

## Integração de Modelos de Simulação a Sistemas de Informações Geográficas Livres – O Caso do modelo AÇUMOD e do OPENGIS JUMP

Cristiano Das Neves Almeida<sup>1</sup>

Jackson Roehrig<sup>2</sup>

Edson Cezar Wendland<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal da Paraíba – Centro de Tecnologia – Laboratório de Recursos Hídricos e Meio Ambiente

Av. Capitão João Freire – n. 620 – Expedicionário CEP: 58.041-060 – João Pessoa – PB

[almeida74br@yahoo.com.br](mailto:almeida74br@yahoo.com.br)

<sup>2</sup> Instituto de Tecnologias para os Trópicos e Sub-trópicos – Universidade de Ciências Aplicadas de Colônia – Colônia – Alemanha

[jackson.roehrig@fh-koeln.de](mailto:jackson.roehrig@fh-koeln.de)

<sup>3</sup> Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo

[ew@sec.usp.br](mailto:ew@sec.usp.br)

**Abstract.** In the water resources area the conjunctive use of hydrological models and GIS's is already well spread out, but, generally the GIS's are commercial. This paper presents the integration of the free and open Geographic Information System (OPENGIS) JUMP and a hydrological rainfall-runoff distributed model, composing a Spatial Decision Support System (DSS) for the water resources area. This DSS, named ARENA (Análises de Recursos Naturais, in Portuguese), is made up of an OPENGIS, a georeferenced database and dialog modules, which allow the access to the hydrological modules. In order to proceed the integration, the hydrological model equation's were integrated to the geometric entities of the JUMP. This type of integration requires a deep understanding of the model as well as a good knowledge of the OPENGIS. In this case, the OPENGIS is based on standards of the Open Geospatial Consortium which facilitates the comprehension of the JUMP sources codes developed in Java language. the implementation of the hydrological model was also based on Oriented Object (OO) concepts. A limitations of the JUMP was found, specifically with respect to the results output.

**Palavras-chave:** integração , OPENGIS, modelos hidrológicos

### 1. Introdução

A área de modelagem de recursos hídricos vem ganhando destaque desde a institucionalização da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), a lei federal número 9.433, de 1997. Esta lei prevê como instrumento de gerenciamento e planejamento de recursos hídricos o sistema de informações. Neste sentido, diversos grupos de pesquisas de universidades brasileiras vêm concentrando esforços no estudo e desenvolvimento de propostas para esse sistema. Dentre esses, os mais conhecidos são os Sistemas de Suporte à Decisão (SSD).

Os Sistemas de Suporte à Decisão (SSD) são sistemas informatizados que auxiliam à tomada de decisão em diversas áreas, entre estas, a de recursos hídricos. Esses sistemas são formados basicamente por três componentes: banco de dados, conjunto de modelos e interfaces de acesso. O banco de dados tem função de armazenar dados e informações relativas aos recursos hídricos e seus usos (medições hidroclimatológicos, demandas hídricas para os diversos usos, etc.). Os modelos, que utilizam as informações armazenadas no banco de dados, servem para simular os sistemas de recursos hídricos (bacias hidrográficas, aquíferos, etc.), objetivando assim, o uso racional dos recursos hídricos, do ponto de vista qualitativo. Por meio das interfaces de acesso, o usuário pode realiza simulações, criar cenários de usos, cadastrar, armazenar e acessar as informações do banco de dados.

No contexto nacional, diversas aplicações sobre os SSD's podem ser encontradas. Um trabalho pioneiro sobre a concepção dos SSD's foi apresentado por Porto e Azevedo (1997). Nesse artigo, foi apresentada a estrutura de um SSD formada por cinco elementos: tomador de decisões; módulo de diálogo, base de dados, base de modelos e base de conhecimento. Segundo esses autores, devido a vários fatores, o planejamento e gerenciamento de recursos hídricos são complexos. Porém, com ajuda dos SSD's, os sistemas de recursos hídricos podem ser melhores estruturados e, assim, simplificados, facilitando a tomada de decisão acerca do uso dos recursos hídricos.

Porém, trabalhar com a simulação de sistemas ambientais, neste caso bacias hidrográficas, significa tratar de informações dispostas nesse espaço geográfico. As informações requeridas pelos modelos são relativamente extensas, o que sugere a utilização dos SSD, a fim de facilitar o tratamento desses dados. Como os SSD's não contam com uma ferramenta para tratamento de dados espaciais, parti-se para a integração de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) a esses sistemas.

