



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JULIO DE MESQUITA FILHO"  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS



Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em ENGENHARIA AMBIENTAL

ANÁLISE COMPARATIVA DE *SOFTWARES* DE SIMULAÇÃO DE ONDA DE CHEIA  
E CORRIDAS DE MASSA

Lucas Schincariol Vercellino Domingues

Rio Claro (SP)

2012

LUCAS SCHINCARIOL VERCELLINO DOMINGUES

**ANÁLISE COMPARATIVA DE *SOFTWARES* DE  
SIMULAÇÃO DE ONDA DE CHEIA E CORRIDAS DE  
MASSA**

*Trabalho de Formatura apresentado ao  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas,  
Campus de Rio Claro (SP), da Universidade  
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para  
obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.*

Orientador: Prof. Dr. Leandro Eugenio da Silva Cerri

Rio Claro (SP)

2012

628.092 Domingues, Lucas Schincariol Vercellino  
D671a Análise comparativa de softwares de simulação de  
processos de onda de cheia e corridas de massa / Lucas  
Schincariol Vercellino Domingues. - Rio Claro : [s.n.], 2012  
49 f. : il., figs., quadros, fots.

Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) -  
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e  
Ciências Exatas

Orientador: Leandro Eugenio da Silva Cerri

1. Engenharia ambiental. 2. Modelos de simulação. 3.  
Hidrologia. I. Título.

LUCAS SCHINCARIOL VERCELLINO DOMINGUES

**ANÁLISE COMPARATIVA DE *SOFTWARES* DE  
SIMULAÇÃO DE ONDA DE CHEIA E CORRIDAS DE  
MASSA**

*Trabalho de Formatura apresentado ao  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas,  
Campus de Rio Claro (SP), da Universidade  
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para  
obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.*

Comissão Examinadora  
Prof. Dr. Leandro Eugenio da Silva Cerri  
Prof. Dr. Fabio Augusto Gomes Vieira Reis  
Geógrafa Tatiana Pilachevsky

Rio Claro, 27 de novembro de 2012.

---

Lucas S. V. Domingues

---

Prof. Dr. Leandro E. S. Cerri

Rio Claro (SP)  
2012

Dedico este trabalho ao meu orientador Leandro Eugenio da Silva Cerri, que através dos anos de convivência e exemplo de conduta contribuiu para que os cinco anos de graduação se tornassem 5 anos de preparo para a vida.

## AGRADECIMENTOS

À minha família pelo apoio incondicional ao longo de toda a minha vida.

Ao Professor/ Orientador/ Amigo Leo pelas oportunidades de aprendizado, lições de vida, exemplo de conduta profissional e puxões de orelha que foram essenciais para meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Ao Professor Fábio Reis pelo incentivo e apoio constantes.

Ao Professor Zaine pela amizade e manobras ensinadas no uso de *tablets*.

Aos bródis de Rio Claro Gordo, Pinto, Tony, Brunão, Porps, Cataflan, Cesão, Pancada, Inútil, Barbie Boy, Rosa, Sarita, Elis, Rafa e Luana pela amizade durante todos esses anos.

Aos meus amigos de Tatuí Júlio, Nathan, Felipe, Felipe (2), Arielli e Carol pela amizade desde o colégio.

Ao meu colega de trampo e amigo Leitão pela força, paciência e convivência ao longo de 4 anos de estágio.

À Tati pela amizade e convivência na correria do último semestre de graduação.

À Funep (Fundação de Apoio a Pesquisa e Ensino) e Fundunesp (Fundação para o Desenvolvimento da UNESP) pelo apoio e pela oportunidade de participação em projetos que foram essenciais para a minha formação acadêmica e profissional.

Aos professores da Engenharia Ambiental pelo conhecimento passado e dedicação aos alunos.

Aos colegas da turma de 2008 da Engenharia Ambiental, pelos anos vividos e por todas as experiências compartilhadas.

“Os problemas significativos que enfrentamos não podem ser resolvidos no mesmo nível de pensamento em que estávamos quando os criamos.”

*Albert Einstein*

## RESUMO

A presente pesquisa científica teve por objetivo principal apresentar uma análise comparativa de *softwares* utilizados para a simulação de ondas de cheias e corridas de massa. Para isso, foi realizada revisão bibliográfica sobre estes processos e sobre os modelos de simulação utilizados para representá-los. Em seguida foi feita pesquisa em bases de dados e em páginas da internet de desenvolvedores para se identificar os softwares de simulação dos processos em estudo. Esta etapa da pesquisa foi feita com base em critérios específicos, como o tipo de simulação realizada pelo software, suas aplicações práticas e interface voltada ao usuário final, ou seja, que não demande conhecimentos avançados de programação computacional. Escolheu-se um software gratuito, totalmente funcional e de distribuição livre, e seus mecanismos de simulação foram testados através de um exercício de simulação, e os resultados interpretados com base em dados medidos na Bacia do Ribeirão dos Marins seção Monjolinho localizada no município de Piracicaba - SP. Com relação aos processos, buscou-se apresentar a dinâmica, condicionantes, parâmetros e variáveis utilizadas para a compreensão dos mesmos e, para os modelos de simulação, foram apresentados os aspectos conceituais de modelagem matemática incluindo as etapas do processo de simulação e os tipos de modelos de simulação utilizados para representá-los. Ao todo, foram identificados 20 softwares, sendo que o software objeto de análise foi o ABC 6, que realiza a simulação de onda de cheia. Através do exercício de simulação, observou-se que foram apresentados valores superestimados de vazão comparados aos dados medidos na bacia. Para tanto foram levantadas hipóteses sobre as causas da discrepância entre a vazão simulada e observada. Concluiu-se que o processo de simulação consistiu em um procedimento complexo onde podem ocorrer generalizações, imprecisões e simplificações em decorrência dos dados utilizados e do método adotado, mas que consiste em uma ferramenta útil no planejamento e tomada de decisões em diversas modalidades de estudos e projetos na área ambiental.

Palavras-chave: Modelos de simulação. Onda de cheia. Corridas de massa. Softwares.



## ABSTRACT

This scientific research aimed at presenting a comparative analysis of softwares used to represent the processes of flood wave and debris flow. For this, a literature review was performed on these processes and on simulation models used to represent them. Then, a research on scientific database and developers' websites was performed to identify the softwares used to simulate these processes. This step was performed based on specific criteria such as the type of simulation performed by the software, its practical applications and a user friendly interface. A free distribution and totally functional software was chosen and its simulation mechanisms were tested through a simulation exercise and the results interpreted based on data on measured in the Basin of Ribeirão Marins section Monjolinho located in Piracicaba - SP. With respect to the processes, it was sought to present the dynamics, constraints, parameters and variables used to understand them and for the simulation models were presented the conceptual aspects of mathematical modeling including the steps of the simulation process and the different types of simulation models used to represent them. In total, 20 softwares were identified, and the software object of analysis was the ABC 6 that performs simulation of flood wave. Through the simulation exercise, it was observed that were presented overestimated values of flow compared to measured data in the basin. For both hypotheses were raised about the causes of the discrepancy between the observed and simulated flow. It has been concluded that the simulation process consisted of a complex procedure where generalizations, misrepresentations and simplifications may occur due to the data used and the method adopted, but it is a useful tool in planning and decision making in various types of studies and environmental projects.

Keywords: Simulation models. Flood wave. Debris Flow. Software.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil esquemático do processo de enchente e inundação .....	09
Figura 2 – Foto ilustrativa de escorregamento e corrida de massa, ocorridos no Rio de Janeiro em 1967 .....	13
Figura 3 – Fases do processo de simulação e a utilização de um modelo .....	16
Figura 4 – O Ciclo hidrológico.....	19
Figura 5 – Hidrograma de um canal fluvial como resposta a um evento de chuva.....	20
Figura 6 – Fluxograma de funcionamento da modelagem de deposição das corridas de massa..	28
Figura 7 – Interface do software ABC 6 e os elementos de estudo em uma rede de drenagem hipotética .....	36
Figura 8 – Elementos de simulação da área de estudo na interface do software ABC 6 .....	38
Figura 9 – Ietograma do evento de chuva de 35 horas elaborado através do software ABC 6 ....	39
Figura 10 – Vazão máxima observada durante os dias 14, 15 e 16 do mês de Janeiro de 1999 .	40
Figura 11 – Hidrograma resultante da simulação através do evento de chuva de 35h, obtido pelo software ABC 6 .....	42

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Palavras-chave utilizadas no levantamento bibliográfico sobre os processos de onda de cheia e corridas de massa.....	03
Quadro 2 – Palavras chave utilizadas no levantamento bibliográfico sobre modelos matemáticos.....	04
Quadro 3 – Palavras chave utilizadas na pesquisa sobre <i>softwares</i> de simulação .....	05
Quadro 4 – Classificação das inundações em função de suas magnitudes/frequências .....	11
Quadro 5 – Definição dos termos fenômeno, variável e parâmetro .....	15
Quadro 6 – Etapas utilizadas na concepção e elaboração de um modelo de simulação.....	17
Quadro 7 – Tipos gerais de escoamento, variações e aplicações práticas.....	22
Quadro 8 – Modelos de escoamento e suas propriedades e aplicações.....	24
Quadro 9 – Modelos hidrodinâmicos associados à suas premissas de modelagem .....	27
Quadro 10 – Modelos reológicos e suas premissas de modelagem.....	29
Quadro 11 – Softwares e os respectivos processos simulados .....	33
Quadro 12 – Síntese dos dados de interesse da Bacia do Ribeirão dos Marins seção Monjolinho para a simulação .....	37

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	2
3 MÉTODO E ETAPAS DA PESQUISA.....	2
3.1 Levantamento bibliográfico da conceituação dos processos de onda de cheia e corridas de massa.....	3
3.2 Levantamento bibliográfico da conceituação das modelagens matemáticas e modelos de simulação.....	4
3.3 Pesquisa para identificação dos softwares existentes no mercado e na comunidade científica para a simulação de onda de cheia e corridas de massa.....	4
Fase I – Pesquisa em institutos e agências de prevenção de desastres.....	5
Fase II – Identificação dos softwares através de critérios específicos.....	5
3.4 Exercício de simulação do processo de onda de cheia.....	7
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	8
4.1 Resultados da conceituação do processo de onda de cheia.....	8
4.1.1 Caracterização do processo de onda de cheia.....	8
4.1.2 Dinâmica, parâmetros e variáveis do processo de onda de cheia.....	9
4.2 Resultados da conceituação de corridas de massa.....	12
4.2.1 Caracterização do processo de corridas de massa.....	12
4.2.2 Dinâmica, parâmetros e variáveis do processo de corridas de massa.....	14
4.3 Resultados da conceituação das modelagens matemáticas e modelos de simulação.....	14
4.3.1 Fundamentos do processo de simulação.....	14
4.3.2 Modelos Hidrológicos.....	19
4.3.3 Modelos Chuva-Vazão.....	20
4.3.4 Modelos de Escoamento.....	21
4.3.5 Modelos Hidrodinâmicos.....	26
4.3.6 Modelos de simulação de corridas de massa.....	28
4.4 Resultados da identificação de softwares existentes no mercado e na comunidade científica para a simulação de onda de cheia e corridas de massa.....	31
4.4.1 Resultados obtidos na Fase I da identificação dos softwares.....	31
4.4.2 Resultados obtidos na Fase II da identificação dos softwares.....	32
4.5 Simulação do processo de onda de cheia no software ABC 6.....	35
4.5.1 Descrição do software ABC 6.....	35
4.5.2 Área de estudo para o exercício de simulação.....	36
4.5.3 Aplicação dos dados da bacia do Ribeirão Marins seção Monjolinho no software ABC 6.....	37
4.5.4 Cálculo da chuva excedente.....	40
4.5.5 Resultados da simulação.....	41
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	43
REFERÊNCIAS.....	46

**APÊNDICE A** - Quadro contendo os softwares identificados para a simulação dos processos de Onda de cheia e Corridas de Massa

## 1 INTRODUÇÃO

O presente Trabalho de Formatura, intitulado “Análise comparativa de softwares de simulação de processos de Onda de Cheia e Corridas de Massa”, é apresentado à Comissão do Trabalho de Formatura do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Unesp Rio Claro (SP), pelo graduando Lucas Schincariol Vercellino Domingues, conforme exigências do Programa de Graduação.

A pesquisa foi desenvolvida sob orientação do Prof. Dr. Leandro Eugenio da Silva Cerri, docente e pesquisador do Departamento de Geologia Aplicada. O presente relatório final visa apresentar o método adotado, os resultados e as conclusões obtidas através da pesquisa científica, que tem como foco a avaliação de modelos computacionais que realizam a simulação de processos de ondas de cheia e corridas de massa.

A importância da simulação destes processos está no fato de que seu desenvolvimento pode desencadear diversos problemas de ordem social, econômica e ambiental. Como exemplo, pode-se citar a ruptura de barragens, a qual pode originar tanto uma onda de cheia como uma corrida de massa, desencadeando uma série de efeitos catastróficos, como descrito por Balbi (2008) apud Cerri, Reis e Giordano (2011):

“(...) somente no século passado foram registrados no mundo cerca de 200 acidentes graves com barragens, que causaram mais de 8.000 mortes, deixando milhares de pessoas desabrigadas, destacando que incidentes e rupturas de conseqüências trágicas, ocorridos na Europa e nos Estados Unidos entre as décadas de 1950 e 1970 (Malpasset, França, 1959; Vajont, Itália, 1963; Baldwin Hills e Teton, Estados Unidos, 1951 e 1976), tiveram grande importância para o desenvolvimento das políticas de segurança de barragens e dos vales a jusante, como também dos estudos de ruptura e propagação de ondas de cheias.”

Deste modo, ficam evidentes as implicações de tais processos, e sua prevenção pode ser cada vez mais eficaz, na medida em que se conhece a abrangência espacial e comportamento dos mesmos. Por se tratarem de processos que envolvem grande número de variáveis, parâmetros e condicionantes, é necessário o uso de modelos de simulação para que a realização de previsões de seu comportamento seja viabilizada, dada a complexidade dos mesmos. Neste caso, a compreensão dos processos de onda de cheia e corridas de massa, e a sua respectiva tradução em termos matemáticos é de fundamental importância para que sejam escolhidos os modelos de simulação mais representativos.

Contudo, é importante ressaltar que as modelagens matemáticas, e a aplicação de modelos numéricos muita vezes adotados em certos modelos de simulação, exigem certos cuidados, como salientam Ramos e Viseu (1999) apud Palmier (2007):

“(…)Salienta-se que os resultados gerados pela aplicação de um determinado modelo numérico são influenciados principalmente: i) pelo método numérico utilizado; ii) pelas condições iniciais e de contorno assumidas; e iii) pela quantidade de dados de entrada utilizados.”

Para tanto, é necessário o conhecimento prévio e bem estabelecido dos conceitos e da dinâmica dos processos em estudo, como também do funcionamento e limitações dos modelos de simulação adotados, de forma que se possa fazer uso dessas ferramentas utilizando-se os parâmetros e variáveis mais adequadas e representativas dos mesmos.

Na presente pesquisa, é importante considerar que o objetivo final da utilização de modelos de simulação é proporcionar segurança e confiabilidade na apresentação dos dados e auxiliar na tomada de decisão em relação às medidas de prevenção de possíveis impactos negativos decorrentes da dinâmica dos processos em determinada região.

## **2 OBJETIVOS**

A pesquisa executada teve por objetivo principal efetuar uma análise comparativa de *softwares* utilizados para a simulação de ondas de cheias e corridas de massa.

Salienta-se que, no Brasil, parte considerável dos desastres naturais registrados nas últimas décadas, estão associados a estes processos que, quando ocorrem, frequentemente ocasionam danos materiais, sociais e econômicos, afetando especialmente a população de baixa renda.

O objetivo secundário foi o de proporcionar o aprimoramento da capacitação do graduando no tema da investigação, dada a perspectiva de crescimento da aplicação de modelos de simulação em várias áreas de atuação da Engenharia Ambiental.

## **3 MÉTODO E ETAPAS DA PESQUISA**

O método adotado para a execução desta pesquisa científica foi estruturado com a finalidade de se atingir o objetivo principal da presente pesquisa que foi a análise comparativa de *softwares* utilizados para a simulação de onda de cheia e corridas de massa, compreendendo a levantamento bibliográfico dos processos e dos modelos matemáticos que os representam, o entendimento sobre as características dos modelos de simulação, como também a realização da simulação do processo de onda de cheia em um *software* específico, sendo desenvolvida através das seguintes etapas:

### 3.1 Levantamento bibliográfico da conceituação dos processos de onda de cheia e corridas de massa

Esta fase compreendeu o levantamento bibliográfico sistemático sobre os processos de onda de cheia e corridas de massa. Para a realização do levantamento bibliográfico foram consultadas as produções científicas com maior relevância no tema, dando ênfase a autores referência no tema da presente investigação. Desta forma, o levantamento bibliográfico foi realizado nas Bibliotecas integradas da Unesp através do Portal P@rthenon; no Sistema Integrado de Bibliotecas da USP (SIBiUSP), no Sistema de Bibliotecas da Unicamp (SBU) e no Sistema de Documentação da UFRJ (Minerva), como também na internet através das Bases de Dados Scopus, Web of Science e Geoscience, entre outras.

Para tornar a busca mais consistente, e refinar os resultados, foram utilizados critérios de busca *booleana*, que consistem na utilização de termos como AND que restringe a pesquisa, OR, que amplia a pesquisa e NOT, que exclui elemento da pesquisa, os quais permitem pesquisar termos compostos ou a exclusão de palavras-chave irrelevantes (OLIVEIRA, 2009). A pesquisa de cada processo esteve associada a uma ou mais palavras chave, cujo objetivo foi apresentar resultados mais precisos aos objetivos da pesquisa.

As palavras chave selecionadas para pesquisa estão apresentadas no Quadro 1.

**Quadro 1** – Palavras-chave utilizadas no levantamento bibliográfico sobre os processos de onda de cheia e corridas de massa

Palavra-Chave em Português	Palavra-Chave em Inglês
corrida de terra	earth flow
corrida de detritos	debris flow
corrida de lama	mud flow
onda de cheia	flood wave
onda de cheia (AND) eventos pluviométrico excepcionais	flood wave (AND) extreme rainfall events
rompimento de barragens	dam breaking
onda de cheia (AND) rompimento de barragens	flood wave(AND)dam breaking

Foi dada preferência a livros, artigos, teses e dissertações que explicam de forma clara e precisa os processos em estudo. Com isso, pretendeu-se compreender a dinâmica de cada um destes processos para que se possam obter os fundamentos necessários para a utilização dos modelos de simulação.

### 3.2 Levantamento bibliográfico da conceituação das modelagens matemáticas e modelos de simulação

Nesta etapa foi realizado o levantamento bibliográfico sobre modelagens matemáticas e modelos de simulação que representam os processos estudados no presente trabalho. Também foram consideradas as características individuais de cada modelagem como, por exemplo, os tipos de dados utilizados e o tipo de resultado obtido.

Foi dada ênfase a artigos, teses e dissertações que apresentam de forma didática as capacidades e limitações dos modelos de simulação e também a estudos de caso que permitam uma visualização dos resultados apresentados pela simulação, que foi realizada com base na modelagem matemática.

O levantamento bibliográfico sobre os modelos de simulação foi realizado nas mesmas bibliotecas e bases de dados da etapa anterior, porém as palavras-chave utilizadas foram específicas para a área de modelagem matemática e modelos de simulação, conforme apresentado no Quadro 2. Pretendeu-se, portanto, compreender a capacidade dos modelos de simulação em representar a realidade física dos eventos.

**Quadro 2** – Palavras chave utilizadas no levantamento bibliográfico sobre modelos matemáticos

Palavra-Chave em Português	Palavra-Chave em Inglês
modelagem matemática	mathematical modeling
simulação	simulation
modelos numéricos	numerical models
modelagem numérica	numerical modelling
modelos hidrológicos	hydrologic models
modelos hidrodinâmicos	hydrodynamic models
modelos hidráulicos	hydraulic models
modelos de simulação	simulation models
hidráulica computacional	computational hydraulics
simulação numérica	numerical simulation

### 3.3 Pesquisa para identificação dos softwares existentes no mercado e na comunidade científica para a simulação de onda de cheia e corridas de massa

Esta etapa da pesquisa foi realizada em diversas páginas de desenvolvedores de *softwares* de simulação dos processos analisados através do buscador Google, Bases de Dados e Institutos de Pesquisa. Para que os softwares identificados se adequassem aos objetivos da



pesquisa foi adotado o termo “usuário final”, como critério de busca, com a intenção de delinear um perfil de software adequado ao usuário que compreendesse os processos de estudo e possuísse familiaridade com recursos de informática como processadores de texto, planilhas de cálculo e ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG’s).

Por outro lado, não foram considerados modelos computacionais ou *softwares* que demandaram conhecimentos avançados de programação ou de criação de métodos computacionais para viabilizar as simulações, como também não dispusessem de materiais instrucionais ou possibilidade de treinamento para uso dos mesmos. Esta etapa foi realizada em duas fases, descritas a seguir:

#### *Fase I – Pesquisa em institutos e agências de prevenção de desastres*

Num primeiro momento, a pesquisa foi realizada nas páginas da internet através do buscador Google<sup>®</sup> e em Bases de Dados, com as palavras-chave apresentadas no Quadro 3, associadas às palavras-chave apresentadas nas etapas anteriores, dando prioridade aos resultados mais significativos como, por exemplo, institutos referência no tema, agências de prevenção de desastres e agências ligadas a pesquisas geológicas.

**Quadro 3** – Palavras chave utilizadas na pesquisa sobre *softwares* de simulação

Palavras-chave utilizadas no levantamento bibliográfico sobre onda de cheia e corridas de massa. *Termos em inglês e português.	+	Palavras-chave utilizadas no levantamento bibliográfico sobre modelos matemáticos. *Termos em inglês e português.	+	<b>Termos em Inglês</b>
				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Software modelling tool</li> <li>• Programs</li> <li>• GIS (Geographic Information System)</li> </ul>
				<b>Termos em Português</b>
				<ul style="list-style-type: none"> <li>• SIG’s (Sistemas de Informações Geográficas)</li> <li>• Programas de simulação</li> </ul>

#### *Fase II – Identificação dos softwares através de critérios específicos*

Num segundo momento, foi feita pesquisa com o objetivo de compreender a estrutura dos *softwares* de simulação dos processos de onda de cheia e corridas de massa, utilizando-se as mesmas palavras-chave da etapa anterior. Nesta fase foram feitas consultas ao Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), onde foi possível pesquisar o tema em diversos periódicos e bases de dados correlatas ao tema da presente etapa da investigação.

Estas informações foram utilizadas para orientar a pesquisa no sentido de se buscar *softwares* que compreendessem todas as etapas da simulação, desde as simulações hidrológicas de conversão de chuva para vazão, comum a aos processos de onda de cheia e corridas de massa, os tipos de escoamentos em canais e até os complexos mecanismos das corridas de massa. Assim, nesta fase de levantamento dos softwares também foram levadas em consideração as funcionalidades apresentadas, desde a facilidade de uso até a simulação de eventos em regiões com alta complexidade de terreno.

