distribuído na Previsão de Cheia em Tempo Real. In: Diálogo Interamericano de Gerenciamento de Águas: Em Busca de Soluções., 4., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais Eletrônicos...**Foz do Iguaçu. Disponível em: <<http://www.ivdialogo.com/.%5Ctrabalhos%5Cdial213.pdf>>. Acesso em: 08 jan. 2002.

COSTA, W. S., Imagens de Jacarepaguá. Desenvolvido por Waldemar S. Costa. Disponível em: <www.wsc.jor.br>, Acesso em: 11 jun. 2002.

COUCLELIS, H., From Cellular Automata to Urban Models: New Principles for Model Development and Implementation, Environment and Planning B: Planning & Design, 24, 1997, 165-174.

CRAWFORD, N. H.; R. S. LINSLEY. Digital Simulation in Hydrology: The Stanford Watershed Model. Department of Civil Engineering, Stanford University. 1966, Technical Report 39.

DUGGER, A. L., **Linking GIS with Hydrologic Modeling System: An Investigation of the Midwest Flood of 1993**. 1997. Dissertação (Mestrado) – Department of Civil Engineering, University of Texas, Austin. Disponível em: <www.crrw.utexas.edu/gis/gishyd98/library/dugger/proj.pdf>, Acesso em: 05 mai. 2002.

ENGEL, B., Implementing the SCS CN Runoff Method in GIS. Hosted in University Purdue, Indiana. Apresenta método para cálculo do coeficiente curva número (CN). 1999, Disponível em: <<http://pasture.ecn.purdue.edu/~engelb/abe526/giscn/cncal.html>>, Acesso em: 17 abr. 2002.

ENGELLEN, G., Using Cellular Automata for Integrated Modelling of Socio-environmental Systems. Environmental Monitoring and Assessment 34, 1995, p. 203-214.

FERRAZ, F. F. B., **Aplicação de Sistemas de Informações Geográficas em Estudo de Área Urbana de Piracicaba Sujeita a Inundação**. 1996. Dissertação (Mestrado) – CENA, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FRANCHINI, M.; PACCIANI, M., Comparative Analysis of Several Conceptual Rainfall-Runoff Models, Journal Hydrology, Elsevier Science Publishers, Amsterdam. p. 161-219, 1991.

GALVÃO, B.F.R., Antiquilhas E Memórias Do Rio De Janeiro, Revista Do Instituto Histórico e Geographico Brasileiro, Vol 149, n. 95, p. 195-200, 1924.

GEOLOGIA: Mapa Geológico do Estado da Guanabara, Brasil: HELMBOLD, R., VALENÇA, J. G., LEONARDS JUNIOR, O. H., 1965. Escala 1:50.000.

GERMANO, A., TUCCI, C. E. M., SILVEIRA, A. L. L., Estimativa dos Parâmetros do Modelo IPH II para Algumas Bacias Urbanas Brasileiras, Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH, Porto Alegre, v. 3 n. 4, p. 103-120, 1998.

GISHYDRO. GYShidro Documentation. Desenvolvido pela University of Maryland. Apresenta textos sobre Sistemas de Informações Geográfica e modelagem hidrológica. Disponível em: <<http://www.gishydro.umd.edu/document.htm>>, Acesso em: 11 jun.2002.

GISHYDRO' 99. Centro de Pesquisa em Recursos Hídricos. Desenvolvido pela University of Texas. Apresenta textos sobre pesquisas na área de Hidrologia, e discorre sobre o Watetershed Modeling System (WMS). Disponível em: <<http://www.crrw.utexas.edu/gis/gishydro99/gishyd99.htm>>, Acesso em: 17 abr. 2002.

GOODCHILD, M. F., Spatial Autocorrelation. Catmog (Concepts And Techniques in Modern Geography), v. 47. Geobooks, Norwich, United Kingdom, 1988.

HALL, M. J., Urban Hydrology, Belfast – Ireland, Elsevier Ltd., 1984, ISBN 0-85334-268-7

HYDROCOMP, Hydrologic Simulation Models: An Overview. Apresenta texto na área de modelagem hidrológica e simulação. Disponível em: <<http://www.hydrocomp.com/simoverview.html>>, Acesso em: 02 out. 2001.

HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER (HEC). HEC-1, Flood Hydrograph Package – Users Manual. U. S. Army Corps of Engineers, 1981., Davis, California

IBGE, As Grandes Classes de Uso Atual da Terra – Manual Técnico de Uso da Terra, n. 7, Fundação IBGE, 1999

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (INPE), Modelagem Digital de Terreno e Aplicações (Tutorial), Curso de Modelo Numérico do Terreno, jun.2000a.

INSTITUTO MUNICIPAL DE URBANISMO PEREIRA PASSOS – CIDADE DO RIO DE JANEIRO (IPP-RJ), Armazém de Dados. Apresenta informações sócio-econômicas e cartográficas da Cidade do Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.armazemdedados.rio.rj.gov.br/princ_int.htm, Acesso em: 14 set. 2000.

JOHN, L., O Estado de São Paulo (Jornal), Artificializando os Desastres Naturais. O Estado de São Paulo, Campinas, 19 out. 2001. Caderno Ciência e Meio Ambiente, Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/ciencia/colunas/ecos/2001/out/19/109.htm>> , Acesso em: 10 jan. 2001.

KING, K. W.; ARNOLD J. G.; WILLIAMS, J. R.; SCRINIVASAN R. Soil and Water Assessment Tool–SWAT. USDA, Agricultural Research Service. 1996, 450p.

KNISEL, W. G. CREAMS, A Field Scale Model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems. USDA. 1980, Technical Report 26. 643p.

LANNA, A. E.; SCHWARZBACH, M. Modelo Hidrológico Auto-calibrável - MODHAC. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. 1989, 55p.

LISBOA FILHO, J., Modelos Conceituais De Dados para Sistemas de Informações Geográficas. 1997. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LOPES, J.E.G., BRAGA, B.F.P., CONEJO J.G.L. SMAP - A Simplified Hydrological Model, International Symposium on Rainfall-Runoff Modeling. Mississippi State University, Mississippi - USA, 1981

MAIDMENT, D. R., GIS and Hydrologic Modeling – An Assessment of Progress. In: International Conference on GIS and Environmental Modeling, 3, 1996, Santa Fé, New Mexico. Disponível em: <<http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/gishydro/meetings/santafe/santafe.htm>>, Acesso em: 25 fev. 2001.

MAIDMENT, D. R., GIS and hydrologic modeling. In: GOODCHILD, M.F.; PARKS, B. O.; STEYAERT, L. T.; Ed. **Environmental modeling with GIS**. New York, Oxford University Press, cap. 14, p. 147-167, 1993.

MAIDMENT, D. R., Introduction a Hydrological Simulation Model. The University of Texas. Apresenta texto sobre modelagem hidrológica de simulação. Disponível em: <<http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/gishydro/docs/reports/ye/Sect1.pdf>>, Acesso em: 29 jun. 2002.

MASON, D.; MAIDMENT, D. R. Na Analysis for a Methodology for Generating Watershed Parameters using GIS. CRWR - Center for Research in Water Resource, University of Texas at Austin. 2000, Relatório Técnico 00-3. Disponível em: <<http://www.crwr.utexas.edu/online.html>>, Acesso em: 15 abr. 2002.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT), Apresenta textos sobre a mudança de clima no Brasil, bem como conseqüências do efeito estufa no País. Tradução Organização das Nações Unidas (ONU). Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/clima/convencao/oque.htm#O%20QUE%20É%20O%20EFEITO%20ESTUFA>>, Acesso em: 21 nov. 2001.

MOÇAMBIQUE, Mozambique Devastated by Floods. Apresenta relatórios, dados sobre as enchentes naquele País. 2000, Disponível em: <<http://www.mozambique.mz/floods/cheias.htm>>, Acesso em: 10 dez. 2001.

MOTA, J. L. O., Modelos Matemáticos y su Aplicacion al Manejo de Cuencas Hidrográficas. In: Congreso Nacional de Irrigacion, 9, 1999, Culiacán, Sinaloa, México. Disponível em: <http://www.chapingo.mx/anei/ix_congreso/Doc/S499-03.pdf>, Acesso em: 12 set. 2001.

MUÑOZ, R. H.; TUCCI, C. E. M., Modelo Matemático do Arroio Charqueiro, Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS. 1974, Relatório Técnico.

NATIONAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (NRCS). TR-55-Urban Hydrology for Small WaterShed, National Water & Climate Center. 1986, Technical Report 55, Disponível em: <<http://www.wcc.nrcs.usda.gov/water/quality/common/tr55/tr55.html>>, Acesso em: 11 jun. 2002.

