

## INTEGRANDO SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO GENÉRICO PARA GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS A UM SIG DE CÓDIGO ABERTO

*Rafael Henrique B. Kayser<sup>1\*</sup> & Walter Collischonn<sup>2</sup>*

**Resumo** – Este trabalho apresenta uma metodologia de balanço hídrico quantitativo e qualitativo em um sistema operado internamente a um Sistema de Informações Geográficas (SIG) de caráter gratuito e de código aberto. O sistema é voltado à gestão do uso dos recursos hídricos e aplicável aos instrumentos da Política Nacional dos Recursos Hídricos. Devido ao caráter geoespacial do sistema, o mesmo é facilmente aplicável em qualquer bacia hidrográfica, bastando a inserção da rede hidrográfica vetorial obtida através do processamento do Modelo Digital de Elevação da bacia. Também são dados de entrada do sistema os dados hidrológicos, podendo ser obtidos com o modelo chuva-vazão MGB-IPH adotando-se a mesma discretização de bacias, além dos dados dos usuários de água, sendo inseridos com facilidade com o auxílio do SIG. O modelo realiza o acúmulo das demandas de montante para jusante, além do cálculo de diluição de lançamentos e depuração dos principais parâmetros de qualidade da água. Ao fim é apresentada uma aplicação do módulo de quantidade e qualidade do sistema na Bacia do Rio dos Sinos, localizada no Rio Grande do Sul.

**Palavras-Chave** – gestão, SIG, balanço hídrico.

## INTEGRATING GENERIC DECISION SUPPORT SYSTEM FOR MANAGEMENT WATER RESOURCES TO OPEN SOURCE GIS

**Abstract** - This paper presents a methodology for a quantitative and qualitative water balance in a system operated internally to a Geographic Information System (GIS) character free and open source. The system is aimed at managing the use of water resources and is applicable at the instruments to the Brazilian National Policy of Water Resources. Due to the geospatial feature system, it is easily applicable in any watershed, simply inserting the hydrographic network vector obtained by processing the Digital Elevation Model of the basin. Are also input data from the system the hydrological data, which can be obtained from the rainfall-runoff model MGB-IPH adopting the same basin discretization into the two models, as well the data for water users, being easily inserted with the support of GIS tools. The model performs the accumulation of demands from upstream to downstream, in addition to calculating dilution of wastewater discharge and depuration of the main parameters of water quality. At the end is present an application of the quantity and quality modules in the Sinos River Basin, located in the south of Brazil.

**Keywords** - management, GIS, water balance.

### 1. INTRODUÇÃO

A implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) no Brasil, a partir de 1997, demandou uma série de trabalhos e também de conhecimento técnico na área de gestão de recursos hídricos, a fim de se contemplar os preceitos dos instrumentos da mesma (i. e. outorga, enquadramento, planos de recursos hídricos, cobrança). Nesse aspecto, os Sistemas de Suporte à Decisão (SSD) surgem como uma excelente ferramenta de quantificação das demandas em uma bacia,

<sup>1</sup>Mestrando Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Email: rafael.hbkayser@gmail.com

<sup>2</sup>Professor Adjunto Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Email: collischonn@uol.com.br

aliando técnicas de simulação e otimização, possibilitando a identificação das áreas de conflito pelo uso da água (Porto *et al*, 1997).

Observa-se uma tendência de integração dos chamados SSD com Sistemas de Informações Geográficas (SIG), devido à facilidade de inserção de dados e também na aplicação em diversas bacias hidrográficas sem necessidade de modificação na estrutura interna do modelo. Existem uma série de softwares SIG, sendo o ArcGIS® um dos mais reconhecidos na área, porém com custos de aquisição bastante elevados. Em contrapartida, existem iniciativas de implementação de tecnologias de caráter gratuito e de código aberto, a fim de se possa permitir trocas de informações entre programadores do mundo inteiro, como o SIG MapWindow®, um SIG Programável que suporta a manipulação, análise e visualização de dados geoespaciais e da tabela de atributos associada.

