IV-042 - CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO MGB-IPH PARA A BACIA DO RIO ITAJAÍ-AÇU

Raíza Cristóvão Schuster [(1)]
Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).
Fernando Mainardi Fan [(2)]
Engenheiro Ambiental pela UFRGS. Mestre e Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental no IPH-UFRHS.
Walter Collischonn [(3)]
Engenheiro Mecânico pela UFRGS. Mestre e Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFRGS. Professor Adjunto da UFRGS.

Endereço[(1)]**:** Rua Comendador Rodolfo Gomes, 513, apto 403 – Menino Deus – Porto Alegre - RS - CEP: 90150-101 - Brasil - Tel: +55 (51) 9919-3519 - e-mail: **raiza.schuster@hotmail.com**

RESUMO

A bacia do rio Itajaí-Açu é uma importante bacia hidrográfica do estado de Santa Catarina, Brasil, pois abastece uma parcela considerável de usuários da água no estado e nela são registrados recorrentes problemas ambientais relacionados a cheias. Logo, existe a necessidade de estudos hidrológicos para a região, como a preparação de modelos hidrológicos, visando o planejamento da ocupação do território e preparação para futuros eventos de inundação que são bastante prováveis de ocorrerem novamente. Desta forma, foi realizada a simulação hidrológica da bacia hidrográfica foi utilizado o modelo hidrológico distribuído MGB-IPH. O modelo foi desenvolvido para representar os processos de transformação chuva-vazão em bacias de grande escala. Para o emprego deste modelo hidrológico, é necessária uma preparação dos dados de entrada do modelo através da utilização de técnicas de geoprocessamento, em uma plataforma de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), e de informações de estações meteorológicas, postos fluviométricos e pluviométricos. Espera-se que os resultados obtidos com a calibração do modelo hidrológico MGB-IPH para a bacia do rio Itajaí sirvam como base para posteriores estudos na bacia.

PALAVRAS-CHAVE: Calibração, Modelo Hidrológico, Transformação Chuva-Vazão.

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu abrange uma área de aproximadamente 15.000 km² de uma região montanhosa e fortemente entrecortada por rios e ribeirões como o rio Benedito e o rio Luís Alves. Cerca de 80% desta área é coberta pela "Mata Atlântica", mas existem regiões fortemente urbanizadas, como os municípios de Itajaí, Blumenau, Brusque e Balneário Camboriú, que tornam o Vale do Itajaí um dos mais importantes polos econômicos do sul do Brasil.

Além do pioneirismo e empreendedorismo, as frequentes enchentes marcam a história desta região. De 1850 a 1997 foram registradas 67 enchentes em Blumenau, das quais 11 até 1900, 20 nos 50 anos seguintes e 36 nos últimos 46 anos. As maiores inundações ocorreram nos anos de 1880, 1911, 1957, 1983 e mais recentemente em 2008. Após mais uma enxurrada, ocorrida em 1923, a opinião pública expressa a necessidade de um sistema de alerta para sobre as precipitações pluviais e o aumento da vazão dos rios e ribeirões na região das nascentes dos braços formadores do rio Itajaí-Açu.

Entre 1927 e 1929, a Divisão de Águas (órgão que antecede o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica, DNAEE) instalou os 5 primeiros postos pluviométricos na bacia e 24 postos fluviométricos no rio principal e afluentes. A partir de então, diversas tentativas de sistemas de previsões de enchentes surgiram e obras para evitar os prejuízos foram propostas, entretanto, a bacia hidrográfica, com toda sua complexidade e riqueza, vem sendo pouco aproveitada na concepção de controle de enchentes.

O presente trabalho apresenta uma proposta de calibração do modelo hidrológico MGB-IPH para a bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu. O modelo calibrado poderá ser utilizado em estudos que visem auxiliar na solução do desafio de conviver com as ações das forças naturais no Vale do Itajaí.

O MODELO HIDROLÓGICO

O modelo hidrológico MGB-IPH (acrônimos para Modelo de Grandes Bacias e Instituto de Pesquisas Hidráulicas) utiliza informações de uso da terra, cobertura vegetal, tipos de solos e topografia da bacia estudada como guia para selecionar valores de parâmetros. O modelo já apresentou resultados satisfatórios na calibração para diversas bacias na América do Sul, como a bacia dos rios Paraná (FAN *et al.*, 2012), Uruguai e Taquari-Antas (COLLISCHONN, 2001), Madeira (RIBEIRO NETO, 2006) e Solimões (PAIVA, 2009).