NIEMCZYNOWICZ, J., “Urban Hydrology and Water Management – Present and Future Challenges”, Journal of Urban Water, v. 1, n. 1, p 1-14, 1999.

OLIVEIRA, M. Q. C., Capítulo 1 - Introdução. In: Impacto de Mudanças no Uso do Solo nas Características Hidrossedimentológicas da Bacia hidrográfica do Rio Joannes e sua Repercussão na Zona Costeira. 1999. Tese (Mestrado). Faculdade de Geologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador. Disponível em: <http://www.geocities.com/hidrologia2000/MQC_5.htm> Acesso em: 10 maio 2002.

PEDROSA, B. M.; CÂMARA, G., Modelagem Dinâmica e Geoprocessamento, In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V., (Org.). Análise Espacial de Dados Geográficos, 2002, c. 6., disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/index.html>>, Acesso em: 10 set. 2000.

PILAR, J. V. et al., Modelos Numéricos do Terreno e suas Aplicações a Bacias Hidrográficas 3: Obtenção do Hidrograma Unitário, Instituto de Pesquisas Hidráulicas-UFRGS, Porto Alegre, 2000. Disponível em: <arandu.org.ar/pub/mnthu_sf.pdf>, Acesso em: 08 jan. 2002.

PILAR, J. V., DEPETTRIS, C., A., Utilizacion de un SIG par la Estimacion del Párametro Impermeabilidad de um Modelo Hidrologico Concentrado – Facultad de Ingenieria del Nordeste – U.N. N. E. Corrientes – República da Argentina, 2000. Disponível em: <arandu.org.ar/pub/pilar-depettris.pdf>, Acesso em: 21 jan. 2002.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO (PCRJ), Memória Histórica - Obras da Prefeitura do Rio de Janeiro, 1920-1922. p. 128-142.

PRODEC, Relatório Geral de Geologia e Geotecnia, In: Projeto de Recuperação Ambiental da Bacia de Jacarepaguá, V. 1, Anexo III, 1998.

RAMIREZ, M. R. **Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados para Geoprocessamento**. 1994. Dissertação (Mestrado) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

RAMOS, F., et al. **Engenharia hidrológica**. Rio de Janeiro: Editora Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 404 p. 1989.

REVISTA VISÃO (RV), E se as chuvas chegarem?, Revista Visão, Rio de Janeiro, 11 nov. 1966 – Artigo de Capa. p. 22.

RENNÓ, C. D.; SOARES J. V. Modelos Hidrológicos para Gestão Ambiental. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Ministério da Ciência e Tecnologia. 2000, Relatório Técnico Parcial Disponível em: <www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio_modelos_hidrologicos.pdf>, Acesso em: 10 jun 2002.

RIO DE JANEIRO (Município). Lei Complementar n. 16 (LC 16), de 4 junho de 1992. Dispõe sobre a Política Urbana do Município, Institui o plano Diretor Decenal da Cidade do Rio de Janeiro e dá outras Providências.

RIOÁGUAS, Fundação Instituto das Águas do Município do Rio de Janeiro. Apresenta textos, imagens, dados sobre as enchentes, exibindo causas e conseqüências. 2001, Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/rioaguas/rioaguas_enchentes.htm>, Acesso em: 15 abr. 2000.

ROCCO, M. R., Efeito Estufa. Apresenta um estudo sobre a causas e efeitos do efeito estufa na alteração do clima terrestre, disponibilizando vasta bibliografia. 1997, Disponível em: <<http://www.geocities.com/Augusta/7135/indexestufa.htm>>, Acesso em: 20 jul. 2001.

RONCARATTI, H., NEVES, L. E., Estudo Geológico Preliminar dos Sedimentos Recentes Superficiais da Baixada de Jacarepaguá, Municípios do Rio de Janeiro - RJ, Petrobras, 1976. 89p.

ROSEMBROCK, H. H., An Automatic Method for Finding the Gratest or Least Value of a Function, Journal Computer, 3, 1975. 184p, 1960.

ROSIM, S., **Definição de Rede de Drenagem Utilizando Modelagem Numérica do Terreno**. 1999. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Eletrônica e Computação, Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos.

