

PROCEDIMENTOS COMPUTACIONAIS PARA INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICA COM MODELOS HIDROLÓGICOS CHUVA-VAZÃO

Ezer Urpia Rosa¹; Margareth Simões Penello Meirelles² & Luciene Pimentel da Silva³

Resumo - Este trabalho apresenta uma metodologia para integração entre modelos hidrológicos chuva-vazão e sistemas de informações geográficas. Neste contexto foram desenvolvidas rotinas computacionais para determinação dos parâmetros fisiográficos para o modelo chuva-vazão IPH II. Uma extensão "IPH II" foi implementada no Arcview, para a determinação destes parâmetros de forma objetiva e automatizada. As rotinas computacionais desenvolvidas, são apresentadas no Apêndice A. A metodologia de integração desenvolvida, é demonstrada através da determinação das características fisiográficas da bacia hidrográfica do rio Morto, Jacarepaguá, Rio de Janeiro, RJ. Os valores dos parâmetros determinados pela extensão "IPH II" implementada apresentaram excelente aproximação quando comparados com valores obtidos por métodos tradicionais.

Abstract - A methodology for integrating hydrological rainfall-runoff models and geographical information systems is presented. In this context computational routines were developed to determine physiographic parameters values for IPH II rainfall-runoff model. An extension "IPH II" was implemented in arcview for automatic determination of these parameters. The computational routines are presented in Appendix A. Rio Morto catchment (Jacarepaguá, Rio de Janeiro, RJ) physiographic characteristics are determined to demonstrate the integrating methodology developed. Physiographic parameters values obtained by "IPH II" extension compared to values obtained by traditional methods showed excellent agreement.

Palavras-chave - Modelagem Hidrológica, SIG, Integração Modelos Hidrológicos x SIG

¹ PCRJ (Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro) Av. Francisco Bicalho, 146 - São Cristovão - Rio de Janeiro - RJ. Cep 20220-330. Tel. 2580-7272. Fax. 2589-0457, e-mail: erosa@pcrj.rj.gov.br - Aluno Pós-Graduação em Geomática

² DESC/FEN/UERJ (Departamento de Engenharia de Sistemas - Faculdade de Engenharia - Universidade do Estado do Rio de Janeiro) Av. São Francisco Xavier, 524 - 5º andar - Maracanã, Rio de Janeiro - RJ. Cep 20550-900. Tel 2587-7442. E-mail: maggie@uerj.br

³ DESMA/FEN/UERJ (Departamento de Engenharia Sanitária e Meio Ambiente - Faculdade de Engenharia - Universidade do Estado do Rio de Janeiro) Av. São Francisco Xavier, 524 - 5º andar - Maracanã, Rio de Janeiro - RJ. Cep 20550-900. Tel 2587-7580. E-mail: lpds@uerj.br

INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento da tecnologia computacional nas décadas de 1960 e 1970, observa-se o surgimento de ferramentas de análise espaciais, demandadas por organismos governamentais com atuação censitária principalmente. Paralelamente, surgem os primeiros modelos hidrológicos, que juntamente com o aprimoramento e desenvolvimento das técnicas estatísticas, no final da década de 50 e durante a década de 60, implementaram uma modelagem mais realista dos fenômenos hidrológicos, sua quantificação e simulação. Os modelos hidrológicos buscam representar no todo ou em partes o comportamento de um processo hidrológico ou conjunto de processos, em um dado instante ou intervalo de tempo.

O modelo IPH II (Berthelot et al. 1972, Sanchez 1972, Muñoz e Tucci 1974) para simulação chuva-vazão, é caracterizado como modelo determinístico-conceitual, e faz parte de uma família de modelos desenvolvidos pelo IPH/UFRGS (Instituto de Pesquisas Hidráulicas / Universidade Federal do Rio Grande do Sul). É um modelo simples, baseado em metodologias bem difundidas e envolve a manipulação de um número reduzido de parâmetros. O modelo IPH II tem ampla aplicação no Brasil, sobretudo no estudo de bacias hidrográficas urbanas, sendo seu algoritmo de fácil compreensão e de amplo suporte (Germano, Tucci e Silveira, 1998).