O presente trabalho apresenta a descrição de uma metodologia de criação de um plug-in (i.e. módulo de extensão) no MapWindow®, que tem por finalidade servir como ferramenta de gestão de recursos hídricos, realizando rotinas de simulação de balanços hídricos e de modelagem qualitativa, sendo facilmente adaptável a qualquer bacia hidrográfica.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Descrição geral do modelo

O Núcleo de Pesquisas de Clima e Recursos Hídricos do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS) vem desenvolvendo alguns produtos que visam a integração de sistemas de apoio à decisão com modelos hidrológicos e SIG, cuja base é o Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-IPH), também desenvolvido no mesmo núcleo de pesquisas.

As primeiras versões de um sistema de suporte à decisão agregado a um SIG estão descritos em Fragoso *et al* (2008), onde se apresenta um protótipo de um sistema de controle de balanço hídrico integrado ao software ArcGIS®, para controle e emissão de outorgas de uso da água. Uma aplicação destas versões preliminares foi realizada por Pereira (2010), onde foi feito um estudo de caso envolvendo a Bacia do Rio dos Sinos e a integração com o modelo hidrológico MBG-IPH.

A versão mais atual do sistema está descrita em Kayser (2011). Nesta nova versão o sistema é integrado à plataforma SIG *MapWindow GIS*, na forma de um plug-in. Um plug-in é um programa de computador usado para adicionar funções a outros programas maiores, provendo alguma funcionalidade especial ou muito específica. Basicamente, são realizadas interações entre os bancos de dados da bacia e dos usuários de água, e destes com os modelos quantitativo e qualitativo, no qual são feitas operações de leitura, processamento e armazenamento de informações. O banco de dados da bacia é constituído por um arquivo vetorial onde os cursos d'água são representados por trechos organizados topologicamente.

A Figura 1 apresenta a interface do sistema SAD-IPH associada com o SIG MapWindow®. Em (a), são indicadas as funções típicas de um SIG, tais como a inserção de um arquivo, ferramentas de zoom, identificação de elementos, etc. Estas ferramentas já vêm incluídas na versão do SIG sem o plug-in (Ames *et al*, 2007). Em (b), indica-se o plug-in referente ao SAD-IPH, constituído pela barra de ferramentas ilustrada. Através dele é possível inserir os dados hidrológicos e também dos usuários, além de executar os modelos de simulação. Em (c) são listados os arquivos inseridos no projeto em uma aplicação do sistema, como a rede de drenagem representando a bacia, e os arquivos de usuários da mesma e em (d) encontra-se a representação geoespacial dos arquivos.

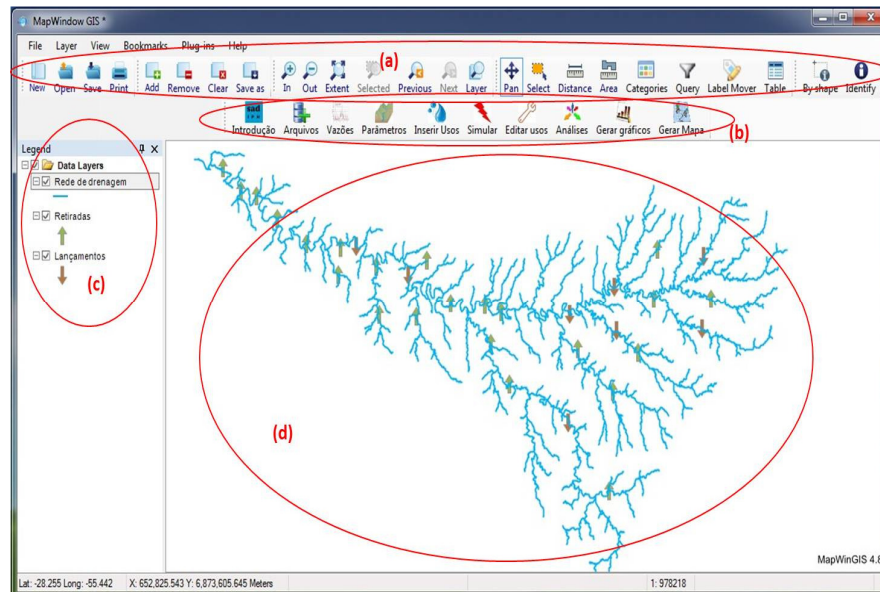


Figura 1 - Interface do SAD-IPH associado ao software MapWindow® GIS.

