

Um componente de arquitetura orientada a objetos para subsidiar a concessão de Outorga de RH em um ambiente SIG

Peter Zeilhofer¹
Pedro S. Arraes Neto²
Dannyel Cardoso da Fonseca²
Roberto Rigolin Ferreira Lopes³

¹ Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Departamento de Geografia
78060-900 - Cuiabá - MT, Brasil
pitalike@terra.com.br

² Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Graduandos em Ciência de Computação
78060-900 - Cuiabá - MT, Brasil
pedroarraes@gmail.com; dannyel_coisa@yahoo.com.br

³ Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), Mestrando em Ciências de Computação
Caixa Postal 676 - 13565-905 - São Carlos-SP, Brasil
roberto_lopes@dc.ufscar.br

Abstract. This paper describes a component of the GIS-based SIBAC information system, developed for the simulation of scenarios of water resource availability to subsidy decision making for the concession of water rights. UML diagrams are presented to illustrate how hydrological systems can be modeled efficiently through an object oriented architecture and how Java programming allows the fully integration in a Web-GIS environment. Functionality of the component is validated by a simulation run in the Cuiabá watershed, Mato Grosso, Central Brazil.

Palavras-chave: hydrological modeling, GIS in Web-environments, modelação hidrológica, SIG em ambientes Web.

1. Introdução

No desenvolvimento de software existem diversas formas de abstração. As duas mais utilizadas são a visão algorítmica (estruturada) e a visão orientada a objetos (OO). Na visão algorítmica o foco são os procedimentos ou funções, portanto os desenvolvedores concentram seus esforços no controle do fluxo de dados e na decomposição de grandes algoritmos em menores (modularização). Na visão OO, as unidades essenciais são os objetos e as classes. Objetos possuem características (atributos) e comportamentos (métodos) que são extraídos do universo do problema e encapsulados em um mesmo módulo. As classes são descrições dos objetos em uma linguagem formal e, portanto tipos de dados abstratos (TDA) que descrevem os objetos. Diversos autores enfatizam a analogia da representação OO ao mundo real, provendo desta forma uma redução da complexidade do algoritmo na representação de problemas (Crosbie 1996). Os estudos de Spandau & Chen (2004) e McKinney & Cai (2002) expõem que a programação OO pode ser utilizada com sucesso em aplicações para a modelagem de sistemas hidrológicos.

A lei federal 9433/97 fornece o embasamento jurídico à política de gestão dos recursos hídricos brasileiros. O termo Outorga é utilizado para referenciar a emissão de licenças para uso da água e tem como objetivo, sendo um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo direito de acesso a esse bem. A tomada de decisão na concessão de outorga deve ser baseada

em informações sobre a disponibilidade real dos recursos hídricos, isso em função de fatores ambientais (vazão, qualidade da água) e socioeconômicos (usuários existentes e futuros, etc.). Como pautado na própria legislação, necessita-se de ferramentas integradas para armazenamento destes conjuntos de dados sócio-ambientais multidimensionais, possibilitando uma análise e previsão da disponibilidade de Recursos Hídricos (RH) em quantidade e qualidade nas bacias hidrográficas.

Atendendo a esta demanda, o grupo de pesquisa GEOHIDRO vem idealizando um ambiente SIG integrado chamado “SIBAC” para disponibilização de uma ferramenta para análise e simulação dos RH. Neste trabalho discutiremos a concepção e implementação de um componente do SIBAC por programação orientada a objetos (OO), baseado no modelo matemático “Outorga” proposto por Da Hora (2001). “Outorga” permite a simulação da disponibilidade hídrica em mananciais superficiais, disponível para uso em função da quantidade e qualidade de água nas condições atuais e a geração de cenários. Está em fase de implementação o acoplamento do componente é previsto de ser futuramente a um “Web Feature Server (WFS)” implementado com bibliotecas de *GEOTOOLS* (www.geotools.org) e Java, em uma concepção como apresentada por Zeilhofer *et al.* (2006), possibilitando a execução do modelo em ambiente *Web* com interação do usuário a partir de Interfaces SIG.

2. Módulo Outorga na arquitetura geral do ambiente SIG de SIBAC

A **figura 1** mostra a arquitetura do ambiente SIG de SIBAC em sua configuração atual. O sistema inclui uma implementação “Desktop” do modelo Outorga (Da Hora 2001), programada na linguagem proprietária “Avenue” do software de geoprocessamento *ArcView 3.x* (ESRI, Redlands).