A busca foi realizada através do buscador Google<sup>®</sup> e, se deu através da pesquisa de desenvolvedores de softwares dos processos em estudo. No levantamento foram levados em consideração os seguintes aspectos, que posteriormente foram tabulados:

- Nome do software
- Comercialização/ Distribuição
- Tipo de Simulação que o software realiza,
- Objetivos e Aplicações do Software
- Módulos e Tipos de Soluções Numéricas
- Tipos de Licença

Os *softwares* foram identificados pelo seu nome comercial no campo *Nome do Software* e os dados de contato e página da internet de seu desenvolvedor/distribuidor foram apresentados no campo *Comercialização/ Distribuição*. Neste segundo campo foi apresentado o e-mail de contato sempre que este foi disponibilizado na página da internet dos desenvolvedores.

Com relação aos *Tipos de Simulação*, buscou-se apresentar as funcionalidades referentes aos modelos hidrológicos e hidráulicos ou de escoamento, como também a capacidade de simulação de cada um deles, ou seja, em quais casos o *software* pode ser utilizado, seja na simulação dos processos de onda de cheia ou corridas de massa.

No campo *Objetivos e Aplicações do Software*, são apresentadas as aplicações práticas para qual o software foi desenvolvido. Este campo visou orientar gestores e usuários a optar pelos *softwares* que estejam de acordo com as necessidades de seus projetos. Nesse campo não foram abordados aspectos estritamente técnicos, mas, aspectos práticos e de atividades que já foram ou são comumente desenvolvidas através do uso dos *softwares*.

Por se tratarem de *softwares* com diversas funcionalidades, muitas delas são apresentadas de forma externa ao mecanismo principal do software ou funcionam em conjunto para aplicações específicas. Assim, no campo *Módulos e Tipos de Soluções Numéricas*, são apresentados os módulos numéricos, modelos anexos e suas respectivas características e funções na modelagem.

Por fim, fatores como o preço, a distribuição das licenças em vários computadores e a possibilidade de avaliar o *software* antes de adquiri-lo, através de uma versão de demonstração, consistem em um conjunto de fatores decisivos na escolha de determinado *software*. Para isso, na coluna *Tipo de Licença*, são apresentadas três informações: se o *software* é pago ou gratuito; se possui licença para uso acadêmico e se apresenta versão de demonstração para avaliação.

Finalmente, através da composição dos critérios mencionados acima, foi elaborada um quadro contendo os *softwares* identificados e suas respectivas características.

### **3.4 Exercício de simulação do processo de onda de cheia**

Entre os *softwares* identificados na etapa anterior, foi selecionado o software que possuiu total funcionalidade em sua versão gratuita, ou seja, que contemplasse todas as etapas da simulação, desde a inserção dos dados de entrada até a exibição dos resultados através de gráficos. Outro aspecto considerado foi o grau de complexidade dos dados exigidos para se realizar a simulação, optando-se pelo software que exigisse um número reduzido de dados de entrada.

Para a determinação dos parâmetros e dados mínimos essenciais foi realizada consulta aos manuais técnicos, artigos científicos, dissertações e teses de estudos de caso realizados utilizando o *software*, que apresentaram as informações relativas aos dados mínimos necessários para a simulação do processo de onda de cheia no software.

Para a obtenção dos dados de entrada da simulação, foi feita consulta a um estudo (FERREIRA, 2004) que apresentou os principais dados necessários para o exercício da simulação. Ao mesmo tempo, foram descritas as etapas de cálculo e os tipos de modelos teóricos utilizados para a representação do processo em estudo, de forma a explicitar os mecanismos e rotinas presentes no *software*.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Esta etapa da pesquisa teve por objetivo apresentar os resultados do levantamento bibliográfico sobre os processos de onda de cheia e corridas de massa, como também dos modelos de simulação utilizados para a representação desses processos. Com relação aos processos, buscou-se apresentar a dinâmica, condicionantes, parâmetros e variáveis utilizadas para a compreensão dos mesmos.

Já para os modelos de simulação, são apresentados os aspectos conceituais de modelagem matemática incluindo as etapas do processo de simulação e os tipos de modelos de simulação utilizados para representar os processos em estudo. São apresentados também os resultados da identificação dos softwares com base no critérios apresentados no método da pesquisa, a simulação do processo de onda de cheia no software ABC 6 e a discussão dos resultados da simulação.

### **4.1 Resultados da conceituação do processo de onda de cheia**

Os resultados obtidos através do levantamento bibliográfico proporcionaram a compreensão sobre o funcionamento, a dinâmica e a determinação dos condicionantes, parâmetros e variáveis que são utilizados para a caracterização do processo de onda de cheia. Os agentes deflagradores desses processos foram abordados de forma indistinta, considerando que os softwares e modelos de simulação possuíam capacidade para a representação de estruturas hidráulicas como barragens, como também a simulação de eventos pluviométricos excepcionais.

#### *4.1.1 Caracterização do processo de onda de cheia*

O processo de onda de cheia, segundo Leal (2007, p.117) é definido como: “elevação do nível das águas de um rio até o pico e subsequente recessão, causada por um período de precipitação, fusão das neves, ruptura da barragem ou liberação de água por central elétrica.”, apresentando características peculiares em sua modelagem e que podem variar de acordo com o tratamento matemático que for utilizado, dessa forma é necessário um estudo sobre como esse processo se comporta após o rompimento de uma barragem ou por conta de um evento pluviométrico excepcional, considerando os danos causados em regiões a jusante.

Com relação à terminologia deste processo, há certa distinção entre os termos enchente ou cheia e inundação, que podem causar equívocos ao serem utilizados

indistintamente. Segundo Ministério das Cidades e IPT (2007, p. 90), enchente ou cheia é definida como “Elevação temporária do nível d’água em um canal de drenagem devido ao aumento da vazão ou descarga.” Já as inundações são definidas como:

“Processo de extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais (planície de inundação, várzea ou leito maior do rio) quando a enchente atinge cota acima do nível máximo da calha principal do rio”. (MINISTÉRIO DAS CIDADES, IPT 2007, p. 91)

Essa distinção é importante, pois está diretamente relacionada à abrangência espacial e, conseqüentemente ao potencial destrutivo destes processos. Na Figura 1 pode ser visualizado o perfil esquemático ilustrando os diferentes níveis de abrangência dos processos de enchentes ou cheias e inundações, associados aos tipos de ocupação próximas ao canal.

**Figura 1** – Perfil esquemático do processo de enchente e inundação



Fonte: Ministério das Cidades, IPT (2007, p.92).

#### 4.1.2 Dinâmica, parâmetros e variáveis do processo de onda de cheia

Com relação à dinâmica deste processo, as cheias ou inundações podem ser caracterizadas em função de sua magnitude e evolução.

Para se determinar a magnitude, utiliza-se uma série histórica representativa de dados fluviométricos (nível d’água e suas respectivas vazões) e a ocorrência de eventos de enchentes/inundações, ou seja, através da análise de registros de dados históricos.

Dessa forma, obtêm-se as magnitudes relativas que são classificadas na seguinte ordem decrescente: excepcionais, grande magnitude, normais ou regulares e de pequena magnitude.

Já a evolução deste processo está associada ao intervalo de tempo e a intensidade com que estes eventos ocorrem e podem ser classificadas como: graduais, enxurradas ou inundações bruscas (REIS; CERRI, 2012, p. 45).

Por ser um fator crucial para o estudo dos processos de cheias e inundações, é importante considerar que as precipitações são fenômenos aleatórios, sendo que um parâmetro fundamental para a análise das precipitações é o Tempo de Recorrência ou de Retorno, que é utilizado na análise de alturas pluviométricas máximas, sendo interpretado como o número médio de anos durante o qual espera-se que a precipitação analisada seja igualada ou superada. Sendo assim, o inverso do tempo de recorrência é a probabilidade de um fenômeno igual ou superior ao evento em estudo ocorrer em um ano qualquer (TUCCI et al, 2009, p. 182).

No Quadro 4 são apresentadas as classificações das inundações com base em magnitude e frequências. Tais parâmetros estão associados ao Tempo de Retorno, que irá determinar o quão severa será uma precipitação, de acordo com a sua probabilidade de ocorrência. No caso de dimensionamentos de obras de engenharia como barragens, diques, represas e reservatórios de amortecimento, tal parâmetro será determinante para que sejam realizadas as condições e premissas de projeto adequadas para que essas estruturas sejam construídas para suportar os eventos pluviométricos para as quais foram dimensionadas.

Por se tratar de um processo que envolve desde a intensidade do evento pluviométrico até as características de relevo, é necessária uma abordagem que se dá através de diversas etapas para sua representação. No entanto, nem sempre é possível obter todos os dados necessários para representar o processo da forma mais precisa possível.

Deste modo, em casos onde não é possível obter dados quantitativos, pode ser realizada uma avaliação através de dados qualitativos com o uso de critérios apropriados e utilizando-se de uma base teórica suficientemente coerente para sustentar os resultados obtidos. Por outro lado, caso seja possível determinar com precisão os dados necessários para a representação do processo através de instrumentação ou do uso de dados fornecidos por agências governamentais, o uso de dados quantitativos pode apresentar resultados mais precisos.

Considerando-se que o processo de inundação pode se iniciar através de um evento pluviométrico excepcional, dados como a Intensidade, Duração e Tempo ou Período de Retorno são parâmetros que descrevem as chuvas sob uma abordagem quantitativa. Na ausência de dados quantitativos, podem ser utilizados dados qualitativos na forma de Valores máximos diários, mensais ou valores médios mensais.

**Quadro 4** – Classificação das inundações em função de suas magnitudes/frequências

<b>Classificação (magnitude/frequência)</b>	<b>Descrição</b>
Máxima Inundação Provável	A inundação que deve ser esperada da combinação mais severa de condições críticas meteorológicas e hidrológicas <u>que são possíveis</u> de ocorrer na região. Utilizada no desenvolvimento de projetos de barragens e suas estruturas auxiliares.
Inundação Padrão de Projeto	A inundação que deve ser esperada da mais severa combinação de condições críticas meteorológicas e hidrológicas <u>que são consideradas razoáveis</u> na região. Utilizada no desenvolvimento da maioria nos projetos de obras civis que podem ser afetadas por inundações.
Tempestade Capital	Chuvas com <u>duração de quatro dias</u> , com a máxima precipitação ocorrendo no último dia. Estes eventos pluviométricos são baseados em modelos de precipitações com <u>tempo de retorno de 50 anos</u> . São utilizados nos projetos dos canais e barragens de retenção para controle das cheias.
Inundação Intermediária Regional – Inundação de 1% (*) ou com Tempo de Retorno de 100 anos	O evento de inundação o qual pode, na média, <u>ser igualado ou excedido uma vez a cada 100 anos</u> .
Inundação de 2% ou com Tempo de Retorno de 50 anos	O evento de inundação o qual pode, na média, <u>ser igualado ou excedido uma vez a cada 50 anos</u> .
Inundação de 10% ou Tempo de Retorno de 10 anos	O evento de inundação o qual pode, na média, <u>ser igualado ou excedido uma vez a cada 10 anos</u> .
Inundação de Projeto	Inundação com determinada magnitude utilizada na elaboração de um projeto específico.

Fonte: Reis; Cerri (2012, p. 45).

Ao escoar, parte das águas são absorvidas ou interceptadas, de acordo com as características da forma da bacia, neste caso o parâmetro Tempo de Concentração é utilizado para descrever o tempo necessário para que a água precipitada no ponto mais distante da bacia desloque-se até a seção principal (TUCCI et al, 2009, p. 394). Para casos onde há disponibilidade de dados quantitativos, pode-se utilizar as diferenças de cotas e comprimento do talvegue para se determinar o Tempo de Concentração. Numa abordagem qualitativa podem ser utilizados o índice de circularidade da bacia, declividade do talvegue e da bacia, padrão de drenagem, uso e cobertura do solo e tipo de substrato (solo/rocha).

O escoamento na bacia irá gerar uma vazão de pico, onde são atingidos os valores máximos de vazão que dependerão principalmente da área de drenagem da bacia, do coeficiente de escoamento superficial, da velocidade do escoamento e da seção do canal.

Finalmente, para a determinação da área inundável, ocasionada pela onda de cheia serão utilizadas as vazões de pico, a topografia do terreno (com o maior detalhamento possível), o modelo digital de terreno (MDT) e a seção do canal de forma a distribuir a vazão ocasionada pela precipitação no canal.

A presença de obras de engenharia como barramentos, diques, represas etc também podem influenciar substancialmente na área inundável em determinada região. Sob a abordagem qualitativa, é possível utilizar características como seção do canal de drenagem, as planícies de inundação, terraços, barramentos naturais e artificiais.

## **4.2 Resultados da conceituação de corridas de massa**

### *4.2.1 Caracterização do processo de corridas de massa*

Nesta etapa são apresentados os resultados decorrentes do levantamento bibliográfico sobre o processo de corridas de massa, onde foi possível apresentar as causas, a dinâmica, os principais condicionantes e as variáveis do processo. As Corridas (Flow) constituem uma das classes dos principais grupos de movimentos gravitacionais de massa típicos em encostas, sendo que as demais classes são os Rastejos (Creep), Escorregamentos (Slides) e Quedas (Falls), e diferem entre si através da dinâmica do processo, da geometria e do material transportado (REIS; CERRI, 2012, p. 62).

As corridas causam diversas catástrofes ambientais decorrentes de seu desenvolvimento, e podem ser definidas segundo Infanti e Fornasari Filho (1998, p.139-140):

“(…) movimentos gravitacionais de massas de grandes dimensões, que se deslocam na forma de escoamento rápido. Caracterizam-se por uma dinâmica híbrida, regida pela mecânica de sólidos e de fluidos, pelo grande volume de material que mobilizam e pelo extenso raio de alcance que possuem (até alguns quilômetros), resultando num grande potencial destrutivo.”

Os autores citados também consideram as peculiaridades nas características físicas do processo, as quais devem ser analisadas cuidadosamente em suas particularidades, na medida em que serão objeto de modelagem matemática:



“(…)[As corridas] recebem diferentes denominações dependendo das características do material mobilizado (textura, conteúdo d’água) e das velocidades de deslocamento do processo. Na literatura nacional e internacional, utilizam-se termos como: corrida de lama (mudflow), consistindo de solo com alto teor de água; corrida de terra (earth flow) cujo material predominante também é o solo mas com teor menor de água; e corrida de detritos (debris flow), cujo material predominante é grosseiro, envolvendo fragmentos de rocha de vários tamanhos.” (INFANTI; FORNASARI FILHO, 1998)

Na Figura 2 é apresentada foto aérea que ilustra o início da dinâmica do processo à (esquerda), que ocorre nas encostas até se atingir a área urbana (foto à direita).

**Figura 2** – Foto ilustrativa de escorregamento e corrida de massa ocorridos no Rio de Janeiro em 1967.



Fonte: Gomes (2006, p.3)

Segundo Infanti e Fornasari Filho (1998, p. 140) existem dois mecanismos de geração das corridas, as corridas de origem primária e as de origem secundária. As corridas de origem primária são formadas a partir da desestruturação total do material mobilizado de escorregamentos nas encostas. Já as corridas de origem secundária são formadas pela remobilização de detritos acumulados no leito e por barramentos naturais, que são diretamente arrastados por materiais oriundos de escorregamentos nas encostas, como também de grandes volumes de água decorrentes de eventos pluviométricos excepcionais.

Nesse sentido, o estudo das corridas de massa de origem secundária é especialmente importante pelo fato de transportar maiores volumes de material mobilizado, conseqüentemente tendo um poder destrutivo maior. (REIS, CERRI, 2012, p.61).

#### *4.2.2 Dinâmica, parâmetros e variáveis do processo de corridas de massa*

Ao iniciar-se nas encostas e vertentes pela transformação de deslizamentos em uma massa viscosa o estudo deve se dar no sentido de se determinar qual é a potencialidade de ocorrência deste processo, podendo ser ocasionado por eventos pluviométricos excepcionais.

Assim, são levadas em consideração tanto variáveis quantitativas como qualitativas. Entre elas pode-se mencionar a inclinação, o perfil da encosta, a amplitude, o perfil de alteração, a textura dos materiais, índices físicos dos materiais inconsolidados (peso específico, índice de vazios e porosidade) e parâmetros geomecânicos como coesão e ângulo de atrito (REIS, CERRI, 2012, p.111).

A partir do momento em que a massa viscosa atinge as drenagens são desencadeados processos de erosão remontante e erosão fluvial, sendo necessária a caracterização do tipo de escoamento, os elementos de fluxo e a presença de materiais sedimentares. Estes processos podem ser influenciados em maior ou menor grau pela ocorrência de eventos pluviométricos excepcionais, como também da presença de barragens naturais ou artificiais.

Pelo fato das corridas possuírem uma porção sólida, são levados em consideração aspectos de deposição, os quais podem ser influenciados pela topografia, declividade, características geométricas das seções transversais, confinamento e traçado do canal.

No estudo dos parâmetros, condicionantes e variáveis dos processos de corridas de massa, pode-se observar certa semelhança com relação ao uso dos parâmetros em ambos os processos como, por exemplo, intensidade e duração das chuvas, período de retorno, tempo de concentração, vazões de pico e área inundável foram comuns a ambos os processos em estudo.

### **4.3 Resultados da conceituação das modelagens matemáticas e modelos de simulação**

#### *4.3.1 Fundamentos do processo de simulação*

Os fenômenos e processos que ocorrem na natureza apresentam um certo grau de previsibilidade, como também apresentam certo grau de incerteza. Uma maneira de se estudar o comportamento de tais fenômenos e processos é abordá-los como sistemas nos quais é possível formular hipóteses e considerações sobre seu funcionamento. Dooge (1973) apud Tucci (2005, p.19) define sistema como “(...) qualquer estrutura, esquema ou procedimento, real ou abstrato, que num dado tempo de referência inter-relaciona-se com uma entrada, causa ou estímulo de energia ou informação”.

Sendo assim, para se estudar determinado fenômeno ou processo traduzido em um sistema, utiliza-se um modelo que é a representação do comportamento de um sistema, ou numa definição mais abrangente, “*a representação de algum objeto ou sistema, numa linguagem ou forma de fácil acesso e uso, como o objetivo de entendê-lo e buscar suas respostas para diferentes entradas* (grifo no original) (TUCCI, 2005, p. 17-18)”. O autor citado afirma que “o modelo por si só não é um objetivo, mas uma ferramenta para atingir um objetivo”.

Com relação ao uso de modelos, os mesmos são utilizados para se antecipar aos eventos como, por exemplo, podem representar o impacto da urbanização em uma bacia antes que ela ocorra ou a previsão de enchentes em tempo real. Neste sentido, o uso de modelos de simulação tem se tornado cada vez mais necessários devido à complexidade dos eventos e à rapidez com que é exigida a produção de resultados, sobretudo em áreas de conhecimento que envolvem riscos.

Assim, observa-se uma tendência crescente em tornar o uso de modelos computacionais que realizam simulações cada vez mais acessíveis e de fácil adaptação à diferentes cenários. Por outro lado, é fundamental o uso de critérios específicos para o uso de cada modelo de simulação, de forma que não ocorram erros ou interpretações superficiais decorrentes de simplificações ou considerações parciais de parâmetros.

Para que os dados utilizados na modelagem possam ser utilizados de forma correta, é fundamental que as terminologias e seus respectivos conceitos estejam claros e bem compreendidos. O Quadro 5 apresenta as definições dos termos fenômeno, variável e parâmetro bem como seus respectivos exemplos utilizados em sistemas e modelos:

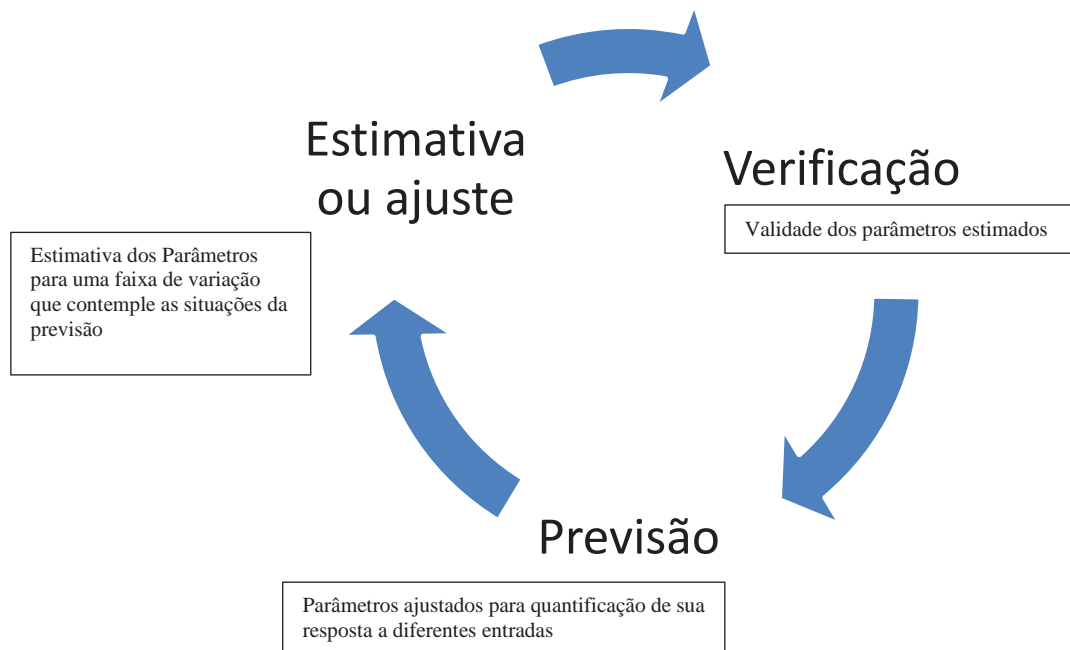
**Quadro 5** – Definição dos termos fenômeno, variável e parâmetro

<b>Termo</b>	<b>Características</b>	<b>Exemplo</b>
Fenômeno	Processo físico que produz alteração de estado no sistema	Precipitação, evaporação e infiltração
Variável	Valor que descreve quantitativamente um fenômeno variando no espaço e no tempo	Vazão – descreve o estado do escoamento.
Parâmetro	Valor que caracteriza o sistema, pode variar com o tempo e o espaço	Rugosidade de uma seção de um rio, área de uma bacia hidrográfica e áreas impermeáveis de uma bacia

Fonte: Tucci (2005, p.20)

Da mesma forma, as etapas e procedimentos que envolvem o processo de simulação devem ser bem delimitados, considerando que cada fase possui medidas específicas a serem tomadas. Com isso, o processo de simulação, que é a utilização operacional de um modelo, compreende três fases: estimativa ou ajuste, verificação e previsão. Nessas três fases, dados de entrada poderão apresentar significados distintos para a simulação e serão base para uma análise específica, como apresentado na Figura 3.

**Figura 3** – Fases do processo de simulação e a utilização de um modelo



Fonte: adaptado de Tucci (2005, p.21).

Como pode ser observado na Figura 3, o processo de simulação se inicia na etapa *Estimativa ou ajuste*, que dependerá da existência de dados históricos, amostras e características físicas do sistema, onde os parâmetros são determinados ou ajustados, nessa etapa são utilizados dados de entrada e dados de saída já existentes, que serão utilizados para a determinação dos parâmetros.