Os SIGs são ferramentas poderosas na coleta, armazenamento, recuperação e análise dos dados cuja localização espacial é uma componente preponderante ou quando se busca agregar informações espacializadas. 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.

Embora os esforços empreendidos na direção de uma integração dos sistemas de informações geográficas (SIG's) e dos modelos hidrológicos sejam relativamente recentes, estes mostram-se essenciais e necessários, como demonstram os sistemas computacionais comerciais. Estes sistemas têm uma demanda baseada na conceitualização das duas ferramentas "mater", e que nos dias atuais compreendem uma solução que além de simples inventário hidrológico, possam também efetuar análises e simulações mais complexas, do ponto de vista dinâmico.

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.

Neste trabalho apresenta-se uma metodologia para integração de uma ferramenta SIG (Arcview 3.2), e de um modelo hidrológico chuva-vazão (IPH II). Apresenta-se ainda, uma demonstração e validação da metodologia proposta através da determinação dos parâmetros fisiográficos do modelo IPH II para a bacia hidrográfica do rio Morto, Jacarepaguá, Rio de Janeiro, RJ. Adicionalmente, foi efetuada uma automatização do processo de obtenção dos referidos parâmetros, através do desenvolvimento de procedimentos computacionais, dando origem à criação de uma extensão em Arcview 3.2, e que pode ser facilmente utilizada e codificada em outras versões do software. As rotinas computacionais desenvolvidas são apresentadas no Apêndice A.

INTEGRAÇÃO SIG-MODELO HIDROLÓGICO

Na integração entre SIG's e modelos hidrológicos, têm-se três elementos principais a serem considerados: (i) os modelos hidrológicos propriamente ditos, que simulam os processos hidrológicos; (ii) dados geográficos, 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 temporais necessárias à aplicação do modelo (MAIDMENT, 2002).

Os mapas e os dados tabulares, podem ser integrados utilizando-se a tecnologia de geoprocessamento. Os SIGs são sistemas capazes de proceder operações de banco de dados, relacionadas à 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 SIG's 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 desta integração não se submete a nenhuma restrição de estrutura de dados, existente em um SIG.

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 e ArcGrid da ESRI, InRoad 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). Eventualmente, 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. A metodologia adotada para este trabalho contempla este enfoque.

Basicamente pode-se dividir a metodologia formulada na integração SIG – Modelo Hidrológico, 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. 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.

Através da utilização do SIG, obtêm-se as características fisiográficas necessárias à aplicação do modelo hidrológico em uma bacia hidrográfica (MASON e MAIDMENT, 2000). No processo de modelagem hidrológica, além do modelo propriamente dito, com a representação de todo ou parte do ciclo hidrológico, existe também uma série de dados e parâmetros de ordem fisiográfica. No caso do modelo IPH II e de outros modelos hidrológicos, pode-se exemplificar a área da bacia (**A**), fator de forma (**XN**), comprimento do talvegue de contribuição desta bacia (**L**), Declividade (**S**), Área Impermeável (**IMP**) e por fim, tempo de concentração (**Tc**).

Na Figura 1, são representadas as operações a serem realizadas antes da simulação propriamente dita, para fins de obtenção das características fisiográficas da bacia. Partindo-se do plano de informações das curvas de nível (isolinhas) e de mais três planos, hidrografia (rede de drenagem), malha viária (estradas, rodovias e etc) e pontos cotados (veja Tabela 1), o Modelo Digital do Terreno (MDT) é elaborado, seguido de uma correção necessária à modelagem hidrológica, e que é procedida, para eliminação dos fossos (do termo em inglês “sink”).

A partir do MDT “corrigido”, transformando-se este plano para uma representação matricial (grid), onde aplicando-se o método D8 ilustrado na Figura 1, 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”).