## 2.2. Pré-processamento e definição da estrutura topológica da bacia

Este item descreve a criação do banco de dados geoespacial de uma bacia hidrográfica. O produto final da etapa de pré-processamento é um arquivo shapefile denominado rede de drenagem, que representam a drenagem de uma bacia graficamente segmentada em vários trechos. Para a geração da rede de drenagem, lança-se mão da utilização de ferramentas de geoprocessamento e dos chamados Modelos Digitais de Elevação (MDE), ou Modelo Numérico do Terreno (MNT). Os MDE correspondem a uma representação de dados topográficos na forma de uma imagem no formato raster, ou matricial, onde cada pixel dessa imagem tem como atributo o valor de elevação do terreno representado.

Para obtenção do arquivo da rede de drenagem, existem duas formas de processamento do MDE: utilizando a estrutura de dados e o conjunto de ferramentas denominado ArcHydro, desenvolvidas em parceria pela Universidade do Texas e pela empresa ESRI, que operam internamente ao programa ArcGIS® (Maidment, 2002), ou então utilizando o plug-in TauDEM, desenvolvido pela Universidade do Estado de Utah e operado juntamente com o SIG MapWindow®. Em ambos os processos, é executada uma série de operações a partir do MDE, entre elas a definição das direções de fluxo, definição das áreas de contribuição, definição dos cursos d'água e geração dos arquivos de rede de drenagem e das mini-bacias resultantes da etapa de discretização.

Os principais atributos de topologia da rede de drenagem são o código de cada trecho de rio e o código do trecho de jusante, obtidos na etapa de pré-processamento. Estas codificações são importantes pois elas identificam o trecho simulado e indicam o próximo segmento, a fim de se prosseguir com a simulação. Além deste código, cada trecho de rio recebe do sistema de apoio à decisão um número que identifica a ordem do curso d'água. Os códigos são atribuídos de montante para jusante, de forma que os códigos mais altos correspondem aos trechos de rio localizados mais à jusante.

A Figura 2 ilustra um esquema de uma rede de drenagem associada a sua tabela de atributos, focando os códigos que estabelecem a topologia da bacia. A estrutura topológica se estabelece de tal forma que à exceção dos trechos de cabeceira, todos os demais recebem a confluência de dois trechos, e encaminha o fluxo para um único trecho de jusante. Observa-se que todos os trechos de cabeceira são numerados primeiramente, seguindo para os trechos de ordem mais elevada.

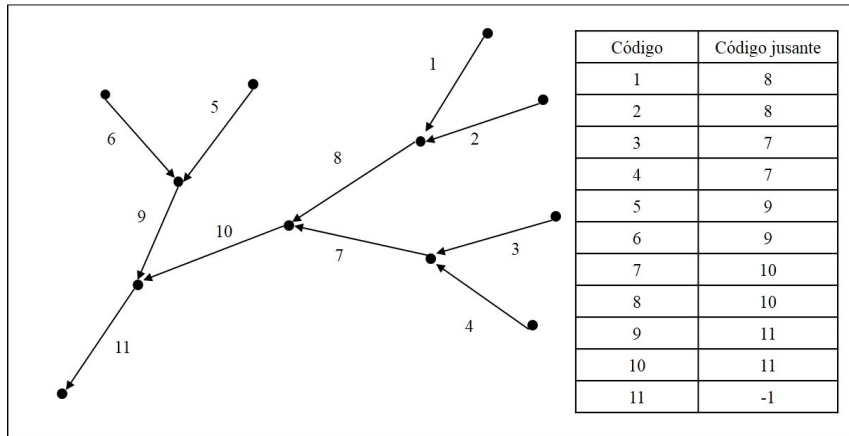


Figura 2 – Exemplo de rede de drenagem ilustrando a estrutura topológica da bacia

