

FERSim – Um sistema de simulação para incorporação de biomassa durante o enchimento de compartimentos de reservatórios

Norberto Mangiavacchi¹, Cássio B. P. Soares²

RESUMO: Esse trabalho descreve características e o desenvolvimento do software – FERSim (Finite Element Reservoirs Simulator), para a simulação de incorporação de biomassa no enchimento de compartimentos de reservatórios. Fundado a partir do P&D entre FURNAS e UERJ, o GESAR – Grupo de Estudos e Simulações Ambientais em Reservatórios, constituiu-se num centro tecnológico de estudos ambientais. Atua no desenvolvimento de modelos numéricos e no gerenciamento das equipes envolvidas no Projeto do FERSim, onde colaboraram pesquisadores da UERJ, USP-S. Carlos, UFSCar, COPPE/UFRJ, UFF e CEFET - RJ. O FERSim surge como nova ferramenta para o área de recursos hídricos, desenhada para estudos de novas usinas e para simulações dos efeitos das atividades nos compartimentos de reservatórios de hidroelétricas existentes. Ressalta-se também a possibilidade de apoio ao gerenciamento de reservatórios com a simulação de manobras operacionais nas usinas. O FERSim encontra-se em fase de calibração/validation e o GESAR vem conquistando reconhecimentos nacionais e internacionais.

I. Introdução

A avaliação dos impactos resultantes do uso intensivo dos territórios e dos recursos hídricos exige o desenvolvimento de novas ferramentas de análise, principalmente no que se refere à implantação de novos empreendimentos hidrelétricos e no estudo de alternativas de operação dos reservatórios existentes. Durante o processo de enchimento de novos reservatórios, a biomassa terrestre é mineralizada lançando substâncias que são transportadas e se concentram nos volumes dos seus diversos compartimentos. Nessas condições, algumas regiões passam por períodos em que os baixos teores de oxigênio dissolvido e a alta concentração de matéria orgânica comprometem o ambiente aquático e os usos da água. O desmatamento e a remoção do material orgânico do leito inundado são ações praticadas que visam à minimização dos impactos. No entanto, a limpeza da bacia é procedimento caro, freqüentemente desnecessário para vários compartimentos e muitas vezes inviável. Como estratégia de planejamento, ainda é comum a utilização de modelos globais, que tratam o reservatório como um corpo único, para se estabeleça a quantidade de biomassa a ser removida. Esse processo, muitas vezes, resulta em avaliações superestimadas da quantidade de biomassa a ser retirada e, em outras, à adoção de procedimentos

ineficientes, pois modelos globais não identificam os locais onde a remoção deve ser priorizada. Os simuladores existentes no mercado não descrevem de forma acurada e flexível os processos que ocorrem no enchimento de reservatórios, pois não são suficientemente precisos quanto às características locais dos compartimentos. Esta deficiência impede a geração de informações confiáveis e geograficamente detalhadas para um planejamento otimizado da limpeza da bacia de acumulação. Dentro desse contexto, a ANEEL, autorizou Furnas Centrais Elétricas S. A. a implementar um projeto de P&D ciclo 2002/2003, para o desenvolvimento de um software para o estudo das características físico-químicas da água durante o enchimento de compartimentos de reservatórios. O projeto foi desenvolvido sob a liderança do Grupo de Estudos e Simulações Ambientais em Reservatórios – GESAR, implantado na Universidade do Estado do Rio de Janeiro e contou com a participação de cerca de 40 pesquisadores doutores da UERJ, USP-S.Carlos, UFSCar, COPPE/UFRJ, UFF e CEFET – RJ.

A sede do GESAR na UERJ possui área construída de 200 m², compreendendo cinco unidades operacionais, sendo um núcleo de estudos e quatro laboratórios, plenamente capacitados à realizar estudos limnológicos e simular as condições ambientais encontradas em reservatórios tais como aerobiose e anaerobiose, presença e ausência de luz, condições de fluxo e de estagnação da água e ainda condições de ambientes pressurizados como os encontrados nas regiões mais profundas. Os resultados experimentais foram incorporados ao simulador numérico desenvolvido [2],[8].

Alguns dados e realizações do projeto: 1. Valor do projeto: R\$ 4.013.848,19; Datas de início e término: 06 de janeiro de 2006 a 06 de junho de 2008; 2. Produção científica: Duas teses de doutorado concluídas e uma em andamento, 5 dissertações de mestrado concluídas e 5 em andamento, 20 trabalhos apresentados em congressos no país, 10 em congressos no exterior; Sete artigos completos em periódicos internacionais e dois em periódicos nacionais.

