

MODELOS HIDROLÓGICOS: CONCEITOS E APLICABILIDADES

Gilberto Milhomem Marinho Filho¹

Rui da Silva Andrade²

Joel Carlos Zukowski Junior³

Luiz Norberto Lacerda Magalhães Filho⁴

RESUMO

O entendimento do fluxo hídrico nos diversos compartimentos ambientais é essencial na gestão de recursos hídricos e no dimensionamento de obras hidráulicas, no entanto, a quantificação desses diversos fluxos *in-loco* é muito difícil devido à grande variabilidade de fatores ambientais e extensão das áreas a serem estudadas. Diante disso, modelagem hidrológica se apresenta como um instrumento fundamental nessas quantificações. Através da aplicação de princípios de uma ou maisteorias e conceitos, os modelos hidrológicos são capazes de reproduzir os fenômenos hídricos dentro de uma escala de tempo definida, estimando componentes do fluxo hidrológico, anteriormente desconhecidos ou não quantificados. Nesse contexto, o presente trabalho apresenta uma revisão bibliográfica com a conceituação e uma breve descrição do histórico da modelagem hidráulico-hidrológica e os principais tipos de modelos hidrológicos, classificados com base em sua conceituação, bem como a sua aplicabilidade.

Palavras-chave: modelos hidrológicos, comportamento hidrológico, recursos hídricos

ABSTRACT

Hydrological models: concepts and applicabilities. The understanding of water flow in different environmental compartments is essential in water resources management and sizing of hydraulic works; however, the quantification of these various streams on the spot is very difficult due to the large variability of environmental factors and extension of areas to be studied. Therefore, hydrologic modeling is presented as a key tool in these quantifications. By applying principles of one or more theories and concepts, the hydrologic models are able to reproduce the

¹ Universidade Federal do Tocantins, Mestrando em Engenharia Ambiental. E-mail para correspondência: milhomemm@gmail.com

² Universidade Federal do Tocantins, Professor - Mestrado em Engenharia Ambiental.

³ Universidade Federal do Tocantins, Professor - Mestrado em Engenharia Ambiental.

⁴ Universidade Federal do Tocantins, Mestrando em Engenharia Ambiental.

phenomena of water systems within a defined time scale, estimating components of the hydrologic flow, previously unknown or not quantified. In this context, this paper presents a bibliographic review with the conceptualization and a brief description of the history of hydraulic-hydrological modeling and the major types of hydrologic models, classified according to its conceptualization and its applicability as well.

Key words: hydrological models, hydrological behavior, water resources

INTRODUÇÃO

A compreensão sobre os processos hidrológicos é fundamental em estudos ambientais, na gestão dos recursos hídricos e em projetos de obras hidráulicas. O tempo em que a água permanece nas diversas partes da hidrosfera influencia, entre outros, a disponibilidade hídrica, a ocorrência de inundações e a dinâmica de elementos, nutrientes e poluentes. A importância dessas inter-relações é responsável pelo crescente interesse em estudos hidrológicos; nesse contexto, a modelagem hidrológica é utilizada como ferramenta para obtenção de conhecimento mais aprofundado a respeito dos fenômenos físicos envolvidos e na previsão de cenários (Moraes, 2003).

A concepção da modelagem advém da representação de um sistema físico por meio de equações, ou seja, a representação do comportamento de uma estrutura, esquema ou procedimento, real ou abstrato, que num dado intervalo de tempo inter-relaciona-se com uma entrada, causa ou estímulo de energia ou informação, e uma saída, efeito ou resposta de energia ou informação (Tucci, 1987). Esse fenômeno pode ser qualquer fato ou situação concreta de interesse científico, passível de descrição ou explicação como, por exemplo, os fenômenos hidrológicos. Dessa forma, qualquer modelo é resultado da criatividade e do conhecimento que o modelador possui a respeito do fenômeno observado, por esse motivo, um único fenômeno pode ser modelado de várias maneiras (Christofolletti, 1999).

Modelo hidrológico abarca um sistema de equações e procedimentos compostos por variáveis e parâmetros que estão sendo cada vez mais utilizados em estudos ambientais, para ajudar a entender o impacto das mudanças no uso da terra e para prever alterações futuras nos ecossistemas (Silva, 2007). Os modelos são ferramentas de análise importantes, porque eles podem ser usados para entender processos hidrológicos, analisar o desempenho de práticas de manejo, bem como avaliar os riscos e benefícios advindos de diferentes tipos de uso do solo (Spruill *et al.*, 2000).