### 2.3. Entrada dos dados hidrológicos

Os dados hidrológicos podem ser inseridos no modelo através de métodos de regionalização simples em função da área de drenagem, ou então agregando a ele um modelo hidrológico do tipo chuva-vazão, por exemplo. Na etapa de pré-processamento, um dos atributos gerados é a área de drenagem acumulada para cada segmento na bacia. A estes dados podem facilmente ser aplicadas diferentes metodologias de regionalização em função da área.

Como alternativa mais robusta, também há a opção de integração do SAD-IPH com um modelo hidrológico chuva-vazão, mais especificamente o Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH), cuja versão mais atual adota uma discretização definida em unidades irregulares, a qual pode ser a mesma aplicada na etapa de pré-processamento do MDE utilizado no SAD-IPH. A consequência disso é a facilidade de comunicação entre os dois sistemas, pois ambos estão sendo operados com a mesma discretização. O Modelo Hidrológico de Grandes Bacias, MGB-IPH, foi desenvolvido para simular o processo de transformação da chuva em vazão em grandes bacias hidrográficas (Collischonn *et al*, 2001).

### 2.4. Entrada dos dados dos usuários da bacia

Os dados referentes aos usuários de água da bacia serão armazenados em um banco de dados geoespacial, da mesma forma como ocorre no arquivo da rede de drenagem. Valendo-se das propriedades do SIG, os dados dos usuários podem ser inseridos no sistema por três formas distintas, conforme ilustrado na Figura 3 abaixo:

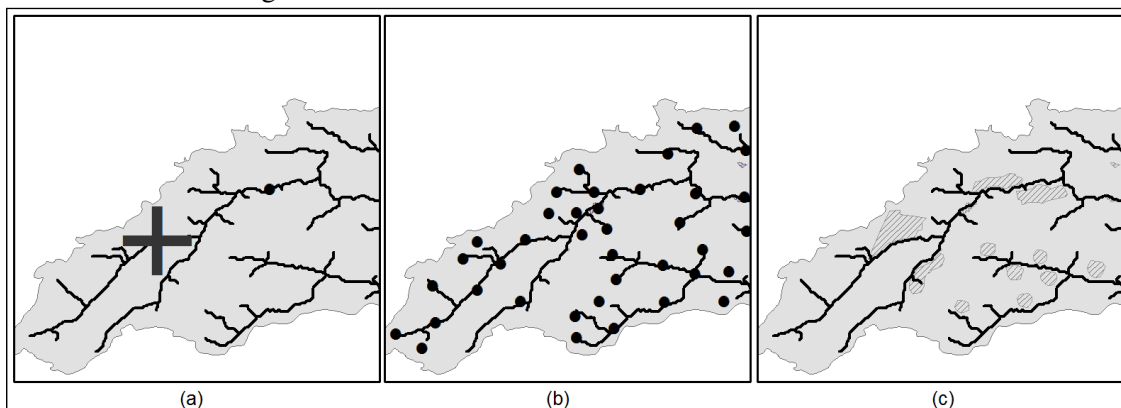


Figura 3 - Formas de inserção dos usuários de água da bacia: (a) inserção manual através da seleção do trecho, (b) inserção automática através de uma tabela de valores, e (c) inserção através do carregamento de um arquivo vetorial.

A inserção manual se dá pela seleção do trecho da rede de drenagem onde está localizado o usuário através do cursor do *mouse*. Após o clique o modelo apresentará uma janela onde serão solicitadas as informações de demanda ou lançamento do usuário. A inserção automática através de uma tabela se dá pelo carregamento de uma tabela Excel onde estão contidas as coordenadas e os dados de demanda ou lançamento de cada usuário. Por fim, também é possível fazer a inserção dos usos através do carregamento de um arquivo vetorial do tipo polígonos, especificamente para o caso do uso para a agricultura onde se atribui um valor de demanda específica em função da área utilizada.