Assim, as versões mais modernas dos SSD's têm um quarto componente, o SIG, que é uma ferramenta que permite a manipulação de entidades dispostas no espaço. Como as informações da área de recursos hídricos, em sua maioria, se encontram dispostas no espaço (bacia hidrográfica) e são compostas por entidades que estão também dispostas no espaço (açudes, rios, captações d'água, etc.), os SIG's se adequam bem à representação destes sistemas. Os SIG's possuem ferramentas que facilitam o gerenciamento das informações espaciais armazenadas em um banco de dados, facilitando o tratamento, interpretação e utilização destes dados. Os Sistemas de Suporte à Decisão que contam com um SIG na sua composição são denominados de Espacial (SSDE).

De acordo com Tsou e Whittemore (2001), a integração de modelos aos SIG's é classificada em dois tipos: integração por meio de uma interface de transferência de dados entre o modelo e o SIG ou a integração das equações do modelo ao SIG. Na primeira forma de integração, cria-se uma interface para conversão e transferência dos dados armazenados em camadas do SIG para os arquivos de entradas dos modelos. Executa-se o modelo e utiliza-se novamente a interface para transferência dos arquivos de saída do modelo para camadas do SIG, onde os resultados da simulação são apresentados. Nessa forma de integração, o SIG assume papel de pré e pós-processador (Figura 1).

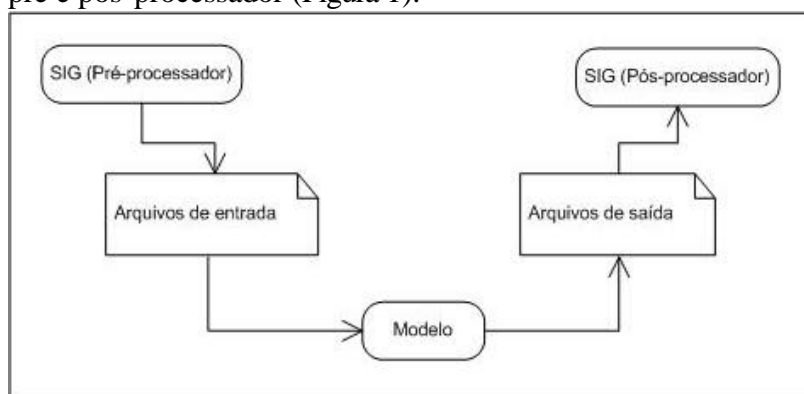


Figura 1– Esquema de integração entre os SIG's e modelos

Esses pesquisadores apresentaram uma extensão para simulação do fluxo de águas subterrâneas no ArcView® com o simulador MODFLOW (McDONALD, 1988). Nesse trabalho, a integração utilizada pelos pesquisadores seguiu o mesmo esquema exposto na Figura 1. Segundo eles, esse tipo de integração tem como desvantagem a duplicação de dados existentes no ambiente SIG, para formar os arquivos ASCII de entrada do simulador. Porém, apresenta a vantagem de não serem necessárias modificações no código do simulador, a fim de integrá-lo ao SIG, evitando-se assim o surgimento de erros.

Na segunda forma de integração, as equações do modelo são integradas aos elementos do SIG por meio de modificações no código fonte do SIG realizada por meio de linguagens de macro. Porém, para tanto, faz-se necessário o acesso aos códigos do SIG, a fim de modificá-lo e integrar as equações de simulação às entidades do SIG.

É neste contexto que se apresenta este artigo, o qual trata da integração de um modelo de simulação, o AÇUMOD (Passerat de Silans et al., 2001), a um SIG livre de código aberto, o OPENGIS JUMP, o qual foi desenvolvido com a partir de normas e padrões do consórcio internacional OGC (*Open Geospatial Consortium*). O processo de integração foi realizado acoplando as equações do modelo às entidades do OPENGIS. Esta integração deu origem ao Sistema de Suporte à Decisão Espacial denominado ARENA (Análise de Sistemas Ambientais).

## **2. Desenvolvimento**

Tratar do tema simulação ambiental na área de recursos hídricos implica, quase sempre, na utilização de modelos hidrológicos. O uso destes modelos consolidou-se no Brasil em função da escassez de informações hidrológicas e pela facilidade de uso destes. Segundo Mehrotra & Singh (1998), a situação de países em desenvolvimento, quanto ao monitoramento hidrológico, não é confortável. Em geral, apenas o monitoramento da precipitação é realizado. A existência de outras variáveis hidrológicas (medições de vazão, evaporação, níveis d'água dos aquíferos, etc.).