Segundo Mendes e Cirilo (2001), os modelos são abstrações ou representações da realidade. As pessoas modelam o tempo todo. A imagem do mundo ao redor dos olhos é um modelo, porém, sempre mais simples que o mundo real, ou seja, algumas características são ignoradas e/ou simplificadas. Esses autores esclarecem ainda que ao necessitar representar a realidade em maior escala espaço-tempo, precisa-se estender as capacidades humanas com o uso de dispositivos adicionais como microscópios, telescópios, dispositivos monitorando em longo prazo, imagens de satélite, dentre outros.

A utilização de modelos hidrológicos tem sido bastante difundida e suas aplicações na representação do comportamento de bacias hidrográficas têm apresentado resultados animadores, tanto na simulação e previsão de cenários hipotéticos para avaliação de impactos, bem como ferramenta na elaboração de projetos hidrológicos ou hidráulicos. Contudo, nos últimos anos, o recrudescimento da importância auferida aos problemas ambientais tem resultado na demanda de modelos hidrológicos mais versáteis, que com base em princípios físicos sejam capazes de representar os processos hidrológicos com variabilidade espacial (Bronsterte Plate, 1997). Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo descrever um breve histórico da modelagem hidrológica e apresentar os principais tipos de modelos hidrológicos e suas aplicabilidades.

MODELOS HIDROLÓGICOS

A hidrologia abrange o estudo dos fenômenos naturais encontrados no ciclo hidrológico: precipitação, evaporação, infiltração e escoamento em rios que dependem de muitos fatores, o que dificulta a sua análise. Para compreender melhor o funcionamento desses fenômenos dentro do sistema da bacia hidrográfica, têm-se desenvolvido modelos hidrológicos que simulam a ocorrência dos mesmos (Silva, 2007).

Tucci (1998) define modelo hidrológico como uma ferramenta utilizada para representar os processos que ocorrem na bacia hidrográfica e prever as consequências das diferentes ocorrências em relação aos valores observados. Segundo Lima (2011), os modelos servem como uma ferramenta de auxílio ao trabalho do engenheiro hidrólogo e demais profissionais envolvidos com o tema, permitindo melhor compreensão dos fenômenos hidrológicos em uma bacia hidrográfica, bem como possibilitando prever o comportamento da bacia sob condições diversas. A maior parte dos modelos representa apenas alguns dos processos que ocorrem numa bacia hidrográfica, haja vista a grande dificuldade de se representar tais processos por meio de equações.

Segundo Mota (1999), citado por Moreira (2005), o objetivo de um modelo hidrológico é determinar, com eficiência e precisão, os componentes do ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica, e estimar eficientemente o comportamento e a magnitude da água.

A figura 1 apresenta um fluxograma da estrutura nas quais os diferentes processos hidrológicos estão inseridos para representar as partes do ciclo hidrológico.