Tomando-se como ponto de partida o plano de informação de direção de fluxo, deriva-se os planos de mapa de declividade (do inglês “slope”), direção de fluxo acumulado (do inglês “accumulated flow direction”), sendo este último auxiliar no reconhecimento da rede de drenagem (“stream delineation”), o plano que delimita a bacia hidrográfica (“watershed delineation”), que juntamente com o plano de máximo comprimento do talvegue e o plano do ponto de exutório da bacia (“outlet point”) tornam possível a determinação e mensuração dos parâmetros fisiográficos de uma bacia hidrográfica.

Adicionalmente, complementando o conjunto de informações necessárias a determinação dos parâmetros fisiográficos, a partir da utilização de fotografias aéreas em formato digital e georreferenciadas (formato GeoTiff), pode-se obter a área impermeável. Eventualmente, também a classificação do uso e cobertura do solo para a área considerada pode ser avaliada a partir das fotografias aéreas, servindo à determinação do parâmetro curva número (CN), de ampla aplicação na modelagem hidrológica.

Tabela 1 - 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 |

| | | |
|------|-----|-----|
| 120 | 96 | 123 |
| 80 ← | 100 | 176 |
| 105 | 99 | 126 |

Figura 1 - Método das oito direções (D8)

A partir destes planos de informações, é que os parâmetros de caráter fisiográfico, como área da bacia (**A**), declividade (**S**), fator de forma (**XN**), comprimento do maior talvegue (**L**), tempo de concentração (**Tc**) e área impermeável (**IMP**) necessários à modelagem hidrológica e, especificamente ao modelo IPH II, podem ser obtidos.

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 as fórmulas de Ribeiro, Ventura, Germano e Kirpich e outros.

A partir da obtenção dos planos apresentados na Figura 2, foi desenvolvida uma extensão, “IPH II”, em linguagem proprietária do SIG (Avenue), para cálculo e armazenamento dos parâmetros fisiográficos. 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. Ainda neste contexto, foi acrescido às rotinas computacionais, valores médios para os demais parâmetros do modelo IPH II, conforme consta em GERMANO, TUCCI e SILVEIRA (1998). Estas rotinas computacionais são apresentadas no Apêndice A.

Além da customização necessária ao procedimento de obtenção dos parâmetros fisiográficos de uma bacia hidrográfica, com a criação de uma extensão “IPH II” para Arcview 3.2, é necessário também a utilização das extensões hydro, Spatial Analyst e 3d Analyst. A extensão hydro pode ser obtida no site da ESRI, e as extensões Spatial Analyst e 3d Analyst devem ser adquiridas junto a mesma.

ESTUDO DE CASO

A Bacia do Rio Morto, área selecionada para aplicação e demonstração da metodologia apresentada, localiza-se na baixada de Jacarepaguá - XXIV Região Administrativa - Barra da Tijuca (Figura 3), a nordeste do lote 3 (Figura 4) e está inserida no bairro de Vargem Grande no extremo oeste da baixada de Jacarepaguá, uma das áreas de expansão da cidade do Rio de Janeiro no Estado do Rio. O Rio Morto deságua no Rio Vargem Grande, dando origem à jusante ao canal de Sernambetiba, que deságua diretamente no oceano atlântico.

Implementando-se a metodologia apresentada na seção anterior, o primeiro cálculo a ser efetuado, é o do comprimento do máximo caminho (L) para a bacia do Rio Morto. Selecionando-se a opção “Max Comprimento”, na opção de menu IPH II, temos a lista de parâmetros necessários ao cálculo (Figura 5).

Conforme descrito na seção anterior, a priori, é necessário determinar o plano “flow direction”, ou seja, o plano que representa a direção preferencial do fluxo (escoamento) em uma bacia hidrográfica, ilustrada na Figura 6a.