Desta forma, grande parte dos estudos de recursos hídricos no Brasil é realizada através da geração de dados sintéticos com os modelos hidrológicos. Estes tipos de modelos procuram representar fenômenos ocorridos na bacia hidrográfica, que dependem de elementos existentes nessa área. Barragens, postos pluviométricos, fluviométricos, evaporimétricos, captações d'água, tipo de solos, entre outras características influenciam diretamente no processo de transformação da chuva em vazão. Sabe-se ainda que estas entidades encontram-se dispostas no espaço geográfico da bacia hidrográfica. Devido a estas características espaciais dos sistemas de recursos hídricos, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) vêm sendo utilizados com sucesso na área de recursos hídricos.

Assim, esta seção caracteriza, inicialmente, o modelo de simulação, seguida da apresentação do OPENGIS JUMP, para então descrever o processo de integração do modelo de simulação a este OPENGIS.

### **2.1 O modelo hidrológico AÇUMOD**

O AÇUMOD é um modelo distribuído conceitual que simula o processo de transformação da chuva em vazão em quadrículas. Uma característica singular deste modelo é que o mesmo realiza o balanço hídrico dos elementos hidráulicos (açudes, captações d'água, etc.) existentes na rede de drenagem. Estes elementos modificam o regime de escoamento de uma bacia hidrográfica.

Em simulações com o AÇUMOD, a bacia hidrográfica e suas sub-bacias são representadas por quadrículas. Em cada uma destas, determina-se uma quantidade de função de produção, que é definida a partir do tipo de solo, por exemplo. Assim, realiza-se um balanço hídrico diário, a fim de determinar as lâminas evaporadas, infiltradas, armazenadas no solo e escoadas superficialmente. A conceitualização do ciclo hidrológico é feita através de um conjunto de quatro reservatórios, para os quais são determinadas estas lâminas. Maiores detalhes sobre a estrutura do AÇUMOD podem ser encontrados em Passerat de Silans et al. (2001), Almeida (2006).

Para a realização de simulações com o modelo AÇUMOD, faz-se necessário então uma série de dados, sendo que, em geral, estas informações podem ser representadas por algum objeto

geométrico ou, no mínimo, encontram-se relacionadas a uma entidade geométrica (ponto, linha, área ou *raster*). Dessa forma, faz-se conveniente a representação destas informações através de camadas (*layers*) de um SIG. A seguir, são apresentadas as principais informações requeridas para o processo de modelagem e a entidade geométrica que a representa:

- Bacia hidrográfica – Camada com o limite desta entidade (área);
- Rede de drenagem – Camada com os rios da bacia hidrográfica. Em geral, esta não é a rede completa, tal como ela é em campo, mas sim uma rede simplificada contendo apenas os rios principais (linhas);
- Estações pluviométricas, evaporimétricas e fluviométricas – Camada com as postos pluviométricos localizados dentro ou na vizinhança da bacia, contendo os índices diários de precipitação (pontos);
- Funções de produção – Camada representativa dos diferentes tipos e usos de solos. Para cada uma dessas funções de produção tem-se um conjunto de parâmetros do modelo (áreas);
- Exutórios das sub-bacias e bacia – Camada com pontos de saídas das sub-bacias e da bacia hidrográfica (pontos);
- Barragens superficiais (Açudes) – Camada com informações sobre os açudes existentes na rede hidrográfica (pontos);
- Captações d’água ao longo do rio – Camada com dados sobre as captações e/ou transferências d’águas da bacia hidrográfica (pontos);
- Altimetria – Camada contendo informações topográficas da bacia hidrográfica. Essa camada pode ser representada através de um MDT (Modelo Digital do Terreno), por curvas de nível da topografia da bacia hidrográfica, ou mesmo por um conjunto de pontos x, y e z. Essa camada é utilizada para determinar o sentido de drenagem de cada quadrícula, a fim de realizar a transferência de lâmina entres as quadrículas (*raster*).

Como estas informações encontram-se armazenadas em camadas de informações (*layers*), o uso de um SIG para gerenciamento destas informações faz-se necessário. Através de ferramentas de um SIG, determinam-se as propriedades de uma camada que contém as quadrículas (*CellsAtt*) necessárias à simulação do ciclo hidrológico. A Figura 2 representa um esquema da sobreposição de camadas a fim de se determinar esses atributos de cada célula do modelo AÇUMOD.