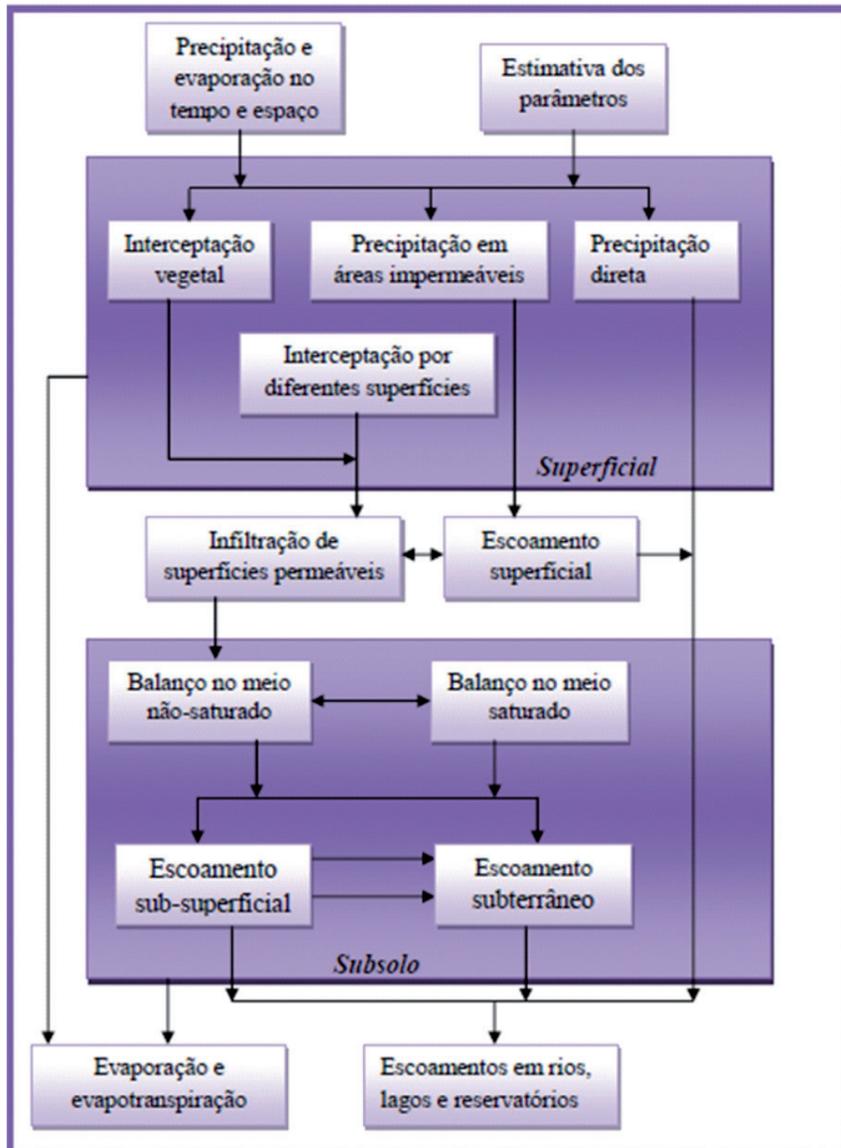


Figura 1. Fluxograma dos modelos hidrológicos (fonte: Tucci, 2005).

Alguns modelos proporcionam uma forma indireta de simulação, envolvendo a representação de um protótipo do sistema através do uso de equações, incluindo expressões lógicas e relações entre variáveis e parâmetros (Moreira, 2005).

HISTÓRICO

De acordo Tucci (2005), os modelos hidrológicos surgiram com a necessidade de se obter séries hidrológicas mais longas e representativas de vazões para diferentes projetos de recursos hídricos. As séries de precipitação, normalmente, são mais longas que as de vazão. Além disso, com a modificação das bacias pela construção de obras hidráulicas e alterações no uso do solo, as séries de vazões deixaram de ser homogêneas ou estacionárias. Partindo da precipitação, é possível determinar ou estimar as vazões desconhecidas para os novos cenários existentes ou previstas para as bacias.

Os modelos desenvolvidos procuram responder às questões emergentes de cada época, dando ênfase aos processos hidrológicos mais representativos da realidade próxima de cada autor desses modelos, gerando diferentes configurações (Lou, 2010).

A modelagem hidrológica surgiu, há mais de um século, a partir do equacionamento de alguns processos hidrológicos, como, por exemplo, o Método Racional, proposto por Mulvany por volta de 1850, destinado a prever a vazão máxima decorrente de um evento de chuva. Esse método foi registrado na literatura por suas aplicações no projeto de redes de esgoto nos últimos anos do Século XIX (Todini, 2007; Lima, 2011).

Segundo Fayal (2008), os grandes avanços começaram, de fato, a partir de 1930, quando agências governamentais de países desenvolvidos começaram a desenvolver seus próprios programas de pesquisas hidrológicas. Os modelos desenvolvidos nessas pesquisas tratavam de descrever os processos de cada componente do ciclo hidrológico. Em 1932, Sherman desenvolveu o Hidrograma Unitário. Em 1933, Horton desenvolveu a teoria da infiltração. Em 1939, MacCarthy desenvolveu um modelo de escoamento em rios, baseando-se no modelo Muskingum para o escoamento em reservatório.

Com o aumento da disponibilidade de computadores, a partir do final da década de 1950, criaram-se condições que propiciaram um acelerado processo de desenvolvimento de modelos hidrológicos baseados em conceitos físicos, sendo uma alternativa em relação aos modelos até então existentes e que utilizavam somente métodos estocásticos (Tucci, 1998).