## 2.5. Descrição dos módulos de quantidade e qualidade

A característica básica dos módulos de quantidade e qualidade é a utilização da estrutura topológica resultante do processamento do MDE, de modo que nenhum trecho seja simulado sem que todos os trechos que estão à montante do mesmo já tenham sido simulado anteriormente. A Figura 4 apresenta uma esquematização dos módulos de simulação.

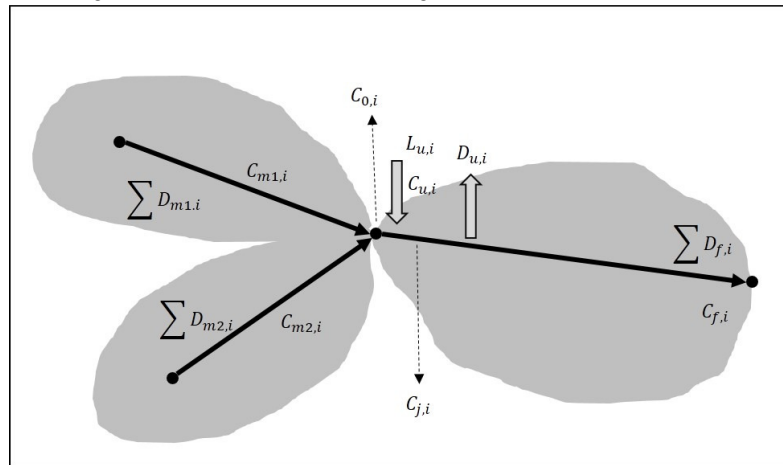


Figura 4 - Esquema ilustrando as variáveis envolvidas no modelo quantitativo e qualitativo do sistema.

Sendo  $\sum D_{m1,i}$  e  $\sum D_{m2,i}$  o somatório das demandas de cada uma das bacias à montante do trecho simulado  $i$ ,  $D_{u,i}$  as demandas do(s) usuário(s) localizado(s) no trecho, se houver,  $\sum D_{f,i}$  o somatório das demandas de montante e da demanda em  $i$ ,  $C_{m1,i}$  e  $C_{m2,i}$  as concentrações das bacias à montante,  $C_{0,i}$  a concentração inicial do trecho  $i$ ,  $L_{u,i}$  e  $C_{u,i}$  a vazão de lançamento e a concentração do efluente,  $C_{j,i}$  a concentração no trecho no momento imediatamente à jusante ao lançamento do efluente, e  $C_{f,i}$  a concentração final do trecho simulado, resultado do decaimento de  $C_{j,i}$  ao longo do trecho.

O transporte do poluente ao longo do trecho simulado segue uma relação definida pelo modelo de Streeter Phelps (Chapra, 1997) a qual estabelece que a variação da concentração do poluente remanescente ( $C_{j,i}$ ) em um infinitésimo de tempo ( $dt$ ) é igual a concentração do poluente multiplicada por uma constante de decaimento ( $K$ ), podendo ser escrita como:

$$\frac{d(C_{j,i})}{dt} = -K \cdot C_{j,i}$$

A equação diferencial tem solução analítica, considerando a variação da concentração do espaço e regime permanente:

$$C_{f,i} = C_{j,i} \cdot \exp\left(\frac{-K_i \cdot L_i}{U_i}\right)$$

Onde  $C_{f,i}$  é a concentração ao fim do trecho  $i$ ,  $K_i$  é a taxa de decaimento que pode variar por segmento,  $L_i$  é o comprimento do trecho de rio  $i$  em metros, e  $U_i$  é a velocidade média, em  $m \cdot s^{-1}$ . A

velocidade média pode ser estimada através da relação de Manning, por exemplo. O modelo pode realizar a simulação de qualidade dos seguintes parâmetros: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Oxigênio Dissolvido (OD), formas nitrogenadas (nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato), fósforo total e coliformes fecais. Para cada parâmetro, são considerados os ajustes necessários na etapa de transporte das concentrações, contudo, para todos os parâmetros a estrutura de execução do cálculo segue a descrição realizada anteriormente. Realizou-se alguns testes comparativos com modelos mais robustos como o QUAL2K, obtendo-se bons resultados, considerando a escala da bacia e o propósito de aplicação do trabalho.