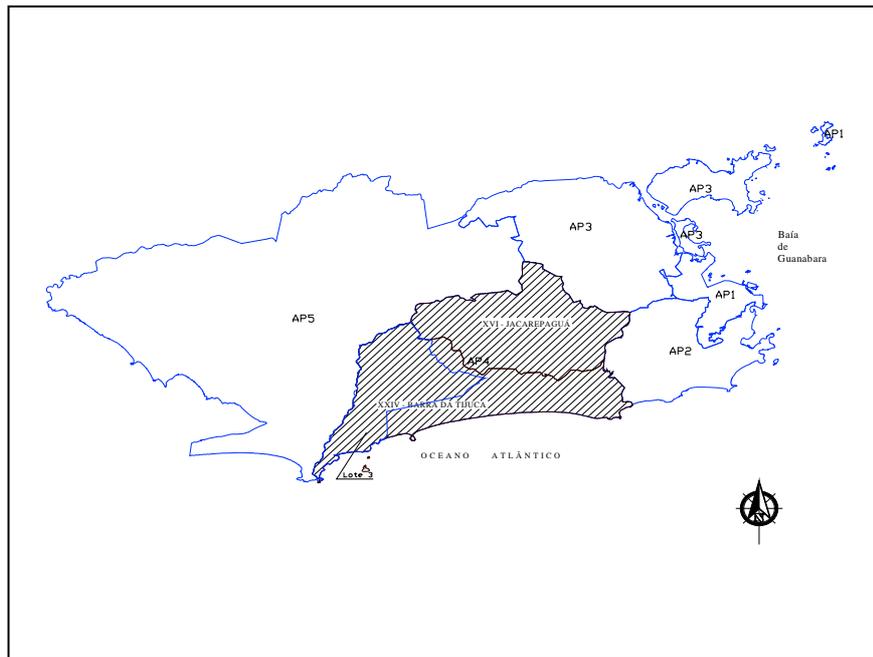


Figura 3 – Localização relativa da Baixada de Jacarepaguá com as suas Regiões administrativas, junto ao município do Rio de Janeiro

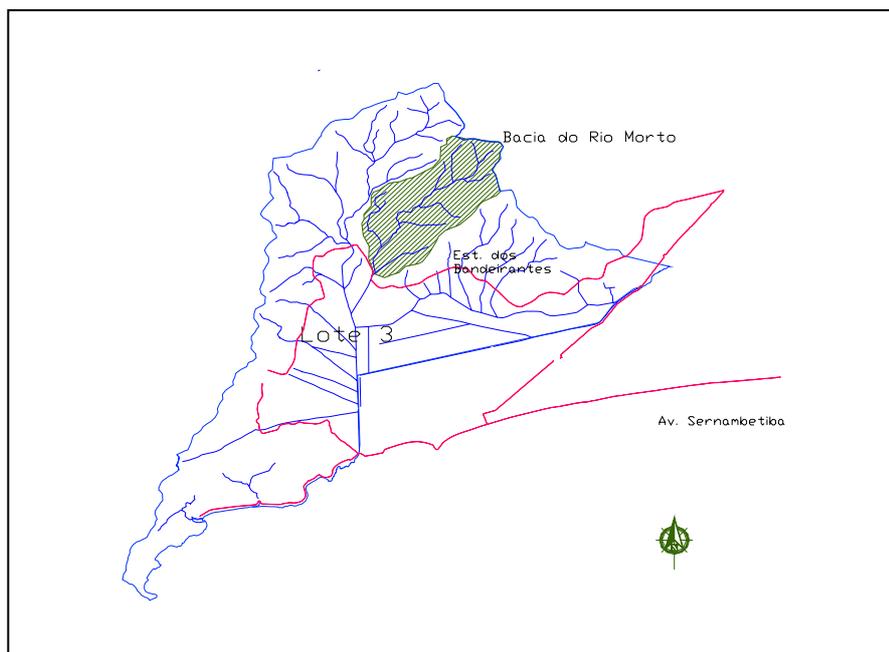


Figura 4 – Localização relativa da Bacia do Rio Morto no Lote 3 no contexto da baixada de Jacarepaguá

No contexto do mapa de direção de fluxo acumulado (veja Figura 6b), 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.