Logo em seguida, é realizada a etapa de *Verificação*, para se verificar a validade do ajuste dos parâmetros atribuídos na etapa anterior utilizando-se os dados de saída. Caso a simulação não apresente resultados coerentes, é feito um novo ajuste e uma nova verificação. Por outro lado, se os parâmetros adotados proporcionarem resultados adequados na verificação, é feita a simulação com diferentes dados de entrada de forma a permitir a realização de previsões (TUCCI, 2005, p.21,22).

Ao se estudar e compreender os processos e os respectivos modelos de simulação, busca-se encontrar os que apresentem o melhor resultado frente aos dados de entrada. Neste caso, apresentar os modelos mais adequados para determinada situação consistirá em uma ferramenta excelente diante das diversas situações apresentadas em campo, ou seja, na medida em que há disponibilidade de dados, pode-se utilizar modelagens mais complexas e baseadas em dados quantitativos, as quais poderão apresentar resultados mais precisos. Por outro lado, em situações onde há escassez de dados, é fundamental que sejam utilizados modelos que demandem uma menor quantidade de dados.

Rosman (2009, p.9) aborda o processo de modelagem segundo uma sequência lógica, que inicialmente compreende a identificação de um fenômeno de interesse para o estudo e, posteriormente, traduzindo-o para um modelo chamado de conceitual, a partir do qual será possível estabelecer o(s) tipo(s) de modelo(s) que serão utilizados na simulação do processo (matemáticos, analíticos, analógicos, físicos e numéricos). O Quadro 6 apresenta uma síntese das etapas utilizadas na concepção e elaboração de um modelo de simulação, as atividades previstas em cada uma delas e como os dados quantitativos são obtidos.

**Quadro 6 - Etapas utilizadas na concepção e elaboração de um modelo de simulação**

<b>Atividades realizadas</b>	
<b>Etapas</b>	
(I) Fenômenos de interesse	Em casos envolvendo corpos d'água, os fenômenos de interesse estão relacionados a quantidade e à qualidade da água, ou seja, movimentos ou o transporte de substâncias e suas propriedades.
(II) Observação e medição	Inicialmente, são feitas observações qualitativas das causas, efeitos e agentes intervenientes. Posteriormente parte-se para observações quantitativas, fazendo-se medições das grandezas das causas, efeitos e agentes intervenientes inferidos na etapa de observação qualitativa.
(III) Modelo conceptual	É o primeiro e mais fundamental dos modelos, realizado com base nas observações e medições da etapa anterior. Corresponde a formar na mente a concepção do fenômeno observado, conhecer suas causas efeitos, compreender as interações e relevância dos agentes intervenientes na sua ocorrência. Se houver entendimento suficiente e abrangente podem ser considerados (Leis como, por exemplo as Leis de Newton). Já no caso de não haver entendimento completo obtêm-se modelos conceptuais que correlacionam magnitudes de efeitos com magnitudes de supostos agentes causadores, que é o caso de Modelos Empíricos.
<i>Matemático</i>	Tradução do modelo conceptual para a linguagem matemática. São constituídos de diferentes arranjos das causas, efeitos e agentes intervenientes, para os quais são seguidas regras e princípios formais. Observação: quanto melhor e mais completo é um modelo conceptual, mais complexo é o modelo matemático e menor a capacidade de se obter uma solução geral. "(...) é a grande encruzilhada do processo de modelagem, pois dependendo da possibilidade de resolvê-lo, quatro rotas são possíveis, levando respectivamente aos modelos <b>físico, numérico, analítico e analógico.</b> " (Grifo do autor)
<i>Analítico</i>	Proporciona soluções gerais em situações simplificadas e idealizadas e são regidos pelas equações diferenciais de transporte de qualificadores escalares em corpos d'água. Em outras situações, recorre-se aos modelos físicos e aos numéricos. Mesmo assim, são ferramentas poderosas, pois permitem a realização de cálculos em qualquer posição e instante do domínio espaço tempo representado no modelo. Os dados quantitativos são obtidos através de cálculos matemáticos.
<i>Analógico</i>	Usados em situações muito peculiares, com ênfase na área acadêmica. Por exemplo: analogia entre o fluxo das correntes elétricas e o fluxo das correntes hidráulicas. Os dados quantitativos são obtidos através de cálculo e medição.
<i>Físico</i>	Reproduzem, em escala reduzida, os modelos conceptuais. Necessita de modelagem matemática prévia para se definir as escalas de semelhança entre o protótipo e o modelo físico. Recentemente, só são utilizados em casos muito especiais e estão sendo substituídos pelos modelos numéricos, mais baratos e mais eficientes. Geralmente utilizados para orientar leigos em determinado processo por serem de fácil visualização e compreensão. Os dados quantitativos são obtidos através de medição direta.
<i>Numérico</i>	São traduções dos modelos matemáticos adaptados para diferentes métodos de cálculo (por exemplo: diferenças finitas e modelos estocásticos). "(...) Praticamente qualquer modelo matemático pode ser resolvido através de um modelo numérico e, em geral, há pouca perda de informação na tradução de uma para o outro". Os dados quantitativos são obtidos através de um modelo computacional através do uso de um modelo numéricos.

Fonte: adaptado de Rossman, (2009, p. 9-13).

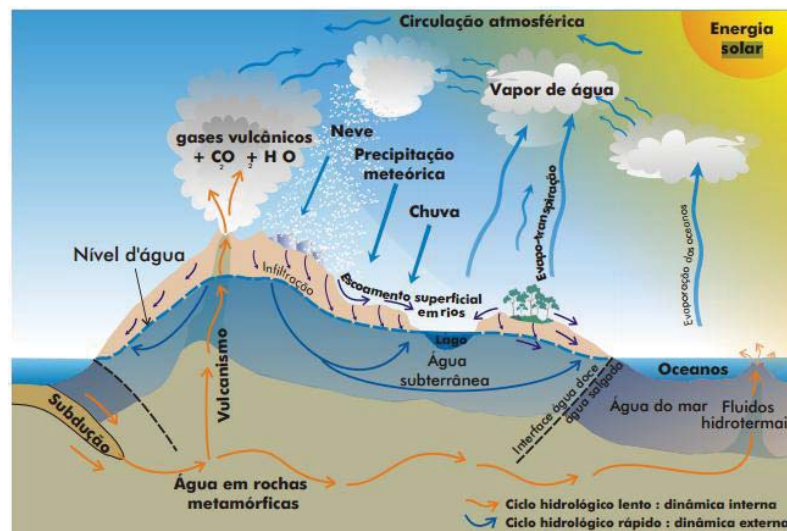


A partir das considerações sobre como se realizam as simulações (TUCCI, 2005) e os tipos de modelos que podem ser adotados (ROSSMAN, 2009), passa-se para a descrição dos modelos hidrológicos, de escoamento e hidrodinâmicos utilizados para a simulação do processo de onda de cheia.

#### 4.3.2 Modelos Hidrológicos

Os Modelos Hidrológicos são utilizados para simular parte do ciclo hidrológico entre a precipitação e vazão, e os modelos de escoamento e hidrodinâmicos caracterizam os regimes fluviais e em canais artificiais, podendo ser utilizados para a elaboração de mapas de risco de inundação, entre outras finalidades (SOUSA, 2010, p.10). Para tanto, é importante ter a compreensão dos fenômenos que ocorrem entre os diferentes elementos de uma bacia hidrográfica, tais trocas são apresentadas através do ciclo hidrológico, considerando a dinâmica externa, como apresentado na Figura 4.

**Figura 4** – O Ciclo hidrológico



Fonte: Teixeira et al (2000).

No ciclo hidrológico, inicialmente, o vapor d'água presente na atmosfera, que é formado pelo agrupamento de microgotículas de água, forma um aerossol, que é chamado de nuvem. Através das dinâmicas das massas de ar, a água suspensa na atmosfera é transferida para a superfície terrestre através das precipitações. A precipitação pode ser dar na forma de chuva, quando ocorrem processos complexos de aglutinação e crescimento das microgotículas em nuvens com presença significativa de umidade. Assim a força da gravidade supera as turbulências presentes no meio atmosférico, permitindo que essas gotas precipitem. Parte

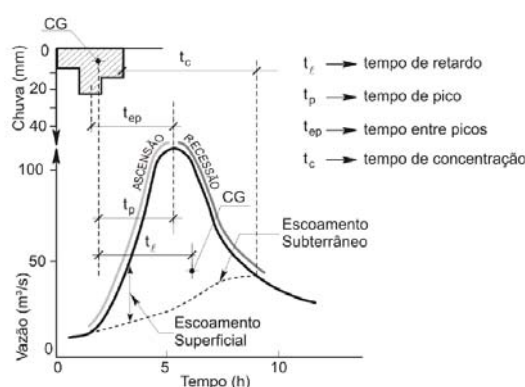
dessa precipitação se evapora antes mesmo de chegar à superfície terrestre, e outra parte é interceptada por folhas e caules de árvores. Ao atingir o solo, parte dessa água é infiltrada e outra parte é escoada através de escoamento superficial, que pode ser de maior ou menor magnitude, dependendo da porosidade do solo, da topografia, da presença de cobertura vegetal, entre outros fatores (TUCCI et al, 2009, p. 36).

Para se realizar as modelagens sobre os processos que ocorrem na bacia, a mesma deve ser considerada como um sistema, onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório (TUCCI et al, 2009, p. 41). Com base nessa abordagem, podem ser feitas considerações e proposições sobre os modelos hidrológicos e hidrodinâmicos apresentados a seguir.

#### 4.3.3 Modelos Chuva-Vazão

Nos modelos Chuva-Vazão, são abordados os elementos principais que irão influenciar diretamente na conversão do volume de água precipitado em vazão, que são: as características físicas da bacia; a intensidade, duração e frequência das chuvas e o processo de infiltração. O objetivo da aplicação do modelo chuva-vazão é a obtenção de um hidrograma que representa, de forma gráfica, a variação da vazão em relação ao tempo (TUCCI et al, 2009, p.392). Na Figura 5 é apresentado um modelo típico de hidrograma.

**Figura 5** – Hidrograma de um canal fluvial como resposta a um evento de chuva



Fonte: Collischonn, W.; Tassi, R. (2008, p. 105).

Como pode ser observado na Figura 5, há a fase de ascensão que está diretamente relacionada à intensidade da precipitação; a região de pico, situada próxima ao valor máximo de vazão, onde ocorre o ponto de inflexão, que pode ser resultado da diminuição da



precipitação, do amortecimento da bacia e do fim do escoamento superficial; e a região de recessão, onde somente o escoamento subterrâneo contribui para a geração de vazão no rio (TUCCI et al, 2009, p.394).

Existem diversos métodos para obtenção de hidrogramas, que dependem de um número maior ou menor de variáveis, como também da abrangência espacial. Entre eles está o Método Racional, que é aplicado a bacias com dimensões inferiores a 5 km<sup>2</sup> e o método do Hidrograma triangular do Soil Conservation Service (SCS), que utiliza uma abordagem geométrica, assumindo que o volume precipitado é equivalente a área de um triângulo. Já em cenários mais complexos, podem ser adotados os métodos de Santa Bárbara ou Clarck (Silveira, 2010, p. 103). Sua aplicação poderá variar de acordo com a disponibilidade de dados e também da precisão exigida nas simulações.

Um sistema computacional utilizado para a geração de hidrogramas é o HIDRO-FLU (SOUSA, 2010, p.27). Nele são utilizadas chuvas medidas ou de projeto, para a elaboração dos hidrogramas. Sua estrutura de cálculos se dá através do cálculo do tempo de concentração, elaboração da chuva de projeto, da separação da chuva efetiva, da determinação do hidrograma de projeto e do dimensionamento de estruturas hidráulicas.

A partir dos valores de pico de vazão obtidos através do escoamento na bacia ou nos canais, passa-se a uma abordagem espacial e dinâmica de como serão os efeitos das alterações de cota e volume em determinado curso d'água e na bacia. Para essa análise, são utilizados então os modelos de escoamento e os modelos hidrodinâmicos.

#### *4.3.4 Modelos de Escoamento*

Segundo Tucci et al (2009, p.374), para se representar os diferentes tipos de escoamento ao longo da bacia hidrográfica, são utilizadas conceitos físicos e formulações matemáticas que visam descrever o tipo de escoamento com base nas leis físicas que regem esses fenômenos. Assim é possível realizar uma análise quantitativa através das variáveis utilizadas para descrever o escoamento como vazão, profundidade e velocidade.

Ao se analisar o comportamento do escoamento, são utilizadas equações de conservação de massa, de energia e quantidade de movimento. Como exemplo, o mesmo autor destaca que: “num trecho de rio, a vazão de montante, a contribuição lateral e a vazão de saída são as entradas e saídas que devem preservar a massa do sistema, identificado como o trecho do rio.” No Quadro 7 são apresentados os dois tipos gerais de escoamento, o permanente e o não permanente e suas características e aplicações.

**Quadro 7** – Tipos gerais de escoamento, variações e aplicações práticas

Tipo de Escoamento	Variações	Aplicações
<p><b>Permanente:</b> Gradiente de velocidade e nível são nulos. Não existe variação de estado no sistema.</p>	<p><b>Uniforme:</b> Gradiente de profundidade com o espaço é nulo; velocidade constante.</p> <hr/> <p><b>Não-Uniforme:</b> Variação do gradiente de profundidade com o espaço; Variações na velocidade.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cálculo de remanso em rios;</li> <li>• Análise de perfil de cheias;</li> <li>• Escoamento em períodos de estiagem</li> <li>• Dimensionamento de obras hidráulicas</li> </ul>
<p><b>Não Permanente:</b> Considera a variação no tempo e no espaço das variáveis</p>	<p>Problemas hidrológicos de escoamento superficial em rios e canais</p>	

Fonte: Tucci et al (2009, p.373-374).

Com base nessas considerações iniciais, o escoamento em rios e canais pode ser representado através de duas equações, uma de conservação de massa e outra de conservação de movimento, também conhecidas como equações de Saint Venant ou Equações unidimensionais do escoamento não – permanente gradualmente variado (TUCCI et al, 2009, p.374, 378).

A equação que descreve a conservação de massa é conhecida como Equação da Continuidade e é representada através da Equação 1(SILVA, 2006, p.11):

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q_L \quad (1)$$

Onde: **Q** - vazão volumétrica; **A** - área da seção molhada; **x** - distância na direção longitudinal;  
**t** - tempo; **q<sub>L</sub>** - entrada ou saída de vazão por unidade de largura.

Já a Equação de Conservação de Movimento (Equação 2) apresenta a seguinte formulação, nela são consideradas as forças da gravidade, atrito e pressão:

$$\underbrace{\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x}}_{\text{Inércia}} + \underbrace{g \cdot A \cdot \frac{\partial y}{\partial x}}_{\text{pressão}} = \underbrace{g \cdot A \cdot S_o}_{\text{gravidade}} - \underbrace{g \cdot A \cdot S_f}_{\text{atrito}} \quad (2)$$

Onde: **Q** é a vazão volumétrica; **A** - área da seção molhada; **x** - distância na direção longitudinal; **t** - tempo; **y** - profundidade; **S<sub>o</sub>** - declividade do fundo; **S<sub>f</sub>** - declividade da linha de energia; **g** - aceleração da gravidade.

Os termos de inércia são representados pelos dois primeiros termos da equação (2), o termo de pressão é representado pelo terceiro termo e os termos de gravidade e atrito são os dois termos do lado direito da equação. As demonstrações e considerações matemáticas utilizadas para a obtenção das fórmulas acima são apresentadas em maior detalhe em Tucci et al (2009, p.374-379), assumindo que são feitas simplificações e premissas sobre o escoamento, as quais não comprometem a representação da maioria dos problemas de escoamento em rios e canais.

A utilização ou a desconsideração dos termos da equação de Saint-Venant irá determinar o tipo de modelo de escoamento que podem ser do tipo armazenamento, onda cinemática, difusão e hidrodinâmico, cujas propriedades e formulações são apresentadas no Quadro 8.

Quadro 8 – Modelos de escoamento, suas propriedades e aplicações

Tipo de Modelo	Premissas	Formulação matemática	Aplicação
Armazenamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Equação da continuidade concentrada</li> <li>Relacionam armazenamento e a vazão de saída e entrada do trecho para simular o escoamento</li> <li>Despreza-se a variação longitudinal da vazão e da área ao longo do trecho</li> </ul>	$\frac{dS}{dt} = I - Q$ $S = f(I, Q, I', Q')$ <p>S - armazenamento total no trecho;                      I - vazão de entrada no trecho [m<sup>3</sup>/s];                      Q - vazão de saída no trecho [m<sup>3</sup>/s];                      I' - derivada de I com relação ao tempo;                      Q' - derivada de Q com relação ao tempo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Muito utilizado em hidrologia devido à simplicidade de formulação e o pequeno volume de dados utilizados</li> <li>Necessários hidrogramas de montante e jusante na fase de ajuste</li> <li>Não é apropriado para casos onde há efeito de jusante sobre o escoamento</li> <li>Não necessita de dados físicos</li> </ul>
Onda Cinemática	<ul style="list-style-type: none"> <li>Equação da continuidade distribuída e expressão simplificada da quantidade de movimento;</li> <li>Declividade do fundo igual a declividade da linha de atrito;</li> <li>Força da gravidade é preponderante sobre os demais termos da equação da quantidade de movimento;</li> <li>Relação biunívoca entre o nível e a vazão em uma seção;</li> <li>Onda de cheia ser propaga mais lentamente que as pequenas perturbações;</li> <li>Predomínio das ondas cinemáticas no escoamento.</li> </ul>	$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$ $S_o = S_f$ <p>Q - vazão volumétrica                      x - distância na direção longitudinal                      A - área da seção molhada;                      t - tempo;                      S<sub>o</sub> - declividade do fundo;                      S<sub>f</sub> - declividade da linha de energia;</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Simula somente os efeitos de montante</li> <li>Não é apropriado para casos onde há efeito de jusante sobre o escoamento</li> <li>Aplicado em casos onde o número de Froude seja inferior a 1,5</li> </ul>

Difusão	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliza as equações da continuidade e a equação de quantidade de movimento sem os termos de inércia</li> <li>• Considera os termos de pressão</li> </ul>	$\frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f$ <p> <b>y</b> - profundidade;  <b>x</b> - distância na direção longitudinal;  <b>S<sub>0</sub></b> - declividade do fundo;  <b>S<sub>f</sub></b> - declividade da linha de energia; </p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior aplicabilidade que os modelos de onda cinemática</li> <li>• Leva em consideração efeitos de jusante</li> <li>• Velocidade não pode ter gradientes significativos</li> </ul>
Hidrodinâmicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelos mais completos para o escoamento unidimensional gradualmente variado</li> <li>• Considera-se todos os termos da equação dinâmica</li> </ul>	$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$ $\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v \partial v}{g \partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f$ <p> <b>Q</b> - é a vazão volumétrica  <b>x</b> - distância na direção longitudinal  <b>A</b> - área da seção molhada;  <b>t</b> - tempo;  <b>S<sub>0</sub></b> - declividade do fundo;  <b>S<sub>f</sub></b> - declividade da linha de energia;  <b>v</b> - velocidade. </p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requer soluções numéricas das equações diferenciais</li> <li>• Necessitam maior quantidade de dados que os modelos anteriores</li> <li>• Maior precisão</li> <li>• Representação física do escoamento</li> <li>• Previsão do movimento das águas em um sistema de escoamento, geralmente apresentando aspectos quantitativos do volume ou quantidade de água (ROSSMAN, 2009, p.1)</li> </ul>

Fonte: adaptado de SILVA (2006, p.11-14) e TUCCI et al (2009, p. 381-389).

#### *4.3.5 Modelos Hidrodinâmicos*

Segundo Rossman (2001, p.1) Modelo Hidrodinâmico é um modelo que tem como objetivo prever o movimento das águas em um sistema de escoamento, geralmente apresentando aspectos quantitativos do volume ou quantidade de água. Existem diversos tipos de modelos e aspectos conceituais envolvidos na modelagem de sistemas hidrodinâmicos.

Na simulação de escoamento em canais e rios, comumente são utilizadas diversas abordagens de modelagem, sendo que cada uma delas apresenta certo grau de complexidade na medida em que também podem apresentar resultados mais precisos. No Quadro 9, são apresentados os tipos de modelos conceituais, suas premissas de modelagem e exemplos práticos dos modelos mais utilizados em cada caso.

Nesse sentido, dependendo da complexidade exigida pelas características do sistema em estudo, são propostos modelos que possuem a capacidade adequada para simular as diferentes características do sistema em estudo, como também os exemplos de softwares e modelos de simulação correlatos.

**Quadro 9 – Modelos hidrodinâmicos associados à suas premissas de modelagem.**

<i>Exemplos</i>	
<i>Tipo</i>	<i>Descrição</i>
Modelos 1D, com Escoamento permanente e gradualmente variado	Escoamento permanente, pequenas mudanças em profundidade e velocidade ao longo do canal, sendo comumente usados nos estudos de mapas de risco à inundação. São normalmente executados com as vazões de pico do evento de tempestade de projeto, reproduzindo remansos para essa condição. Modelos assumem que a vazão de pico não é afetada pela armazenagem na calha do rio, ou que armazenamento foi considerado em um estudo separado usando um modelo hidrológico, e a vazão máxima ocorre ao mesmo tempo em que o nível máximo.
Modelos Hidrodinâmicos	São modelos com escoamento 1D transitório (não permanente) e gradualmente variados. Resolvem as equações de Saint Venant, de Continuidade e dinâmica. São modelos adequados para o fluxo de longo alcance e longos períodos de tempo onde os vetores velocidade podem ser assumidos como aproximadamente paralelos à direção do fluxo. Os modelos hidrodinâmicos podem ser subdivididos em modelos simplificados, quando desprezam termos das equações de Saint-Venant e completos, quando usam as equações completas de Saint-Venant.
Modelos Quasi-2D (modelos híbridos)	Teia de ligações, células e/ou nós, com os caminhos do escoamento pré-definidos e que permitem a armazenagem em locais específicos. Representam canais e células de inundação que trocam água entre si por uma rede no plano horizontal, onde os caminhos do fluxo são predefinidos
Modelos 2D	Modelos de escoamento transitório (não permanente) e gradualmente variados, nos quais as equações de Navier-Stokes são resolvidas nas dimensões X e Y para uma profundidade h determinada. Modelos utilizados para modelagem hidráulica fluvial e costeira, e, mais recentemente, tornou-se uma opção para a modelagem de inundações. Modelos 2D exigem a estimativa de um número considerável de parâmetros, que, quando não são bem conhecidos geram uma grande imprecisão no modelo e recomenda o uso de um modelo mais simples em casos de escassez de informações sobre esses parâmetros
Modelos 1D/2D	São modelos mistos, utilizam um modelo 1D para o escoamento em tubos e canais vinculados a um modelo 2D em regiões de alagamento. A grande vantagem dessa abordagem é permitir a economia de tempo de modelagem e de processamento nas regiões onde o fluxo é praticamente unidimensional. Para isso essas regiões são modeladas com equações 1D mais simples e rápidas que as equações 2D, que são aplicadas somente onde o escoamento tem características predominantemente bidimensionais
Modelos 3D	Modelos que resolvem completamente as equações de Navier-Stokes em três dimensões. São modelos complexos e geralmente usados apenas em águas profundas.

Fonte: Reis; Cerri (2012, p.112).

Com base na fundamentação teórica sobre o escoamento em rios e canais, passa-se para a compreensão das premissas de modelagem matemática e modelos de simulação das corridas de massa.