Com a disseminação do uso de computadores nas décadas de 1960 e 1970 e a maior disponibilidade de dados hidrometeorológicos, a abordagem espacial distribuída começou a ser aplicada na modelagem hidrológica (Freeze Harlan, 1969; Beven, 1979). Desde então, a modelagem hidrológica tem sido desenvolvida e tem originado modelos diversos, variando de acordo com os objetivos e a escala de aplicação, desde modelos voltados para o dimensionamento de reservatórios até modelos cujo objetivo é prever alterações nas vazões de uma bacia devido a mudanças climáticas. Os modelos têm sido utilizados para prever eventos futuros potencialmente danosos à sociedade relacionados com o regime hídrico e também têm sido utilizados para auxiliar os processos de tomada de decisão nas políticas públicas. Uma vez que os modelos podem ser usados para prever condições futuras por meio de simulação, eles são ferramentas bastante úteis para lidar com problemas ambientais e possíveis alternativas para atenuar impactos.

De forma geral, nas últimas décadas, os modelos hidrológicos se desenvolveram em dois sentidos: modelos que buscam representar com maior precisão, e de forma distribuída, os processos hidrológicos; e modelos que tratam de forma empírica a distribuição dos parâmetros em áreas de grande magnitude. Essa visão está relacionada com a escala dos processos no sistema físico (Fayal, 2008).

CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS HIDROLÓGICOS

Os modelos podem ser classificados sob diferentes aspectos (figura 1). Comumente, os modelos são classificados, dentre outras formas, de acordo com o tipo de variáveis utilizadas na modelagem (estocásticos ou determinísticos), o tipo de relações entre essas variáveis (empíricos ou conceituais), a forma de representação dos dados (discretos ou contínuos), a existência ou não de relações espaciais (concentrados ou distribuídos) e a existência de dependência temporal (estacionários ou dinâmicos) (Moreira, 2005).

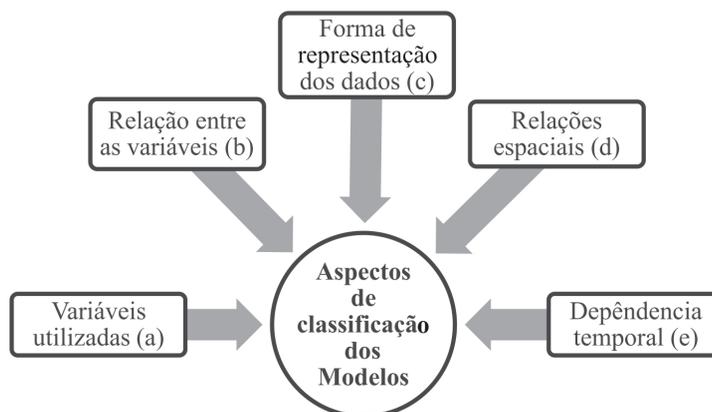


Figura 2. Aspectos de classificação de modelos hidrológicos.

Modelos Estocástico e Determinístico

Um modelo é dito estocástico quando pelo menos uma das variáveis envolvidas tem comportamento aleatório. Por exemplo, o nível futuro de um reservatório depende da vazão afluente futura, que é uma variável aleatória com uma dada distribuição de probabilidade. Caso os conceitos de probabilidade sejam negligenciados durante a elaboração de um modelo, este será denominado determinístico. Nota-se, no entanto, que uma variável de entrada pode ser aleatória, mas o modelo ainda assim é determinístico quando cada valor de entrada produz um único valor de saída. Sistemas multivariados não lineares podem levar a resultados caóticos que erroneamente são interpretados como variáveis aleatórias (Fayal, 2008).

Modelos Conceituais e Empíricos

Os modelos conceituais baseiam-se na representação dos processos físicos que envolvem o fenômeno estudado. Estes são subdivididos em semi conceituais e fisicamente fundamentados. O primeiro relaciona as características físicas do processo mantendo razoável empirismo na definição dos parâmetros e o segundo se aproxima bastante da física do sistema. Os modelos empíricos não apresentam nenhuma relação com os processos físicos envolvidos, utilizam funções que são baseadas em análises estatísticas, por esse motivo, tais modelos também são denominados de modelos “caixa-preta”.