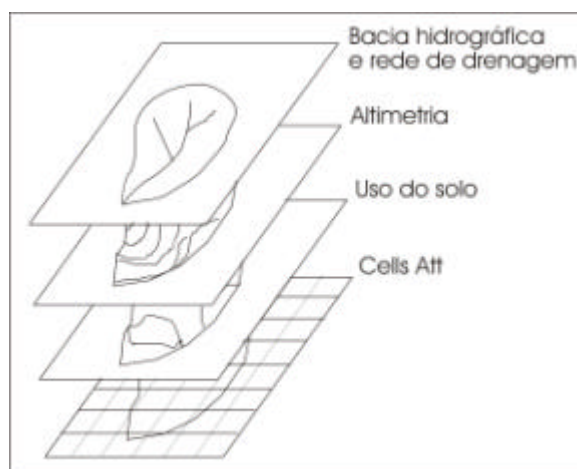


Figura 2 – Sobreposição de camadas para determinação das propriedades das quadrículas do AÇUMOD

A integração do modelo ao SIG proposta só seria possível caso o modelo hidrológico também estivesse programado através de conceitos da Programação Orientada a Objetos (POO), já que

o OPENGIS também se encontra programado desta forma. Assim, foram realizadas modificações nos códigos fontes do modelo de simulação. Cada entidade necessária ao processo de modelagem foi programada com base em entidades geométricas que a representa, como descrito anteriormente. A entidade geométrica foi criada com base em classes existente na linguagem Java. O conjunto de classes criadas para o modelo de simulação continha propriedades das entidades representativas e métodos para simulação.

## 2.2 O OPENGIS JUMP

Neste trabalho, optou-se por trabalhar com o JUMP – Unified Mapping Platform (JUMP, 2003). O JUMP é um OPENGIS que foi desenvolvido pela Vivid Solutions®, empresa canadense. Entre as vantagens que este OPENGIS apresenta, duas merecem ser enumeradas. Primeiro, a questão da implementação computacional baseada em conceitos da POO, em linguagem Java, o que facilita o entendimento de seu código computacional e permite a execução do mesmo em diferentes plataformas. Segundo, a questão da implementação de seus códigos computacionais, baseados em normas e padrões internacionais do consórcio OGC, fator que facilita o acesso aos códigos computacionais. Outro objetivo da utilização do JUMP foi a verificação se esse sistema dispunha de ferramentas que pudessem apoiar o processo de simulação. Visto que, a integração de SIG's comerciais e modelos encontra-se bem discutida, com metodologias bem definidas e estáveis.

A Figura 3 apresenta a estrutura geral do JUMP. Esse sistema encontra-se dividido em dois grandes pacotes, o GUI e o API. O primeiro pacote é responsável pela estrutura visual (janelas) do SIG, onde as camadas de informação são apresentadas com as ferramentas de criação, edição e análise de dados espaciais. É esse pacote que possibilita o uso do sistema pelos usuários comuns. O segundo pacote tem como principal finalidade o acesso à base de dados e representação desta base sob forma de camadas de informações (as *features* ou *layers* do SIG). Além disso, os algoritmos de análises e operações espaciais compõem esse pacote.