RUMBAUGH, J. et al., **Modelagem e Projetos Baseados em Objetos. Rio de Janeiro**: Campus, 1994. (Tradução de Dalton Conde de Alencar), ISBN 85-7001-841-X

SAN DIEGO STATE UNIVERSITY (SDSU), Departament of Geological Sciences, Apresenta texto sobre as maiores enchentes pelo mundo. Disponível em: <<http://www.geology.sdsu.edu/classes/geol351/LEC05FLOODW.htm>>, Acesso em: 21 set. 2001.

SANCHEZ, J., **Previsión de Crecidas em el Rio Cauca através de um Modelo determinístico**, 1972. Dissertação (Mestrado) – IPH, Universidade Federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE – SÃO PAULO (SMA-SP). Desenvolvido pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Apresenta textos sobre os serviços e produtos disponíveis no site da Instituição. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/aquifero/def_aquifero .htm>, Acesso em: 25 maio 2002.

SILVEIRA, A ., L. L. DESBORDES., M., Modelo Hidrológico Distribuído Urbano com Poucos Parâmetros, Instituto de Pesquisas Hidráulicas-UFRGS, Porto Alegre, RBRH, v. 4, n. 1, p. 35-48, 1999.

SIMÕES, M., G., **Modeladores Digitais de Terreno em Sistema de Informação Geográfica**, 1993. Dissertação (Mestrado) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SOUZA, V. C. B., GOLDENFUM, J. A., Trincheiras de Infiltração como elemento de controle do escoamento superficial: um estudo experiemental. In: TUCCI, C. E. M., MARQUES, D. M. L. M., (Org.). Avaliação e Controle da Drenagem Urbana. Porto Alegre, Ed. ABRH, v. 2, p. 391 – 401, 2001.

STAEL, Relatório de Reavaliação das Vazões Máximas – Lote 3, In: Projeto Executivo de Macrodrenagem da Bacia de Jacarepaguá – v. 1, 1996.

STEYAERT, L.T. A Perspective On The State Of Environmental Simulation Modeling. IN: GOODCHILD, M. F.; PARKS, B. O.; STEYAERT, L. T.; Ed. **Environmental Modeling With Gis**. New York, Oxford University Press, cap. 3, p. 16-30, 1993.

STUDART, T. M. C., Notas de Aula. UFC, 2001, Disponível em: <<http://www.deha.ufc.br/ticianahidrologia/apostila.htm>>, Acesso em: 18 set. 2001.

SUI, D. Z.; MAGGIO, R. C., Integrating Gis With Hydrological Modeling Practices, Problems, And Prospects, International Journal of Computers, Environment, and Urban Systems, Elsevier Science Publishers, Texas, p. 33-51, 1999.

TEIXEIRA, A. L., MORETTI, E., CHRISTOFOLETTI, A. Introdução Aos Sistemas de Informação Geográfica. Rio Claro: Ed. do Autor, 1992.

TUCCI, C. E. M., Análise de Sensibilidade dos Parâmetros de Algoritmo de Infiltração. In: Simpósio Brasileiro de Hidrologia, 3, Brasília, 1979.

TUCCI, C. E. M., SÁNCHEZ, J., LOPES, M.O. S. Modelo IPH II de Simulação Precipitação-Vazão na Bacia : alguns resultados. In: Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, 1981, Fortaleza. **Anais**, São Paulo: ABRH v. 4, p.83-103, 1981.

TUCCI, C. E. M., Modelos Determinísticos. In: BARTH, F. T., et al.. Modelos para Gerenciamento de Recursos Hídricos. São Paulo: ed. Nobel: ABRH. p. 213-324, 1987.

TUCCI, C. E. M., KELMAN J., BRAGA, B. P. F. Modelos para Gerenciamento de Recursos Hídricos. São Paulo: Ed. Nobel: ABRH. p. 213-324, 1989.

TUCCI, C. E., CAMPANA, N. Simulação distribuída com o IPH II: Nova Versão. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, X., 1993, Gramado. **Anais**, Porto Alegre: UFRGS, p. 495-504, 1993.

TUCCI, C.E.M. Inundações Urbanas. In: TUCCI, C.E.M., PORTO, R.L., BARROS, M.T. (Org.) Drenagem Urbana. Porto Alegre: ABRH Publicações, Ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1ª Ed., p. 15-36, 1995.

TUCCI, C. E. M., “Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção”, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 2, n. 2, p. 5-12, 1997.