Alguns autores utilizam uma subdivisão na classificação dos modelos conceituais: semi conceituais e físicos ou físico-distribuídos. Os primeiros se referem

aos modelos que relacionam características do processo, mas mantêm um razoável empirismo nos parâmetros das equações envolvidas. Por sua vez, os físicos utilizam as principais equações diferenciais do sistema físico para representar os processos, e os seus parâmetros são os que mais se aproximam da física do sistema. As dificuldades dos modelos físicos têm residido sempre na variabilidade espacial dos processos e na dificuldade de estimar os parâmetros (Fayal, 2008).

Modelos Concentrados e Distribuídos

Modelos concentrados são aqueles que não consideram a variabilidade espacial das variáveis hidrológicas envolvidas no processo modelado. Nesses modelos, a principal variável é o tempo. Na modelagem concentrada do processo chuva-vazão de uma bacia hidrográfica, por exemplo, todas as variáveis do sistema são avaliadas em termos da média espacial. Isso significa que chuva, evaporação, infiltração, vazões e outras variáveis são consideradas em termos médios na bacia. Considera-se que todas as variáveis de entrada e saída são representativas de toda área estudada (Fayal, 2008). Por outro lado, os modelos distribuídos possuem a capacidade de representar a variabilidade espacial das características físicas da bacia hidrográfica. Nesse caso, as variáveis e parâmetros do modelo dependem do tempo e do espaço. Os modelos distribuídos aplicam a lei da conservação de massa em escala local e utilizam como dado de entrada uma grande quantidade de informações que definem as características espaciais da bacia hidrográfica (Cunha, 2004).

Modelos Estacionários e Dinâmicos

Os modelos podem ser estacionários, onde descrevem o fenômeno em determinado momento, os parâmetros não variam com o tempo. Já nos modelos dinâmicos, os parâmetros podem variar no tempo, sendo, portanto, as variáveis função do tempo.

Modelos Discreto e Contínuo

Um modelo hidrológico é dito discreto (por evento) quando objetiva a modelagem de períodos isolados da série, normalmente buscando representar eventos de cheia ou recessão. Os modelos contínuos buscam representar longos períodos da série, muitas vezes, contemplando épocas de comportamentos hidrológicos diferentes. Em decorrência disso, esses modelos apresentam estrutura mais detalhada, desenvolvida para simular com maior exatidão todas as fases do ciclo hidrológico. Mesmo os modelos contínuos no tempo apresentam discretização temporal, denominada passo de cálculo, pois, muitas vezes, os fenômenos do ciclo hidrológico são representados por equações diferenciais que não possuem solução analítica. A escolha do intervalo

de tempo do modelo depende basicamente do fenômeno estudado, da disponibilidade de dados e da precisão desejada nos resultados. Em geral, quanto menor o intervalo de tempo maior será a precisão dos resultados, aumentando também o custo computacional para geração desses resultados (Rennó e Soares, 2003).

Os modelos hidrológicos são essenciais para a predição e quantificação dos fenômenos físicos que ocorrem na natureza, visto a impossibilidade de se quantificar diretamente tais fenômenos. Desse modo, caracterizam-se como ferramentas essenciais para o preenchimento de diversas lacunas de informações necessárias no planejamento e gestão de Recursos Hídricos. Lou (2010) elenca as principais aplicações da modelagem hidrológica como sendo:

- **Análise de consistência e preenchimento de falhas** – devido à facilidade de operação e custo, é normal existirem séries mais longas de precipitação do que de vazão. Portanto, através do modelo, é possível, após o ajuste, estender a série de vazão com base na precipitação. O modelo também é utilizado para analisar a consistência da curva-chave, dos níveis e precipitações observados, além de permitir a verificação de alterações no rio e na bacia;
- **Previsão de vazão** – o controle de cheia, a operação de obras hidráulicas, a navegação, entre outros, depende do conhecimento antecipado da ocorrência da vazão. Esse tipo de estimativa da vazão pode ser obtido com base na precipitação conhecida, na vazão de um posto de montante ou na correspondente combinação. As características da simulação para esse objetivo são diferentes das demais, no entanto, modelos semelhantes podem ser utilizados, mas com estruturas computacionais diferentes. O modelo de previsão em tempo atual deve buscar utilizar ao máximo as informações disponíveis no momento da previsão, atualizando parâmetros e/ou variáveis.
- **Dimensionamento e previsão de cenários de planejamento:** conhecida a precipitação, e o risco de sua ocorrência, é possível estimar a vazão resultante para cenários de uso e modificação da bacia, visando ao dimensionamento ou planejamento de alternativas de desenvolvimento do sistema. Nesse caso, os modelos hidrológicos utilizados podem ter algumas limitações, quanto à simulação de certos cenários de desenvolvimento diferentes daquele do ajuste, como, por exemplo, a modificação do uso do solo.
- **Efeitos resultantes da modificação do uso do solo:** a análise do escoamento resultante da modificação do uso do solo é um problema complexo, que requer uma metodologia mais sofisticada que as utilizadas nas aplicações anteriores. Os modelos existentes para modificações do solo são, em sua maioria,