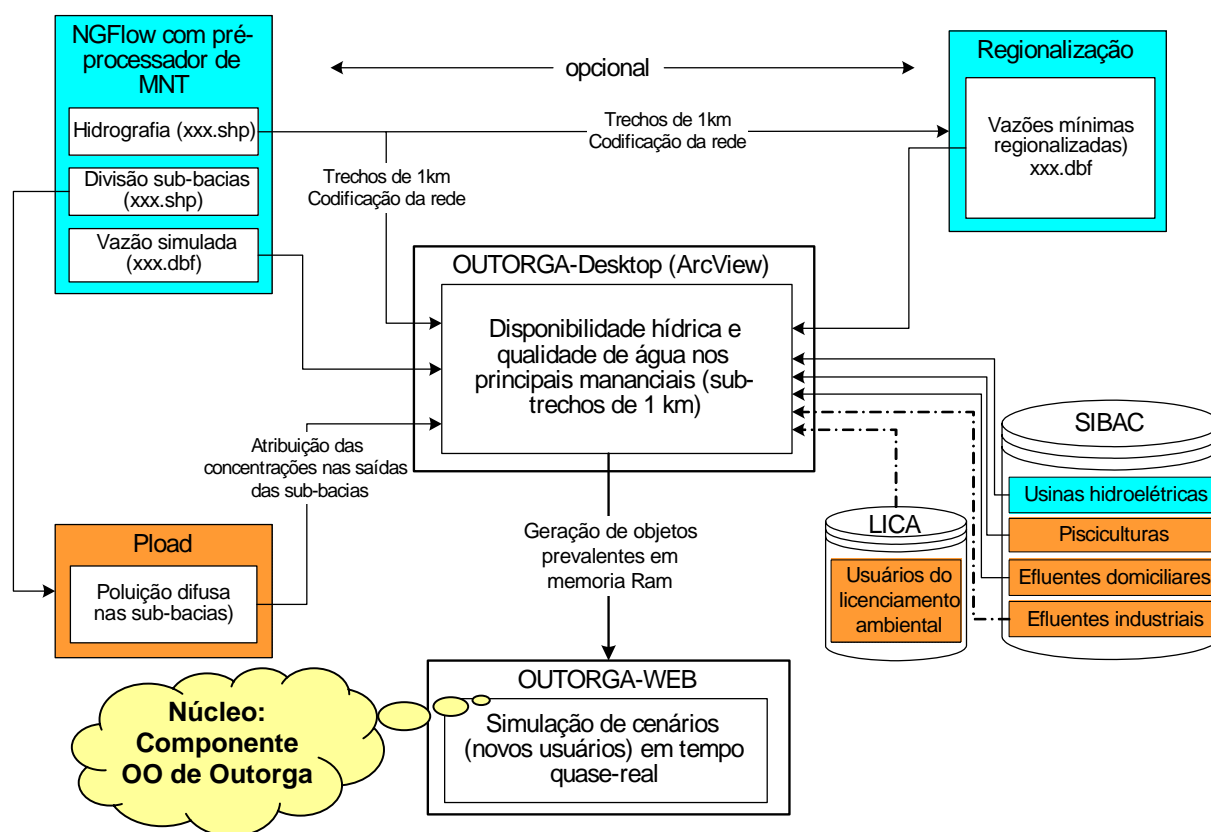


Figura 1. Arquitetura geral de SIBAC e o componente OO do modelo Outorga-Web.

O modelo “Outorga” pode ser alimentado por dados de vazão, gerados pelo modelo Chuva-Vazão “NGFlow” (Santos & Zeilhofer 2005) ou por um módulo de regionalização de vazão chamado “Regio” (Zeilhofer & Lima 2006), ambos implementados na linguagem “Avenue”. O componente “Pload”, adaptada do sistema “Basins” (USEPA 2003) permite a estimativa de cargas de poluentes de fontes difusas. Dados sobre usuários não-consuntivos (hidroelétricas etc.), captações (Irrigações, Pisciculturas etc.) e lançamentos pontuais nas bacias são acessadas em dois bancos de dados (LICA, SIBAC). O componente OO Outorga, aqui descrita, é o núcleo da aplicação “Outorga-WEB” que permite a simulação de cenários (acréscimo de um novo usuário) em ambiente WWW.