TUCCI, C. E. M., **Modelos Hidrológicos**. 1º Ed., Porto Alegre-RS : Editora da UFRGS e ABRH, 1998a, v.1. p.652.

TUCCI, C.E.M.; MACHADO, E.S., Concepção do Controle de Enchentes na Região Metropolitana de Curitiba. In: BRAGA, B.;TUCCI, C.E.M.; TOZZI, M., (Org.). **Drenagem Urbana: Gerenciamento, Simulação e Controle**. Porto Alegre: ABRH Publicações, Ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v. 3, p. 27-37, 1998b.

TUCCI, C.E.M., Drenagem Urbana e Controle de Inundações. In: CHASSOT, A. HERALDO, C. (Org.) Ciência da Terra e Meio Ambiente: Diálogo para (inter)ações no Planeta. São Leopoldo: Ed. Universidade Unisinos, p. 147-174, 1999.

UNESP, Courseware em Ciências Cartográficas – Campus de Presidente Prudente . Desenvolvido pela Profª Dra. Arlete Meneguette. Apresenta textos sobre Geoprocessamento. Disponível em: <http://www.prudente.unesp.br/dcartog/arlete/hp_arlete/courseware/intgeo_sub.htm> , Acesso em 29 mar. 2001.

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (US EPA), Global Warming. Apresenta texto, gráficos sobre mudança climática no globo terrestre. 1998, Disponível em: <<http://www.epa.gov/globalwarming/impacts/index.html>>, Acesso em: 10 out. 2001.

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (US EPA). Urban Storm Water Best Management Practices Study (BMP) – Environmental Assessment. Apresenta um estudo sobre o escoamento superficial em áreas urbanas. 1999a, Disponível em: <http://www.epa.gov/ost/stormwater/usw_b.pdf>, Acesso em: 20 nov. 2001.

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (US EPA),. Urban Storm Water Best Management Practices Study (BMP) – Costs and Benefits of Storm Water BMPs. Apresenta uma estimativa de custos para medidas estruturais e não estruturais, comparando-as. 1999b, Disponível em: <http://www.epa.gov/ost/stormwater/usw_d.pdf>, Acesso em: 20 nov. 2001.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (US EPA), Global Warmings. Apresenta estudos sobre o comportamento da atmosfera e sobre as mudanças climáticas. Disponível em: <<http://www.epa.gov/globalwarming/climate/index.html>>, Acesso em: 10 jun. 2002.

VERTESSY, R.A.; HATTON, T.J.; O'SHAUGHNESSY, P.J.; JAYASURIYA, M.D.A. Predicting water yield from a mountain ash forest catchment using a terrain analysis based catchment model. **J. Hydrology**, n. 150: p. 665-700, 1993.

WILLIAMS, J. R.; HANN, R. W. HYMO: Problem-Oriented Language for Hydrologic Modeling-User's Manual. USDA, ARS-S-9, 1973.

WILLIAMS, J. R.; NICKS, A. D.; ARNOLD, J. G. Simulator for Water Resources in Rural Basins. ASCE Journal Hydrology Engineer, 111: 1985. p. 970-986.

WOOD, E. F. & O'CONNELL, P. E., 1985. Real-time forecasting. In: ANDERSON, M.; BURT, T. (Editors), Hydrological Forecasting, New York, John Wiley and Sons, 1985, p. 505-558.

ZOPPOU, C., Review of Urban Storm Water Models, Journal Hydrology, Elsevier Science , Austrália, p.195-231, 2001.

APÊNDICE A

' **Descrição:** Após o uso do maxflow length, da extensão hydro,
' este script confecciona o tema do max flow length, calculando
' o comprimento, e construindo o grid do MaxFlowLength

' **Data:** 17/07/02

TheView=av.GetActiveDoc

InTags={"Escoam. Sentido Fluxo", "Escoam sentido contr. do Fluxo", "Tema da
Bacia(GR)"}

OutTags={"Tema do Valor Máximo de L"}

InfoTitle="Cálculo do Comprimento Máximo do talvegue p/ a Bacia"

ChkInOut=av.run("hydro.DemSetInOut",{TheView,InTags,OutTags,InfoTitle})

if(ChkInOut=nil)Then
 msgbox.info("Problema com o script: hydro.DemSetInOut",
"++Script.The.GetName)
 exit
end