#### 4.3.6 Modelos de simulação de corridas de massa

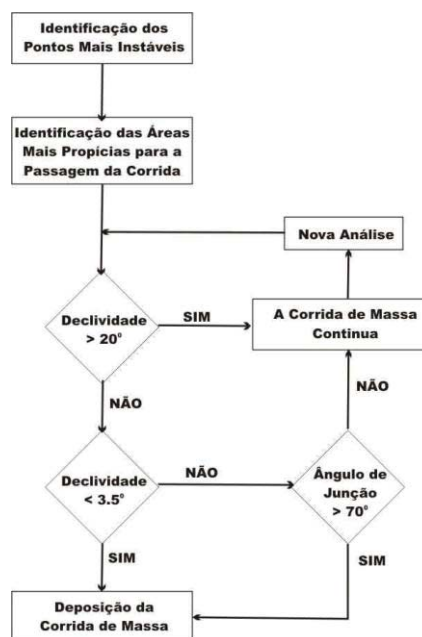
A modelagem matemática para a representação e previsão dos processos de corridas de massa possuem duas abordagens distintas (GOMES, 2006, p. 45):

- a) abordagem empírica, desenvolvida através de modelos empíricos;
- b) abordagem baseada em modelos de simulação.

Na abordagem empírica, utilizam-se poucos parâmetros iniciais e não são necessários longos períodos de simulação para se prever o depósito das corridas. Para tanto, esta modalidade de modelagem utiliza-se da análise da dinâmica do material transportado a partir de parâmetros morfométricos.

Segundo Gomes (2006, p.45), o modelo pode ser implementado facilmente, apresentando resultados satisfatórios para a análise regional de previsão de alcance de depósitos de corridas. Na Figura 6 é apresentado o fluxograma que representa o método adotado nessa abordagem:

**Figura 6** – Fluxograma de funcionamento da modelagem de deposição das corridas de massa



Fonte: Gomes (2006, p.48).



O processo de corridas de massa envolve uma complexa abordagem matemática, dado o seu comportamento e pelo fato de ser um fluido cujos constituintes são variados e exibem comportamento imprevisível. Neste sentido, foram adotadas várias abordagens para se realizar a simulação de corridas através de diversos modelos e formulações matemáticas (GOMES, 2006, p.51).

Alvarado (2006, p.55) discute que existem diversos modelos propostos para corridas de massa que são representados por equações reológicas ou constitutivas, ou seja, são equações que relacionam a tensão de cisalhamento com a taxa de deformação cisalhante.

Para tanto, são consideradas as seguintes características: viscosidade do fluido intersticial, turbulência, atrito e colisões interpartículas. O mesmo autor ressalta que existe uma grande dificuldade em se representar os processos de corridas de massa dada a alta variação apresentada tanto no tamanho, como na forma das partículas sólidas. No Quadro 10 são apresentados os três grandes grupos de modelos reológicos e suas premissas de modelagem:

**Quadro 10** – Modelos reológicos e suas premissas de modelagem

<b>Modelo</b>	<b>Premissas de modelagem</b>
Fluxo Granular	Predomina a inércia dos grãos. Modelo de Bagnold
Fluxo Viscoplastico	Efeitos inerciais dos grãos são desprezados. Modelo de Bingham.
Dissipativo	Leva em consideração: Tensões devidas à viscosidade entre partículas sólidas e o fluido Tensões dispersivas Produto da turbulência

Fonte: Alvarado (2006, p. 56).

Com relação à modelagem numérica dos processos de corridas de massa, Lopes e Riedel (2007), consideram que os modelos de simulação tenham capacidade de simular o processo considerando sua variação no tempo, ou seja, deve ser representado através de uma abordagem dinâmica. Para tanto é necessário que a simulação numérica seja realizada através de uma estrutura matricial (“raster”) para a modelagem dos processos de fluxo e distribuição do material que são representados através do modelo numérico de terreno e os ângulos de atrito interno do material ( $\phi_{int}$ ) e basal com a superfície ( $\phi_{bed}$ ) em que se dá o movimento.

O modelo matemático utilizado pelos autores acima citados tem por objetivo simular o alcance e a trajetória de corridas e é representado pelo sistema de equações estritamente hiperbólico e não-linear, apresentado na Equação 3.

$$\partial_t(h\bar{v}_x) + \partial_x\left(h\bar{v}_x^2 + \frac{1}{2}k_{ap}g_z h^2\right) + \partial_y(h\bar{v}_x\bar{v}_y) = \underbrace{\frac{e_z v_x}{A} + \frac{g_x h}{B} - hk_{ap} \operatorname{sgn}\left(\frac{\partial \bar{v}_x}{\partial y}\right)}_C \partial_y(g_z h) \sin \phi_{\text{int}} - \underbrace{\operatorname{sgn}(\bar{v}_x) \left[ g_z h \left( 1 + \frac{\bar{v}_x}{r_x g_z} \right) \right]}_D \tan \phi_{\text{bed}} \quad (3)$$

Onde:  $r_x$  - raio de curvatura na direção x na superfície basal; **A** – momento devido à erosão; **B** – força gravitacional dirigida; **C** – força intergranular de Coulomb devido à velocidade normal gradiente para a direção do fluxo; **D** – força de resistência devido ao atrito de Coulomb na base do movimento;  $\phi_{\text{int}}$  – ângulo de atrito interno do material;  $\phi_{\text{bed}}$  – ângulo de atrito basal com a superfície.

Esse sistema de equações utiliza parâmetros para o cálculo do momento em uma direção x, em uma dada profundidade média de determinada massa em um instante de tempo t, e foi implementado no software TITAN 2D (GMFG, 2009). O software utiliza um sistema computacional de grade adaptativa, que permite a concentração do poder computacional em locais de especial interesse, como por exemplo, a borda do caminho percorrido por um fluxo ou locais onde há mudanças bruscas de topografia.

Outro modelo é o modelo conceitual FLO 2D<sup>®</sup>, que foi incorporado a um software de simulação de mesmo nome. Nele está contido um modelo reológico quadrático, que realiza a previsão da viscosidade e tensão cisalhante do escoamento em função da concentração de sedimentos, utilizado para descrever o comportamento dos movimentos de massa (GOMES, 2006, p. 53; FLO-2D, 2012).

O modelo é utilizado na análise de problemas hidráulicos de inundação através da avaliação e determinação das áreas propícias à ocorrência deste processo e também pode ser utilizado para simulações de corridas de massa, pois realiza a simulação de fluxo não confinado em topografia complexa em diversas condições de rugosidade e diferentes tipos de material. Trata-se de um modelo de conservação de massa, onde a modelagem é realizada através de rotinas de chuva-vazão (rainfall-runoff) e o uso de hidrógrafas de enchentes para superfícies não confinadas.

A modelagem se dá através da iteração numérica de equações de movimento e a conservação de massa do volume, e a simulação do fluxo de sedimentos é feita através de rotinas de fluxo de sedimentos hiperconcentrados. Dada a complexidade das equações

dominantes que representam o processo de corrida de massa no modelo FLO-2D, sugere-se a consulta a Gomes (2006, p. 55-59;) e ao próprio desenvolvedor (FLO-2D, em <http://www.flo-2d.com>) para maior aprofundamento nas formulações matemáticas do referido modelo.

#### **4.4 Resultados da identificação de softwares existentes no mercado e na comunidade científica para a simulação de onda de cheia e corridas de massa**

##### *4.4.1 Resultados obtidos na Fase I da identificação dos softwares*

Através dos critérios utilizados nesta fase, e do uso das palavras chave selecionadas, foram obtidos como resultado as seguintes agências e organizações relacionadas à prevenção de desastres, proteção ambiental e de pesquisas geológicas: *Environmental Protection Agency (EPA)*, *Federal Emergency Management Agency (FEMA)*, *National Weather Service (NWS)* e *U.S. Geological Survey (USGS)*.

Ao finalizar a pesquisa dos modelos apresentados por essas organizações, foi dado prosseguimento a pesquisa em listas produzidas por comunidades da área de modelagem como a *Community Surface Dynamic Modelling Systems (CSDMS, Colorado University, 2012)* que apresentou um catálogo com 51 modelos hidrológicos e também ao *Geotechnical & Geoenvironmental Software Directory (GGSD, 2012)* que apresentou diversos temas e opções de modelos de simulação na área geológico-geotécnica.

Verificou-se, no entanto, que os modelos apresentados continham uma documentação instrucional limitada e, muitos deles, apresentaram poucas condições de operacionalidade para o usuário final, exigindo conhecimentos avançados de programação, com limitada capacidade computacional e também inexistência de interface com Sistemas de Informações Geográficas (SIG's). De forma geral, foram apresentados os códigos fonte dos modelos conceituais em linguagem computacional e os fundamentos técnicos científicos a respeito destes modelos.

Um exemplo apresentado nesta circunstância foi o modelo FLDWAV desenvolvido pela National Weather Service, que, embora seja muito utilizado em simulações de rompimento de barragens e apresente diversos trabalhos relacionados ao seu uso, não foi elencado para lista final de softwares, pois não foi possível verificar suas capacidades operacionais em virtude dos aspectos técnicos e conhecimentos avançados de programação exigidos para se executar o modelo.

Posteriormente foi possível verificar que muitos destes modelos apresentaram-se incorporados em módulos dos softwares elencados na presente pesquisa, os quais

possibilitaram o uso dos mesmos através de interface visual de mais fácil compreensão. Sendo assim, os modelos pesquisados não se encaixaram no critério de facilidade de uso para o usuário final.

#### *4.4.2 Resultados obtidos na Fase II da identificação dos softwares*

Em vista das dificuldades encontradas na obtenção dos softwares ou modelos de simulação na Fase I desta etapa da pesquisa, optou-se pela pesquisa através das bases de dados com o objetivo de se conhecer melhor a estrutura geral dos modelos de simulação. Os resultados obtidos foram artigos de periódicos especializados que apresentaram as estruturas gerais dos modelos hidrológicos e de escoamento e como estes modelos são utilizados em softwares de simulação e em SIG's, com interface voltada ao usuário final (CHEN et al, 2001; HUANG, B.; JIANG, B., 2002; SUI, D.Z., MAGGIO, R.C. 1999).

Com isso, foi possível compreender que as simulações dos processos abordados na presente pesquisa só se viabilizariam através de pacotes de softwares que compreendessem todas as etapas do processo de simulação, desde a conversão da precipitação para vazão em uma dada bacia, a propagação do escoamento em um canal e apresentação dos resultados através de tabelas e mapas.

Através da adoção dos critérios apresentados na Fase II do método da pesquisa, foram identificados 20 softwares conforme apresentado no Quadro 11. Desses 20 softwares apenas um possibilitava a realização de simulação de corrida de massa, enquanto os demais simulavam ondas de cheia.

A obtenção das informações relativas às características dos softwares foi feita com base nas informações fornecidas pelos desenvolvedores em suas respectivas páginas da internet. Assim, foram selecionados os seguintes desenvolvedores de softwares, entre eles instituições de pesquisa e empresas privadas: Aquaveo®, Deltares®, DHI®, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - LabSid (POLI – USP), FLO-2D Software®, Halcrow®, Hydrologic Engineering Center - U. S. Army Corps of Engineers (USACE), Innovize®, Scientific Software Group e XP Solutions®.

Os desenvolvedores de *softwares* apresentaram diversas aplicações para diferentes processos, sendo que para o presente estudo foram considerados apenas os softwares que realizassem simulações de processos de onda de cheia e corridas de massa. Através do uso dos critérios utilizados na seleção dos softwares, foi elaborada a tabela apresentada no Apêndice A contendo a descrição detalhada das características de cada software analisado.

Com base na interpretação da tabela, foi possível obter conclusões a respeito desses softwares. No Quadro 13 são apresentados os 20 softwares identificados e os respectivos processos simulados.

**Quadro 11** – Softwares e os respectivos processos simulados

Software	Tipo de processo simulado
ABC 6	Onda de cheia
FLO-2D <sup>®</sup> Basic	Onda de cheia
FLO-2D <sup>®</sup> Pro	Onda de cheia e corridas de massa
FloodWorks <sup>®</sup>	Onda de cheia
HEC-RAS	Onda de cheia
Infoworks RS <sup>®</sup>	Onda de cheia
ISIS 2D <sup>®</sup>	Onda de cheia
ISIS FAST <sup>®</sup>	Onda de cheia
ISIS Free <sup>®</sup>	Onda de cheia
ISIS Mapper <sup>®</sup>	Onda de cheia
ISIS Professional <sup>®</sup>	Onda de cheia
MIKE 11 <sup>®</sup>	Onda de cheia
MIKE FLOOD <sup>®</sup>	Onda de cheia
MIKE SHE <sup>®</sup>	Onda de cheia
SMS <sup>®</sup>	Onda de cheia
SOBEK Suite <sup>®</sup>	Onda de cheia
TUFLOW <sup>®</sup>	Onda de cheia
WMS <sup>®</sup>	Onda de cheia
XP 2D <sup>®</sup>	Onda de cheia
XP SWMM <sup>®</sup>	Onda de cheia

Nas páginas da internet dos desenvolvedores foram apresentadas informações detalhadas em maior ou menor grau, mas todas apresentaram informações suficientes a respeito das potencialidades dos *softwares*. A possibilidade de fornecer auxílio via internet e em tempo real foi um diferencial apresentado por alguns desenvolvedores. O suporte on-line também é fortemente sustentado através de uma ampla coleção de tutoriais e materiais instrucionais para que os usuários possam usufruir ao máximo das potencialidades dos softwares.

Os softwares ABC 6, ISIS Free<sup>®</sup> (incluindo o ISIS Mapper<sup>®</sup>), FLO 2D Basic<sup>®</sup> e HEC-RAS apresentaram versões gratuitas para testes, neles é possível realizar as simulações dos processos e apresentar os resultados da simulação. No caso do software ISIS Free, são

apresentadas todas as funcionalidades dos demais softwares de série ISIS, contudo, há restrições de processamento para a versão gratuita e não são disponibilizados os módulos *1D-2D Linking*, *2D TVD Solver* e *2D Fast Solver*, para modelagens que envolvem simulações mais complexas. Já o software FLO 2D Basic<sup>®</sup>, embora apresente recursos semelhantes aos da versão paga FLO-2D Pro<sup>®</sup>, não contempla a simulação de corridas de massa e também de trocas entre águas superficiais e subterrâneas. Já os softwares ABC 6 e HEC-RAS não apresentaram limitações de simulação de seus modelos, sendo considerados totalmente funcionais.

O software SMS<sup>®</sup>, WMS<sup>®</sup>, MIKE 11<sup>®</sup>, MIKE FLOOD<sup>®</sup> e MIKE SHE<sup>®</sup> apresentaram versões de demonstração para download na própria página da internet do desenvolvedor, porém a versão se limitava apenas a uma avaliação da interface do software, sendo que não era possível salvar resultados ou projetos desenvolvidos no ambiente computacional do mesmo.

Em vários casos, a obtenção da versão de teste do software e informações sobre os tipos de licença para uso dos mesmos somente é possível através de consulta com o fornecedor/ desenvolvedor que, analisando o perfil do usuário, apresenta orçamento e condições de licenças. Por esta razão, não foram buscados contatos com estes fornecedores, não se obtendo os valores, os tipos de licença e versões de demonstração dos seguintes softwares: Infoworks RS<sup>®</sup>, FloodWorks<sup>®</sup>, MIKE 11<sup>®</sup>, MIKE FLOOD<sup>®</sup>, MIKE SHE<sup>®</sup>, SOBEK SUITE<sup>®</sup>, TUFLOW<sup>®</sup>, XP SWMM<sup>®</sup> e XP 2D<sup>®</sup>.

Independente desta limitação, foram feitas descrições completas sobre as potencialidades e aplicações no uso dos softwares para subsidiar a análise comparativa, já que havia informações completas e precisas sobre a funcionalidade dos mesmos nas páginas da internet dos desenvolvedores.

Os desenvolvedores Halcrow<sup>®</sup>, Acquaveo<sup>®</sup> e FLO-2D<sup>®</sup> disponibilizaram os valores dos softwares para avaliação. A Halcrow<sup>®</sup> que elabora os softwares da série ISIS (ISIS Professional, ISIS 2D, ISIS Fast e ISIS Mapper), apresentou valores diferenciados para usuário individual e corporativo. Para o usuário individual o valor inicial era de US\$7.680,00 e para uso corporativo, a partir de US\$ 8.448,00. O software ISIS Mapper era isento de pagamento, funcionando como um software auxiliar, sendo incluso nas licenças de um dos três softwares mencionados anteriormente. Com relação a descontos para uso acadêmico, a desenvolvedora apresenta descontos na aquisição de mais de uma cópia do software (HALCROW, ISIS, Price List, 2012).

A empresa Aquaveo, desenvolvedora dos softwares WMS® e SMS®, apresentou valores de licença para o software SMS® variando de US\$1.000,00 a US\$6.950,00, dependendo dos módulos opcionais para a simulação. Para o software WMS®, os preços variaram de US\$399,00 a US\$5.600,00, sendo que para ambos foram apresentados 50% de desconto no valor de aquisição do software e 25% de desconto em treinamentos, no caso de licença para uso acadêmico, sendo permitida a instalação em vários computadores (AQUAVEO, WMS Pricing, 2012; SMS Pricing, 2012).

O software FLO-2D Pro ® apresentou-se como uma excelente opção no aspecto custo-benefício por apresentar o valor de US\$950,00 e simular tanto processos de onda de cheia, corridas de massa e também trocas entre águas superficiais e subterrâneas (FLO 2D, FLO 2D Pro, Overview, 2012) e pelo fato de possuir uma versão gratuita para teste de suas funcionalidades, conforme mencionado anteriormente.

#### **4.5 Simulação do processo de onda de cheia no software ABC 6**

Nesta etapa é apresentado o *software* selecionado para a realização da simulação do processo de onda de cheia. Do total de 20 softwares pesquisados, foi elencado para a simulação o *software* ABC 6, que apresentou total funcionalidade para realização da simulação do processo em sua versão gratuita e a necessidade de se utilizar poucos dados de entrada.

Para a estimativa dos parâmetros iniciais, caracterização da área de estudo e comparação dos valores obtidos na simulação foram utilizados dados da Bacia do Ribeirão dos Marins, seção Monjolinho no Município de Piracicaba, - SP, obtidos por Ferreira (2004).

##### *4.5.1 Descrição do software ABC 6*

O software ABC6 foi escolhido por se tratar de um software desenvolvido para finalidades didáticas e comerciais, de distribuição livre e a possibilidade de se trabalhar com dados de entrada escassos para a realização da simulação.

Segundo Oliveira et al (1999) o *software* ABC 6 é utilizado para o dimensionamento de vazões máximas em pequenas bacias sem dados (perfil tipicamente urbano e de pequenas bacias rurais), através de métodos sintéticos. Trata-se de um modelo de eventos, agregado, empírico e de parâmetros mistos (medidos e ajustáveis). Entre suas principais funções está o cálculo de precipitações intensas através de uma IDF (Intensidade-Duração-Frequência) e

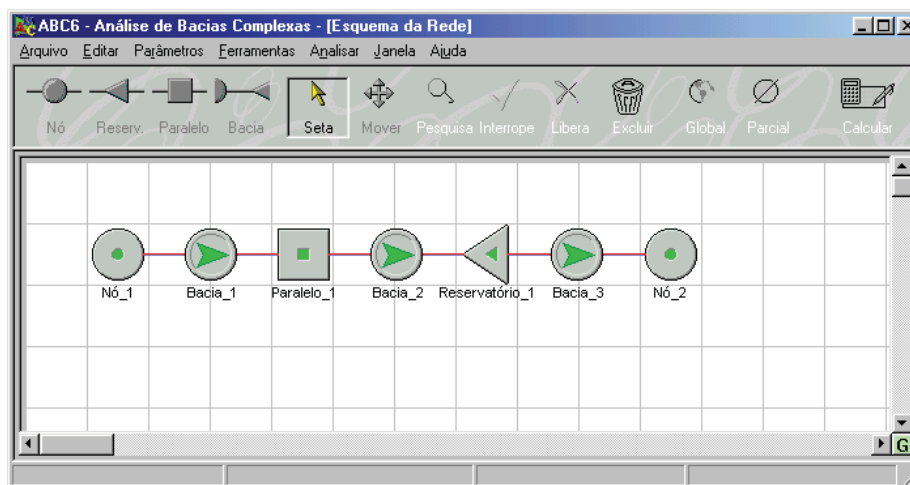


ajuste estatístico (Gumbel); cálculo de chuva excedente através dos métodos de Green & Ampt, Horton, SCS (Soil Conservation Service) e Índice  $\emptyset$ .

Os hidrogramas podem ser gerados através dos métodos Santa Barbara, Clark e Triangular do SCS. O software permite realizar a composição de hidrogramas e a decomposição de ietogramas, o caminhamento de onda de cheia, através do método de Muskingum e a avaliação do amortecimento em reservatórios.

Os elementos do sistema em estudo são representados no software através de 4 elementos: o *Nó*, que representa os pontos de início, fim e confluência de bacias; *Reservatório Lateral*, que é a representação de um vertedor de descarga do canal para um reservatório fora do curso d'água; *Reservatório*, que representa uma represa no curso d'água com sistema de vertimento livre e afogado e *Bacia*, que representa a bacia hidrográfica e trecho de canal natural e artificial. Na Figura 7 é apresentada a interface do software e os elementos de estudo em uma rede de drenagem hipotética.

**Figura 7** – Interface do software ABC 6 e os elementos de estudo em uma rede de drenagem hipotética



Fonte: Oliveira et al (2009, p.5).

Tais elementos tem por função armazenar os dados de entrada para a simulação, e, posteriormente estrutura-los para que os modelos de simulação embutidos no software possam efetuar os cálculos para a apresentação dos resultados.

#### 4.5.2 Área de estudo para o exercício de simulação

A simulação foi executada com base em dados das características físicas da bacia, de vazões e dados pluviográficos da bacia do Ribeirão dos Marins, seção Monjolinho, Piracicaba



– SP levantados por Ferreira (2004). A síntese dos dados de interesse para a simulação na presente pesquisa é apresentada no Quadro 12.

**Quadro 12** – Síntese dos dados de interesse da Bacia do Ribeirão dos Marins seção Monjolinho para a simulação

<b>Características físicas da Bacia</b>		
Área da bacia	22,02 km <sup>2</sup>	
Comprimento do canal principal	8,975 km	
Cota mínima	480 m	
Cota máxima	620 m	
<b>Precipitação</b>		
Valores horários obtidos nos pluviômetros D4 – 116 e D4 – 118 presentes na área de estudo, no intervalo dos dias (Ferreira, 2004, p.152).		
<b>Dados de vazão</b>		
Vazão média mínima anual	0,65 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	
Vazão máxima diária	24,0 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	
<b>Uso e ocupação do solo</b>		
	(km <sup>2</sup> )	(%)
Cana-de-açúcar	11,462	52,1
Pastagem	5,142	23,4
Reflorestamento	0,118	0,5
Capoeira	2,892	13,1
Mata ciliar	1,383	6,3
Área urbana	0,349	1,6
Solo exposto	0,673	3,0
<b>Total</b>	20,19	100,00

Fonte: Ferreira (2004).