3. Componente Outorga: arquitetura e implementação

A arquitetura do componente está sendo apresentada, em seguida, por diagramas UML (*Unified Macro Language*), um padrão aberto que tem o objetivo de construir e manter padronizações para suportar a interoperabilidade de sistemas OO (Booch *et al.* 1999). Funcionalmente, a UML é uma família de diagramas que ajudam na visualização, especificação, construção e documentação de sistemas de *software* OO. Sua importância para a modelação de sistemas ambientais foi ressaltada por Papajorgji *et al.* (2004).

Para gerar uma abstração estática de um componente OO devem ser identificados os objetos e seus relacionamentos. No caso do Outorga, o modelo pode ser representados por quatro objetos:

- i. **Classe CONAMA:** classificação das águas doces, salobras e salinas. Indica as concentrações máximas dos parâmetros de qualidade da água de acordo com o uso desejado dos recursos hídricos;
- ii. **Rio:** entidade que compõe uma bacia hidrográfica; é identificado unicamente por um código DNAEE.
- iii. **Trecho:** seções de um rio com comprimento de um quilômetro; possuem dados de vazão e concentrações de efluentes no início e no final do trecho;
- iv. **Usuário:** consumidor de RH; está alocado em um trecho de um rio; possui atribuído dados de captação da água, lançamento de efluente e suas respectivas concentrações;

e cinco relacionamentos:

- i. Um Rio tem uma classificação CONAMA; uma classe CONAMA pode ser utilizada por vários rios (associação);
- ii. Um Rio é afluente de nenhum ou pelo menos um Rio (associação);
- iii. Um Rio é composto de um ou vários Trechos; um Trecho pertence a apenas um Rio (composição);
- iv. Um Usuário capta água e lança efluentes em um Trecho do Rio. Um Trecho pode ter nenhum Usuário ou vários Usuários no mesmo Trecho (associação);
- v. Um Usuário da água sempre estará alocado em um Trecho de um Rio (dependência);

A **figura 2** mostra o diagrama de classes do componente “Outorga”, que ilustra, as suas quatro classes, os seus cinco relacionamentos entre as classes e suas interfaces. Uma interface é uma classe que contém métodos abstratos, ou seja, possui a assinatura dos métodos necessários para compor um comportamento específico. Todas as classes que realizam uma interface devem implementar todos os métodos declarados na mesma. As interfaces ITrecho e IUsuario definem o comportamento do objetos Trecho e Usuário respectivamente.

Na implementação, em virtude dos bancos de dados disponíveis para o estado de MT, os usuários de RH foram diferenciados em empreendimentos, cidades e pisciculturas. O usuário “cidades” reúne estimativas sobre a produção de efluentes por domicílios e indústrias não cadastradas. Nas simulações podem ser considerados também impactos / usos por atividades agrícolas, tais como captações de água para irrigação e poluição difusa.

O termo Usuário generaliza as entidades que podem ser consumidores de RH na bacia em estudo. Para modelação eficiente da classe abstrata dos Usuários, que possuem atributos em comum como vazão consumida e efluentes lançados, foi utilizado o conceito da herança, um paradigma central da orientação a objetos, que possibilita que um objeto “filho” herde as características de outro objeto “pai” (relacionamento do tipo “é um”). No caso, somente a periodicidade dos dados são diferentes e na criação de cenários, esses usuários podem ser suprimidos ou enfatizados de acordo com o objetivo do estudo. No diagrama de classes (Figura 2), a herança é representada por flechas.