' Capturando os temas

InThmList=ChkInOut.Get(0)

' Temas Sentido do fluxo e sentido contrário

FlowDThm=InThmList.Get(0)

FlowUThm=InThmList.Get(1)

WshdThm=InThmList.Get(2)

OutName1=ChkInOut.Get(1).Get(0)

OutTag1=OutTags.Get(0)

' Pegando os grids a partir dos temas

FlowDGrid=FlowDThm.GetGrid

FlowUGrid=FlowUThm.GetGrid

WshdGrid=WshdThm.GetGrid

' Calculando grid que contem as células com valor máximo

AumentGrid = (FlowDGrid * WshdGrid/WshdGrid) + (FlowUGrid *
WshdGrid/WshdGrid)

Leng_Stat = AumentGrid.GetStatistics

```

' Pegando o comprimento
Max_Compr = Leng_Stat.Get(1)

' Confeccionando o tema com o caminho máximo
Tolerancia = 0.1 * FlowDGrid.GetCellSize
MaxCompGrid = AumentGrid > (Max_Compr - Tolerancia).Asgrid
theGTheme = GTheme.Make(MaxCompGrid)
theGTheme.SetName("MaxFlowGrid")

' Exibe tema
TheView.AddTheme(theGTheme)

theFN = "Inputfile.txt".AsFileName
lf = LineFile.Make(theFN, #FILE_PERM_WRITE)

lf.writeelt(Max_Compr.asstring)
lf.close

```

APÊNDICE B

' **Descrição:** Após o uso do script para cálculo do máximo comprimento,
' este script confecciona o tema do declividade, calculando
' esta sobre o plano máximo comprimento, construindo e exibindo.

' **Data:** 17/07/02

TheView = av.findDoc("View1")

FluWB = TheView.FindTheme("FlowLUStoWBGrid").GetGrid
FluWO = Theview.findTheme("FlowLDStoWOGrid").GetGrid

Wshd = TheView.FindTheme("WshdGrid").GetGrid
WshdPly = TheView.FindTheme("WshdPoly.shp")
DEM = TheView.FindTheme("GridProj").GetGrid

WshdFTab = WshdPly.GetFtab
zoneFieldply=WshdFTab.FindField("GridCode")
WshdFTab.SetEditable(true)
WshdGVTab = Wshd.GetVtab
zoneFieldGrd = WshdGVTab.FindField("Value")

FLplusGrd = FluWB + FluWO
LengthLFP = FLplusGrd.ZonalStats(#GRID_STATYPE_MAX, Wshd,
Prj.MakeNull,zoneFieldGrd, FALSE)
testGrid = FLPlusGrd - (0.999.Asgrid * LengthLFP)
LFPGrd = (TestGrid < 0).SetNull(Wshd)
LFPOneGrd = LFPGrd / LFPGrd

'---Calculando a declividade do maximo caminho (1 vertical / 1000 horizontal)

percentages=av.run("txdot.streampercent",{ })

DSPct = (percentages.get(0)).AsGrid * LengthLFP ' 99% from the stream origin (almost
the watershed outlet)
USPct = (percentages.get(1)).AsGrid * LengthLFP ' 1% from the stream origin (at the
uplands)

ElevDS = (((FLUWB * LFPOneGrd) - DSPct).Abs > (2.5 *
DEM.GetCellSize)).SetNull(DEM)


```
ElevUS = (((FLUWB * LFPOneGrd) - USPct).Abs > (2.5 *
DEM.GetCellSize)).SetNull(DEM)
```

```
ElevDSW = ElevDS.ZonalStats(#GRID_STATTYPE_MIN, Wshd, Prj.MakeNull,
zoneFieldGrd, FALSE)
ElevUSW = ElevUS.ZonalStats(#GRID_STATTYPE_MIN, Wshd, Prj.MakeNull,
zoneFieldGrd, FALSE)
```

```
Drop = ElevUSW - ElevDSW
slopeGrd = Drop / (0.98.AsGrid * LengthLFP)
```

```
taboutname1="longfp.dbf"
taboutfname1=taboutname1.asfilename
```

```
taboutname2="slope.dbf"
taboutfname2=taboutname2.asfilename
```

```
outVtab1=LengthLFP.zonalstatstable(Wshd,prj.makenull,zoneFieldGrd,false,taboutfna
me1)
outVtab2=slopeGrd.zonalstatstable(Wshd,prj.makenull,zoneFieldGrd,false,taboutfname
2)
```

```
cpo = outVtab1.FindField("Max")
CpoMxLeng = outVtab1.ReturnValue( cpo , 0)
```

```
LFPfromfield=outVtab1.findfield("Value")
slopefromfield=outVtab2.findfield("Value")
```

```
LFPfield=outVtab1.findfield("Max")
slopefield=outVtab2.findfield("Max")
```