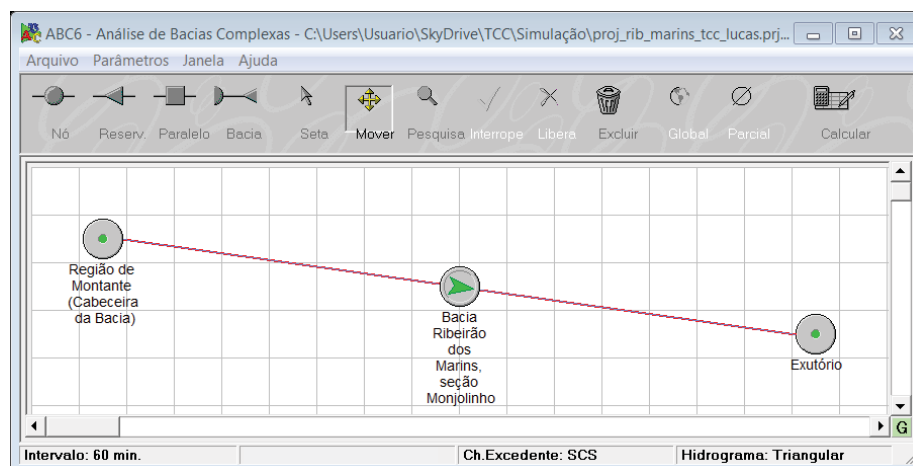
#### 4.5.3 Aplicação dos dados da bacia do Ribeirão Marins seção Monjolinho no software ABC 6

Com base nas características físicas, dados pluviográficos, dados de vazões e dados de uso e ocupação do solo da bacia do Ribeirão dos Marins seção Monjolinho foi possível verificar e analisar os resultados da simulação realizada através do software ABC 6.

Inicialmente criou-se um projeto onde foram introduzidos os elementos visuais *Nós*, *que* representam a vazão do ponto inicial e final da bacia, através de um hidrograma de entrada e outro de saída, como apresentado na Figura 8. Pelo fato da não existência de dados de vazão de base do canal principal a montante, atribuiu-se a vazão de 0,65 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> que foi a

vazão mínima anual obtida por Ferreira (2004, p.63) no Nó que representa a região a montante do canal principal da bacia.

**Figura 8** – Elementos de simulação da área de estudo na interface do software ABC 6



No elemento *Bacia*, foram atribuídos os dados físicos da bacia, de precipitação e de infiltração, que são detalhados no parágrafo seguinte. Já no Nó que representa o fim da bacia (Exutório), é apresentado o hidrograma de saída decorrente da simulação.

Após a estruturação dos elementos representativos da bacia na interface do software, foi atribuído o valor de 60 min para o Intervalo de Cálculo, que deve corresponder aos intervalos de medição obtidos nos pluviógrafos, de forma a compatibilizar o processo de cálculo com os intervalos medidos dos dados de entrada.

Observou-se que no campo Tempo de Concentração, o software disponibiliza a adoção de diversos métodos através de equações empíricas como, por exemplo, *Bransby Williams*, *Dooge*, *Kerby* e *SCS*, e suas respectivas variáveis utilizadas para preencher as equações.

Em cada uma das equações empíricas havia um texto descritivo sobre a aplicabilidade dessas equações, ou seja, dados como limites de aplicação para área de estudo e/ou declividade admissível. Desta forma, com base nas características físicas da bacia, o usuário pode escolher a equação mais adequada através de orientações exibidas no próprio software.

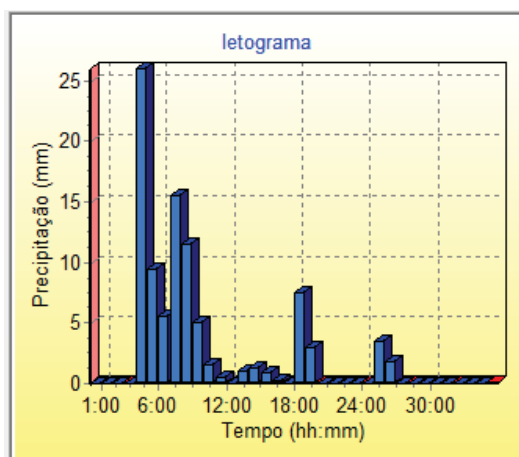
Para o presente trabalho foi adotada a Equação de Kirpich I, que, segundo o material instrucional exibido na interface do software, foi a equação que mais se adequou às características da bacia, já que é utilizada em pequenas bacias rurais (áreas maiores que 2,5 km) com canais bem definidos e declividades altas e as demais equações não se adequaram às características da bacia.

Foram inseridos os seguintes dados: Comprimento do canal principal (8,975 km), no campo Comprimento do Talvegue, Área da Bacia (22,02 km<sup>2</sup>) no campo Área da Bacia e a declividade foi obtida através do próprio software por meio da inserção dos dados de diferença de cotas (140 m) e o comprimento do talvegue. Com isso obteve-se o valor de 1,8 horas ou 108 minutos para o Tempo de Concentração.

Com relação aos Dados do Canal, foi inserido o atributo Comprimento (Comprimento do canal principal, 8,975 km), sendo que os parâmetros *Velocidade*, *Tempo de Trânsito da Onda de Cheia* e o *Coefficiente de Amortecimento* foram estimados automaticamente pelo software.

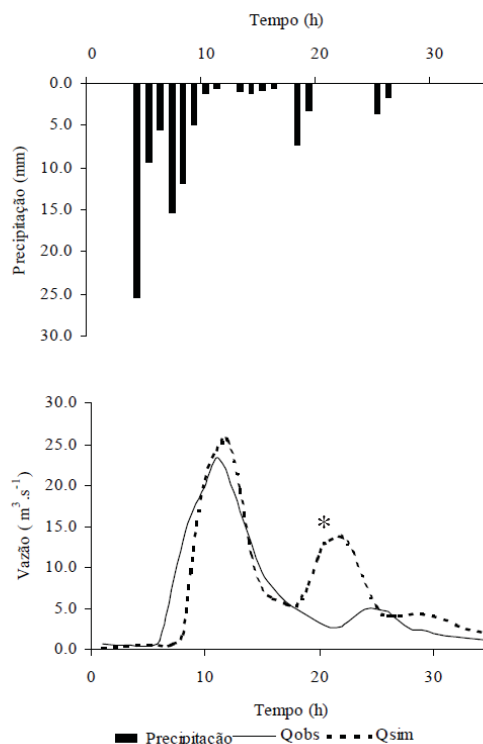
Para a determinação da precipitação foram inseridos os dados pluviográficos obtidos por Ferreira (2004) nos postos pluviográficos D4 – 116 e D4 – 118 localizados na cabeceira da bacia e no terço inferior da mesma, onde foi feita média aritmética dos valores obtidos nesses dois postos e, posteriormente, a compatibilização dos dados de intervalos de 15 em 15 minutos para intervalos horários (60 min). Os dados de chuva obtidos correspondem aos dados de chuvas registrados ao longo de 35 horas (FERREIRA, 2004). Para a presente pesquisa foi considerado o mesmo intervalo de tempo.

**Figura 9** – Ietograma do evento de chuva de 35 horas elaborado através do software ABC 6



A vazão utilizada como base para a comparação dos valores obtidos na simulação foi a vazão máxima observada no posto 4D – 006, monitorado pelo CTH/DAEE na Bacia do Ribeirão dos Marins, seção Monjolinho –Piracicaba – SP, durante os dias 14, 15 e 16 do mês de Janeiro de 1999, conforme apresentada na Figura 10.

**Figura 10** – Vazão máxima observada durante os dias 14, 15 e 16 do mês de Janeiro de 1999



Fonte: Ferreira (2004, p. 152).

(\*) As linhas pontilhadas referem-se à vazão simulada pelo modelo de simulação Topmodel (Ferreira, 2004).

#### 4.5.4 Cálculo da chuva excedente

O cálculo da chuva excedente se deu através do método do Soil Conservation Service, desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos e adaptado para as condições do Estado de São Paulo. O método foi escolhido por se tratar de um bem difundido e extensivamente utilizado em bacias rurais e urbanas (SARTORI, 2004, p. 19). A formulação matemática do método é expressa através das seguintes equações da Equação 4:

$$Q = \frac{(P - 0,2 * S)^2}{(P + 0,8 * S)}, P > 0,2 * S \quad S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4)$$

Onde: **Q** – escoamento superficial direto (mm); **P** – precipitação (mm) e **S** – retenção potencial do solo (mm).

É importante considerar que os valores de P devem ser superiores a (0,2\*S), pois o segundo termo (02\*S) representa as perdas iniciais devidas a interceptação e retenção em depressões, implicando que valores inferiores não implicam em escoamento superficial direto.

Além disso, são levados em consideração os seguintes atributos: umidade antecedente do solo, classificadas nas Condições I, II e III; tipo de solo, classificados nos grupos A, B, C e D; e tipo de ocupação, que pode ser distinguido entre as características da cobertura vegetal e tipos de medidas contra a erosão (curvas de nível e terraceamento). Tais atributos têm por

objetivo a determinação do valor de CN (Curve Number) ou “Número da Curva”, que é uma variável utilizada para a resolução numérica do método em questão.

Para tanto o software ABC 6 apresenta as rotinas de cálculo já embutidas em sua interface, como também exibe tabelas informativas e ícone de ajuda com as distintas características dos atributos mencionados acima, facilitando a consulta do usuário para a determinação do valor de CN (CTH, 2003, p. 71).

Para a simulação, foi atribuída a Condição II de umidade, já que foi considerado o período de Janeiro de 1999 (FERREIRA, 2004, p 62) para a vazão máxima diária observada e este atributo corresponde à condição de solo em períodos chuvosos onde a chuva total nos últimos 5 dias totaliza entre 1mm e 40 mm.

Os solos da região se enquadraram no grupo D, com base em Sartori (2005, p.149), que apresenta uma correlação entre as principais classes gerais de solo do Estado de São Paulo e os grupos hidrológicos do método SCS, com os dados das unidades de solo da bacia do Ribeirão dos Marins (FERREIRA, 2004, p.36,61).

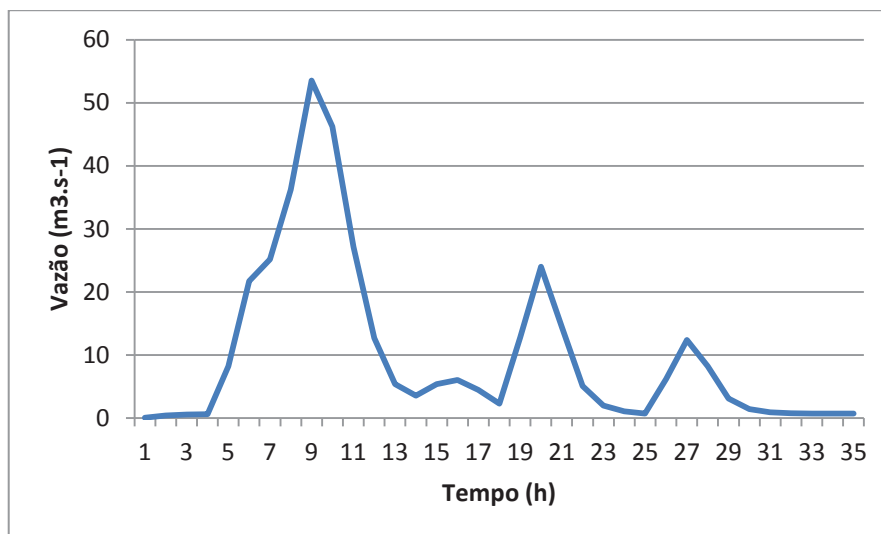
Por fim, com o objetivo de caracterizar de forma mais detalhada os aspectos de uso e ocupação do solo, o software possibilitou subdividir a bacia em três sub-áreas distintas. Para isso, foram utilizados os dados de uso e ocupação obtidos por Ferreira (2004, p. 59). Assim, as classes foram agrupadas de acordo com as semelhanças de cada uma e separadas pelas suas principais diferenças.

As classes *Cana de Açúcar e Pastagem* foram atribuídas à Área 1, correspondendo 75,5% da área total, sendo agrupadas considerando-se os vários estágios de desenvolvimento da cana de açúcar, onde suas características podem se assemelhar à de Pastagens; as Classes *Reflorestamento, Capoeira e Mata Ciliar* corresponderam a 19,9% da área total e foram atribuídas à Área 2, pois foram consideradas semelhantes com relação a interceptação da água de chuva; e as classes *Área Urbana e Solo* corresponderam a 4,4%, sendo atribuídas a Área 3, já que o solo da região possui alta impermeabilidade, permitindo a comparação do escoamento em áreas pavimentadas. Com isso chegou-se ao valor médio de 84 para CN.

#### 4.5.5 Resultados da simulação

Através da utilização dos dados das características físicas da bacia, dados de vazão e dados pluviográficos obtidos por Ferreira (2004), obteve-se o valor de 55,54 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> para a vazão máxima diária através do hidrograma triangular do SCS, onde o pico de vazão ocorreu no tempo igual a 9 horas, conforme apresentada na Figura 11.

**Figura 11** – Hidrograma resultante da simulação através do evento de chuva de 35h, obtido pelo software ABC 6



O valor observado para este evento de chuva foi de aproximadamente  $24 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  sendo atingido em tempo igual a 11h (Figura 10). Assim, o valor de vazão foi superestimado em aproximadamente duas vezes e o tempo de pico adiantado em 2 horas com relação aos valores observados na bacia. Neste sentido, são levantadas as seguintes hipóteses que podem ter levado à superestimação do valor da vazão máxima e do adiantamento do tempo de pico:

- *Determinação do CN médio*
  - Simplificações e generalizações na correlação entre as principais classes gerais de solo do Estado de São Paulo e os grupos hidrológicos do método SCS;
  - Simplificações e generalizações a respeito das classes de uso do solo, já que o método se limitava ao máximo de três sub-áreas e a bacia possuía sete classes.
- *Limitações do modelo de simulação*
  - O fato do software ser um modelo empírico agregado, ou seja, não leva em consideração a variabilidade espacial dos dados.
- *Dados de chuva*
  - A análise realizada por Ferreira (2004) pode estar sujeita a imprecisões e simplificações dos dados pluviográficos coletados, já que para a determinação da precipitação na bacia considerou-se as medidas obtidas em dois pluviógrafos, um localizado próximo a cabeceira e o outro em seu terço inferior;

- Não foram explicitadas as características do evento de chuva utilizado como base, onde não foi determinado se eram chuvas convectivas ou ocasionadas pela chegada de frentes frias, nas quais podem ocorrer diferenças na abrangência espacial das mesmas e, conseqüentemente, influenciar nas medições dos pluviógrafos.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os objetivos da presente pesquisa foram atingidos, já que foi possível realizar a análise comparativa dos softwares de simulação de onda de cheia e corridas de massa, conforme apresentado no Item 4.3 da presente monografia, bem como realizado um exercício de simulação envolvendo ondas de cheia.

Também foi atingido o objetivo associado à capacitação do graduando na aplicação de modelos de simulação através das atividades realizadas ao longo da pesquisa, fato que irá proporcionar uma maior condição de acesso do graduando no mercado de trabalho.

O método utilizado na investigação e o sequenciamento das atividades se mostraram adequados, pois possibilitaram o domínio do método investigativo e da sequencia lógica empregada para a prática e uso de modelos de simulação, que foram obtidos através da execução das seguintes etapas:

- Entendimento dos processos de ondas de cheia e corridas de massa, através do estudo da dinâmica, variáveis e parâmetros que os caracterizam;
- Sistematização do método e das etapas de investigação adotadas para a elaboração de modelos utilizados no processo de simulação;
- Identificação dos softwares mais apropriados para representar esses processos através de critérios objetivos;
- Exercício de simulação utilizando um dos softwares identificados;
- Comparação dos resultados obtidos na simulação com dados observados;
- Análise e interpretação dos resultados apresentados pela simulação.

Com base nos conhecimentos adquiridos, notou-se que para se utilizar um modelo de simulação de forma eficaz é imprescindível compreender a dinâmica, as variáveis, parâmetros e condicionantes do processo em estudo, assim como as premissas de modelagem,

características e limitações do modelo de simulação a ser adotado, que no caso da presente pesquisa foram operacionalizados através de softwares específicos.

Dos 20 softwares identificados, foi escolhido o software ABC 6 para a simulação do processo de onda de cheia, por se tratar de um software gratuito, totalmente funcional e de distribuição livre, desenvolvido tanto para finalidades didáticas como para usos práticos, e empregado em casos onde há escassez de dados.

Na realização da simulação, foram aplicados os conhecimentos teóricos sobre o processo de onda de cheia e de modelos de simulação obtidos nas etapas anteriores da pesquisa. O software ABC 6 apresentou uma interface simples e objetiva, voltada ao usuário final, que facilitou a utilização do mesmo, além de apresentar textos didáticos sobre os modelos utilizados em sua própria interface, fato que facilitou a inserção dos dados de entrada e auxiliou o usuário na adoção dos parâmetros mais adequados para a simulação, com base nas características da área de estudo.

Observou-se que, mesmo em se tratando de um software que é utilizado em casos onde há escassez de dados, foi necessário um número considerável destes, entre eles, dados de características físicas da bacia, dados pluviográficos e dados de vazão observados na área de estudo. O conhecimento dos conceitos e fundamentos dos modelos teóricos e empíricos incorporados no software foi imprescindível para que dados de entrada e parâmetros adotados fossem inseridos de forma correta.

Com relação aos resultados da simulação, o valor de vazão apresentado pelo software superestimou em duas vezes a vazão observada e adiantou o pico de vazão em duas horas.

Foram levantadas hipóteses sobre as causas da discrepância entre a vazão simulada e observada, entendendo-se que podem estar associadas a generalizações, imprecisões e simplificações adotadas para a simulação, tais como:

- a não consideração, pelo software, da variabilidade espacial de algumas variáveis importantes da bacia hidrográfica, como a declividade – que é considerada apenas como “declividade média” - e a tipologia dos solos;
- os critérios de correlação da tipologia dos solos presentes na bacia e as classes definidas pelo SCS; e
- a eventual diferença entre os dados pluviográficos adotados, já que os mesmos corresponderam à média de valores registrados em dois postos distintos, conforme Ferreira (2004).



Recomenda-se que pesquisas futuras promovam a verificação das hipóteses formuladas, bem como realizem novos testes utilizando o ABC6 em outras bacias hidrográficas.

Através da atividade prática de simulação do processo de onda de cheia foi possível concluir que a utilização de modelos de simulação consistiu em um procedimento complexo, no qual, independente da quantidade de dados exigidos, é fundamental que estes sejam adequados ao tipo de software.

Em relação ao processo de corridas de massa, o único software identificado não apresentou versão gratuita ou de demonstração, inviabilizando sua utilização na simulação do processo.

Sendo assim, conclui-se que, apesar das imprecisões apresentadas no processo de simulação realizado no âmbito da presente pesquisa, os modelos de simulação são ferramentas extremamente úteis, pois podem auxiliar no dimensionamento de estruturas hidráulicas, no estudo do comportamento dos processos hidrológicos e hidrodinâmicos em uma bacia hidrográfica e na realização de previsões de cheias, fundamentando de forma precisa o planejamento e a tomada de decisões em diversas modalidades de estudos e projetos na área ambiental.

## REFERÊNCIAS

- ALVARADO, L.A.S. **Simulação bidimensional de corridas de detritos usando o Método de Elementos Discretos**. 2006. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Departamento de Engenharia Civil, Pós-graduação em Geotecnia da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro). Disponível em: < [http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/Busca\\_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=9383@1](http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=9383@1) >. Acesso em: 18 out. 2012.
- AQUAVEO. **SMS Pricing**. [2012]. Disponível em: <<http://www.aquaveo.com/sms-pricing>>. Acesso em: 07 ago. 2012.
- AQUAVEO. **WMS Pricing**. [2012]. Disponível em: <<http://www.aquaveo.com/wms-pricing>>. Acesso em: 07 ago. 2012.
- CASAGRANDE, C. A. **Diagnóstico ambiental e análise temporal da adequabilidade do uso e cobertura do solo na bacia do Ribeirão dos Marins, Piracicaba - SP**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - Ecologia de Agroecossistemas, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/91/91131/tde-09112005-145509/>>. Acesso em: 30 out. 2012.
- CSDMS. Community Surface Dynamic Modelling Systems. **Hydrological Models**. University of Colorado, Boulder. [2012]. Disponível em: < [http://csdms.colorado.edu/wiki/Hydrological\\_Models](http://csdms.colorado.edu/wiki/Hydrological_Models) >. Acesso em: 10 ago. 2012.
- CERRI L. E. S.; REIS F. A. G. V.; GIORDANO L. C. **Diretrizes para a elaboração de Plano de Operação de Barragens de terra de pequenas dimensões**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19. , Maceió - Alagoas, Brasil 2011.
- CHEN, B.; XIA, L. Z.; YANG, Z. F., CHEN, G. Q. Retrospect and prospect of Watershed Hydrological Model. Communications in Nonlinear Science & Numerical Simulation. Vol 6, n. 3, p.172-177, set 2001. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1007570401900012>>. Acesso em: 12 ago. 2012.
- COLLISCHONN, W.; TASSI, R. Introduzindo Hidrologia. Apostila IPH/UFRGS. 2008. Disponível em: <[http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/apostila\\_hidrologia/apostila.html](http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/apostila_hidrologia/apostila.html)>. Acesso em: 23 out. 2012.
- CTH. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica - CAbc. **Software para simulação hidrológica de bacias complexas**. Manual do Usuário. [2003].Disponível em: <[http://www.fcth.br/public/cursos/phd5873/CAbc\\_Manual.pdf](http://www.fcth.br/public/cursos/phd5873/CAbc_Manual.pdf)>. Acesso em: 30 out. 2012.
- EPA. Models, Databases and Tools for Water Resource Protection. [2012]. Disponível em: < <http://www.epa.gov/research/waterscience/water-models-data-tools.htm>>. Acesso em: 08 ago. 2012.
- FEMA. Federal Emergency Management Agency. U.S. Department of Homeland Security. Library. Disponível em: <<http://www.fema.gov/library/>>. Acesso em: 10 ago. 2012.

FERREIRA, L. **Simulação hidrológica utilizando o modelo Topmodel em bacias rurais, Estudo de Caso na Bacia do Ribeirão dos Marins – Seção Monjolinho – SP.** 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola na área de concentração em Água e Solos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004). Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000333050>>. Acesso em: 01 nov. 2012.

FLO-2D. **FLO-2D Pro.** Overview. [2012]. Disponível em:< <http://www.flo-2d.com/flo-2d-pro/>>. Acesso em: 12 out. 2012.

FREITAS FILHO, PAULO J. – **Capítulo 1 - Introdução à modelagem e a simulação de sistemas discretos.** Documento digital. [1997]. Disponível em:<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAet0AL/capitulo-1-modelagem-simulacao-sistemas>>. Acesso em: 05 jul. 2012.

GGSD. Geotechnical & Geoenvironmental Software Directory. [2012]. Disponível em: <<http://www.ggsd.com/>>. Acesso em: 10 ago. 2012.

GMFG. **Titan 2D.** Geophysical Mass Flow Group. 2009. University at Buffalo. Disponível em: <http://www.gmfg.buffalo.edu/software.php>. Acesso em: 17 out. 2012.