A utilização do modelo exige uma preparação dos dados de entrada através de técnicas de geoprocessamento em uma plataforma de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Esta preparação consiste de duas partes: a discretização da bacia hidrográfica em mini-bacias e a criação de um mapa que represente as Unidades de Resposta Hidrológica (URHs) presentes na bacia. Ambas as etapas foram geradas utilizando o SIG *ArcMap* da *ESRI*.

A discretização consiste na representação física da bacia hidrográfica dividida em unidades irregulares denominadas mini-bacias. Mini-bacias são definidas a partir de dados de relevo de um Modelo Digital de Elevação (MDE) e são formadas pela área de drenagem de cada trecho da rede de drenagem. Uma subdivisão opcional em sub-bacias pode ser realizada para facilitar a calibração do modelo hidrológico.

As URHs são unidades que teoricamente possuem o mesmo comportamento hidrológico. O mapa de URH é obtido pela composição e reclassificação de mapas de tipo de solo e cobertura e uso da terra. As características de tipo de solo influenciam no armazenamento e no escoamento da água, enquanto o uso da terra influencia a evapotranspiração da água e a interceptação da chuva.

Foi utilizada a interface do MGB-IPH no MapWindow GIS desenvolvida por Fan (2011). Os dados de entrada necessários para o modelo são arquivos em formato raster (ASCII) representando o MDE, as direções de fluxo, discretização em mini-bacias, rede de drenagem, unidades de resposta hidrológica e sub-bacias (opcional). Estes arquivos passam por um módulo de pré-processamento, chamado PrePro-MGB, gerando um arquivo que contém informações sobre cada mini-bacia que serão utilizadas na calibração.

FONTES DE DADOS

Os dados de relevo para a calibração da bacia do Itajaí-Açu foram obtidos do MDE (Figura 1) disponibilizado pela EMBRAPA. Foi utilizado o mapa de tipos de solo em formato vetorial do IBGE (2001) e o mapa de vegetação e uso da terra em formato raster da ESA (2009), os mapas são mostrados nas Figuras 2 e 3.

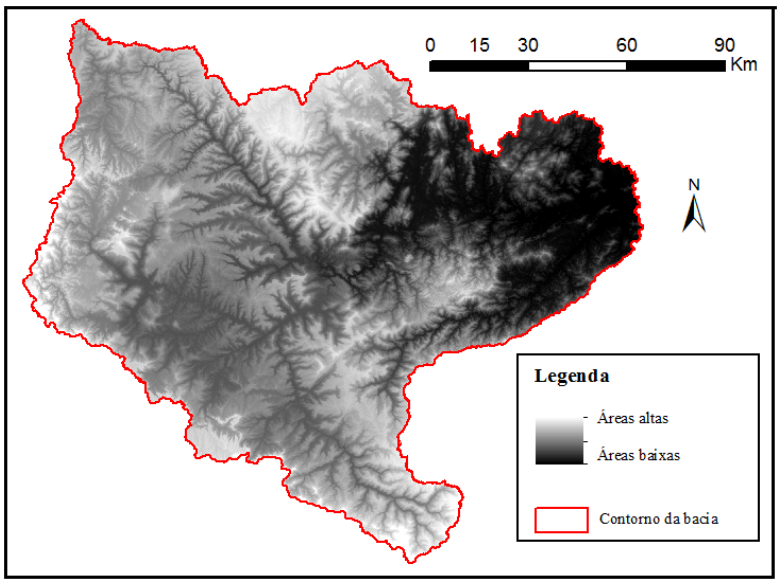

Figura 1: Modelo Digital de Elevação na área da bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu.