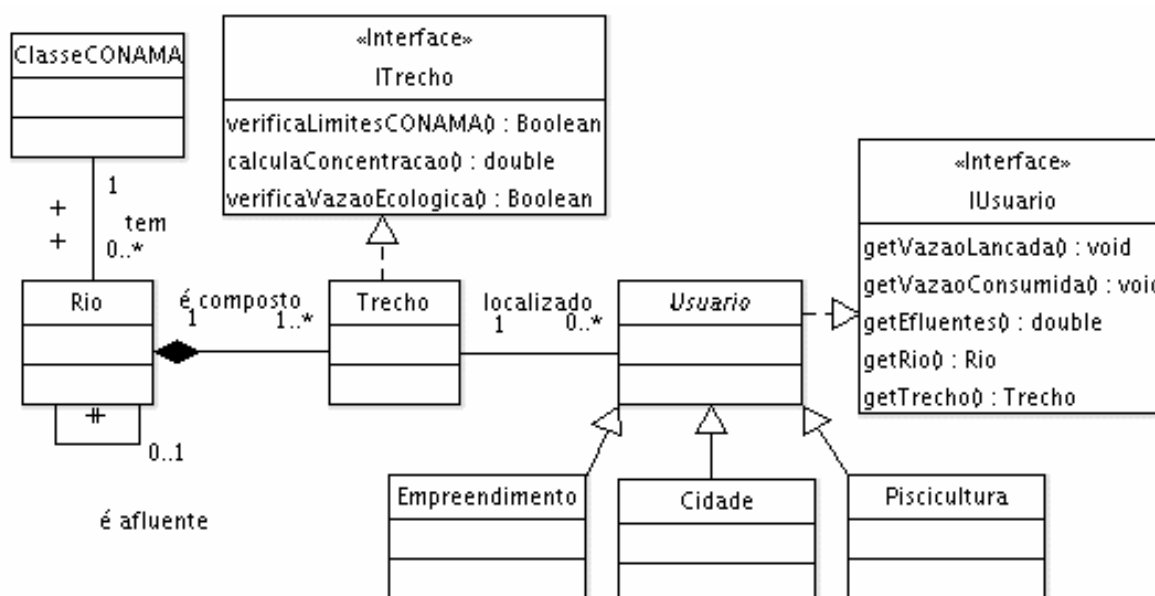


Figura 2. Diagrama de classes (UML) do componente “Outorga”.

A figura 3 mostra o digrama UML da seqüência de eventos, que ilustra como os objetos interagem em determinado momento da execução do sistema. Focalizam nas seqüências de mensagem (pedidos enviados entre objetos, no conceito OO a forma de comunicação entre objetos), isto é, como as mensagens são emitidas e recebidas entre os objetos. Os diagramas de seqüência possuem dois eixos: o eixo vertical do tempo e o eixo horizontal, mostrando a troca de mensagens entre os objetos.

O gatilho para iniciar uma simulação é a ação do Técnico (entidade externa), inserindo um novo usuário de RH. Quando o Técnico insere um novo usuário presumimos que os objetos já estavam instanciados, somente aguardando uma ação. Dado um usuário e fornecidas a vazão captada, vazão lançada e as concentrações do efluente, o sistema busca o rio e trecho, no qual o usuário está localizado. Em seguida está sendo selecionado o próximo trecho a jusante, cuja vazão e qualidade de água vão sofrer alterações em função do novo usuário. Em função do coeficiente de utilização (razão entre a vazão captada e vazão lançada) e a característica do efluente (necessidade de uma vazão adicional, necessária para garantir a diluição do efluente) é calculada uma vazão (disponibilidade hídrica) que é comparada com o valor limite da vazão outorgável para este trecho. As concentrações simuladas para o trecho

são ainda comparadas com os limites da classe CONAMA, informando ao Técnico, se o trecho ainda se enquadrará nas exigências legais referente a qualidade de água.