GOMES, R.A.T. **Modelagem de Previsão de Movimentos de Massa a Partir da Combinação de Modelos de Escorregamentos e Corridas de Massa.** 2006. (Tese de Doutorado em Geografia - Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação Em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro). 2006. Disponível em: <[http://www.ppgg.igeo.ufrj.br/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=61](http://www.ppgg.igeo.ufrj.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=61)>. Acesso em: 16 out. 2012.

HALCROW. ISIS Price List.[2012] Disponível em: <[http://www.halcrow.com/isis/documents/price\\_lists/isis\\_by\\_halcrow\\_price\\_list\\_2012\\_US.pdf](http://www.halcrow.com/isis/documents/price_lists/isis_by_halcrow_price_list_2012_US.pdf)> Acesso em: 05 set. 2012.

HUANG, B., JIANG ,BIN. AVTOP: A full integration of TOPMODEL into GIS. Environmental Modelling & Software. Vol. 17, n. 3, p. 261-268, set. 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815201000731>>. Acesso em 29 ago. 2012.

INFANTI, N. Jr. e FORNASARI FILHO N.. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Eds.). **Geologia de Engenharia.** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. cap. 9, p.131-152.

LEAL, A. **Dicionário de Termos Ambientais.** Rio de Janeiro: Letras e Magia, 2007. 189 p.

LOPES, E. S. S.; RIEDEL, P. S. **Simulação da corrida de massa do km 42 ocorrido na rodovia Anchieta.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS E TECNOLÓGICOS, 2. (SIBRADEM), Santos SP. Resumos... 2007. p. 38. CD-ROM.

MINISTÉRIO DAS CIDADES / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**. Brasília: Ministério das Cidades, 2007. 176 p. Disponível em: <[http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/PrevencaoErradicao/Livro\\_Mapeamento\\_Enconstas\\_Margens.pdf](http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/PrevencaoErradicao/Livro_Mapeamento_Enconstas_Margens.pdf)>. Acesso em: 17 out. 2012.

OLIVEIRA et al. ABC 6, **Um sistema de suporte a decisões para análise de cheias em bacias complexas**. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 1999, Belo Horizonte. Disponível em: <<http://www.labsid.eng.br/down.aspx?idArq=78>>. Acesso em: 28 out. 2012.

OLIVEIRA, M. **Operadores Booleanos**. [2009] Disponível em: <<http://www.dbd.puc-rio.br/wordpress/?p=116>>. Acesso: em 28 ago. 2012.

PALMIER, L. R. et al. **Modelagem simplificada de onda de cheia proveniente de ruptura hipotética de barragem - Estudo de Caso: Barragem do aproveitamento múltiplo manso, Mato Grosso, Brasil**. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORTE E CENTRO-OESTE, 1. , Cuiabá - Mato Grosso, Brasil 2007.

REIS, F.A.G.V.; CERRI, L.E.S. (Coord.) **Projeto Metodologia para avaliação de áreas sujeitas à ocorrência de ondas de cheia e corridas de massa/detritos: Estudo piloto no duto OSBRA no Estado de São Paulo**. [Rio Claro]: UNESP; PETROBRAS, 2012. (Relatório de Pesquisa, 1).

ROSMAN, P. C. C. Um Sistema Computacional de Hidrodinâmica Ambiental. In: SILVA, R. C. V. (Comp.). **Métodos Numéricos em Recursos Hídricos**, 5. Rio de Janeiro: ABRH, 2001. Cap. 1, p. 1-161.

SARTORI, A. **Avaliação da Classificação Hidrológica do Solo para a Determinação do Excesso de Chuva do Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, na área de concentração de Recursos Hídricos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005). Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000321398&fd=y>>. Acesso em: 31 out. 2012.

SILVA, A.P.M. **Elaboração de Manchas de Inundação para o Município de Itajubá, Utilizando Sig**. 2006. (Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia – Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais). Disponível em: <[http://www.professoralexandre.unifei.edu.br/Mestrado/Ana\\_moni.pdf](http://www.professoralexandre.unifei.edu.br/Mestrado/Ana_moni.pdf)>. Acesso em: 11 out. 2012.

SILVEIRA, G. M. da. **Análise de sensibilidade de hidrogramas de projeto aos parâmetros de sua definição indireta**. 2010. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Hidráulica - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo). Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-17082010-125920/>>. Acesso em: 23 out. 2012.

SOUSA, M. M. de. **Comparação entre ferramentas de modelagem unidimensional e quasi-bidimensional, permanente e não-permanente, em planejamento e projetos de engenharia hidráulica.** 2010. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro). Disponível em: <  
[http://fenix3.ufrj.br/60/teses/coppe\\_m/MatheusMartinsDeSousa.pdf](http://fenix3.ufrj.br/60/teses/coppe_m/MatheusMartinsDeSousa.pdf)>. Acesso: 13 ago. 2012.

SUI, D.Z., MAGGIO, R.C. **Integrating GIS with hydrological modeling: practices, problems, and prospects. Computers, Environment and Urban Systems.** n. 23, p. 33-59, jan. 1999. Disponível em: <  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0198971598000520>>. Acesso em: 29 ago. 2012.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M. de; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (Orgs.) **Decifrando a Terra.** São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 568 p.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos.** 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005. 678 p.

TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** 4.ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. 939 p.

USGS. U.S. Geologic Survey. [2012]. Disponível em: <<http://www.usgs.gov>>. Acesso em: 19 set. 2012.

## APÊNDICE A

Quadro contendo os softwares identificados para a simulação dos processos de  
Onda de cheia e Corridas de Massa

Nome do Software	Comercialização / Distribuição	Tipo de Simulação	Objetivos e Aplicações	Módulos e Tipos de Soluções Numéricas	Tipo de Licença
<p><b>ISIS Professional®</b></p>	<p>Halcrow (<a href="mailto:isis@halcrow.com">isis@halcrow.com</a>) / <a href="http://www.halcrow.com/isis/">www.halcrow.com/isis/</a></p>	<p>Trata-se de um simulador completo, unidimensional (1D) hidrodinâmico para a modelagem de fluxo e nível d'água em canais abertos e estuários.</p> <p>O software é elaborado em um sistema aberto que possibilita alterações nos dados do modelo e a integração de módulos customizados. Nele podem ser utilizados uma grande variedade de métodos Chuva-Vazão, como também o uso de modelos hidrológicos conceituais.</p> <p>Compreende a modelagem de escoamentos em rios com alta declividade até estuários influenciados por correntes marítimas. Os Solvers (Mecanismos de Solução Matemática) de fluxo contínuo e de fluxo variado possibilitam a simulação dos regimes supercrítico, subcrítico e transicional, apresentando rotinas de cálculo do Método Muskingum-Cunge e a simulação de diversas estruturas hidráulicas como comportas, bombas e estruturas abstratas. (HALCROW, ISIS Professional, 2012)</p>	<p>O software permite aos usuários a realização de simulações de forma rápida e precisa dos principais elementos de cursos d'água e canais, proporcionando aos tomadores de decisão fazer escolhas baseadas em informações precisas. Entre suas principais aplicações estão:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Previsão de enchentes</li> <li>• Projetos de medidas mitigadoras estruturais para a prevenção de enchentes.</li> <li>• Mapeamento de risco de enchentes.</li> <li>• Avaliação de risco de enchentes</li> <li>• Planejamento de gestão de bacias hidrográficas</li> </ul> <p>(HALCROW, Isis Professional 1D and Channel Modelling, 2012)</p>	<p><b>Mecanismos de Solução do Estado Estacionário</b></p> <p>O solver proporciona tanto os métodos “<i>direct steady-state</i>” e “<i>Pseudo-Timestepping</i>” de otimização de tempo e de estabilidade da modelagem.</p> <p>O principal método de solução do estado estacionário é o Método Direto e possui aplicação em escoamentos no próprio canal. Trata-se de um método rápido de precisão que requer poucos dados de entrada. Permite a simulação de saltos hidráulicos e do regime superficial apresentando alta precisão. Compreende uma ampla gama de estruturas hidráulicas, pode modelar canais anelados e escoamento transcrítico em rios com alta declividade.</p> <p><b>Mecanismos de Solução do Estado Variado</b></p> <p>O solver emprega o Esquema Implícito de da caixa de quatro pontos de Preissman para solucionar as equações de escoamento em condutos livres, baseadas nas equações de St. Venant para canais abertos, que são utilizadas em conjunto com as equações que representam cada unidade ou estrutura hidráulica. Essa equações são uma combinação de equações empíricas e teóricas, muitas delas não-lineares. Primeiramente as equações são linearizadas, apresentando a solução linear do problema. Para a realização de simulações instáveis é necessária a estimativa das condições iniciais (fluxo e etapa de cálculo) em cada nó do modelo. Isto é feito considerando-se o regime em estado estacionário no início da simulação. A interface e as rotinas do software se justam ao uso dos parâmetros da simulação e para facilitar o uso dos mesmos.</p> <p><b>Estruturas Hidráulicas</b></p> <p>Um ponto forte do software é a capacidade de modelar uma grande variedade de estruturas hidráulicas como pontes, eclusas, buetros, bombas e barragens. Sempre que possível são incorporadas equações padrões, de forma que as relações entre descarga e o nível d'água sejam possíveis de serem executadas pelo software. Para estruturas automatizadas (eclusas e bombas), o software permite a incorporação de regras lógicas.(HALCROW, ISIS Professional Solvers, 2012)</p>	<p><b>Pago.</b></p> <p><b>Licença para um único Usuário:</b></p> <p>A partir de \$ 7.680,00</p> <p><b>Uso Corporativo:</b></p> <p>A partir de \$ 8.448,00.</p> <p>Valores levantados no mês de Outubro de 2012.</p> <p><b>Licença especial para uso Acadêmico:</b></p> <p>Não.</p> <p><b>Versão de Demonstração:</b></p> <p>ISIS Free***</p>

Nome do Software	Comercialização / Distribuição	Tipo de Simulação	Objetivos e Aplicações	Módulos e Tipos de Soluções Numéricas	Tipo de Licença
<p>ISIS 2D®</p>	<p>Halcrow (isis@halcrow.com) / www.halcrow.com/isis/</p>	<p>Apresenta um mecanismo hidrodinâmico computacional completo elaborado para trabalhar de forma autónoma ou associado ao software ISIS Professional, possibilitando a interação dinâmica entre modelos unidimensionais (1D) e Bidimensionais (2D). Em seu núcleo de processamento existem três métodos numéricos integrados de resolução, os quais são utilizados em diversos projetos e estudos na área de hidráulica e meio ambiente, como por exemplo rompimento de barragens e enchentes urbanas. (HALCROW, Isis 2D, 2012)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rompimento de barragens</li> <li>• Estabilidade de aterros</li> <li>• Águas superficiais e enchentes urbanas</li> <li>• Escocamento em estuários e em regiões costeiras</li> <li>• Aviso de enchentes</li> <li>• Avaliação local e a nível de bacia hidrográfica. (HALCROW, Isis 2D, 2012)</li> </ul>	<p><b>Alternating Direction Implicit (ADI)</b> Desenvolvido para a modelagem de cursos d'água, escoamento superficial, escoamento em estuários e em regiões costeiras, onde as mudanças no escoamento são lentas. Trata-se de uma método rápido, preciso e robusto.</p> <p><b>Total Variation Diminishing (TVD)</b> O método tem como objetivo auxiliar no cálculo de estruturas e fenômenos hidráulicos complexos, apresentado resultados precisos. Sua principal aplicação se dá na análise de rompimento de barragens. O Solver foi especialmente desenvolvido para representar alterações rápidas no perfil da superfície d'água.</p> <p><b>FAST</b> O mecanismo de solução apresenta resultados mais de 1000 vezes mais rápidos que os solvers de escoamento bidimensional tradicionais, permitindo o teste de diferentes cenários e probabilidades. (HALCROW, Isis 2D Solvers,2012)</p>	<p><b>Pago.</b> <b>Licença para um único Usuário:</b> A partir de \$ 7.680,00* <b>Uso Corporativo:</b> A partir de \$ 8.448,00* *Valores levantados no mês de Outubro de 2012. <b>Licença especial para uso Académico:</b> Não <b>Versão de Demonstração:</b> ISIS Free***</p>



Nome do Software	Comercialização / Distribuição	Tipo de Simulação	Objetivos e Aplicações	Módulos e Tipos de Soluções Numéricas	Tipo de Licença
ISIS FAST®	Halcrow (isis@halcrow.com) / www.halcrow.com/isis/	<p>O software possibilita estimar a extensão e a profundidade de eventos de cheia, ocasionadas pelo movimento das marés, ressacas, galgamento fluvial ou rompimento de estruturas de defesa, águas superficiais e inundações em redes de esgoto. Por realizar cálculos da profundidade d'água de forma rápida, permite aos modeladores explorar as incertezas presentes nos cálculos, como também verificar as relações e interações entre causas de enchente e a magnitude do evento de cheia. (HALCROW, ISIS FAST, 2012)</p>	<p>O objetivo principal do software é apresentar resultados rápidos para a avaliação de enchentes. Entre as principais aplicações estão: a elaboração de mapas de enchente e de avaliação de riscos a nível local, regional e nacional; análise em tempo real de enchentes ao se utilizar modelos de previsão de chuvas; avaliação de medidas mitigadoras de proteção da população, de bens/propriedades e obras de infraestrutura.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduz o custo de modelagens detalhadas ao identificar “hot spots” de risco de enchentes onde é necessária uma análise mais detalhada.</li> <li>• Pode ser utilizado em análises probabilísticas</li> <li>• Interface com os outros softwares da série ISIS. (HALCROW, ISIS FAST, 2012)</li> </ul>	<p><b>FAST</b></p> <p>O mecanismo de solução apresenta resultados 1000 vezes mais rápidos que os mecanismos de solução de escoamento bidimensional tradicionais, permitindo o teste de diferentes cenários e probabilidades. (HALCROW, ISIS FAST, 2012)</p>	<p><b>Pago.</b></p> <p><b>Licença para um único Usuário:</b> A partir de \$ 7.680,00*</p> <p><b>Uso Corporativo:</b> A partir de \$ 8.448,00*</p> <p>*Valores levantados no mês de Outubro de 2012.</p> <p><b>Licença especial para uso Acadêmico:</b> Não</p> <p><b>Versão de Demonstração:</b> ISIS Free***</p>

Nome do Software	Comercialização / Distribuição	Tipo de Simulação	Objetivos e Aplicações	Módulos e Tipos de Soluções Numéricas	Tipo de Licença
<p>ISIS Mapper®</p>	<p>Halcrow (isis@halcrow.com) / www.halcrow.com/isis/</p>	<p>Trata-se de uma ferramenta de visualização e análise de dados espaciais. Foi projetada para ser compatível com os modelos de dados dos softwares ISIS, TUFLOW, entre outros softwares da categoria de SIG's. Permite a visualização em duas ou três dimensões para proporcionar o resultado que melhor se adequa ao objetivo do projeto. Mapas digitalizados e fotografias aéreas podem ser visualizadas em duas dimensões ou associadas a grids de superfície para uma visão tridimensional. (HALCROW, ISIS Mapper, 2012)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção de mapas e seqüências animadas de inundação</li> <li>• Extração de informações de "spatial datasets" para a elaboração de modelos de simulação.</li> <li>• Exportação dos resultados de mapas de inundação para o formato Google Earth que permite compartilhar a visualização dos dados obtidos. (HALCROW, ISIS Mapper, 2012)</li> </ul>	<p><b>Visualização:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grids – Binary Interchange grids (FLT), grids ASCII e grids ESRI</li> <li>• Vetores - ESRI Shapefiles, CSV point data and ISIS Mapper native triangular network</li> <li>• Imagens - TIFF / GeoTIFF and JPEG</li> <li>• Resultados das modelagens dos softwares ISIS, ISIS 2D e TUFLOWView ISIS, ISIS 2D and TUFLOW</li> </ul> <p><b>Exportação:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Exporta mapas de inundação como:</li> <li>• Shapefile</li> <li>• Grid</li> <li>• Formato Google Earth (KML). (HALCROW, ISIS Mapper, 2012)</li> </ul>	<p><b>Incluso nas Licenças do ISIS Profissional e ISIS 2D</b></p>

Nome do Software	Comercialização / Distribuição	Tipo de Simulação	Objetivos e Aplicações	Módulos e Tipos de Soluções Numéricas	Tipo de Licença
<p>ISIS Free<sup>®</sup>**</p>	<p>Halcrow (isis@halcrow.com) / www.halcrow.com/isis/</p>	<p>O software possibilita a modelagem 1D e 2D e possui as mesmas funcionalidades do ISIS Professional, ISIS 2D e ISIS FAST. É ideal para a modelagem de corpos d'água de dimensões reduzidas, já que apresenta as seguintes restrições: Máximo de 250 nós unidimensionais; Máximo de 2500 células bidimensionais ou Modelos Digitais de Elevação de com grids 2500 células. (HALCROW, ISIS Free, 2012)</p>	<p>Compreende os Objetivos dos softwares ISIS Professional, ISIS 2D e ISIS FAST.</p>	<p>Contém os módulos dos demais softwares mas não permite a conexão entre modelos 1D-2D. Não Contém o 2D TVD Solver e 2D FAST Solver. (HALCROW, ISIS Free, 2012)</p>	<p><b>Gratuito</b> Disponível para download na página da internet do desenvolvedor</p>

Nome do Software	Comercialização / Distribuição	Tipo de Simulação	Objetivos e Aplicações	Módulos e Tipos de Soluções Numéricas	Tipo de Licença
Infoworks RS®	<p>Innovize (pmacedo@vstech.com.br) / http://www.vstech.com.br/ (representante no Brasil)</p>	<p>O software contempla soluções completas para a modelagem de canais abertos, planícies de inundação, diques e estruturas hidráulicas. Realiza a simulação de chuva-vazão através de modelos hidrológicos conceituais como também métodos baseados em eventos. Apresenta diversos modos de visualização interativos como visualização geográfica plana, de seção transversal e longitudinal, planilhas e dados de variação temporal em forma de gráficos. Combina o sistema avançado de simulação de fluxo/escoamento do software ISIS, a análise geográfica e banco de dados relacional em um único ambiente, possibilitando a modelagem de dados obtidos através de pesquisa de campo e uso de séries temporais com bom detalhamento e precisão. (INNOVIZE, InfoWorks RS, 2012)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planejamento e Gestão de Áreas inundáveis</li> <li>• Estudo de escoamento em regimes de seca</li> <li>• Avaliação de qualidade da água</li> <li>• Avaliação e controle de processos de sedimentação</li> <li>• Gestão de recursos hídricos</li> <li>• Plataforma de desenvolvimento de Sistemas de Previsão de Enchentes. (INNOVIZE, InfoWorks RS, 2012)</li> </ul>	<p>Incorpora métodos de chuva-vazão, estudos de comportamento do escoamento, estado estacionário e hidrodinâmicos completos em um único ambiente de simulação.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resolve as equações de St. Venant utilizando o esquema de Preissman de 4 pontos, que apresenta estabilidade em várias condições de escoamento.</li> <li>• Apresenta suporte para a modelagem de estruturas hidráulicas tais como barragens, eclusas, pontes, bombas e bueiros, sem a necessidade da utilização de tabelas de nível de escoamento. Também simula a operação de estruturas complexas utilizando regras lógicas.</li> <li>• Realiza a simulação de escoamentos com altos valores para o Número de Froude, tanto utilizando mecanismos de resolução do estado estacionário como do estado variado.</li> <li>• Através de variadas técnicas de modelagem, permite a simulação de planícies de inundação complexas, incluindo áreas protegidas por barragens ou diques.</li> <li>• Realiza a simulação de sistemas dendríticos, ramificados e altamente anelados (INNOVIZE, InfoWorks RS, Simulation Engine, 2012).</li> </ul>	<p><b>Pago.</b> Exige Consulta com Revendedor</p> <p><b>Licença especial para uso Acadêmico:</b> Exige Consulta com Revendedor</p> <p><b>Versão de Demonstração</b> Exige Consulta com Revendedor</p>

Nome do Software	Comercialização / Distribuição	Tipo de Simulação	Objetivos e Aplicações	Módulos e Tipos de Soluções Numéricas	Tipo de Licença
FloodWorks®	<p>Innovize (pmacedo@vstech.com.br) / <a href="http://www.vstech.com.br/">http://www.vstech.com.br/</a> (representante no Brasil)</p>	<p>Trata-se de software que contém uma série de módulos que permitem a simulação em tempo real e a previsão de condições hidráulicas e hidrológicas extremas em bacias hidrográficas, sistemas de drenagem e áreas costeiras. É utilizado para o uso operacional em salas de controle e monitoramento.</p> <p>O software relaciona séries hidrológicas e meteorológicas em tempo real com modelos hidrológicos e hidráulicos detalhados e precisos para prever nível d'água, profundidade da inundação e as condições marítimas para as próximas horas ou dias. (INNOVIZE, FloodWorks RS, 2012)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Previsão e alerta de enchentes</li> <li>• Operação de reservatórios, barragens, entre outras estruturas</li> <li>• Previsão e alerta de secas</li> <li>• Previsão e alerta de qualidade da água. (INNOVIZE, FloodWorks RS, 2012)</li> </ul>	<p>Informações detalhadas na seção de Módulos do software, presente no site do desenvolvedor (em inglês): FloodWorks – Módulos: <a href="http://www.innovize.com/products/floodworks/modules.aspx">http://www.innovize.com/products/floodworks/modules.aspx</a></p>	<p><b>Pago.</b> Exige Consulta com Revendedor</p> <p><b>Licença especial para uso Acadêmico:</b> Exige Consulta com Revendedor</p> <p><b>Versão de Demonstração</b> Exige Consulta com Revendedor</p>

Nome do Software	Comercialização / Distribuição	Tipo de Simulação	Objetivos e Aplicações	Módulos e Tipos de Soluções Numéricas	Tipo de Licença
<p>MIKE 11®</p>	<p>DHI (mikebydhi.br@dhiagro.com) / www.mikebydhi.com</p>	<p>O software proporciona uma gama de métodos computacionais para análise de escoamentos nos estados estacionário e variado, em canais ramificados ou anelados e planícies de inundação. Aplica-se a escoamentos em rios com alta declividade a estuários estreitos influenciados pelas marés, e descreve os regimes subcríticos e supercríticos localmente. Contém avançadas formulações para a simulação do escoamento em diversas estruturas hidráulicas padrão como também para estruturas complexas. (DHI, Mike 11, Flooding and Hydraulics, 2012)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análise de inundações e estudo de medidas mitigadoras</li> <li>• Previsão de inundações em tempo real</li> <li>• Análise de rompimento de barragens</li> <li>• Otimização de operação em reservatórios e comportas</li> <li>• Análise ecológica e de qualidade da água em rios e regiões pantanosas</li> <li>• Estudos de transporte de sedimentos e de morfologia em rios</li> <li>• Estudos de intrusão salina em rios e estuários</li> <li>• Restauração de regiões pantanosas (DHI, Rivers and Reservoirs, 2012)</li> </ul>	<p><b>Módulos utilizados pelo software</b></p> <p><b>NAM</b> Trata-se de um modelo agrupado, conceitual que simula escoamento superficial, escoamento intermediário e escoamento de base com função de armazenamento de água em quatro diferentes compartimentos inter-relacionados representando a capacidade de armazenamento da bacia. Também considera atividades antrópicas no ciclo hidrológico como irrigação e bombeamento de água subterrânea.</p> <p><b>UHM</b> o módulo simula o escoamento superficial de um único evento de chuva baseado na técnica do hidrograma unitário. Trata-se de uma ferramenta útil em áreas onde não há registros de vazão ou onde o uso da técnica do hidrograma unitário já é comprovada</p> <p><b>SMAP</b> Modelo de quantificação mensal de umidade do solo que é especificamente útil quando dados mensais estão disponíveis.</p> <p><b>URBAN</b> Métodos de escoamento superficial especialmente desenvolvido para ambientes urbanos (pode-se escolher entre a abordagem tempo / área ou onda cinemática)</p> <p><b>FEH</b> modelo de escoamento superficial em bacias hidrográficas baseado no UK Flood Estimation Handbook, desenvolvido pelo Centre for Ecology and Hydrology (CEH), Wallingford.</p> <p><b>DRIFT</b> Modelo semi-distribuído de chuva-vazão, com abordagem geomorfológica. (DHI, Mike 11, Hydrology, 2012)</p>	<p><b>Pago.</b> Exige Consulta com Revendedor</p> <p><b>Licença especial para uso Acadêmico:</b> Exige Consulta com Revendedor</p> <p><b>Versão de Demonstração</b> Exige Consulta com Revendedor</p>