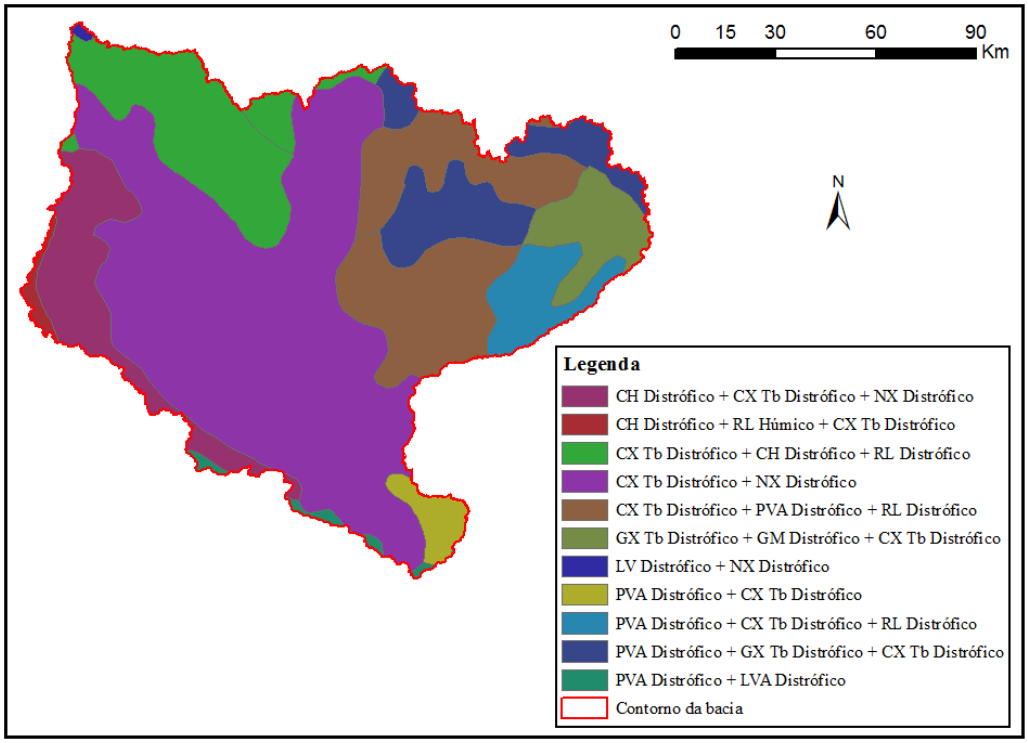

Figura 2: Mapa de Solos na área da bacia do rio Itajaí-Açu

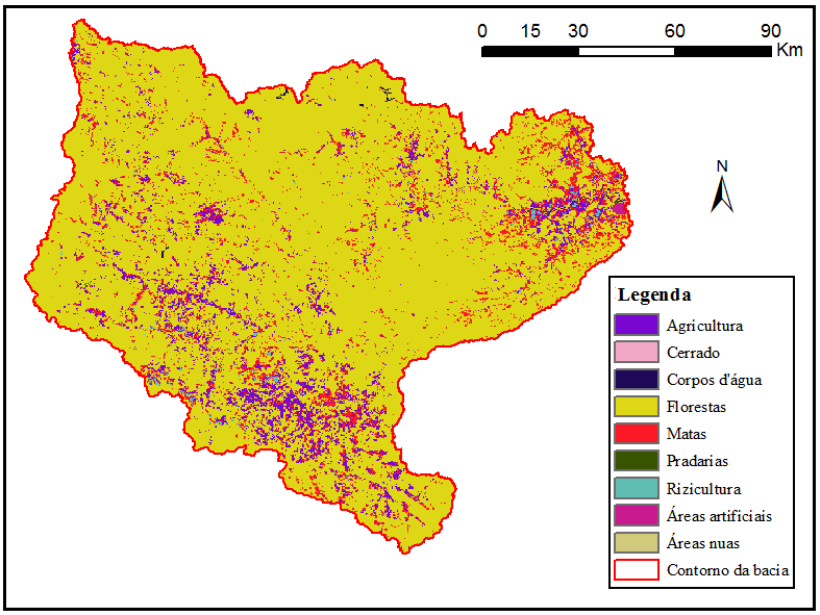

Figura 3: Mapa de Uso da terra na área da bacia do rio Itajaí-Açu

As informações hidrológicas utilizadas são da base *Hidroweb* de dados da Agência Nacional das Águas (ANA). Os dados de chuva foram obtidos de 69 postos pluviométricos, os dados de vazão vieram de 35 postos fluviométricos e os dados meteorológicos de três estações que disponibilizam dados de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, insolação e pressão atmosférica.

DISCRETIZAÇÃO

A discretização inicia com o processamento do MDE, através da ferramenta de remoção de depressões do *ArcHydro Tools* (no *ArcMap*), este procedimento remove as áreas planas com cotas inferiores à vizinhança, preenchendo-as. O *ArcHydro Tools* possui outra ferramenta que gera, a partir do MDE com as depressões preenchidas, um arquivo raster em que cada célula tem um código que indica a direção em que a água escoa naquele local. Assume-se que a água flui de cada célula para cada uma das células vizinhas.

Com base no mapa de direções de fluxo, é possível calcular a área de drenagem de cada célula do MDE, através de outra ferramenta do ArcHydro e, depois disto, gerar o mapa da rede de drenagem da bacia. Com os mapas de direções de fluxo e rede de drenagem, e indicando um ponto que será o exutório da bacia, gera-se o contorno da bacia hidrográfica estudada.