conceituais, possuem muitas formulações empíricas para representar os processos e logo os parâmetros acabam se relacionando mais qualitativamente do que quantitativamente com a física da bacia. Mesmo nessas condições, os parâmetros englobam várias características da bacia, o que dificulta qualquer análise quanto ao resultado da modificação de qualquer característica da bacia. Isso ocorre, por exemplo, com o desmatamento de grandes áreas, com a urbanização acentuada da bacia, entre outros. Modelos que representam o processo físico em maior detalhe e com menor empirismo, apresentam sérias limitações devido à heterogeneidade da bacia.

Visto isso, verifica-se que a modelagem hidrológica dá suporte a diversas áreas apoiadas por tal metodologia, alguns exemplos desses setores apoiados são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Relação entre as diversas áreas apoiadas pela modelagem hidrológica e respectivos modelos.

Área	Foco	Principais modelos
Desenvolvimento urbano	<i>Abastecimento de água</i> : regularização, adução, tratamento e distribuição.	Precipitação-vazão; balanço de reservatório; modelo Hidráulico da rede de condutos.
	<i>Tratamento de esgoto</i> : rede de coleta, tratamento, despejo do afluente, impacto ambiental do afluente em rios, lagos, reservatórios e oceanos.	Hidráulica da rede coletora; qualidade da água de rios, reservatórios, lagos e estuários.
	<i>Drenagem urbana e controle de cheias</i> : redes pluviais, obras hidráulicas e previsão de enchentes.	Precipitação-vazão para dimensionamento e previsão de cheias; amortecimento em reservatório; remanso de rios e canais; qualidade da água de redes pluviais.
Energia	<i>Projeto e operação de hidrelétricas</i> : disponibilidade hídrica, regularização para energia firme, projeto de vertedores, diques, condutos, previsão de afluência de vazões e operação hidráulica dos reservatórios em tempo real.	Precipitação-vazão para extensão de série temporal e previsão em tempo real para operação do sistema ; balanço de reservatórios; hidráulico de rios e canais; modelo de dispositivos hidráulicos.

continua

Transporte	<i>Navegação</i> : canal de navegação; barragem e eclusa; manutenção dos sistemas; níveis e calados; portos.	Precipitação-vazão para estimar a vazão; modelos de rios para estimativa do calado e de operação de barragem.
Controle de calamidades	<i>Rompimento de barragens</i> : eventos críticos. <i>Cheias</i> : alerta da população ribeirinha. <i>Estiagens</i> : racionamento para abastecimento urbano e irrigação.	Modelos hidráulicos de rompimentos de barragens; modelos precipitação-vazão e vazão-vazão em tempo real para estiagens e cheias.
Gerenciamento de recursos hídricos	<i>Concessão do uso da água</i> . <i>Controle do uso e conservação da água</i> .	Modelos precipitação-vazão; regionalização de variáveis hidrológicas; modelos de balanço e escoamento em rios.
Sistema de informações	<i>Cadastro de usuários</i> . <i>Monitoramento de variáveis hidrológicas</i> .	Modelos hidrológicos para preenchimento de falhas; precipitação-vazão; estatísticos.
Produção agrícola	<i>Irrigação</i> : disponibilidade hídrica, regularização, necessidade hídrica agrícola e distribuição.	Precipitação-vazão; balanço de reservatório; balanço agrícola; projeto e otimização de rede de canais.
Controle ambiental	<i>Impacto de obras hidráulicas</i> : reservatórios, diques e polders. <i>Impacto devido a despejo de afluentes</i> : efluentes industriais e domésticos. <i>Impacto devido a uso do solo rural e urbano</i> : erosão do solo, impermeabilidade e rede de condutos.	Modelos hidráulicos e de qualidade da água de rios, reservatórios e de cargas difusas; hidráulicos e de qualidade de água de lagos e estuários; precipitação-vazão, erosão e transporte hídrico.