### 3. APLICAÇÕES E RESULTADOS

A título de exemplificação, são apresentados os resultados obtidos com a aplicação do modelo na Bacia do Rio dos Sinos, localizada na porção leste do Estado do Rio Grande do Sul, e com área de drenagem de 3.696 km<sup>2</sup>. A bacia é caracterizada por um conflito bastante intenso quanto ao uso de recursos hídricos, tanto com relação à quantidade como também no aspecto qualitativo do mesmo.

As figuras 5 e 6 apresentam os resultados dos balanços hídricos quantitativos e qualitativos obtidos com a simulação do modelo. Os dados de disponibilidades foram obtidos através da aplicação do modelo hidrológico MGB-IPH, descrito em Pereira (2010). As demandas foram obtidas através do Plano de Recursos Hídricos da bacia (PROSINOS, 2009). Com relação ao balanço hídrico quantitativo, foram estabelecidos dois cenários: o primeiro sem o efeito da demanda da irrigação, a qual ocorre somente durante o período de verão; e o segundo incluindo os efeitos da mesma. Com relação ao balanço qualitativo, foram realizadas as simulações dos parâmetros DBO, oxigênio dissolvido, fósforo total e coliformes termotolerantes, e os resultados foram agrupados nas classes de enquadramento conforme a resolução n° 357/2005 do CONAMA.

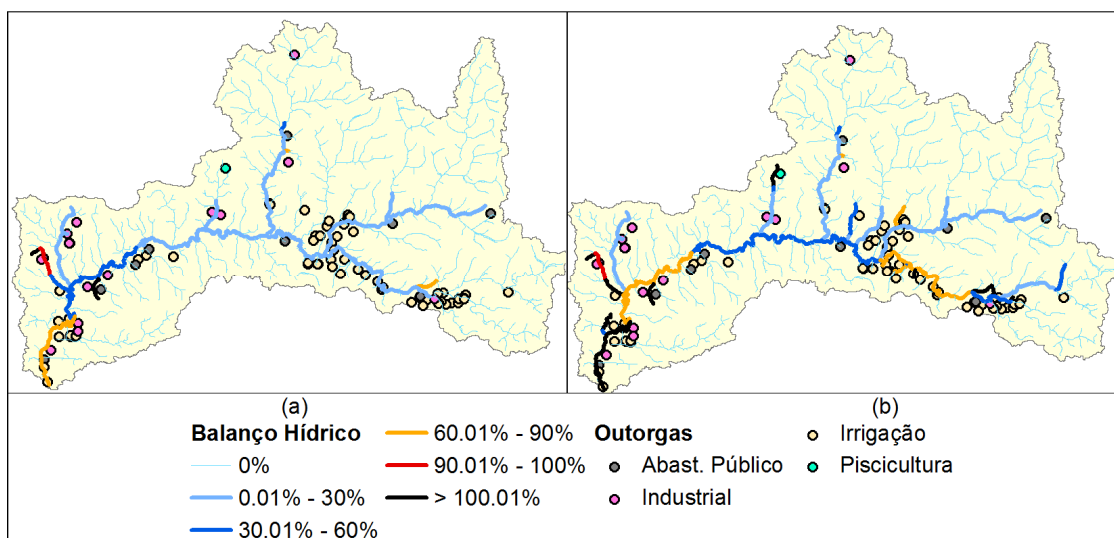


Figura 5 – Balanço hídrico quantitativo na Bacia do Rio dos Sinos, considerando como disponibilidade a Q90 anual e (a) demandas do período sem irrigação e (b) demandas do período que compreende a irrigação da cultura do arroz.