Também através do *ArcHydro Tools*, é possível criar um arquivo raster da rede de drenagem segmentada em trechos individuais localizados entre duas confluências sucessivas. A partir deste arquivo é obtido o arquivo raster de mini-bacias.

Se for desejado, é possível criar um arquivo de sub-bacias para facilitar a calibração do modelo. Isto é feito através da indicação de novos pontos que serão os exutórios das sub-bacias. Para a calibração da bacia do rio Itajaí-Açu, foi utilizada a localização de alguns postos fluviométricos como referência para os exutórios de sub-bacias. Um layer com a localização das estações fluviométricas presentes na bacia do Itajaí pode ser adicionado ao SIG para auxiliar nesta etapa.

A Figura 4 mostra o resultado final da etapa de discretização, com os exutórios das de todas as sub-bacias, a rede de drenagem, a divisão em mini-bacias e sub-bacias.

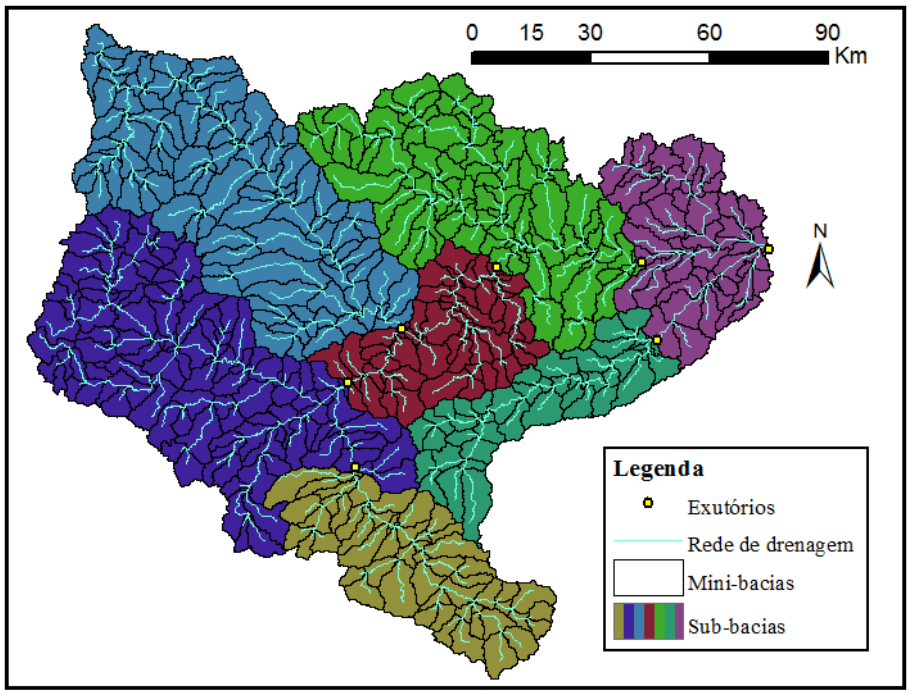

Figura 4: Mapa com os exutórios das sub-bacias, a rede de drenagem, a divisão em mini-bacias e sub-bacias.

MAPA DE URH

A criação do mapa de Unidades de Resposta Hidrológica consiste na combinação das características físicas do terreno e da cobertura da terra. Para o caso do rio Itajaí, foram utilizados mapas de solos e de uso do solo. Adicionalmente, podem ser utilizados mapas de geologia para uma classificação ainda mais precisa.

Primeiramente, é necessário reclassificar o mapa de solos, de acordo com suas características hidrológicas. No presente estudo, os tipos de solo presentes no layer do IBGE foram classificados de acordo com a sua profundidade, portanto os solos foram divididos em dois grupos: solos rasos e solos profundos.

Como o arquivo de cobertura e uso do solo fornecido pela ESA possui uma grande diversidade, e o número de classes no mapa de URHs aceito pelo MGB-IPH é limitado, é necessário que este mapa seja reclassificado, agrupando os tipos de uso em classes com comportamento hidrológico semelhante.

Finalmente, as informações dos mapas de solos e cobertura da terra são combinados em um único layer, que, após algumas modificações, será o mapa que representa as URH na área da bacia hidrográfica de estudo. O mapa de URH é mostrado na Figura 5.