As especialidades envolvidas no desenvolvimento do projeto compreendem a ecologia, a biologia, a engenharia florestal, engenharia química, mecânica dos fluidos e fenômenos de transporte, a álgebra linear computacional, geometria computacional e engenharia de software.

Na implementação do software foi dada prioridade à sua portabilidade, permitindo a sua utilização em plataformas de alto desempenho, como clusters de servidores computacionais multiprocessados. No entanto, toda a preparação de problemas complexos, e mesmo a solução de casos de complexidade moderada pode ser realizada em simples notebooks.

P&D : “Sistema de Simulação da Incorporação de Biomassa durante o Enchimento de Compartimentos de Reservatórios”
Furnas Centrais Elétricas S. A. ciclo 2002/2003

¹ norberto.mangiavacchi@gmail.com

Grupo de Estudos e Simulações Ambientais em Reservatórios
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, R. Fonseca Telles 524
20550-013 Rio de Janeiro, RJ, Brazil

² cassiobp@furnas.com.br

Furnas Centrais Elétricas S. A.

R. Real Grandeza 219, 22283-900 Rio de Janeiro, RJ, Brazil

II. Estratégia de desenvolvimento

O processo de desenvolvimento foi baseado no processo XP (*eXtreme Programming*) adaptado ao ambiente de pesquisa e desenvolvimento, que proporcionou agilidade e rapidez no processo. A modelagem do sistema foi realizada em *UML* (*Unified Modeling Language*). Foi utilizada a metodologia de Programação Orientada a Objeto, e o código final foi implementado em C++.

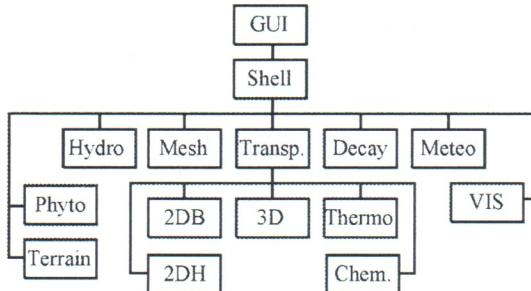


Figura 1: Diagrama de blocos do sistema desenvolvido no GESAR

A estrutura modular permitiu o desenvolvimento simultâneo dos diversos modelos necessários, consolidando uma biblioteca de uso geral. Isto permite a fácil manutenção e reutilização do código. Cada módulo é concebido como uma unidade relativamente independente, que pode ser utilizada na análise de problemas específicos.

III. Descritivo dos módulos

a. **Graphic User Interface (GUI):** é o módulo que permite acesso amigável aos recursos do sistema. Desenvolvida em C++, utiliza metodologias consagradas como a biblioteca *GTKmm* para o gerenciamento das janelas, e a biblioteca *openGL* para os gráficos integrados. A **GUI** foi desenvolvida de forma a agrupar harmonicamente e permitir o fluxo de informação entre os módulos de tratamento de dados e de simulação. Com uma apresentação simples e objetiva, a **GUI** possibilita recursos sofisticados de forma rápida e intuitiva.

b. **Shell Interpreter:** é uma interface com usuário na forma de texto. Possui uma linguagem de alto nível própria. Permite utilização de scripts customizados pelo usuário para a realização de operações complexas de forma programada.

c. **Terrain:** é dedicado ao tratamento de dados geocartográficos [7] e gera as informações sobre a morfologia do terreno. Permite a leitura, manipulação e escrita de dados em vários formatos, dentre os quais DTM (*Digital Terrain Model*), curvas de nível, triangulações e nuvens de pontos. Estas informações podem ser combinadas com imagens geo-referenciadas (*GeoTiff*)³.

d. **Phyto:** Permite manipular polígonos e outras informações da cobertura vegetal e dos usos do terreno.

e. **Hydro:** Neste módulo, as informações sobre as drenagens podem ser manipuladas e visualizadas em combinação com as informações dos outros módulos.

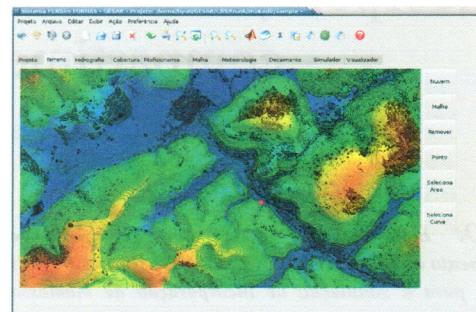


Figura 2: Alguns recursos do módulo *Terrain*. Este exemplo da visualização de uma imagem *GeoTiff* combinada com as curvas de nível do reservatório de Louriçal (UHE Simplicio).

f. **Meteo:** As informações meteorológicas, tais como precipitação, radiação, vento, temperatura e umidade do ar são manipuladas por este módulo.