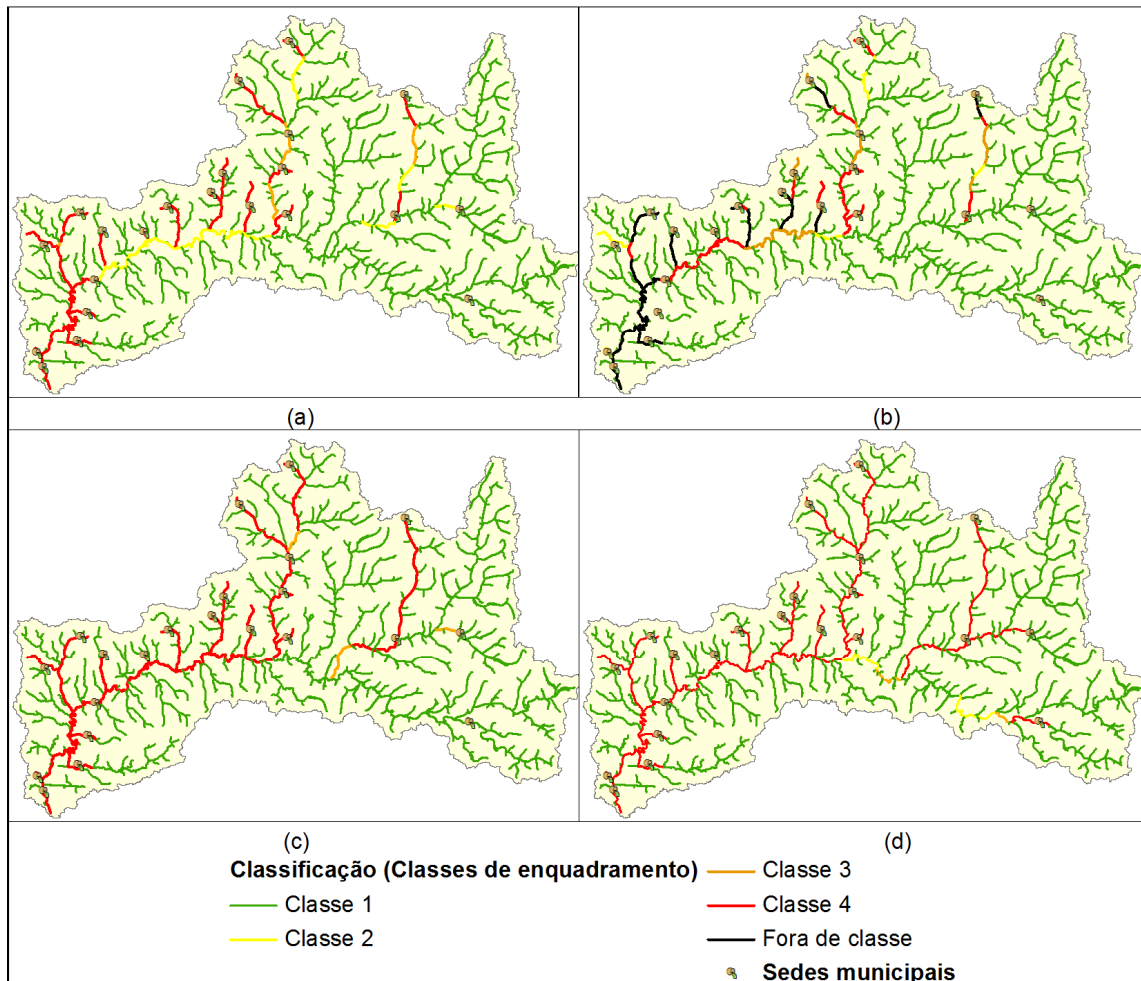


Figura 6 – Balanço hídrico qualitativo na Bacia do Rio dos Sinos, considerando a Q90 do mês mais crítico e como parâmetros de qualidade: (a) DBO, (b) OD, (c) fósforo total, (d) coliformes termotolerantes.