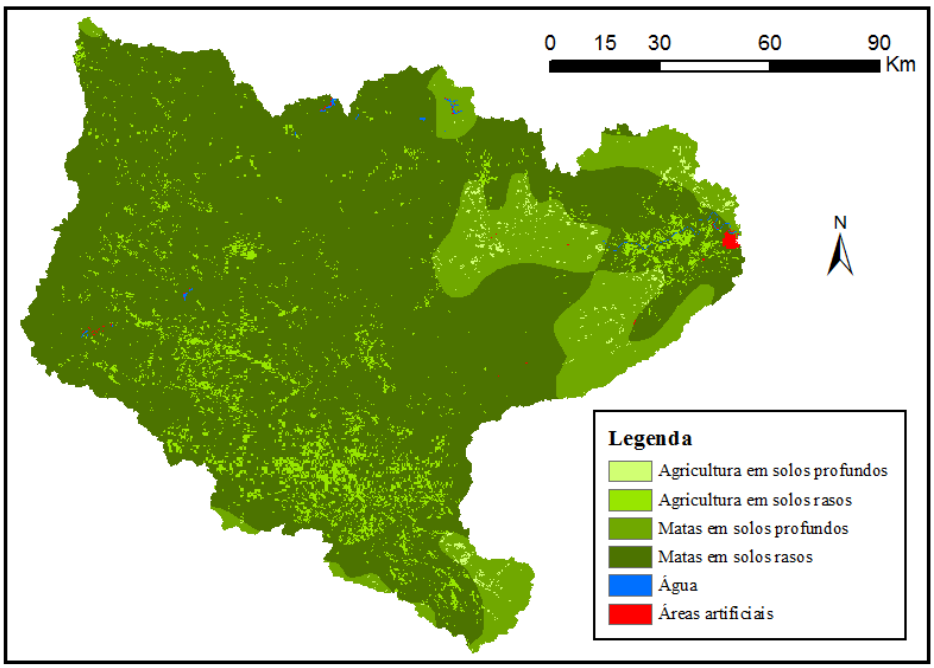

Figura 5: Mapa de Unidades de Resposta Hidrológica

UTILIZAÇÃO DO PREPRO-MGB.

Antes de iniciar o MGB-IPH, é preciso utilizar um plugin chamado PrePro-MGB, no qual carrega-se todos os arquivos citados anteriormente e gera um arquivo denominado MINI.MGB. O arquivo MINI.MGB é uma tabela com a topologia e as características físicas das mini-bacias e é o arquivo de entrada para o MGB-IPH.

Para utilizar o PrePro-MGB, é necessário conferir se todos os arquivos exigidos pelo modelo estão no formato correto. Os arquivos exigidos são: o MDE na área da bacia hidrográfica, o arquivo com as direções de fluxo, a rede de drenagem, o mapa de mini-bacias, o mapa de URHs e, opcionalmente, o mapa de sub-bacias.

Todos os arquivos devem estar no formato raster, ter a mesma resolução espacial e as mesmas coordenadas do retângulo envolvente. Estas informações podem ser conferidas e corrigidas, se necessário, utilizando as ferramentas do *ArcMap*.

Além do MINI-MGB, o PrePro-MGB gera diversos arquivos com informações importantes, como: um layer de mini-bacias ordenadas sequencialmente, um layer dos trechos de rio das mini-bacias, uma tabela com os centroides das mini-bacias, uma tabela dos exutórios dos trechos de rios das mini-bacias, e outros.

UTILIZAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO MGB-IPH

Iniciando o MGB-IPH via interface MapWindow GIS, a primeira etapa é carregar alguns dados gerados anteriormente, como o arquivo MINI.MGB, o mapa de URHs, as informações de vazão, precipitação e clima, e indicar parâmetros às diferentes URHs. Os parâmetros são de dois tipos: fixos ou calibráveis.

Os parâmetros fixos normalmente não são modificados durante a calibração e são relacionados ao albedo, índice de área foliar, altura média das árvores e resistência superficial. Alguns valores são sugeridos na própria janela do programa e devem ser definidos com base nas sugestões e em conhecimentos hidrológicos.

Os parâmetros calibráveis são relativos a características como capacidade de armazenamento do solo, vazão durante a estiagem, escoamento subsuperficial e outros. Estes parâmetros podem ser modificados manualmente durante a calibração do modelo, ou utilizando a ferramentas de calibração automática. A subdivisão em sub-bacias possibilita que os parâmetros calibráveis variem em cada sub-bacia, assim é possível obter uma calibração mais exata para cada região da bacia hidrográfica.

A simulação hidrológica da bacia hidrográfica é realizada especificando um projeto de simulação, que é um arquivo criado através da combinação dos diversos arquivos com dados definidos nos passos anteriores. O resultado da simulação pode ser observado na forma de hidrogramas e de curvas de permanência, comparando os resultados calculados com os dados observados pelas estações fluviométricas.