APÊNDICE C

```
*****
' Descrição: O uso deste script efetua o cálculo da área da
'           da bacia hidrográfica
'
' Data: 17/07/02
*****

' Define formato para numero. ' parecido com Dbase
Number.SetDefFormat("d.dd")

' Pega o Tema
theView = av.FindDoc("View1")
WshdGrd = theView.FindTheme("WshdGrid").GetGrid

' Pega o campo Count da Tabela Virtual
theTable = WshdGrd.GetVTab
theField = theTable.FindField("Count")

CountCells = theTable.ReturnValue(theField, 0)

' Pega resolução da célula e calcula a area em Km^2
WshdArea = (CountCells * WshdGrd.GetCellSize * WshdGrd.GetCellSize) / (1 *
10^6)

' Grava Arquivo
theFN = "AreaBacia.txt".AsFileName
lf = LineFile.Make(theFN, #FILE_PERM_WRITE)

lf.writeelt(WshdArea.asstring)

' Apenas para fins de exibição, pois precisa estar no mesmo código do
' máximo comprimento.
' Calcula Fator de Forma

FatorForma = (AreaBacia * 1000000)/(MaxLeng^2)

lf.close
```

APÊNDICE D

' **Descrição:** Após o cálculo do max flow length (Menu IPH), esta opção
' **calcula os parâmetros, salvando em um arquivo texto**
'

' **Data:** 17/07/02

' Define formato para numero. ' parecido com Dbase
Number.SetDefFormat("d.dddd")

TheView = av.findDoc("View1")

FluWB = TheView.FindTheme("FlowLUStoWBGrid").GetGrid
FluWO = Theview.findTheme("FlowLDStoWOGrid").GetGrid

Wshd = TheView.FindTheme("WshdGrid").GetGrid
WshdPly = TheView.FindTheme("WshdPoly.shp")
DEM = TheView.FindTheme("GridProj").GetGrid

WshdFTab = WshdPly.GetFtab
zoneFieldply=WshdFTab.FindField("GridCode")
WshdFTab.SetEditable(true)
WshdGVTab = Wshd.GetVtab
zoneFieldGrd = WshdGVTab.FindField("Value")

FLplusGrd = FluWB + FluWO
LengthLFP = FLplusGrd.ZonalStats(#GRID_STATYPE_MAX, Wshd,
Prj.MakeNull,zoneFieldGrd, FALSE)
testGrid = FLPlusGrd - (0.999.Asgrid * LengthLFP)
LFPGrd = (TestGrid < 0).SetNull(Wshd)
LFPOneGrd = LFPGrd / LFPGrd

'---Calculando a declividade do maximo caminho(1 vertical / 1000 horizontal

percentages=av.run("txdot.streampercent",{ })

DSPct = (percentages.get(0)).AsGrid * LengthLFP ' 99% from the stream origin (almost
the watershed outlet)