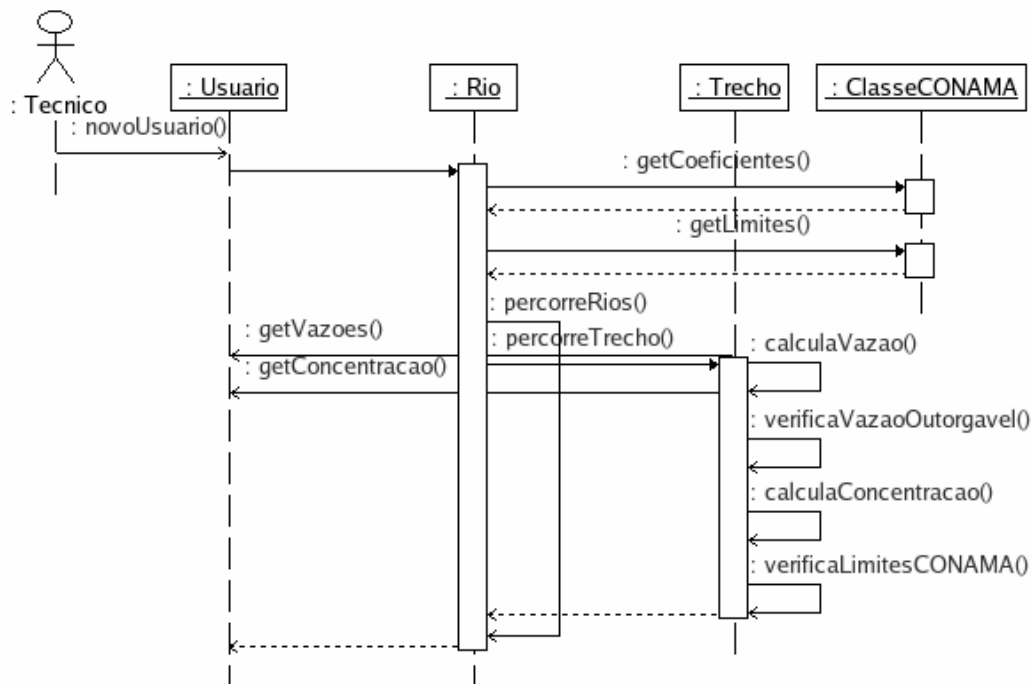


Figura 3. Diagrama UML da seqüência dos eventos do componente “Outorga”.

4. Implementação: Java, Banco de Dados e Persistência de Objetos

O componente “Outorga” é implementado em Java, garantindo sua portabilidade e integração em um ambiente Web-SIG, baseado em implementações dos padrões *OpenGIS®* (*Open Geospatial Consortium*, 2005) de serviços como *WFS* (*Web Feature Service*), *WMS* (*Web Map Service*), *WCS* (*Web Coverage Service*), *CAT* (*Web Catalog Service*), *SFS* (*Simple Features – SQL*) e *GML* (*Geography Markup Language*). Para o futuro acoplamento do componente ao um ambiente Web-SIG foi necessário utilizar um SGBD (Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados) com suporte a dados espaciais. A ferramenta escolhida, o *PostGIS*, é uma extensão espacial gratuita e de código fonte livre do *PostgreSQL*. Sua construção é feita sobre o sistema de gerenciamento de banco de dados objeto relacional (SGBDOR) *PostgreSQL*, que permite o armazenamento de objetos SIG em banco de dados.

O componente Outorga está implementado utilizando uma API de persistência de objetos em banco de dados relacionais (*Java Persistence API*), disponível a partir da versão 5 do pacote de desenvolvimento Java EE. Essa técnica permite que as instâncias existentes no sistema sejam armazenadas e posteriormente recuperadas, conservando o seu estado mesmo após a aplicação ter sido finalizada, diminuindo consideravelmente o número de consultas ao banco de dados, necessários para execução do modelo.

5. Estudo de caso: Bacia do Rio Cuiabá

Para fins ilustrativos, o componente “Outorga” foi aplicado para uma simulação de qualidade de água na bacia hidrográfica do alto e médio rio Cuiabá, localizada entre 14°15’ e 16°10’ de latitude sul e 54°45’ e 56°55’ de longitude oeste, no sul do estado de Mato Grosso e com uma extensão de aproximadamente 29.000 km². A bacia é formada por 47 rios, subdivididos em 2002 trechos de 01 km. Todos os rios (exceto as nascentes) estão atribuídos à classe 2 (classificação conforme resolução CONAMA 20 da 1986), ou seja, as águas são destinadas

para usos tais como abastecimento doméstico, recreação e irrigação (CONAMA 1986). Sendo a implementação do *WFS* da aplicação “Outorga-WEB” ainda em fase de desenvolvimento, a visualização espacial da simulação da bacia foi realizada a partir do componente da implementação “Desktop” em ambiente *ArcView/Avenue* (compare **Figura 1**).

A **Figura 4** mostra um modelo numérico de terreno SRTM da bacia, sobreposta com uma simulação das concentrações da “Demanda Biológica por Oxigênio” (DBO) dos principais mananciais.