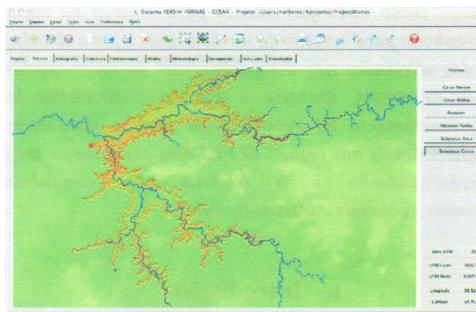


Figura 3: Interface gráfica do sistema, destacando-se alguns recursos de visualização do simulador FERSim, onde as drenagens e as curvas de nível do reservatório da UHE Manso ajustam-se sobre um modelo digital de terreno.

g. **Mesh:** gera as malhas numéricas para as simulações. Permite gerar três tipos de malhas distintas: bidimensionais triangulares horizontais ou verticais e malhas tridimensionais. As bidimensionais são geradas utilizando um algoritmo *Delaunay* incremental. As tridimensionais são geradas usando um algoritmo *Delaunay* incremental em 3D, ou partindo de uma malha 2D da superfície do reservatório, passando por uma malha de prismas semi-estruturada, que é subsequente mente particionada em tetraedros. Possui refinamento automático, assim como edição manual mediante operações de inserção de pontos sobre arestas e nos elementos.

h. **Transport:** É o núcleo numérico do sistema, baseado no método de elementos finitos [2],[8], soluciona as equações da hidrodinâmica, dos transportes de energia e de matéria orgânica [3],[4]. A cinética de decomposição da biomassa e as condições de contorno na interface do reservatório com a atmosfera são tratados nos módulos **Decay** e **Meteo**, respectivamente [1]. As principais variáveis simuladas são: os campos de velocidades, pressão, temperaturas, oxigênio dissolvido e DBO.

i. **Vis:** é o módulo de visualização 2D e 3D, está integrado na **GUI**, permitindo o acompanhamento das operações realizadas em forma interativa em tempo real. Está baseado na biblioteca *openGL*, que permite ótimo desempenho em placas gráficas de ultima geração.

IV. O simulador e as estratégias de elementos finitos

No FERSim, o módulo de transporte utiliza-se de cinco módulos adicionais: **2DH**, para simulações bidimensionais

³ Os módulos Terrain, Phyto, Hydro e Meteo constituem, em conjunto, um Sistema de Informações Geográficas (SIG), especializado para definição de parâmetros para a simulação de reservatórios.

horizontais onde as variáveis verticais são médias ponderadas pelas profundidades; **2DB**, para simulações

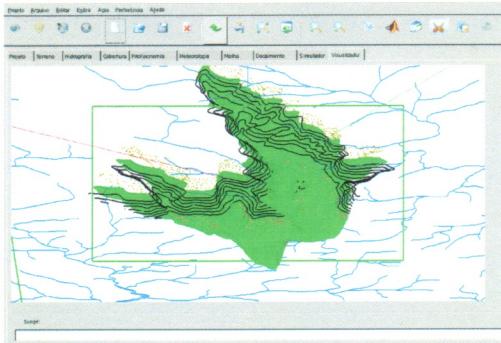


Figura 4: Interface gráfica do sistema, destacando-se alguns recursos de visualização 3D.

bidimensionais verticais, onde as variáveis transversais ao escoamento são ponderadas pelas distâncias entre as margens; **3D**, para as simulações tridimensionais; **Thermo**, que calcula o balanço de energia e determina o campo de temperaturas, e **Chem**, que resolve as equações de transporte com reações químicas das espécies dissolvidas.

