

# **ANÁLISE DO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO E HIDRODINÂMICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SARAPUÍ, NA BAIXADA FLUMINENSE, COM AUXÍLIO DE UM MODELO DE CÉLULAS DE ESCOAMENTO**

Oswaldo Moura Rezende, Rodrigo Furtado Lou e Marcelo Gomes Miguez

COPPE/ UFRJ, Brasil  
om.rezende@hidro.ufrj.br, rodrigo.lou@hidro.ufrj.br e mgmiguez@gmail.com

## **Introdução e Objetivos**

Este trabalho tem como objetivo analisar, através de um modelo matemático de células de escoamento, o comportamento hidrológico e hidrodinâmico da bacia hidrográfica do rio Sarapuí, na baixada fluminense, a partir das características atuais de ocupação e uso do solo.

O interesse do homem no comportamento dos rios existe há muito tempo, desde que começaram a habitar suas margens e ligaram suas vidas às variações hidrológicas, criando uma grande dependência com o ciclo das cheias.

Com o passar do tempo, a humanidade passou a alterar as características físicas dos corpos fluviais pretendendo adequar essas variações com seus interesses e demandas, facilitando a navegação, a captação de água, o controle de cheias, os aproveitamentos hidrelétricos, a irrigação e outros fins. Somando-se a essas alterações diretas sobre os cursos d'água, a urbanização acelerada e sem planejamento resultou, muitas vezes, em uma ocupação desorganizada das bacias hidrográficas, alterando o uso do solo e causando grande impacto sobre o regime dos escoamentos, principalmente nas taxas de infiltração.

Essa interação da sociedade com o ciclo hidrológico criou uma grande necessidade de estudos que possibilitassem a previsão dos efeitos dessas intervenções nos escoamentos naturais, o que levou ao desenvolvimento de uma série de equações matemáticas às vezes demasiadamente complexas e de difícil resolução. Mas com a utilização de ferramentas computacionais mais modernas, a resolução desses sistemas ganha cada vez mais agilidade, permitindo a criação de modelos hidrológicos e hidrodinâmicos representativos muito eficazes.

## Sistema de Modelagem

O sistema de modelagem do rio Sarapuí envolve dois módulos, um modelo hidrológico utilizado para previsão das vazões nos afluentes ao curso d'água principal e um modelo hidrodinâmico utilizado para simular o comportamento de uma onda de cheia ao longo do canal.

- Modelo Hidrológico – Hidro-Flu

Para a modelagem hidrológica utilizou-se como ferramenta o Sistema Hidro-Flu, um programa computacional desenvolvido na COPPE que, entre múltiplas aplicações, pode servir exclusivamente como um modelo chuva-vazão do tipo concentrado.

No Hidro-Flu, o cálculo de um hidrograma a partir de um hietograma de projeto pode ser dividido em quatro etapas:

1. *Caracterização da Bacia Hidrográfica* → Esta etapa tem por fim o cálculo do tempo de concentração através das características da bacia hidrográfica em estudo.

2. *Hietograma de Projeto* → Esta etapa tem por fim a criação de um hietograma de projeto a partir de critérios adotados pelo modelador para definição da duração da chuva, da distribuição temporal e da intensidade pluviométrica.

3. *Separação dos Escoamentos* → Nesta etapa, o modelador deve optar por um método para a representação da divisão entre a parte da chuva que infiltra e a parte que contribui para o escoamento superficial. As opções do Hidro-Flu são o Método Racional, o Método dos Índices e o Método do *Soil Conservation Service* (SCS).

4. *Hidrograma de Projeto* → Nesta etapa é feita a transformação da chuva excedente em um hidrograma de projeto, executada através da aplicação de um método de Hidrograma Unitário Sintético (HUS) que pode ser interpretado como uma composição entre o Hidrograma Triangular do Método Racional adaptado para chuvas complexas e o Hidrograma Unitário Sintético do SCS.

- Modelo Hidrodinâmico – Modelo de Células de Escoamento

As células podem representar a natureza isoladamente ou em conjuntos, formando estruturas mais complexas. Um conjunto resumido de tipos de células pode eventualmente já fornecer grande capacidade de representação, ao se pensar em suas possíveis associações. Porém, a definição do conjunto de tipos de ligação, que são representativas de leis hidráulicas que traduzem determinados escoamentos, pode fazer grande diferença na tentativa de reproduzir a multiplicidade dos pa-

drões de escoamento de um cenário urbano. As hipóteses de aplicação do modelo de células em bacias urbanas são:

1. A natureza pode ser representada por compartimentos homogêneos, interligados, chamados células de escoamento.

2. Na célula, o perfil da superfície livre é considerado horizontal, a área desta superfície depende da elevação do nível d'água no interior da mesma e o volume de água contido em cada célula é diretamente relacionado com o nível d'água no centro da célula.