USPct = (percentages.get(1)).AsGrid * LengthLFP ' 1% from the stream origin (at the uplands)

```
ElevDS = (((FLUWB * LFPOneGrd) - DSPct).Abs > (2.5 *  
DEM.GetCellSize)).SetNull(DEM)  
ElevUS = (((FLUWB * LFPOneGrd) - USPct).Abs > (2.5 *  
DEM.GetCellSize)).SetNull(DEM)
```

```
ElevDSW = ElevDS.ZonalStats(#GRID_STATYPE_MIN, Wshd, Prj.MakeNull,  
zoneFieldGrd, FALSE)  
ElevUSW = ElevUS.ZonalStats(#GRID_STATYPE_MIN, Wshd, Prj.MakeNull,  
zoneFieldGrd, FALSE)
```

```
Drop = ElevUSW - ElevDSW  
slopeGrd = Drop / (0.98.AsGrid * LengthLFP)
```

```
' Arquivo lixo com dados diversos  
taboutname1="lixo.dbf"  
taboutfname1=taboutname1.asfilename
```

```
outVtab1=LengthLFP.zonalstatstable(Wshd,prj.makenull,zoneFieldGrd,false,taboutfna  
me1)
```

```
' Pega Maximo caminho  
cpoMaxLength = outVtab1.FindField("Max")  
MaxLeng = outVtab1.ReturnValue(cpoMaxLength, 0)
```

```
' Pega Area do Bacia  
cpoAreaBacia = outVtab1.FindField("Area")  
AreaBacia = (outVtab1.ReturnValue(cpoAreaBacia, 0)) / (10^6)
```

```
outVtab1=slopeGrd.zonalstatstable(Wshd,prj.makenull,zoneFieldGrd,false,taboutfna  
me1)
```

```
' Pega declividade  
cpoDecliv = outVtab1.FindField("Max")  
Decliv = outVtab1.ReturnValue(cpoDecliv, 0)
```

```
' Transforma para m/m  
Decliv = (1 / Decliv) / 1000
```

```
' Calcula Fator de Forma  
FatorForma = (AreaBacia * 1000000)/(MaxLeng^2)
```

'Calculo do Tc

$$Tc = (18.628 * (((MaxLeng/1000) ^ 0.882) / (3 ^ 0.272))) / 60$$

' Grava Parametros em arquivo TXT

theFN = "paramiph.dat".AsFileName

lf = LineFile.Make(theFN, #FILE_PERM_WRITE)

lf.writeelt(AreaBacia.asstring)

lf.GetPos

lf.writeelt(FatorForma.asstring)

lf.GetPos

lf.writeelt(MaxLeng.asstring)

lf.GetPos

lf.writeelt(Decliv.asstring)

lf.GetPos

lf.writeelt(Tc.asstring)

lf.close

'Abre cax de dialog com parametros

Av.FindDialog("Parametro").Open

APÊNDICE E

' **Descrição:** ' Este script salva os valores dos parâmetros da tela de parâmetros
' **para o arquivo**

' **Data:** 17/07/02

Dial = av.FindDialog("Parametro")

pArq = "ParamIPH.dat".asFileName

LinepArq = LineFile.Make(pArq, #FILE_PERM_WRITE)

'Area

CxTxt2 = Dial.FindByName("aTextLine2")

AreaTxt = CxTxt2.GetText

'Fator Forma

CxTxt3 = Dial.FindByName("aTextLine3")

FAtorFTxt = CxTxt3.GetText

'Max Comp

CxTxt4 = Dial.FindByName("aTextLine4")

MxLengTxt = CxTxt4.GetText

'Decli.

CxTxt5 = Dial.FindByName("aTextLine5")

DecliTxt = CxTxt5.GetText

'Tenmpo de Concentração

CxTxt1 = Dial.FindByName("aTextLine1")

TcTxt = CxTxt1.GetText

' Grava Parametros Físicos

LinepArq.WriteElt(AreaTxt)

LinepArq.WriteElt(FAtorFTxt)

LinepArq.WriteElt(MxLengTxt)

LinepArq.WriteElt(DecliTxt)

LinepArq.WriteElt(TcTxt)

' Grava parametros IPH

```
CxTxt8 = Dial.FindByName("aTextLine8")  
IoTxt = CxTxt8.GetText
```

```
CxTxt9 = Dial.FindByName("aTextLine9")  
IbTxt = CxTxt9.GetText
```

```
CxTxt10 = Dial.FindByName("aTextLine10")  
HTxt = CxTxt10.GetText
```

```
CxTxt11 = Dial.FindByName("aTextLine11")  
KsTxt = CxTxt11.GetText
```

```
CxTxt12 = Dial.FindByName("aTextLine12")  
KsubTxt = CxTxt12.GetText
```

```
CxTxt13 = Dial.FindByName("aTextLine13")  
RmaxTxt = CxTxt13.GetText
```

```
LinepArq.WriteElt(IoTxt)  
LinepArq.WriteElt(IbTxt)  
LinepArq.WriteElt(HTxt)  
LinepArq.WriteElt(KsTxt)  
LinepArq.WriteElt(KsubTxt)  
LinepArq.WriteElt(RmaxTxt)
```

```
LinepArq.Close
```

```
MsgBox.Info("Parâmetros Gravados", "Salva Parâmetros")
```