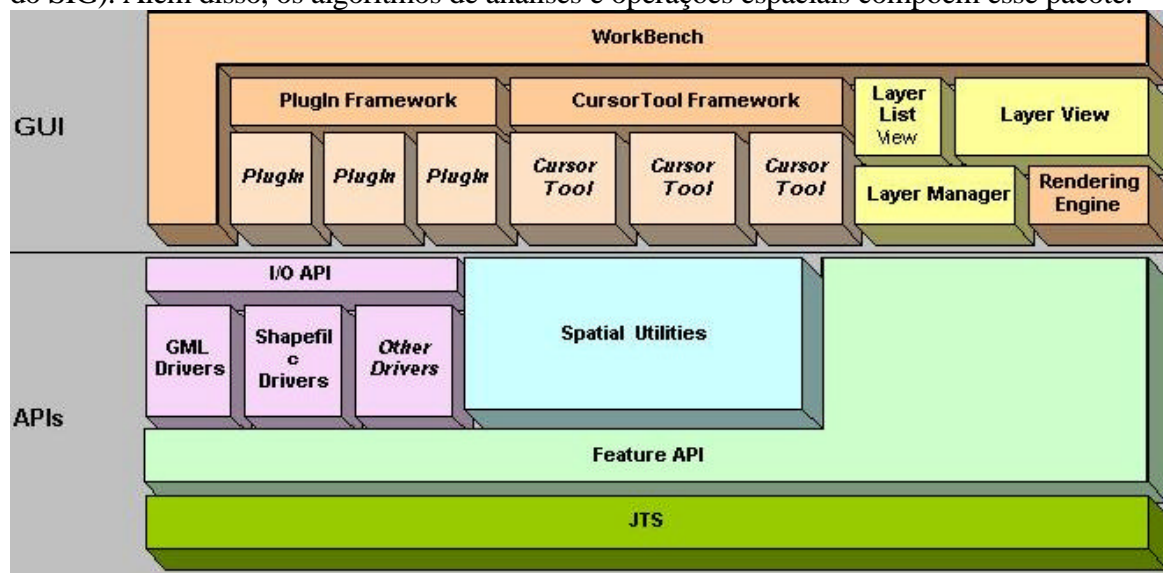


Figura 3 – Arquitetura do SIG JUMP (Fonte : JUMP – Technical Report, 2003)

As entidades geométricas do SIG encontram-se implementada no pacote JTS (*Java Topology Suite*) da API. O pacote JTS, conforme a Figura 3, é a base de todo o sistema, uma vez que suporta toda a parte de representação geométrica e suas operações. Cabe ainda destacar o pacote *Feature API*, cuja função é a descrição das camadas de informações de um SIG. Essa descrição é realizada por meio de classes que representam as camadas de um SIG, formadas pela geometria e por informações tabulares relacionadas a essa geometria. Por fim, faz-se uma

ressalva com relação aos *PlugIn's*, por meio dos quais os simuladores são integrados ao sistema.

### 2.3 A integração do AÇUMOD ao JUMP

A geometria representativa da bacia hidrográfica e seus elementos vêm das entidades geométricas representadas pela camada de informação do OPENGIS, neste caso arquivos do tipo *shapefile*. Estas entidades geométricas são utilizadas para criar os objetos utilizados no processo de simulação (bacia hidrográfica e seus elementos).

Na Figura 4 pode-se como a geometria representativa dos sistemas de recursos hídricos e os dados a estes relacionados, representados por meio de camadas de informações, são utilizados para gerar os objetos necessários às simulações.

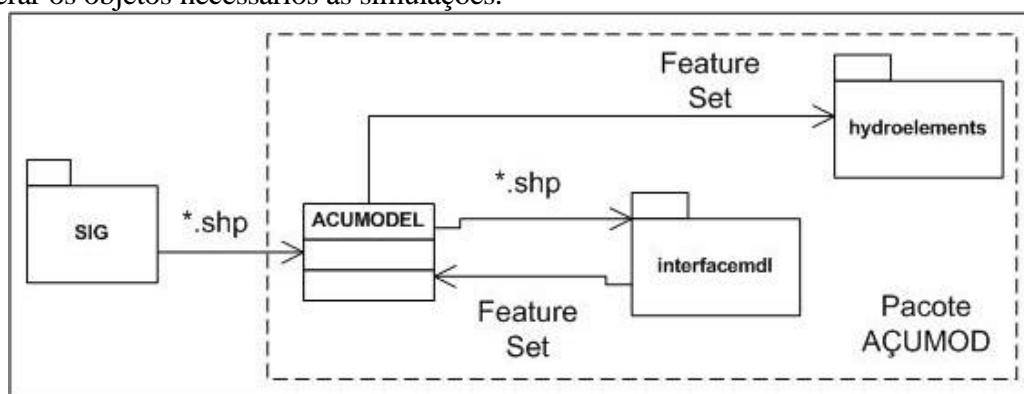


Figura 4- Integração dos modelos ao OPENGIS

As camadas de informações abertas no JUMP no formato *shapefile* (\*.shp) são passadas pelas classes principais de cada modelo (ACUMODEL e GWSYSTEM) para o pacote *interfacemdl*. Neste pacote, as camadas de informações são filtradas e retornadas às classes principais sob forma de *Feature Set*. O *Feature Set* é composto por entidades geométricas e dados relacionados a estas entidades, ou seja, apenas informações necessárias às simulações. O *Feature Set* é utilizado então para gerar os objetos representativos dos sistemas de recursos hídricos, que serão utilizados para o processo de modelagem. No pacote *hydroelements* são criados os representativos da bacia hidrográfica e no *elements* os que descrevem o aquífero. O *Feature Set* é um conjunto de classes que tem por finalidade representar entidades geométricas (polígonos, linhas e pontos) e as informações a estas relacionadas, tem uma estrutura semelhante às camadas de informações de um SIG. Porém não guarda informações sobre o estado que se encontram as informações da camada, ou seja, se as entidades estão classificadas segundo algum campo do banco de dados, ou quais entidades estão selecionadas. As classes que compõem o pacote *Feature Set* também foram criadas com base em conceitos da POO, utilizando-se para tanto a herança, polimorfismo, generalização, especialização, entre outros.