Alguns índices são indicados para auxiliar na comparação entre os hidrogramas, como o coeficiente de Nash-Sutcliffe das vazões, o coeficiente de Nash-Sutcliffe do logaritmo das vazões e o erro no volume total. O coeficiente de Nash-Sutcliffe das vazões tente a mostrar a eficiência do modelo em relação aos picos das vazões, enquanto o coeficiente de Nash-Sutcliffe do logaritmo das vazões mostra uma medida de desempenho mais sensível aos períodos de recessão de vazão. O valor máximo que ambos os coeficientes podem atingir é 1, e valores próximos a este número indicam que o modelo é eficiente. O erro de volume permite avaliar se existe algum erro sistemático de superestimativa ou subestimativa da vazão. Idealmente, estes erros deveriam se manter em uma faixa de -10% a +10%, pois existem outras incertezas nos processos relacionados à obtenção dos dados de entrada que também encontram-se nesta faixa de imprecisão, como incertezas na medição dos dados de vazão.

Após uma simulação inicial, é possível verificar aspectos na forma geral dos hidrogramas, na recessão das vazões durantes estiagens, a magnitude dos picos, no tempo de ocorrência dos picos e no volume geral dos hidrogramas. A etapa de calibração consiste na alteração dos valores dos parâmetros calibráveis, procurando fazer com que os hidrogramas calculados coincidam com os hidrogramas observados.

Um dos principais parâmetros do modelo MGB-IPH que tem efeito sobre as estiagens é o parâmetro Cb. Este é o parâmetro do reservatório linear simples que representa o aquífero de cada mini-bacia. O valor de Cb é dado em horas, e pode ser estimado a partir das vazões observadas de um posto fluviométrico em um período longo sem chuva. Na versão atual do MGB-IPH com interface MapWindow GIS existe uma ferramenta especial para auxiliar no cálculo do valor de Cb.

Após a calibração manual preliminar, pode ser iniciada a calibração automática. Onde é possível indicar quais sub-bacias e quais parâmetros serão calibrados e quais postos fluviométricos serão usados na calibração. Essa calibração automática pode ser repetida diversas vezes, até obter-se o melhor resultado possível.

RESULTADOS

Cinco postos fluviométricos localizados em pontos diversos da bacia do rio Itajaí-Açu foram utilizados na calibração do modelo hidrológico MGB-IPH. Os critérios para seleção das estações foram: localização, área de drenagem e disponibilidade de dados de vazão. Foram escolhidos postos relativamente espalhados pela área da bacia, visando representar a maior área possível. Todos os postos selecionados possuem área de drenagem superior a 1000 km², pois bacias muito pequenas são pouco representativas da área total da bacia. A Figura 6 mostra a localização destes postos.

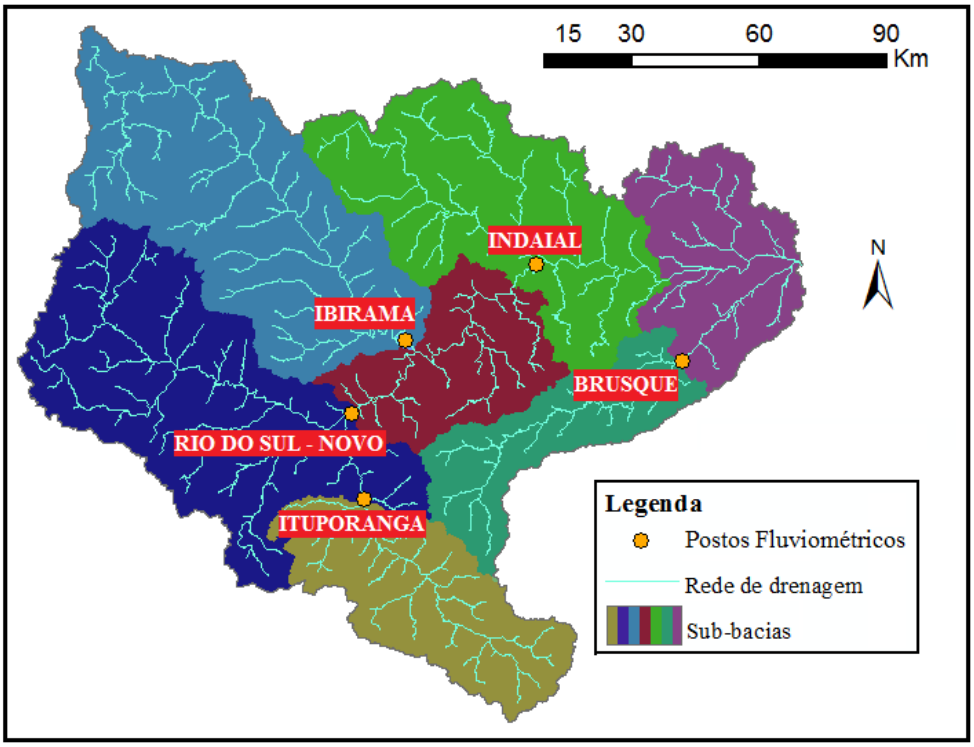

Figura 6: Localização das estações fluviométricas utilizadas na calibração do modelo hidrológico