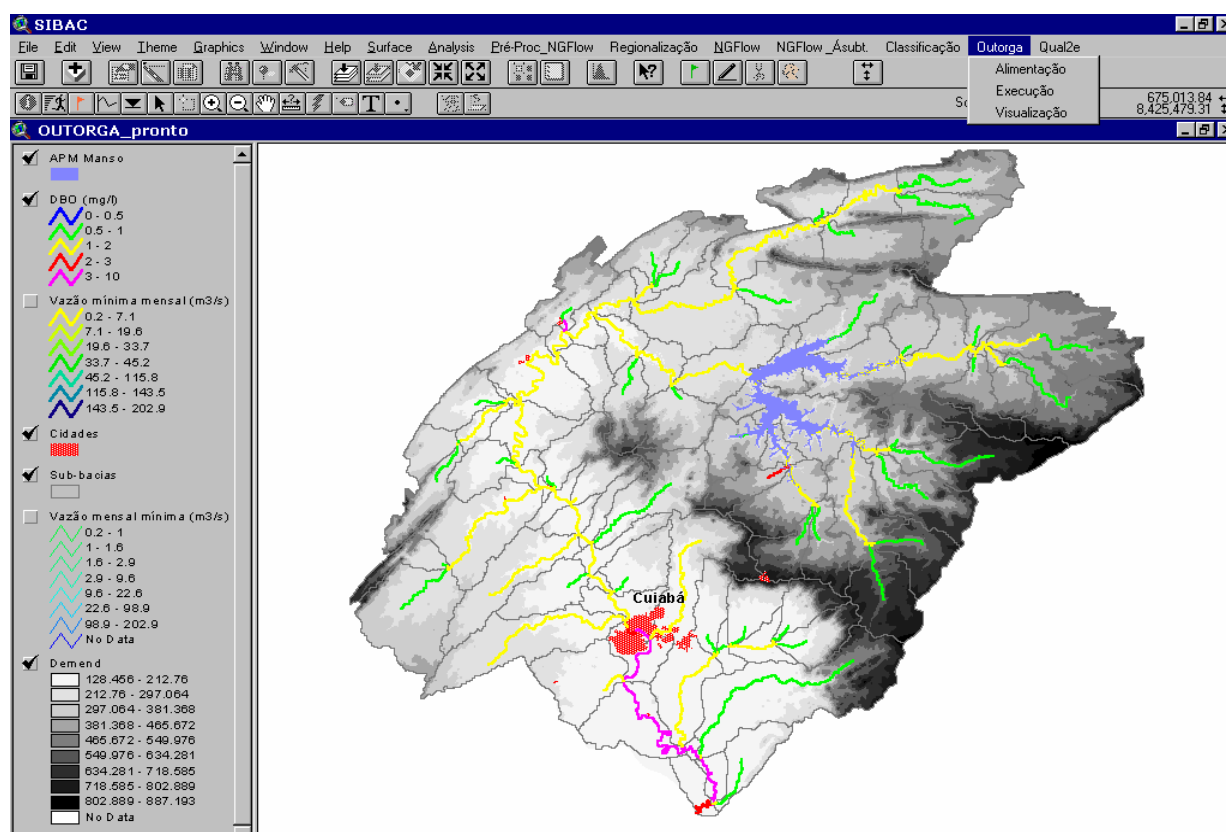


Figura 4. Simulação da concentração do DBO (mg/l) a partir do componente OO “Outorga” da aplicação “Outorga-WEB” (visualização espacial pelo ambiente Outorga-Desktop).

Ainda não validada quantitativamente, a simulação representa de forma satisfatória os padrões espaciais do parâmetro DBO nas principais mananciais da bacia. Nas cabeceiras, mesmo em áreas de intenso uso agrícola no leste da bacia (Planalto Central), não são observadas concentrações elevadas do DBO. A poluição difusa nestas áreas (Libos et al. 2003), proveniente da aplicação de adubos minerais, reflete principalmente em incrementos das cargas de frações de Nitrogênio e Fósforo. As concentrações do DBO, entretanto, mostram aumento expressivo após o perímetro urbano do Grande Cuiabá, recebendo altas cargas orgânicas provenientes de efluentes domiciliares não-tratados.