Nome do Software	Comercialização / Distribuição	Tipo de Simulação	Objetivos e Aplicações	Módulos e Tipos de Soluções Numéricas	Tipo de Licença
MIKE SHE®	DHI (mikebydhi.br@dhiagro.com) www.mikebydhi.com	<p>O software apresenta modelagem completa e integrada de águas subterrâneas, superficiais, recarga e evapotranspiração levando em consideração todas as características e processo hidrológicos fundamentais que ocorrem em uma bacia hidrográfica. Também é possível investigar os processos hidrológicos individualmente e com maior grau de detalhamento, selecionando os aspectos mais relevantes à pesquisa científica. (DHI, Mike SHE – Integrated catchment modelling, 2012)</p> <p>O software MIKSHE é utilizado em conjunto com o MIKE 11 quando a avaliação de processos em bacias hidrográficas como inundações, água edáfica (umidade do solo) e água subterrânea possuem maior complexidade e possam ser modelados de diferentes formas. O uso conjunto entre esses dois softwares permite avaliações integradas entre o rio e sua planície de inundação e as variações de infiltração e exfiltração e trocas dinâmicas entre rios e aquíferos. (DHI, Mike 11, Flooding and Hydraulics, 2012)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaliação integrada de processos hidrológicos em uma bacia hidrográfica</li> <li>• Abordagem integrada entre águas superficiais e subterrâneas</li> <li>• Restauração e manejo de regiões pantanosas</li> <li>• Análise de vazões de restrição (Environmental River Flows)</li> <li>• Manejo de planícies de inundação</li> <li>• Inundação subsuperficial induzida</li> <li>• Uso da terra e mudanças climáticas</li> <li>• Transporte e destino de nutrientes</li> <li>• Manejo de técnicas de irrigação e secas</li> <li>• Remediação de águas subterrâneas</li> </ul> <p>(DHI, Mike SHE – Integrated catchment modelling, 2012)</p>	<p>Não foi possível obter as informações detalhadas sobre os módulos e tipos de soluções numéricas.</p>	<p><b>Pago.</b> Exige Consulta com Revendedor</p> <p><b>Licença especial para uso Acadêmico:</b> Exige Consulta com Revendedor</p> <p><b>Versão de Demonstração</b> Exige Consulta com Revendedor</p>

Nome do Software	Comercialização / Distribuição	Tipo de Simulação	Objetivos e Aplicações	Módulos e Tipos de Soluções Numéricas	Tipo de Licença
MIKE FLOOD®	DHI (mikebydhi.br@dhigroup.com) www.mikebydhi.com	O software apresenta ferramentas completas para a modelagem de enchentes, possui uma vasta seleção de simuladores unidimensionais (1D) e bidimensionais (2D) permitindo a modelagem de corpos d'água, planícies de inundação, enchentes nas ruas, sistemas de drenagem urbana, áreas costeiras, rompimento de diques e barragens avaliados de forma independente ou em conjunto.(DHI, Mike FLOOD, Urban, coastal and riverine flooding, 2012)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaliação expedita de potencial de inundação</li> <li>• Mapeamento de risco e perigo de inundações</li> <li>• Análise de risco de enchentes em áreas industriais, residenciais ou áreas de patrimônio cultural</li> <li>• Planejamento de planos de contingência de enchentes, como por exemplo planos de rotas de evacuação e de ações prioritárias</li> <li>• Avaliação de impactos devido à mudanças climáticas</li> <li>• Estudo de possibilidade de falha em estruturas de defesa contra enchentes</li> <li>• Modelagem integrada de drenagem urbana, fluvial e costeira. (DHI, Mike FLOOD, Urban, coastal and riverine flooding, 2012)</li> </ul>	Não foi possível obter as informações detalhadas sobre os módulos e tipos de soluções numéricas.	<p><b>Pago.</b> Exige Consulta com Revendedor</p> <p><b>Licença especial para uso Acadêmico:</b> Exige Consulta com Revendedor</p> <p><b>Versão de Demonstração</b> Exige Consulta com Revendedor</p>



Nome do Software	Comercialização / Distribuição	Tipo de Simulação	Objetivos e Aplicações	Módulos e Tipos de Soluções Numéricas	Tipo de Licença
SOBEK Suite®	<p>Deltares Systems (sales@deltaresystems.nl) http://www.deltaresystems.com</p>	<p>O pacote de SOBEK Suite contém softwares que simulam escoamentos complexos e processos relacionados à recursos hídricos/ água praticamente em qualquer sistema. Os softwares/ módulos representam fenômenos e processos físicos de uma forma precisa tanto em sistemas de redes unidimensionais (1D) e em sistemas de grids bidimensionais (2D). É uma ótima ferramenta para se estudar os efeitos de rompimento de barragens, enchentes fluviais, rompimento de diques (brechas, violações rompimento), enchentes urbanas. (DELTARES SYSTEMS, SOBEK Suite, 2012)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Previsão de enchentes/ cheias/ inundação</li> <li>• Otimização de sistemas de drenagem</li> <li>• Controle de sistemas de irrigação</li> <li>• Design de refluxo na rede de esgoto</li> <li>• Análise morfológica fluvial</li> <li>• Intrusão salina e qualidade da água superficiais. (DELTARES SYSTEMS, SOBEK Suite, 2012)</li> </ul>	<p>Módulos presentes no SOBEK Suite:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• D-Flow 1D Open Water</li> <li>• D-Flow 1D Pipes</li> <li>• D-Flow 2D Overland</li> <li>• D-Rainfall Runoff Open Water</li> <li>• D-Real Time Control.</li> <li>• D-Water Quality 1D</li> </ul>	<p><b>Pago.</b> Exige Consulta com Revendedor <b>Licença especial para uso Acadêmico:</b> Exige Consulta com Revendedor <b>Versão de Demonstração</b> Exige Consulta com Revendedor</p>

**D-Flow 1D Open Water**

Resolução completa das equações de Saint Venant, incluindo o fenômeno de escoamento transiente e perfis de represamento. Pode modelar qualquer seção transversal (aberta e fechada), incluindo perfis assimétricos e perfis y-z. Permite definir diferentes subseções entre uma seção transversal, utilizando formulações alternativas de resistência e/ou coeficientes em cada subseção. O mecanismo de simulação hidrodinâmica 1D/2D tem um procedimento automático para modelar mudanças abruptas entre ambientes secos e úmidos, apresentando 100% de conservação de massa. O mecanismo também pode trabalhar em canais íngremes com escoamento supercrítico e as saltos hidráulicos móveis são simulados tão facilmente como em canais de baixa declividade e escoamento subcrítico. Simula redes complexas de qualquer tamanho, com anéis internos e ramificações. São suportados vários tipos de estruturas hidráulicas (bombas, barragens, represas, eclusas e pontes de diversas dimensões). Também leva em consideração camadas de solo depositadas que possam estar bloqueando bueiros e pontes, e apresenta várias opções para o controle de estruturas automáticas como controle de tempo, controle hidráulico e PID tanto com set-points variados ou fixos. . (DELTARES SYSTEMS. SOBEK Suite, D-Flow 1D Open Water, 2012)

**D-Flow 1D Pipes**

O software é especialmente elaborado para trabalhar com redes de esgoto extensas e complexas em um computador comum, onde o tempo computacional é linear apenas com a extensão da rede e independente de sua complexidade. (DELTARES SYSTEMS. SOBEK Suite, D-Flow 1D Pipes, 2012)

**D-Flow 2D Overland**

Sua principal finalidade é a simulação de sistemas fluviais, polderes (regiões mais baixas entre diques), rompimentos de diques e barragens, ruas, etc. Baseia-se nas Equações Completas de Saint Venant. O mecanismo de simulação 1D/ 2D simula características das margens de um cone aluvial e processos abruptos de secagem e humificação, escoamento subcrítico e supercrítico. Também trabalha com múltiplos domínios e multi-dominínios acoplados, incluindo precipitações em grids 2D. (DELTARES SYSTEMS. SOBEK Suite, D-Flow 2D Overland, 2012)

**D-Rainfall Runoff Open Water**

O software contém uma biblioteca de modelos Chuva-Vazão bastante abrangente, como por exemplo HBV e SCS. As bacias podem ser modeladas em qualquer nível de detalhe utilizando curvas de nível, características do solo, tipo de cultivo, características de drenagem, etc. Distingue entre diversos processos de precipitação e escoamento como escoamento superficial, drenagem subterrânea e armazenamento em regiões saturadas e insaturadas, levando em consideração evapotranspiração e capilaridade. Utiliza eventos de chuva isolados ou longas séries de dados meteorológicos para análise estatística. Permite que o usuário introduza seus próprios padrões de precipitação ou dados históricos; também é possível modelar os dados de um grande número de estações pluviométricas levando em consideração a variação espacial. Pode modelar tanto eventos de cheia como períodos de seca. (DELTARES SYSTEMS. SOBEK Suite, D-Rainfall Runoff Open Water, 2012)

**D-Water Quality 1D**

Utilizado para modelar a variação da qualidade da água e processos relacionados. (DELTARES SYSTEMS. SOBEK Suite, D-Water Quality 1D, 2012)

**D-Real Time Control.**

Sua finalidade é a otimização, controle e operação de estruturas hidráulicas em tempo real. (DELTARES SYSTEMS. SOBEK Suite, D-Real Time Control, 2012)

Nome do Software	Comercialização / Distribuição	Tipo de Simulação	Objetivos e Aplicações	Módulos e Tipos de Soluções Numéricas	Tipo de Licença
SMS®	<p>Aquaveo (sales@aquaveo.com)/ http://www.aquaveo.com</p>	<p>O software é composto por diversos módulos, os quais proporcionam as modelagens de interesse. Nele os modelos são representado através elementos comuns SIG's : pontos, arcos e polígonos. Trabalha com modelos de grande dimensões e alta complexidade utilizando a abordagem de modelos conceituais e permitindo atualização e mudanças houver necessidade.</p> <p>Possui ferramentas para a elaboração de malhas e <i>grids</i>, e alta versatilidade para a importação de arquivos de diversos extensões. (Imagens Raster georeferenciadas, mapas topográficos e fotos aéreas, Arquivos Geodatabase e Shapefiles do software ArcGis, arquivos CAD nas extensões .dwg, .dgn e .dxf, projeções cartesianas e geográficas e ferramenta de suporte para importação de planilhas e textos tabulados)(ACQUAVEO, SMS, Introduction, 2012)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análise Fluvial</li> <li>• Transporte de contaminantes</li> <li>• Transporte de sedimentos</li> <li>• Rastreamento de partículas</li> <li>• Enchentes/inundações/cheias urbanas e rurais</li> <li>• Estuários</li> <li>• Circulação costeira</li> <li>• Modelagem de Enseadas e movimentos das marés.</li> </ul> <p>(ACQUAVEO, SMS, Introduction, 2012)</p>	<p>Módulos presentes no software SMS:</p> <p>ADH RiverFLO-2D RMA2 RMA4 FESWMS TUFLOW TUFLOW AD TUFLOW Multiple Domains HYDRO AS-2D PTM (ACQUAVEO, SMS, Introduction, 2012)</p>	<p><b>Pago.</b> De US\$1.000,00 a US\$6.950,00 dependendo do número de módulos e ferramentas adicionadas. Valores levantados no mês de Outubro de 2012.</p> <p><b>Licença especial para uso Acadêmico:</b> Sim. 50% de desconto na aquisição da licença e 25% de desconto em treinamentos. Permite a instalação em vários computadores.</p> <p><b>Versão de Demonstração</b> Disponível para download no site. Não permite salvar os arquivos.</p>

**ADH**

Trata-se de uma aplicação estado da arte em modelagem de hidráulica. Utiliza malhas numéricas adaptativas que podem ser empregadas para aprimorar a precisão do modelo sem sacrificar a eficiência. Também permite a rápida convergência de soluções de escoamentos para o estado estacionários. Contém soluções para secagem e humificação, transporte de sedimentos, e a avaliação de efeitos ocasionados pelo vento. Uma série de bibliotecas modulares possibilita incluir movimentações de embarcações, descrição de arito, entre outros.

**RiverFLO-2D**

Trata-se de um modelo hidráulico bidimensional e de leito móvel para rios. Oferece cálculo estável e rápido de elementos finitos, levando em consideração os escoamentos subcríticos e supercríticos utilizando malhas de elementos triangulares. Possui alta performance ao realizar simulações bidimensionais de perfis de ondas de cheia em condições de leito seco e molhado e mecanismo computacional paralelo para agilizar o processo de simulação.

**RMA2**

Trata-se de uma modelo hidrodinâmico que suporta a análise de escoamento subcrítico, incluindo “wetting and drying” e modelos em meios porosos. Faz parte do pacote de Analise TABS, escrito pelo U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station (USACE-WES). Os métodos de análise utilizados e os parâmetros de entrada são descritos em documentação própria. O SMS suporta o pré e pós processamento do RMA2.

**RMA4**

O RMA 4 é parte da série TABS MD e é utilizado para rastrear constituintes presentes no escoamento em modelos bidimensionais (2D). Pode ser aplicado para representar o transporte de contaminantes e intrusão salina no sistema. Só pode ser rodado tendo sido iniciada uma solução hidrodinâmica. Atualmente, o SMS só trabalha em conjunto com o RMA4 utilizando o arquivo de solução gerado pelo RMA2.

**FESWMS**

Trata-se de uma modelo hidrodinâmico que permite a análise de escoamento supercríticos e subcríticos, incluindo wetting and drying. É utilizado especificamente para regiões que envolvem estruturas de controle de escoamento, como as encontradas em interseções de rodovias e hidrovias.

**TUFLOW**

O SMS em conjunto com o TUFLOW são utilizados para simular enchentes/ cheias/ inundações em rios de maiores proporções em planícies de inundação complexas e em áreas urbanas que contenham encanamentos, análise hidráulica de estuários e áreas costeiras e inundações por conta do avanço das marés.

**O TUFLOW AD**

Trata-se de um modulo que simula a profundidade média, uni e bidimensional do transporte e destino de constituintes e particulados. É utilizado especificamente na análise de sistemas em águas costeiras, estuários, rios, planícies de inundação e área urbanas.

**TUFLOW Multiple Domains**

O módulo Multiple 2D Domains (M2d) permite inúmeros domínios bidimensionais com células de diferentes tamanhos e orientações possam ser construídos em um modelo. Os domínios bidimensionais (2D) podem ser conectados por domínios unidimensionais (1D), ou pela ferramenta que liga dois domínios bidimensionais. Cada domínio poder ser constituído de células de diferentes tamanhos, orientação e extensão.

**HYDRO AS-2D**

Realiza a modelagem de corpos d'água. O procedimento realizado é baseado na solução numérica das equações bidimensionais discretizadas pelo método dos volumes finitos. Também pode realizar a simulação do transporte de poluentes e sedimentos.

**PTM**

O PTM foi desenvolvido para dragagens e projetos costeiros, incluindo a dispersão e o destino do material dragado, o caminho percorrido e o destino do sedimento e o transporte de constituintes. O modelo contém algoritmos que representam de forma apropriada os processos de assentamento, deposição, mistura e resuspensão em ondas e correntes próximas à região costeira. Utiliza-se de ondas e correntes desenvolvidas através de outros modelos que são introduzidas no PTM através funções forçadas. (ACQUAVEO, SMS, Riverine & Flood Modeling with SMS, 2012).

Nome do Software	Comercialização / Distribuição	Tipo de Simulação	Objetivos e Aplicações	Módulos e Tipos de Soluções Numéricas	Tipo de Licença
XP SWMM®	<p><b>Xp Solutions</b>  sales@xpsoftware.com /  www.xpsolutions.com</p>	<p>Trata-se de um pacote de softwares com aplicação abrangente para a modelagem dinâmica de águas pluviais, sistemas sanitários e sistemas fluviais. É utilizado para conectar modelos nós em modelos 1D a modelos 2D (modelos hidráulicos espacialmente distribuídos) para análise e projeto.</p> <p>O software simula processos naturais de chuva-vazão e a performance de sistemas de drenagem utilizados para o manejo dos recursos hídricos. Integra a análise de escoamento e o transporte de poluentes em ambientes naturais e em intervenções de engenharia incluindo tanques, rios, lagos, escoamento superficial em planícies de inundação e a interação com águas subterrâneas. Tem capacidade para realizar a hidrológica e hidráulica de forma integrada, simulando o todo o ciclo hidrológico. (XP SOLUTIONS, XP SWMM, 2012)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestão de águas pluviais</li> <li>• Manejo de Planícies de Inundação e Sistemas Fluviais</li> <li>• Capacidade de modelagem unidimensional e bidimensional de rios</li> <li>• Produção de mapas de inundação e análise de risco/perigo de inundação</li> <li>• Análise de drenagens interiores (áreas protegidas por diques)</li> <li>• Análise hidráulica de bueiros e pontes</li> <li>• Abordagem integrada de sistemas de drenagem urbanos e fluviais</li> </ul> <p>(XP SOLUTIONS, XP SWMM, 2012)</p>	<p>Descrição Aprofundada vide <i>Descrição aprofundada XP SWMM</i>.</p>	<p><b>Pago.</b>  Exige Consulta com Revendedor</p> <p><b>Licença especial para uso Acadêmico:</b> Sim.  Exige Consulta com Revendedor</p> <p><b>Versão de Demonstração:</b>  Sim.  Exige Consulta com Revendedor</p>

### Métodos Hidrológicos Utilizados

O software simula a complexidade do ciclo hidrológico em bacias urbanas e rurais. Iniciando com eventos individuais ou numerosos de precipitações e escoamento em períodos de seca, o software realiza a modelagem do escoamento desde a coleta, transporte e tratamento até os emissários (final do sistema). Todos os processos hidrológicos podem ser modelados (derretimento de camadas de gelo, evaporação, infiltração, represamento e trocas de águas subterrâneas).

### Precipitações

O usuário pode optar entre modelos teóricos e empíricos. Os ietogramas podem ser conectados a bacias hidrográficas utilizando-se arquivos externos, ou podem ser atribuídos através de um catálogo global. A simulação continua pode ser utilizada para avaliar as mudanças hidrográficas e a resposta da bacia hidrográfica a longos períodos de chuva, possibilitando a inclusão de múltiplas estações pluviométricas. O software contém uma extensa biblioteca de modelos de precipitação e precipitações atribuídas através de modelos locais e distribuições definidas pelo usuário, os quais podem ser ajustados para quaisquer períodos de retorno e duração. Cada sub-bacia pode estar relacionada a um único ietograma, permitindo a modelagem de dados obtidos através de radares, eventos localizados ou uma série temporal de ietogramas para simular o movimento de uma tormenta ao longo de uma bacia hidrográfica.

### Escoamento Superficial

O software apresenta inúmeros métodos para o cálculo de hidrogramas de escoamento superficial em eventos ou em simulações contínuas (*Propagação não linear do escoamento (US EPA Runoff Method); Propagação não linear do escoamento de Laursenon, Propagação não linear do escoamento (RAFTS); Hidrograma Unitário do SCS com hidrogramas curvilíneos ou triangulares ; Onda Cinemática; Hidrograma Unitário de Clark entre outros*).

### Propagação de Escoamento Superficial Não-linear

Utiliza-se do método EPA SWMM, os hidrogramas de escoamento superficial são gerados através de um processo de roteamento que utiliza as equações de Manning e uma equação agregada da continuidade. Os parâmetros de rugosidades e depressões de reservação para meios permeáveis e impermeáveis descrevem a bacia. O parâmetro de largura da sub-bacia é relacionado a um conjunto de comprimentos de escoamento superficial e é facilmente calculada na área da bacia hidrográfica. Áreas urbanas, suburbanas e rurais de qualquer dimensão podem ser simuladas utilizando a propagação de reservação não-linear. Os métodos de Hidrograma Unitário como o SCS, SBUH, Racional etc são usados para a simulação de eventos isolados. O Método SWMM é um método hidrológico determinístico utilizado para uma análise abrangente e para Projetos que adotam modelos de “Desenvolvimento de Baixo Impacto” (*Low Impact Development, LID*) utilizando a capacidade de redirecionamento superficial da bacia.