3. Cada célula comunica-se com células vizinhas, que são arranjadas em um esquema topológico, constituído por grupos formais, onde uma célula de um dado grupo só pode se comunicar com células deste mesmo grupo, ou dos grupos imediatamente posterior ou anterior.

4. O escoamento entre células pode ser calculado através de leis hidráulicas conhecidas como, por exemplo, a Equação Dinâmica de *Saint-Venant*.

5. A vazão entre duas células adjacentes, em qualquer tempo, é apenas função dos níveis d'água no centro dessas células.

6. As seções transversais de escoamento são tomadas como seções retangulares equivalentes, simples ou compostas.

7. O escoamento pode ocorrer simultaneamente em duas camadas, uma superficial e outra subterrânea, em galeria, podendo haver comunicação entre as células de superfície e de galeria.

O modelo de células possui o seguinte conjunto tipo de células pré-definido:

- **de rio**, ou canal, por onde se desenvolve o escoamento principal da drenagem à céu aberto, podendo ser a seção simples ou composta;
- **de galeria**, subterrânea, complementando a rede de drenagem;
- **de planície**, para a representação de escoamentos a superfície livre em planícies alagáveis, bem como áreas de armazenamento, ligadas umas às outras por ruas;
- **de reservatório**, simulando o armazenamento d'água em um reservatório temporário de armazenamento, dispondo de uma curva cota x área superficial. A célula tipo-reservatório cumpre o papel de amortecimento de uma vazão afluyente.

A variação do volume d'água em uma célula  $i$ , em um intervalo de tempo  $t$ , é dada pelo balanço de massa nesta célula. Assim, em termos diferenciais, tem-se a equação da continuidade repre-

sentada a seguir:

$$A_{s_i} \frac{dZ_i}{dt} = P_i + \sum_k Q_{i,k} \quad (1)$$

Onde:

- vazão entre as células i e k, vizinhas entre si;
- cota do nível d'água no centro da célula i;
- área superficial do espelho d'água na célula i;
- vazão relativa à parcela de chuva ocorrida sobre a célula i e disponível para escoamento;
- variável independente relativa ao tempo.

A formulação numérica do modelo proposto inicia-se com o processo de discretização da equação diferencial que, originalmente contínua, passa a ser considerada em termos de incrementos finitos. No caso do modelo de células adotado neste estudo, a discretização temporal da equação diferencial (1), representativa da conservação da massa, é feita procurando-se linearizar numericamente todos os termos que apresentam não-linearidades, para que não haja a necessidade de um procedimento iterativo de solução, a fim de simplificar o modelo numérico.

### **Modelagem da Bacia do Rio Sarapuí**

Os efeitos indesejáveis de um evento de cheia podem ser amenizados por obras diversas de controle de enchentes. Uma das medidas para o controle de cheias em meios urbanos trata da instalação de reservatórios temporários em áreas baixas assoladas por inundações. No caso da área de estudo, já existem previstas diversas estruturas de armazenamento, como o Pôlder Alberto de Oliveira, na margem direita do rio Sarapuí, limitando o escoamento do rio Sarapuí pelos diques, além de outros estudos para implantação de reservatórios pulmão para prevenção das enchentes ocasionadas pelos afluentes da margem esquerda.

A modelagem da bacia do rio Sarapuí permite compreender o funcionamento de toda a bacia como um sistema, possibilitando uma análise qualitativa para as parcelas que compõem o ciclo hidrológico.

Os afluentes estudados com o auxílio do Hidro-Flu entram no Mod-Cel como condições de contorno representando as contribuições laterais dessas bacias para o canal do Sarapuí. Essa entrada de dados irá gerar as respostas demandadas de acordo com o cenário de interesse. São eles:

1. Toda a bacia contribui com uma vazão decorrente de uma chuva com tempo de recorrência de 20 anos.

2. O rio Sarapuí com uma vazão de cheia de tempo de recorrência (TR) de 50 anos, combinado com uma vazão de tempo de recorrência de 20 anos para os reservatórios pulmão.

## Apresentação e Discussão dos Resultados

Com a base de dados analisada e os arquivos de entrada de dados prontos, segue-se para a simulação dos cenários escolhidos. A seguir estão apresentados os resultados relevantes para a simulação do Cenário 2.

A simulação deste cenário tem como objetivo avaliar a eficiência dos diques em um evento mais extremo, garantindo um risco hidrológico menor para o dique. Esse evento foi montado a partir de uma chuva distribuída irregularmente na bacia, com o rio Sarapuí e seus tributários superiores, que se ligam diretamente ao canal principal, conduzindo uma vazão com TR = 50 anos, combinado com uma vazão decorrente de uma chuva menos extrema, com TR = 20 anos, para os afluentes do curso inferior no trecho com diques, que funcionariam com reservatórios pulmão.