5. Conclusões

A concepção e implementação do “Outorga”, um modelo simples para simulação da disponibilidade hídrica e qualidade de água, a partir da utilização do paradigma de programação orientada a objetos (OO) resultou nas seguintes conclusões:

- A programação OO permite uma modelagem computacional próxima à percepção humana do problema em questão. A seqüência na simulação da disponibilidade hídrica

em uma bacia hidrográfica: Inclusão de um usuário – Caracterização do mesmo (localização, vazão captada, efluente produzido etc.) – Roteamento da rede hidrográfica com simulação das vazões e concentrações em cada trecho do rio a jusante do novo usuário – Comparação dos resultados com exigências da legislação (vazão outorgável, qualidade de água conforme CONAMA) é reproduzida por elementos modulares;

- A concepção modular, utilizando paradigmas da programação OO (encapsulamento, herança, polimorfismo) permite a substituição/modificação de sub-elementos do componente, sem necessidade da re-programação do código completo (reuso de código), facilitando um aprimoramento do mesmo, inclusive por grupos de pesquisa descentralizados. Essa vantagem é realçada pela disponibilidade, nas ferramentas de desenvolvimento Java, de módulos de documentação padronizada (JavaDoc)
- A implementação na linguagem de programação Java garante a portabilidade do componente, inclusive para sistemas operacionais distintos. O componente pode ser facilmente migrado para ambientes WEB, sistemas distribuídos e interligado com aplicações SIG baseadas em serviços Web (*WFS*, *WMS*);
- Testes preliminares indicam que a utilização da *API* de persistência de objetos (*Java Persistence API*) garante um desempenho bastante satisfatório e muito superior a implementação do modelo “Outorga” no ambiente Desktop (*Avenue/ArcView*): é de consenso amplo, que a aceitação de uma aplicação Web pelo usuário é primordialmente uma função do seu tempo de resposta.

6. Referências

Booch, G.; Rumbaugh, J.; Jacobson, I. **The Unified Modeling Language - User Guide**. Boston, MA: Addison Wesley Professional, 1999. 512 p.

Crosbie, P. **Object-oriented design of GIS: a new approach to environmental modeling**. In: Goodchild M. F. (Eds.). *GIS and Environmental Modeling: Progress and Research Issues*. Fort Collins: GIS World Book, p. 383-386, 1996.

Da Hora, A. F. **Metodologia para outorga do uso de recursos hídricos – Ênfase: Usinas hidrelétricas**. 2001. 257 p. Tese de doutorado em Engenharia de Produção – Universidade Federal do Rio de Janeiro / COPPE, Rio de Janeiro. 2001.

Engel, B. A.; Choi, J.-Y.; Harbor, J.; Shilpam, P. Web-based DSS for hydrologic impact evaluation of small watershed land use changes. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 39, n. 3, p. 241-249, 2003.

Libos, M.; Rotunno Filho, O. C.; Zeilhofer, P. Modelagem da poluição não pontual na bacia do Rio Cuiabá baseada em Geoprocessamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 4, p. 115-135, 2003.

McKinney, D. C.; Cai, X. Linking GIS and water resources management models: an object-oriented method. **Environmental Modelling & Software**, v. 17, p. 413-425, 2002.

OpenGIS Abstract Specification (Open Geospatial Consortium). Disponível em: <<http://www.opengeospatial.org/standards/as>> Acesso em: 11 out. 2006.

Papajorgji, P., Beck, H. W., Braga, J. L. (2004). An architecture for developing service-oriented and component-based environmental models. **Ecological Modelling**, v. 179, n. 1, p. 61-76, 2004.

Santos, I. M.; Zeilhofer, P. Modelagem Hidrológica Integrada em Sistemas de Informação Geográfica. **Geodesia online**, v. 4, p. 1-16, 2005.

Spanou, M.; Chen, D. An object-oriented tool for the control of point-source pollution in river systems. **Environmental Modelling & Software**, v. 15, p. 35-54, 2004.

USEPA. **Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources (BASINS) – Users Manual** Disponível em: <<http://www.epa.gov/waterscience/basins>> Acesso em: 11 out. 2006.

Zeilhofer, P.; Lima, R. M. Regio: Uma aplicação SIG para subsidiar a regionalização de vazões. **Caminhos de Geografia**, v. 7, n. 17, p. 54-61, 2006.

Zeilhofer, P.; Vecchiato, D. A.; Arraes Neto, P. S.; Maja, W. Y. Simulação espacial de habitats em ambiente WEB com o uso de tecnologias dinâmicas. In: 11º Congresso Regional de Informática e Telecomunicações SUCESU-MT 2006, Cuiabá. **Anais 11º Congresso Regional de Informática e Telecomunicações SUCESU-MT**. Cuiabá: SUCESO, 2006. p. 1-8. Disponível em: <<http://www.sucesumt.org>>. Acesso em: 05 nov. 2006.