As classes do pacote *Feature Set* eram então a base da criação das entidades necessárias à simulação (bacia hidrográfica, açudes, postos pluviométricos, etc.), que são as classes do pacote *HydroElements*. A criação das classes representativas do sistema a ser simulado (*HydroElements*) era criada através da herança, o que permitia a integração das equações do modelo, programadas nas classes do pacote *HydroElements*, às camadas do OPENGIS.

### 3. Conclusões e Recomendações

Neste artigo, a integração de um modelo de simulação, o AÇUMOD, a um OPENGIS, o JUMP, foi apresentado, compondo assim um Sistema de Suporte à Decisão Espacial (SSDE),

denominado ARENA. No decorrer do desenvolvimento deste trabalho, as seguintes conclusões puderam ser verificadas:

- A utilização de um OPENGIS no apoio ao processo de modelagem é adequada e necessária, visto que o AÇUMOD (um modelo hidrológico distribuído) requer uma grande quantidade de dados para a realização de simulações de bacias hidrográficas. Com o OPENGIS estes dados podem ser melhores sistematizados, facilitando assim, tanto a preparação dos dados para simulação como a apresentação dos resultados nesse sistema;
- O OPENGIS JUMP utilizado para a integração é promissor, porém faz-se necessária a implementação/integração de outros modelos que requerem funções distintas dos necessários ao AÇUMOD. Assim, testar-se-á melhor o JUMP do ponto de vista do suporte ao processo de modelagem;
- O JUMP necessita ainda da implementação de um pacote para impressão de resultados que têm de mapas como base de visualização de dados. Isto melhorará a saída de dados deste OPENGIS;

Por fim, duas recomendações são importantes: na primeira, sugere-se que pesquisadores, técnicos, professores e alunos adotem OPENGIS's para o desenvolvimento de trabalhos, visto que este tipo de SIG não implica em custos de aquisição. Outra vantagem é que estes sistemas são, em geral, multi-plataforma, o que permite o uso dele em diferentes sistemas operacionais. A segunda recomendação é que pesquisadores que trabalham com integração de modelos a SIG's passem a usar outros OPENGIS's, a exemplo do uDig, Quantum, Grass, no processo de simulação. Isto feito, como forma de testar as ferramentas de cada um desses sistemas, a fim de buscar um OPENGIS que se seja mais adequado para os trabalhos com modelos de simulação. Esta última recomendação é feita, pois cada um destes e de outros OPENGIS tem características diferentes, por exemplo alguns só tratam dados vetoriais outros apenas matriciais.

## Referências

- Almeida, C.N. **Modelagem integrada de recursos hídricos com apoio de um sistema de informações geográficas**. 2005. 147 p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos / Universidade de São Paulo, São Carlos. 2005.
- JUMP the Unified Mapping Platform – Developer’s Guide. Disponível em: <<http://www.vividsolutions.com>>. Acesso em: 20 mar. 2003.
- McDonald, M.G. & A.W. Harbaugh. A modular three-dimensional finite – difference ground-water flow model. United States Geological Survey, Techniques of Water Resources Investigations of the United States Geological Survey. Chapter 6-A1, 1988. 586 p.
- Mehrotra, R.; Singh, R. D. The Influence of Model Structure on the Efficiency of Rainfall-Runoff Models: A Comparative Study for Some Catchments of Central India, **Water Resources Management**, v. 12, n. 5, p.325-341, 1998.
- Passerat de Silans, A. M. B.; Almeida, C. N; Albuquerque, D.J.S.; Paiva, A.E.D.B. Aplicação de um modelo hidrológico distribuído AÇUMOD à bacia hidrográfica do Rio do Peixe. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 3, p. 5-19, 2001.
- Porto, R. L., Azevedo, L. G. Sistemas de suporte a decisões aplicados a problemas de recursos hídricos. In: *Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos*. Coordenação e organização científica: PORTO, R. L. Porto Alegre: Ed. Da Universidade/UFSGS/ABRH, (Coleção ABRH de recursos hídricos). 1997. p. 110.
- Tsou, M. S.; Whittemorez, D. O. User interface for ground-water modeling: ArcView Extension. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 6, n. 3, p. 251-257, 2001.