#### 4. DISCUSSÃO

O modelo SAD-IPH já foi aplicado com bastante sucesso nas Bacias do Rio Ibicuí, Ijuí e Sinos, no Rio Grande do Sul, em duas bacias afluentes do Rio São Francisco, em Minas Gerais, e também da Bacia do Rio Macaé, no Estado do Rio de Janeiro, notando-se a grande facilidade de implementação em qualquer bacia hidrográfica.

Verifica-se uma grande facilidade de visualização dos resultados obtidos no modelo através das representações da rede de drenagem, permitindo a identificação pontual das áreas de conflito dos usos da água. No caso do Bacia do Rio dos Sinos, observa-se que em períodos de estiagem e na época da irrigação da rizicultura, a porção baixa da bacia pode sofrer com a falta de água, o que realmente ocorre, a exemplo do município de São Leopoldo, que a cada ano sofre com o racionamento de água nos meses de verão. A simulação qualitativa também deflagrou diversos pontos conflituosos, inclusive alcançando níveis críticos de oxigênio dissolvido, o que confere com as campanhas de monitoramento da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEPAM).

O desenvolvimento desta ferramenta tem também como objetivo a disponibilização do plug-in para download via internet, juntamente com o software MapWindow®. A utilização do SIG gratuito com o sistema de suporte à decisão de caráter genérico pode vir a se constituir numa excelente opção de ferramenta para gerenciamento de recursos hídricos a ser aplicado facilmente em qualquer bacia.

O modelo está em contínuo aperfeiçoamento e uma das áreas a serem desenvolvidas é operacionalização do regime não-permanente de vazões, o que possibilitará a inserção de estruturas de controle e armazenamento, como os reservatórios. Também estão sendo introduzidos alguns de modelos de otimização, que objetivam buscar a minimização dos déficits de disponibilidade através da introdução dos reservatórios, e também o atendimento dos padrões de qualidade através do cálculo das eficiências de tratamento de esgoto.

## REFERÊNCIAS

AMES, D. P.; MICHAELIS, C.; DUNSFORD, H. **Introducing the MapWindow GIS Project.** *OSGeo Journal*, Vol. 2, 2007.

CHAPRA, S. C. **Surface water-quality modeling.** New York: McGraw-Hill. 1997.

COLLISCHONN, W. **Simulação Hidrológica de Grandes Bacias.** 2001. 194f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 194 p.

FRAGOSO JR., C. R.; COLLISCHONN, W.; KAYSER, R. H. B.; COLLISCHONN, B. **Protótipo de Sistema de Controle de Balanço Hídrico para apoio à outorga integrado a um Sistema de Informações Geográficas.** In: Simpósio de Recursos Hídricos do Sul e Sudeste, 2008, Rio de Janeiro. Anais do Simpósio de Recursos Hídricos do Sul e Sudeste.

KAYSER, R. H. B. **Sistema de Suporte à Decisão para gerenciamento de recursos hídricos integrado a um SIG: desenvolvimento e aplicação na Bacia do Rio dos Sinos.** 2011. 123 f. Trabalho de conclusão de curso. (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MAIDMENT D. R. **Arc Hydro: GIS for Water Resources.** Redlands, USA: ESRI Press. 2002.

PEREIRA, M. M. E. **Integração de Modelos Hidrológicos e SIG na análise de processos de Outorga Quantitativa de uso da água: Aplicação na Bacia do Rio dos Sinos – RS.** 2010. 89f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Pesquisas Hidráulicas.

PORTO, R.; LANNA, A. E.; BRAGA, B. P.; CIRILO, J. A.; ZAHED, K.; AZEVEDO, L. G. T.; CALVO, L.; DE BARROS, M. T. L.; BARBOSA, P. S. F. **Técnicas quantitativas para o gerenciamento de Recursos Hídricos.** Porto Alegre: ABRH, 420 p. 1997.

PROSINOS. **Plano Sinos – Plano de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos: relatório técnico.** Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<http://www.portalprosinos.com.br/>>. Acesso em: 20.11.2011.