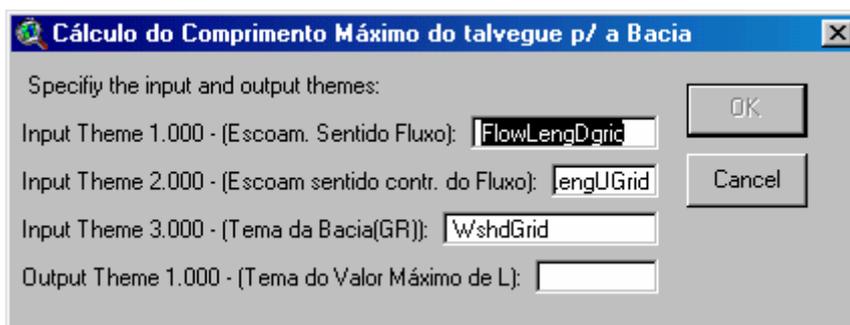


Figura 5 – Formulário de entrada de dados para cálculo do máximo comprimento - Extensão IPH II

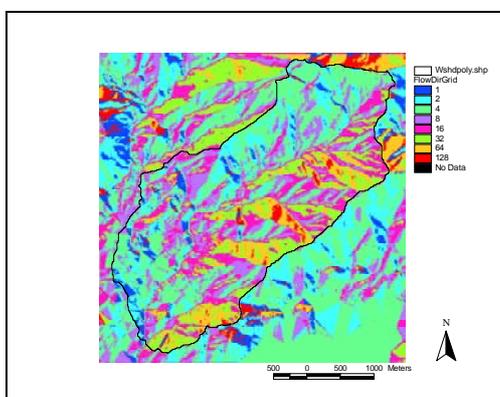


Figura 6a - Plano de Direção de Fluxo

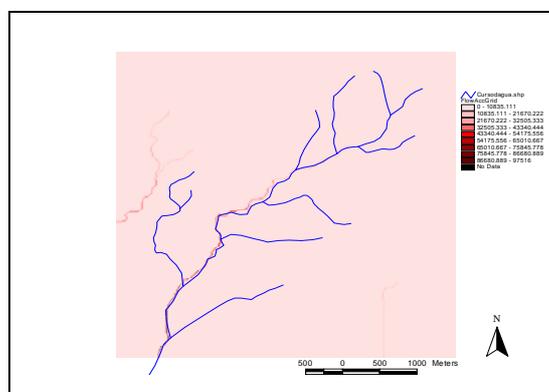


Figura 6b - Plano da Direção de Fluxo Acumulado

De posse destes planos de informações, 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. Por fim, o último parâmetro do formulário, o plano de delimitação da bacia (Figura 7a). Estes planos de informação servirão para o cálculo do máximo comprimento do talvegue para a bacia do Rio Morto (Figura 7b).

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, pode-se ter o cálculo para as fórmulas de Ribeiro, Ventura, Germano e Kirpich entre outros.

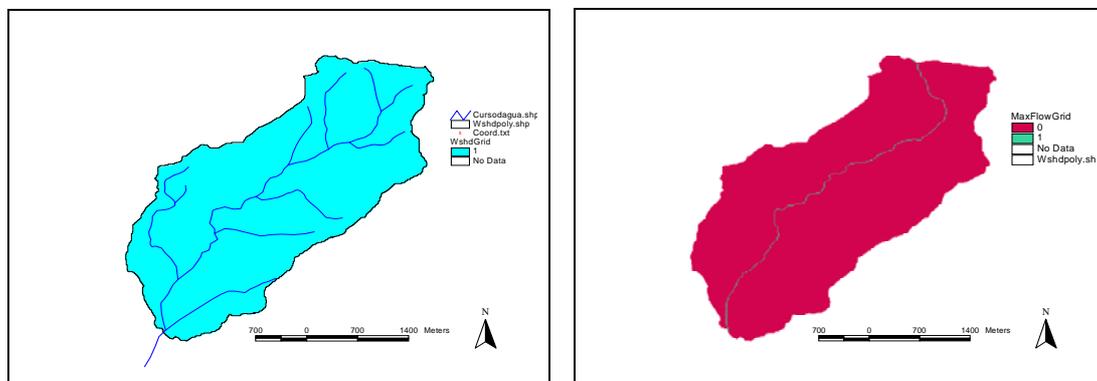


Figura 7a - Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Morto **Figura 7b** - Plano que determina o máximo caminho para a bacia considerada