Fonte: adaptado de Fayal (2008).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A modelagem hidrológica é uma ferramenta científica desenvolvida com o intuito de se compreender e representar o funcionamento das bacias hidrográficas e simular diferentes cenários nestas. Porém, para sua utilização, é necessária uma boa definição dos objetivos do estudo abordado, visto que isso definirá o grau de detalhamento do modelo a ser adotado.

Outros fatores que devem ser levantados na seleção de um modelo hidrológico estão relacionados com a variabilidade temporal e espacial, as características físicas e climáticas da bacia em estudo. Além disso, a disponibilidade de informações é um fator essencial na seleção do modelo a ser utilizado, pois, em geral, quanto mais detalhado o modelo maior exigência de dados este irá requerer.

De um modo geral, a modelagem hidrológica é um importante recurso para o auxílio à tomada de decisão em projetos que envolvam recursos hídricos, possibilitando a adoção de técnicas mais eficientes na implantação de projetos. Porém, faz-se necessária a ampliação da rede de informações física e climatológica das bacias hidrográficas, possibilitando que a escolha do modelo adotado seja baseada na necessidade da problemática em estudo e não na disponibilidade de dados, o que é bastante comum no Brasil.

REFERÊNCIAS

- BEVEN, K; KIRKBY, M. 1979. A physically based variable contributing area model of basin hydrology. **Hydrological Science Bulletin**, 24:43-69.
- BRONSTERT, A., PLATE, E.J. 1997. Modelling of runoff generation and soil moisture dynamics for hill slopes and micro-catchments. **Journal of Hydrology**, 198:177-195.
- CHRISTOFOLETTI, A. 1999. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 236 p.
- CUNHA, L. K. da. 2004. **Sistemas avançados de previsão hidrológica e operação hidráulica em tempo real**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 239p.
- ENOMOTO, C. F. 2004. **Método para elaboração de mapas de inundação estudo de caso na bacia do rio Palmital**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 122p.
- FAYAL, M. A. de A. 2008. **Previsão de vazão por redes neurais artificiais e transformada**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 158p.

- FREEZE, R. A.; HARLAN, R. L. 1969. Blueprint for a physically-based, digitally simulated hydrologic response model. **Journal of Hydrology**, **9**:237-258.
- LIMA, L. S. de. 2011. **Implementação de um modelo hidrológico distribuído na plataforma de modelagem dinâmica**. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais), Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 95p.
- LOU, R. F. 2010. **Modelagem Hidrológica Chuva-vazão e Hidrodinâmica Aplicada na Bacia Experimental do Rio Piabanha/RJ**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), UFRJ/COPPE, 174p.
- MAZIERO, E. 2010. **Histograma tempo/área geoprocessado: uso em modelo chuva-vazão concentrado** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), UFSM, 117p.
- MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. 2001. **Geoprocessamento em recursos hídricos – princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre, RS: ABRH, 534p.
- MORAES, J. M. 2003. Propriedades físicas dos solos na parametrização de um modelo hidrológico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, **8**(1):61-70.
- MOREIRA, I. A. 2005. **Modelagem hidrológica chuva-vazão com dados de radar e pluviômetros**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambientais), Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 81p.
- RENNÓ, C.D.; SOARES, J. V. **Modelos hidrológicos para gestão ambiental**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio_modelos_hidrologicos.pdf>. Acesso em: 9 mar. 2012.
- ROSS, J. L. S. 1994. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia - FFLCH-USP**, **9**:63-74.
- SILVA, L. P. E. 2007. **Modelagem e Geoprocessamento na identificação de áreas com risco de inundação e erosão na bacia do Rio Cuiá - João Pessoa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), UFPB/CT, 114p.
- SPRUILL, C. A.; WORKMAN, S. R.; TARABA, J.L. 2000. Simulation of daily and monthly stream discharge from small watersheds using the SWAT model. **Transactions of the ASAE**, **43**(6):1431-1439.
- TODINI, E. 2007. Hydrological catchment modelling: past, present and future. **Hydrology and Earth System Sciences**, **11**(1):468-482.
- TUCCI, C. E. M. 2005. **Modelos Hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 678 p.