Nos módulos **2DH**, **2DB** e **3D**, as equações de *Navier-Stokes* são resolvidas utilizando um método de elementos finitos semi-Lagrangeano, que permite a utilização de intervalos de avanço da solução arbitrários. A discretização espacial é obtida pelo método de *Galerkin*. Os elementos utilizados são do tipo Mini, que possuem boas características do ponto de vista de conservação de massa e estabilidade. Um modelo de turbulência estratificada permite a parametrização dos efeitos de estratificação térmica e de concentração de espécies na dinâmica do escoamento e dos transportes. As equações resultantes das discretizações constituem grandes sistemas lineares esparsos, que podem chegar a ter milhões de incógnitas, que são resolvidos por métodos iterativos baseados em subespaços de Krilov. As implementações paralelas dos núcleos computacionalmente intensivos são realizadas com a utilização da biblioteca PETSC de computação paralela de alto desempenho e a biblioteca MPI de comunicação entre processadores, o que permite portabilidade e eficiência em um grande número de plataformas.

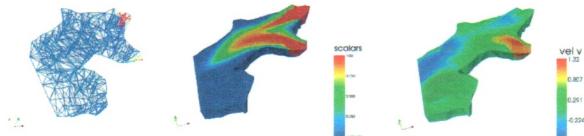


Figura 5: Exemplo de malha computacional e resultado de simulação dos campos de concentração de espécies químicas e de velocidades.

V. Validação dos modelos computacionais

Os resultados computacionais são validados por comparação com resultados obtidos no laboratório em

modelos em escala reduzida, onde experimentos são realizados em condições controladas de velocidade, temperatura e concentração.

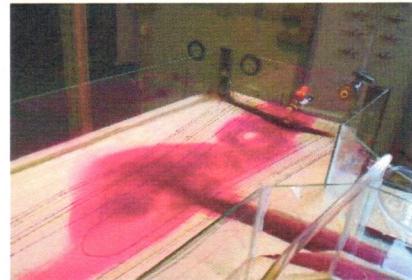


Figura 6: Modelo em escala reduzida para estudo da desembocadura de um tributário sobre um corpo principal.

VI. Conclusão

O desenvolvimento dos simuladores prossegue em parceria com o CWR – Center for Water Research/University of Western Australia e com a UNA – Universidad Nacional de Assunción, no Paraguai, renomados centros internacionais. Grande impulso será conferido as etapas de calibração e validação dos softwares, uma vez aprovados dois novos contratos, ora em discussão, entre a UERJ/GESAR e Furnas Centrais Elétricas S.A. O primeiro tem como objetivo de analisar a produção, estocagem, transporte e emissão de dióxido de carbono e da decomposição da biomassa em reservatórios. O segundo visa o estudo da deriva e dispersão de ovos e larvas de peixes em ambientes aquáticos.

O projeto de P&D celebrado entre a ANEEL/Furnas e a Associação Cultural e de Pesquisa Noel Rosa/UERJ concluiu-se com o simulador que considera a incorporação de biomassa durante o enchimento de compartimentos de reservatórios. O FERSim agrega significativa capacidade de estudos computacionais de ambientes aquáticos típicos do Setor Elétrico e, ao mesmo tempo, confere a Furnas, e ao Setor como um todo, novas possibilidades para realização de simulações necessárias as avaliações de impactos e a gestão dos recursos hídricos.

VII. Referências Bibliográficas

- [1] BIANCHINI Jr, I. ; PERET, A M ; CUNHASANTINO, M B . A mesocosm study of aerobic mineralization of seven aquatic macrophytes. *Aquatic Botany*, v. 85, n. 2, p. 163-167, 2006.
- [2] Carey, G.F. (editor), 1995 - "Finite Element Modeling of Environmental Problems: Surface and Subsurface Flow and Transport", John Wiley & Sons.
- [3] Fischer, H.B., List, E.J., Koh, R.C.Y., Imberger, J. and Brooks, N.H., 1979, "Mixing in inland and coastal waters", Academic Press, New York, 483 pp
- [4] Imberger, J. (editor), 1998, "Physical Processes in Lakes and Oceans", Coastal and Estuarine Studies Series Volume 54, 661 pp
- [5] Rates, Constants, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling (Second Edition) (EPA/600/3-85/040)
- [6] ROMEIRO, F ; BIANCHINI Jr, I. . The kinetic pathways for anaerobic decomposition of Ludwigia inclinata. *Hydrobiologia* (The Hague), v. 607, p. 103-111, 2008.
- [7] SOARES, C. B. P. ; MEDEIROS, J. L. . Building 3D Frameworks of Accessory Aquatic Systems. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences*, Rio de Janeiro, v. 25, n. 3, p. 1-11, 2003.
- [8] SOUSA, Fabricio Simeoni de ; MANGIAVACCHI, N. . A Lagrangian level-set approach for the simulation of incompressible two-fluid flows. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, v. 47, p. 1393-1401, 2005.