A Tabela 1 mostra as medidas de eficiência, coeficiente de Nash-Sutcliffe das vazões (Nash), o coeficiente de Nash-Sutcliffe do logaritmo das vazões (Nashlog) e o erro no volume (Erro Vol) total, para os cinco postos. A tabela também apresenta o código de referência da ANA e a área de drenagem de cada posto calibrado.

Tabela 1: Medidas de eficiência da calibração do Modelo MGB-IPH para 5 postos fluviométricos da bacia do Rio Itajaí-Açu

Posto fluviométrico	Código do posto	Área de drenagem (km²)	Nash	Nashlog	Erro Vol
Ituporanga	83250000	1653	0,614	0,614	- 8,3
Rio do Sul - Novo	83300200	5105	0,7	0,754	- 9,879
Ibirama	83440000	3370	0,678	0,756	- 1,54
Indaial	83690000	11495	0,786	0,78	- 0,31
Brusque	83600000	1275	0,682	0,56	- 4,774

O modelo MGB-IPH permite a visualização de hidrogramas das vazões calculadas pelo modelo e a comparação com os dados de vazões fornecidos pela ANA. As Figuras 7, 8, 9, 10 e 11 mostram uma comparação entre as vazões calculadas pelo modelo para cada posto fluviométrico selecionado e as vazões observadas nas estações fluviométricas da ANA. Todos os hidrogramas abrangem o mesmo período, entre 1993 e 2003.