Na **Figura 1** são apresentados os hidrogramas para cada um dos doze trechos do rio Sarapuí. É possível perceber um incremento nos picos de vazão de até 20%, como pode ser visto na **Tabela 1**. A diminuição na vazão do trecho 12 deve-se ao efeito do espraiamento devido ao aumento nos níveis de água e do transbordamento da calha principal para a planície de inundação ao longo da margem esquerda após a avenida Presidente Kennedy.

Tabela 1 - Vazões em diferentes trechos do rio Sarapuí

TRECHO	INÍCIO	FIM	VAZÃO (m³/s)		Variação
			TR = 20	TR = 50	%
1	Barragem	Av. Getúlio de Moura	94.0	110.7	18
2	Av. Getúlio de Moura	Valão Peri-Peri	93.6	110.2	18
3	Valão Peri-Peri	Rio D. Eugênia	114.7	135.5	18
4	Rio D. Eugênia	Av. Paulo de Frontin	175.9	211.2	20
5	Av. Paulo de Frontin	Via Dutra	175.3	210.3	20
6	Via Dutra	RFFSA (Rua Matriz)	174.8	209.6	20
7	RFFSA (Rua Matriz)	Rio da Prata	174.1	209.0	20
8	Rio da Prata	Valão Rosali	243.7	290.4	19
9	Valão Rosali	Av. Automóvel Clube	251.9	299.2	19
10	Av. Automóvel Clube	Valão Furnas (R Zemirom Bento)	263.2	314.1	19
11	Valão Furnas (R Zemirom Bento)	Av. Presidente Kennedy	261.7	311.7	19
12	Av. Presidente Kennedy	Rio Iguaçú	191.6	184.1	-4

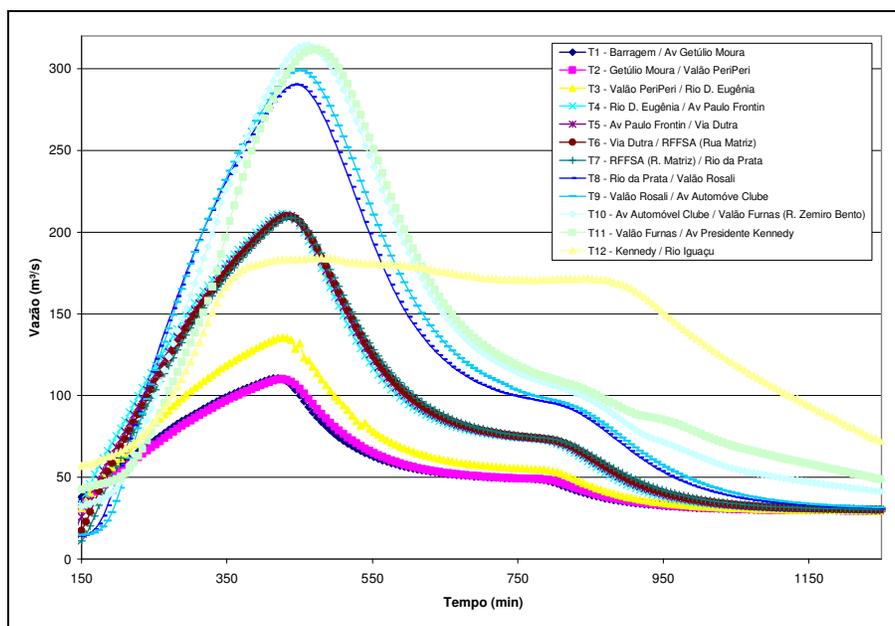


Figura 1 - Hidrograma para os 12 trechos do rio Sarapuí – TR = 50 anos

## Referências Bibliográficas

**Baptista, M.; Nascimento, N.; Barraud, S., 2005** “*Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana*”. ABRH, Porto Alegre, RS, Brasil.

**Miguez, M.G., 2001** “*Modelo Matemático de Células de Escoamento para Bacias Urbanas*”. Tese de D.Sc.COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

**Miguez, M.G., 2003.** “*Modelação de Cheias Urbanas – Manual do Usuário do modelo de Células de Escoamento*”, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

**Miguez, M.G., 2003.** “Relatório II – “*Apresentação da Modelação Topográfica e da Topologia Associada*” do Projeto CT-Hidro/GBH no 520093/2003-8 – PEC 4221.

**Projeto PLANÁGUA, 2001.** “*Enchentes no Estado do Rio de Janeiro - Uma Abordagem Geral*” - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMADS; Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas – SERLA.

**Tucci, C. E. M., 2007.** “*Inundações Urbanas*” – Coleção ABRH de Recursos Hídricos, Vol. 11, ABRH/RHAMA, Porto Alegre, RS, Brasil.