VALIDAÇÃO

Os valores obtidos para os parâmetros fisiográficos para a bacia hidrográfica do rio Morto aplicando a extensão “IPH II” foram comparados aos valores descritos em PRODEC (1998). Nesse estudo, que inclui alguns dos parâmetros fisiográficos determinados nesse trabalho, os valores dos parâmetros foram obtidos através de mensurações efetuadas nas cartas nas escalas de 1 : 10.000 (datadas de 1976) e de 1 : 2.000, aqui denominado como método tradicional.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos a partir da extensão “IPH II” e os valores apresentados em Prodec (1998).

Os valores obtidos a partir da metodologia desenvolvida, mostram uma ordem de grandeza bastante aproximada, daqueles valores obtidos por intermédio de técnicas consideradas "convencionais" (planímetros, escalas, e etc). A área da bacia apresenta uma variação muito pequena, confirmando a delimitação da bacia, e por conseguinte o tamanho da célula de 10x 10 m (cell size). O valor obtido para a declividade, é também bastante satisfatório, ratificando além do tamanho da célula, a equidistância adotada. O comprimento do talvegue, bem como os valores para o tempo de concentração, são os que apresentam maior valor percentual em termos de diferença. O primeiro podendo ser justificado a luz da diferença de área, uma vez que corresponde a um número menor de células, como tal influenciando no comprimento. O tempo de concentração é definido em função de formulações empíricas. Essas fórmulas, em geral apresentam resultados eventualmente

bastante diferentes (CANEDO, 1989) para um mesmo local. A diferença no fator de forma, é consequência das diferenças na área da bacia e no comprimento do talvegue.

Tabela 2 – Parâmetros obtidos pela extensão “IPH II” e valores apresentados em PRODEC (1998)

| Parâmetros | Extensão IPH II | PRODEC (1998) | % 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 |
| Tempo de Concentração (min.) | Germano, Tucci e Silveira (2.31) | Kirpich (1.93) | 10.88 |
| Fator de Forma (adm) | 0.21 | 0.18 | 14.29 |

CONCLUSÕES

O estudo abordado, 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. Neste contexto foram desenvolvidas rotinas computacionais, e criada uma extensão "IPH II" em Arcview 3.2, automatizando o processo de obtenção dos parâmetros fisiográficos do modelo hidrológico. Tanto as rotinas computacionais, como a extensão podem ser facilmente utilizadas e codificadas em outras versões do software, e são apresentadas no apêndice A.

É apresentada uma metodologia clara e concisa de obtenção dos parâmetros fisiográficos, necessários à 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, demonstra a metodologia proposta, com sua implícita clareza e facilidade de aplicação.

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 à 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 (T_c), perfazendo o conjunto de parâmetros fisiográficos 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 à 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 neste estudo, para os planos de informação sobre os quais foram efetuadas as análises e operações, em nada aumentou a precisão ou a latência do processamento, fato observado devido a configuração do equipamento, em segundo devido à extensão da área e em terceiro e último às operações em 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 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.

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.

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.

AGRADECIMENTOS

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

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

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 Secretaria Municipal de Meio Ambiente – SMAC, e ao Instituto de Urbanismo Pereira Passos - IPP-DIG, 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 e pelo modelo.

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

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTHELOT, R., et al., Inventário dos Recursos Hídricos Superficiais na Região de Imbituba.

Instituto de Pesquisas Hidráulica/UFRGS, 1972, Relatório Técnico.

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.

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.

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

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

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.

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

*****
' 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_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)

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

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

outVtab1=LengthLFP.zonalstatstable(Wshd,prj.makenull,zoneFieldGrd,false,taboutfname1)
outVtab2=slopeGrd.zonalstatstable(Wshd,prj.makenull,zoneFieldGrd,false,taboutfname2)

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")

*****
' 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

*****
' 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,taboutfname1)

' 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,taboutfname1)

' 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 cx de dialog com parametros
Av.FindDialog("Parametro").Open

*****
' 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

'Tempo 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")
```