### Módulo Hidráulico

O mecanismo de solução do XP SWMM resolve as Equações Completas de St. Venant (escoamento dinâmico) para escoamentos gradualmente variáveis e escoamento variado em redes de drenagem. Os cálculos modelam de forma precisa efeitos de reservação e fluxo reverso, sobretaxa, pressão, emissários de maré e interconexão de reservatórios. O modelo permite a simulação de canais anelados, múltiplos emissários e o armazenamento em condutos. O escoamento pode ser propagado utilizando-se o método de ondas cinemáticas ou difusão. O software utiliza um procedimento próprio de propagação para onda dinâmica. O método de solução é estável e possui rápida resposta. (XP SOLUTIONS, XP SWMM, Technical, 2012)

Nome do Software	Comercialização / Distribuição	Tipo de Simulação	Objetivos e Aplicações	Módulos e Tipos de Soluções Numéricas	Tipo de Licença
XP 2D®	Xp Solutions sales@xpsoftware.com / www.xpsolutions.com	<p>Trata-se de um módulo bidimensional de escoamento de enchentes que permite analisar e prever a extensão potencial de inundações, profundidade e velocidade e modelar com precisão sistemas superficiais e subterrâneos em um ambiente de modelagem unidimensional/ bidimensional integrado. Também pode ser utilizado para simular ressacas, rompimento de barragens e em redes de esgoto. A simulação é realizada através das Equações Completas Unidimensionais de St. Venant e das equações completas de superfície livre em águas rasas. Permite a avaliação de medidas mitigadoras, técnicas de manejo e análise detalhada de cenários catastróficos. (XP SOLUTIONS, XP 2D, 2012)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Áreas urbanas em planícies de inundação com sistema duplo de drenagem;</li> <li>• Combinação de sistemas de drenagem confinados, canais abertos e trajetos de escoamento superficial, onde o escoamento subsuperficial e superficial podem ser simulados em 1D e 2D</li> <li>• Sistemas fluviais Complexos</li> <li>• Áreas protegidas por diques onde as inundações podem ser causadas pelo transbordamento ou pelo refluxo de sistemas internos de drenagem</li> <li>• Áreas planas onde a inundação pode ser causado pelo excesso de precipitação do que pelos sistemas de drenagem ou de capacidade de restrição do rio, trajetória do escoamento e o tempo de recessão</li> <li>• Análise do rompimento de barragens e diques que não podem ser representados utilizando a abordagem unidimensional</li> <li>• Elaboração de Mapas de Perigos e Risco de Enchente (XP SOLUTIONS, XP 2D, 2012)</li> </ul>	<p>Não foi possível obter as informações detalhadas sobre os módulos e tipos de soluções numéricas.</p>	<p><b>Pago.</b> Exige Consulta com Revendedor</p> <p><b>Licença especial para uso Acadêmico:</b> Sim. Exige Consulta com Revendedor</p> <p><b>Versão de Demonstração:</b> Sim. Exige Consulta com Revendedor</p>

Nome do Software	Comercialização / Distribuição	Tipo de Simulação	Objetivos e Aplicações	Módulos e Tipos de Soluções Numéricas	Tipo de Licença
FLO 2D Basic®	FLO-2D Software / <a href="https://www.flo-2d.com/">https://www.flo-2d.com/</a>	Versão do voltada para demonstrações dos aspectos operacionais do software FLOW 2D para uso acadêmico, treinamentos e estudos de seguro contra inundações. Agrega modelos hidrológicos e hidráulicos, não havendo a necessidade de se realizar simulações de chuva-vazão e escoamento de forma separada. Trata-se de uma modelo aprovado pela Federal Emergency Management Agency (FEMA, EUA) para o estudo de rios e inundações. (FLO-2D, FLO-2D Basic, Overview, 2012)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudo de Transporte de depósitos aluviais não confinados</li> <li>• Inundações em áreas urbanas, apresentando o escoamento nos pavimentos, obstrução de escoamento por edifícios e perdas de carga</li> <li>• Modelagem hidrológica da bacia (Chuva-Vazão)</li> <li>• Estudo de seguros contra enchentes</li> <li>• Estudo de projeto de medidas mitigadoras contra enchentes (FLO-2D, FLO-2D Basic, Overview, 2012)</li> </ul>	Vide “FLO 2D Basic (Descrição Aprofundada)”	<p><b>Gratuito</b> Disponível para download na página da internet do desenvolvedor</p> <p><b>Licença especial para uso Acadêmico:</b> Não. <b>Versão de Demonstração:</b> Sim.</p>



### **Método de solução numérica**

O modelo utiliza a equação da onda dinâmica e o esquema central de diferenças com oito direções potenciais de escoamento para prever a propagação de uma onda de cheia em sistema de malha quadriculada de grids.

### **Sistemas de Grids**

O modelo utiliza dois tipos de dados: topográficos e hidrológicos. Os dados topográficos podem ser representados por um Modelo Digital de Terreno, mapas topográficos ou dados de campo. Os elementos de elevação são atribuídos através da interpolação dos dados do MDT.

Imagens de plano de fundo

Imagens aéreas podem ser importadas para auxiliar na edição gráfica.

### **Conservação e Estabilidade**

Conservação de volume, estabilidade do método numérico e intervalos de tempo adequados e adaptados para casos específicos da simulação

### **Hidrogramas de entrada ou Precipitações**

Os hidrogramas de entrada podem ser atribuídos tanto a canais como a nós de planícies de inundação. Permite a importação de dados de hidrogramas no formato ASCII como dados de entrada. O software também é capaz de realizar a simulação dos processos de chuva-vazão

### **Trocas entre o canal e a planície de Inundação**

O escoamento unidimensional é simulado nas seções transversais nos formatos retangulares, trapezoidais ou dados de seção obtidos em campo. O escoamento na região não confinada da planície de inundação pode ser simulada em oito direções. O escoamento na planície de inundação ou o retorno do escoamento ao canal podem ser simulados em intervalos de tempo especificados pelo usuário. Para a simulação com maior grau de detalhe, as dimensões do canal podem ser maiores do que os elementos do grid. Não há limites para tributários. O módulo GDS pode converter o as seções transversais produzidas no software HECRAS para o modelos de dados do FLO-2D.

### **Escoamento em pavimentos (ruas)**

O escoamento é simulado através de canais retangulares rasos e meio-fio. Os pavimentos podem interceptar e realizar trocas de escoamento com a planície de inundação

### **Estruturas Hidráulicas**

Simula diversas estruturas hidráulicas como pontes, bueiros e estruturas automatizadas.

### **Simulação do Rompimento de Estruturas Hidráulicas**

Possui diversas opções de simulação para o rompimento de estruturas hidráulicas, incluindo um modelo amplo sobre a erosão ocasionada pelo processo de rompimento.

### **Valores de Número de Froude Limitantes**

Os valores limitantes do Número de Froude podem ser atribuídos a canais, ruas e planícies de inundação. Quando estes valores são excedidos, o modelo pode aumentar a rugosidade para suprimir os erros numéricos.

### **Saídas do Modelo, Resultados e Geração de Mapas**

As saídas de texto são escritas no formato ASCII. O programa de pós processamento (MAPPER) cria contornos de sombra, linhas e elementos da profundidade do escoamento e mapas de perigos. As saídas podem ser visualizadas em animações e os dados finais podem ser exportados no formato de shapefiles para interface com o ArcGis® da ESRI®. (FLO-2D, FLO-2D Basic, Key Features 2012).

Nome do Software	Comercialização / Distribuição	Tipo de Simulação	Objetivos e Aplicações	Módulos e Tipos de Soluções Numéricas	Tipo de Licença
FLO 2D Pro®	FLO-2D Software / <a href="https://www.flo-2d.com/">https://www.flo-2d.com/</a>	<p>Trata-se de um modelo de propagação de cheias que simula escoamento em canais, escoamento não confinado e em áreas urbanas (pavimentos), com capacidade para a simulação em terrenos com alta complexidade topográfica. O software permite adicionar os seguintes elementos para a simulação: precipitação, infiltração, transporte de sedimentos, diques, barragens, colapso de barragens, galgamento de barragens, corridas de lama, bueiros, pontes, entre outras estruturas hidráulicas como também água subterrânea. Os dados de chuva e infiltração podem apresentar variabilidade espacial e temporal através do uso dados históricos de precipitação do Módulo NEXRAD. (FLO-2D, FLO-2D Software, 2012)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudo de Transporte de depósitos aluvionares não confinados</li> <li>• Inundações em áreas urbanas, apresentando o escoamento nos pavimentos, obstrução de escoamento e perdas de carga</li> <li>• Simulação de corridas de lama e detritos</li> <li>• Modelagem hidrológica da bacia (Chuva-Vazão)</li> <li>• Interação entre águas superficiais e subterrâneas</li> <li>• Estudo de seguro contra enchentes</li> <li>• Estudo de projeto de medidas mitigadoras contra enchentes</li> <li>• Interface com os modelos NWS Breach e EPA – SWMM (FLO-2D, FLO-2D Pro, Overview, 2012)</li> </ul>	<p><b>Apresenta todas as funcionalidades descritas no quadro “FLO 2D Basic (Descrição Aprofundada)” e as seguintes funcionalidades:</b></p> <p><b>Perdas por infiltração e Evaporação</b> Leva em consideração a variabilidade especial da infiltração no canal, como na planície de inundação através dos métodos SCS e Green Ampt.</p> <p><b>Corridas de Massa e de Detritos</b> A simulação é realizada através de um modelo reológico quadrático que leva em consideração a atrito viscoso, turbulência e atrito dissipativo como função da concentração de sedimentos.</p> <p><b>Transporte de sedimentos</b> O transporte de sedimentos é computado tanto no escoamento do canal como no escoamento superficial. Para isso são disponibilizadas nove equações. O volume de sedimentos é conservado em unidades de base da rede (grid). Erosão e sedimentação são distribuídos de forma não uniforme nas seções transversais do canal. O carreamento de sedimentos pode ser simulado por granulometria como também por “armoring”.</p> <p><b>Trocas entre águas subterrâneas e águas superficiais</b> O modelo FLO 2D possui conexão em tempo real com o modelo MODFLOW da U.S Geological Survey (USGS). As trocas superficiais e subterrâneas podem ocorrer em ambas as direções. (FLO-2D, FLO-2D Pro, Key Features, 2012)</p>	<p><b>Pago:</b> US\$ 995,00</p> <p><b>Licença especial para uso Acadêmico:</b> Não.</p> <p><b>Versão de Demonstração:</b> Sim. FLO 2D Basic</p>

Nome do Software	Comercialização / Distribuição	Tipo de Simulação	Objetivos e Aplicações	Módulos e Tipos de Soluções Numéricas	Tipo de Licença
ABC 6 – Análise de Bacias Complexas	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – LabSid / <a href="http://www.labsid.eng.br/Programas.aspx?u1=programas&amp;u2=8">http://www.labsid.eng.br/Programas.aspx?u1=programas&amp;u2=8</a>	Dimensionamento de vazões máximas em pequenas bacias sem dados (perfil tipicamente urbano e de pequenas bacias rurais). (SSD ABC, 2012)	Finalidades didáticas, para atender a alunos de graduação e pós-graduação através do uso de métodos sintéticos para o dimensionamento, facilitando muito o planejamento quando há escassez de informações ou quando não se tem dados específicos da região, e ainda pode-se utilizá-lo para auxiliar em estudos de pré-dimensionamento. (SSD ABC, 2012)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precipitação de projeto: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ IDF</li> </ul> </li> <li>• Infiltração: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Horton</li> <li>○ Green e Ampt</li> <li>○ Índice Fi</li> <li>○ SCS</li> </ul> </li> <li>• Hidrograma: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Triangular do SCS</li> <li>○ Santa Barbara</li> <li>○ Clark</li> </ul> </li> <li>• Amortecimentos Canais (Muskingum)</li> <li>• Amortecimento em Reservatório</li> <li>• Reservatório Paralelo (“Piscinão”) Adaptado de (SSD ABC, 2012).</li> </ul>	<p><b>Gratuito.</b></p> <p>Não há restrições de conteúdo e de livre distribuição.</p> <p><b>Licença especial para uso Acadêmico:</b></p> <p>Não apresenta.</p> <p><b>Versão de Demonstração:</b></p> <p>Não apresenta.</p>
Nome do Software	Comercialização / Distribuição	Tipo de Simulação	Objetivos e Aplicações	Módulos e Tipos de Soluções Numéricas	Tipo de Licença
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Center - U. S. Army Corps of Engineers (USACE). / <a href="mailto:hec@usace.army.mil">hec@usace.army.mil</a> / <a href="http://www.hec.usace.army.mil">http://www.hec.usace.army.mil</a>	Modelagem da hidráulica de escoamento de água em rios e canais.	Análise de vazões em canais; possibilita inúmeras entradas de dados, análise de componentes hidráulicos e capacidade de gerar gráficos e tabelas com resultados das simulações. Modelagem de escoamentos subcríticos ou supercríticos, introdução de pontes, simulação de redes de canais, seções compostas, estabelecimento de seções transversais com vários pontos e simulação de transporte de sedimentos. (KIM, 2011, p.23)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interface gráfica</li> <li>• Perfis de escoamento de Escoamento Permanente</li> <li>• Simulação de escoamento não permanente</li> <li>• Transporte de sedimentos e condições de contorno variáveis</li> <li>• Análise de qualidade da água</li> <li>• Construção de gráficos</li> <li>• Elaboração de mapas com interface com ArcGis® através do RAS Mapper. (HEC RAS, 2012).</li> </ul>	<p><b>Gratuito</b></p> <p>Uso livre (Domínio Público)</p> <p><b>Licença especial para uso Acadêmico:</b></p> <p>Não apresenta.</p> <p><b>Versão de Demonstração:</b></p> <p>Não apresenta.</p>

Nome do Software	Comercialização / Distribuição	Tipo de Simulação	Objetivos e Aplicações	Módulos e Tipos de Soluções Numéricas	Tipo de Licença
TUFLOW - 2D & ID Hydrodynamic Flood and Tide Simulation®	BMT Group Ltd / <a href="http://www.tuflow.com">http://www.tuflow.com</a>	Análise e simulação unidimensional e bidimensional de inundações.	O programa simula o comportamento hidrodinâmico de corpos d'água utilizando modelagens bidimensionais e unidimensionais de escoamento em condutos livres (canais). É especialmente utilizado para estabelecer padrões de fluxos em águas costeiras, estuários, rios e planícies de inundação onde os padrões de fluxo são essencialmente bidimensionais por natureza e não podem ser simplificadas em modelos unidimensionais. (TUFLOW 2D & ID, 2012)	O software incorpora a ESTRY, uma ferramenta poderosa para a simulação de processos hidrodinâmicos unidimensionais. Também contempla a representação 1D e 2D de estruturas hidráulicas, mudanças automáticas de regimes por diques entre outras, além de possuir interface com SIG. (TUFLOW 2D & ID, 2012)	<b>Pago.</b> A partir de US\$6.000,00. Valor levantado no mês de Outubro de 2012. <b>Licença especial para uso Acadêmico:</b> 50% de desconto no valor da aquisição da licença. <b>Versão de Demonstração:</b> Exige consulta com revendedor
Nome do Software	Comercialização / Distribuição	Tipo de Simulação	Objetivos e Aplicações	Módulos e Tipos de Soluções Numéricas	Tipo de Licença
WMS®	Aquaveo / <a href="mailto:sales@aquaveo.com">sales@aquaveo.com</a> / <a href="http://www.aquaveo.com/m/wms">http://www.aquaveo.com/m/wms</a>	Simulação de processos do ciclo hidrológico em bacias hidrográficas	Automatização da delimitação de bacias hidrográficas, cálculo de parâmetros geométricos, sobreposição de camadas e cálculo de diversos parâmetros em SIG como: CN, coeficiente de escoamento superficial, coeficiente de rugosidade. (ACQUAVEO, 2012)	Possui ferramenta para extrair a seção transversal do terreno através de dados do terreno. Possui interface com modelos hidrológicos como HEC-1 (HEC-HMS), TR-20, TR-55, Método Racional, NFF, MODRAT, OC Rational, and HSPF. Suporta modelos hidráulicos como HEC-RAS, SMPDBK, and CE QUAL W2 e também para modelos bidimensionais. (ACQUAVEO, 2012).	<b>Pago.</b> De US\$399,00 a US\$5.600,00 dependendo do número de módulos e ferramentas adicionadas. Valores levantados no mês de Outubro de 2012. <b>Licença especial para uso Acadêmico:</b> 50% de desconto na aquisição da licença e 25% de desconto em treinamentos. Permite a instalação em vários computadores. <b>Versão de Demonstração:</b> Sim. Não permite salvar os arquivos.

A seguir são apresentadas as referências bibliográficas detalhadas sobre cada software e dos glossários utilizados auxiliar na tradução dos termos técnicos:

**Referências bibliográficas detalhadas obre os softwares apresentados na tabela:**

ACQUAVEO. SMS, Introduction. [2012]. Disponível em: <<http://www.aquaveo.com/sms-intro>>. Acesso em: 12 set. 2012.

ACQUAVEO. SMS, Riverine & Flood Modeling with SMS. [2012]. Disponível em: <<http://www.aquaveo.com/sms-riverine-modeling>>. Acesso em: 12 set. 2012.

AQUAVEO, WMS Pricing. [2012]. Disponível em: <<http://www.aquaveo.com/wms-pricing>>. Acesso em: 07 ago. 2012.

AQUAVEO, WMS Pricing. [2012]. Disponível em: <<http://www.aquaveo.com/wms>>. Acesso em: 07 ago. 2012.

DELTARES SYSTEMS. SOBEK Suite. [2012]. <<http://www.deltaressystems.com/hydro/product/108282/sobek-suite>>. Acesso em: 11 set. 2012.

DELTARES SYSTEMS. SOBEK Suite, D-Flow 1D Open Water. [2012]. Disponível em: <<http://www.deltaressystems.com/hydro/product/108282/sobek-suite/1168681>>. Acesso em: 11 set. 2012.

DELTARES SYSTEMS. SOBEK Suite, D-Flow 1D Pipes. [2012]. Disponível em: <<http://www.deltaressystems.com/hydro/product/108282/sobek-suite/1168690>>. Acesso em: 11 set. 2012.

DELTARES SYSTEMS. SOBEK Suite, D-Flow 2D Overland. [2012]. Disponível em: <<http://www.deltaressystems.com/hydro/product/108282/sobek-suite/1168718>>. Acesso em: 11 set. 2012.

DELTARES SYSTEMS. SOBEK Suite D-Rainfall Runoff Open Water. [2012]. Disponível em: <<http://www.deltaressystems.com/hydro/product/108282/sobek-suite/1168708>>. Acesso em: 12 set. 2012.

DELTARES SYSTEMS. SOBEK Suite, D-Water Quality 1D. [2012]. Disponível em: <<http://www.deltaressystems.com/hydro/product/108282/sobek-suite/1168698>>. Acesso em: 12 set. 2012.

DELTARES SYSTEMS. SOBEK Suite, D-Real Time Control. [2012]. Disponível em:

<<http://www.deltaressystems.com/hydro/product/108282/sobek-suite/1168726>>. Acesso em: 12 set. 2012.

DHI. Mike 11, Flooding and Hydraulics. [2012]. Disponível em: <<http://www.dhisoftware.com/Products/WaterResources/MIKE11/FloodingHydraulics.aspx>>. Acesso em: 10 set. 2012.

DHI. Rivers and Reservoirs. [2012]. Disponível em:<<http://www.dhisoftware.com/Products/WaterResources/RiversAndReservoirs.aspx>>. Acesso em: 10 set. 2012.

DHI. Mike 11, Hydrology. [2012]. Disponível em:<<http://www.dhisoftware.com/Products/WaterResources/MIKE11/Hydrology.aspx>>. Acesso em: 10 set. 2012.

DHI. Mike SHE – Integrated catchment modelling. [2012]. Disponível em: <<http://www.dhisoftware.com/Products/WaterResources/MIKESHE.aspx>>. Acesso em: 10 set. 2012.

DHI. Mike FLOOD, Urban, coastal and riverine flooding. [2012]. <<http://www.dhisoftware.com/Products/WaterResources/MIKEFLOOD.aspx>>. Acesso em: 10 set. 2012.

FLO-2D. FLO-2D. Basic. Key Features. [2012]. Disponível em:< <http://www.flo-2d.com/flo-2d-basic/>>. Acesso em: 12 out. 2012.

FLO-2D. FLO-2D. Basic. Overview. [2012]. Disponível em:< <http://www.flo-2d.com/flo-2d-basic/>>. Acesso em: 12 out. 2012.

FLO-2D. FLO-2D. Software. [2012]. Disponível em:<<http://http://www.flo-2d.com/>>. Acesso em: 12 out. 2012.

FLO-2D. FLO-2D Pro. Key Features. [2012]. Disponível em:< <http://www.flo-2d.com/flo-2d-pro/>>. Acesso em: 12 out. 2012.

FLO-2D. FLO-2D Pro. Overview. [2012]. Disponível em:< <http://www.flo-2d.com/flo-2d-pro/>>. Acesso em: 12 out. 2012.

HALCROW. ISIS Professional.[2012] Disponível em: <<http://www.halcrow.com/isis/isisprofessional.asp>> Acesso em: 05 set. 2012.

HALCROW. ISIS Price List.[2012] Disponível em: < [http://www.halcrow.com/isis/documents/price\\_lists/isis\\_by\\_halcrow\\_price\\_list\\_2012\\_US.pdf](http://www.halcrow.com/isis/documents/price_lists/isis_by_halcrow_price_list_2012_US.pdf) > Acesso em: 05 set. 2012.

HALCROW. Isis Professional.1D and Channel Modelling. [2012]. Disponível em: <[http://www.halcrow.com/isis/documents/flyers/english/isis\\_professional\\_en.pdf](http://www.halcrow.com/isis/documents/flyers/english/isis_professional_en.pdf)>. Acesso em: 06 set. 2012.

HALCROW. ISIS Professional Solvers. [2012]. Disponível em: <<http://www.halcrow.com/isis/isisprofessional-flowsolvers.asp>>. Acesso em: 05 set. 2012.

HALCROW. ISIS 2D. [2012]. Disponível em: <<http://www.halcrow.com/isis/isis2d.asp>>. Acesso em 06 set. 2012.

HALCROW. ISIS 2D Solvers. [2012]. Disponível em: <<http://www.halcrow.com/isis/isis2Dsolvers.asp>>. Acesso em 06 set. 2012.

HALCROW. ISIS FAST. [2012]. Disponível em: <<http://www.halcrow.com/isis/isisfast.asp>>. Acesso em 06 set. 2012.

HALCROW. ISIS Mapper. [2012]. Disponível em:<<http://www.halcrow.com/isis/mapper.asp>>. Acesso em 06 set. 2012.

HALCROW. ISIS Free. [2012]. Disponível em: <<http://www.halcrow.com/isis/isisfree.asp>>. Acesso em 06 set. 2012.

HEC RAS. **Hydrologic Engineering Center - U. S. Army Corps of Engineers (USACE)**. [2012]. Disponível em: <<http://www.hec.usace.army.mil>>. Acesso em: 10 jul. 2012.

INNOVIZE. InfoWorks RS. [2012]. Disponível em: <[http://www.innovyze.com/products/infoworks\\_rs/](http://www.innovyze.com/products/infoworks_rs/)>. Acesso em 06 set. 2012.

INNOVIZE. InfoWorks RS, Simulation Engine. [2012]. Disponível em:<[http://www.innovyze.com/products/infoworks\\_rs/](http://www.innovyze.com/products/infoworks_rs/)>. Acesso em 06 set. 2012.

INNOVIZE. FloodWorks. [2012]. Disponível em: <<http://www.innovyze.com/products/floodworks>>. Acesso em 06 set. 2012.

**KIM, M. Estudo da variabilidade de turbidez no trecho superior no rio guandu. 2011.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Escola Politécnica - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

SSD ABC. **Sistema de Suporte a Decisões para Análise de Ondas de Cheia em Bacias Complexas. Laboratório de Sistemas de Suporte à Decisão (LABSid)**. 2012. Disponível em: < <http://www.labsid.eng.br/Programas.aspx?u1=programas&u2=8>>. Acesso em: 08 jul. 2012.

XP SOLUTIONS. XP SWMM. [2012]. Disponível em:<<http://www.xpsolutions.com/software/xpswmm/>>. Acesso em 12 set. 2012.

XP SOLUTIONS. XP SWMM, Technical. [2012]. Disponível em:<<http://www.xpsolutions.com/software/xpswmm/>>. Acesso em 12 set. 2012.

XP SOLUTIONS. XP 2D. [2012]. Disponível em:<<http://www.xpsolutions.com/software/xp2d/>>. Acesso em 12 set. 2012.

### **Referências bibliográfica dos glossários consultados:**

PIDWIRNY, M. & JONES, S. Physical Geography, Glossary of Terms. [2010]. Disponível em:

<<http://www.physicalgeography.net/glossary.html>>. Acesso em: 19 set. 2012.

UNESCO. Glossário Internacional de Hidrologia. [2012]. Disponível em:<<http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/aglo.htm>>. Acesso em 18 set. 2012.

U.S. Geologic Survey (USGS).Glossary of Hydrologic Terms. [2012]. Disponível em:<[http://or.water.usgs.gov/projs\\_dir/willgw/glossary.html](http://or.water.usgs.gov/projs_dir/willgw/glossary.html)>. Acesso em: 19 set. 2012.