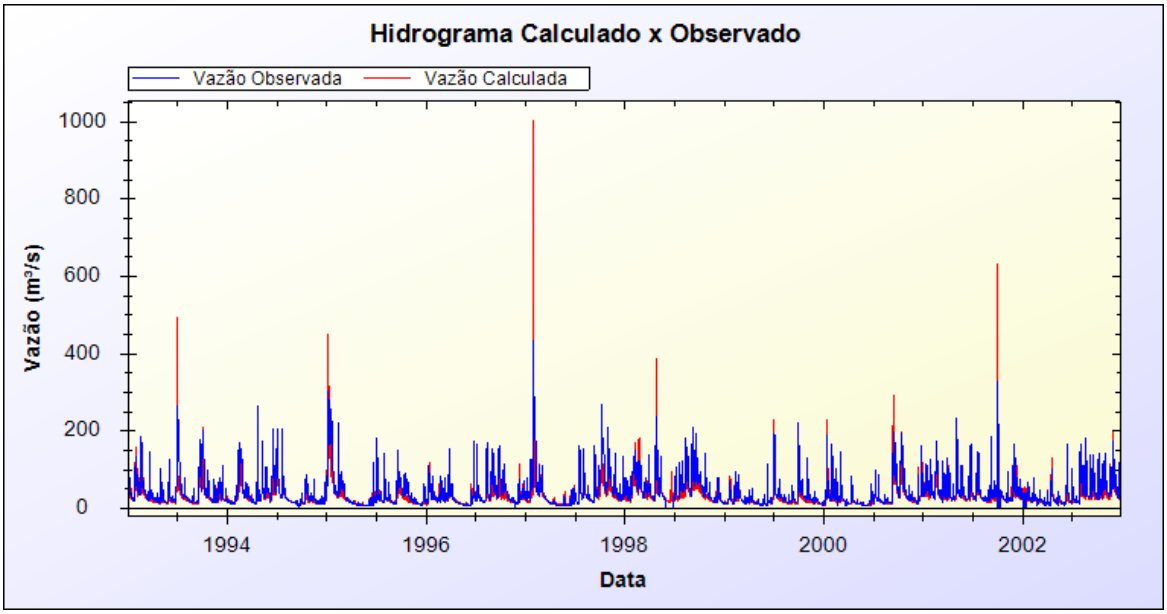

Figura 7: Comparação dos hidrogramas para o posto fluviométrico Ituporanga

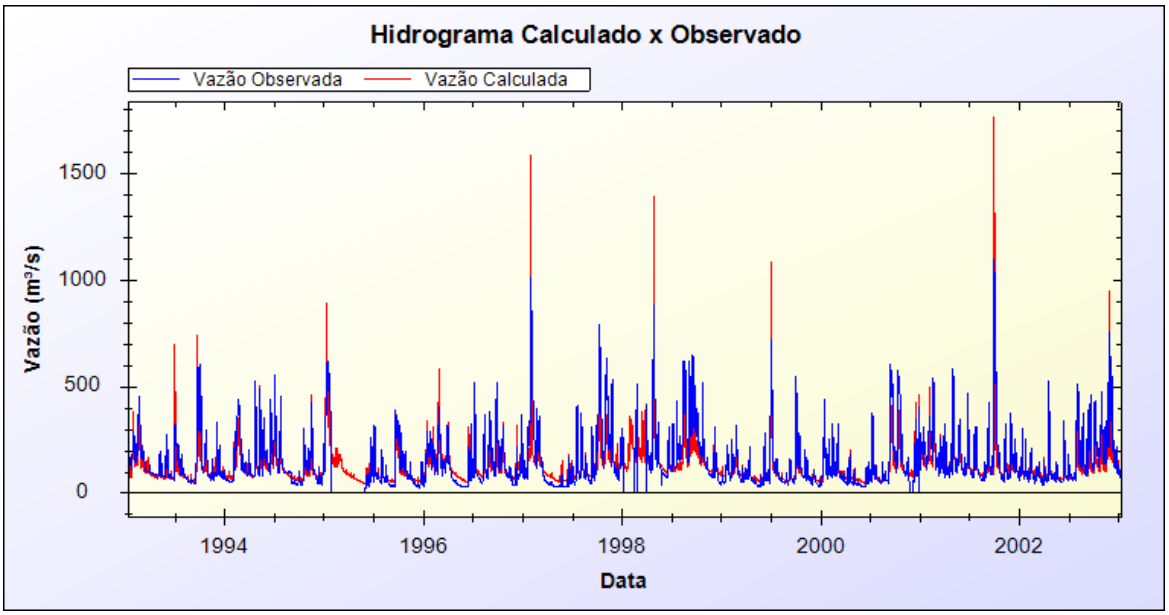

Figura 8: Comparação dos hidrogramas para o posto fluviométrico Rio do Sul – Novo

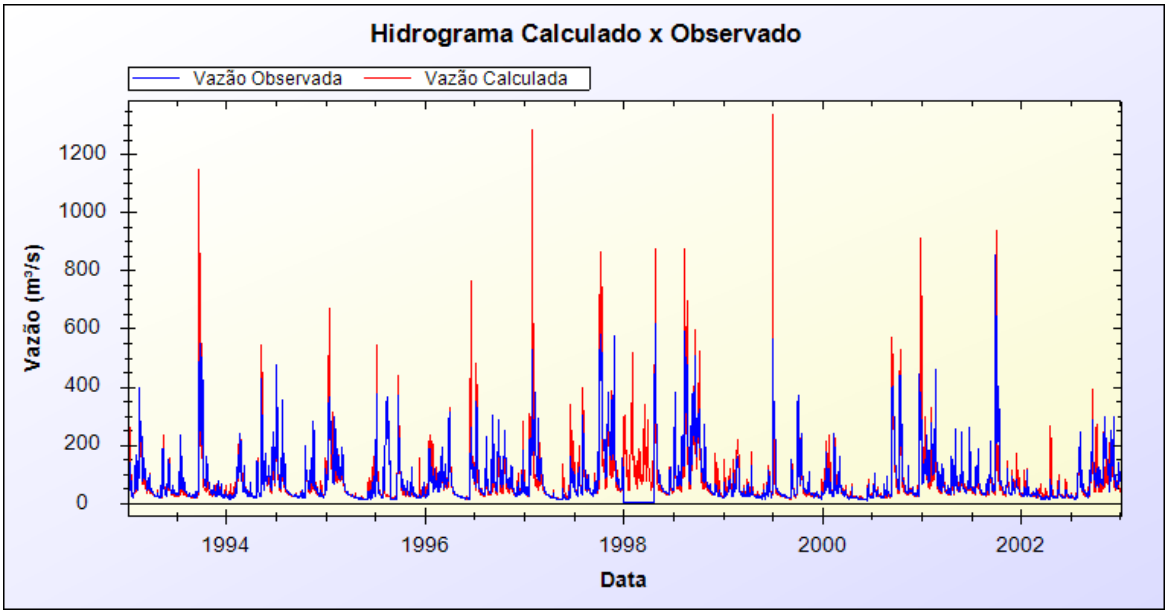

Figura 9: Comparação dos hidrogramas para o posto fluviométrico Ibirama

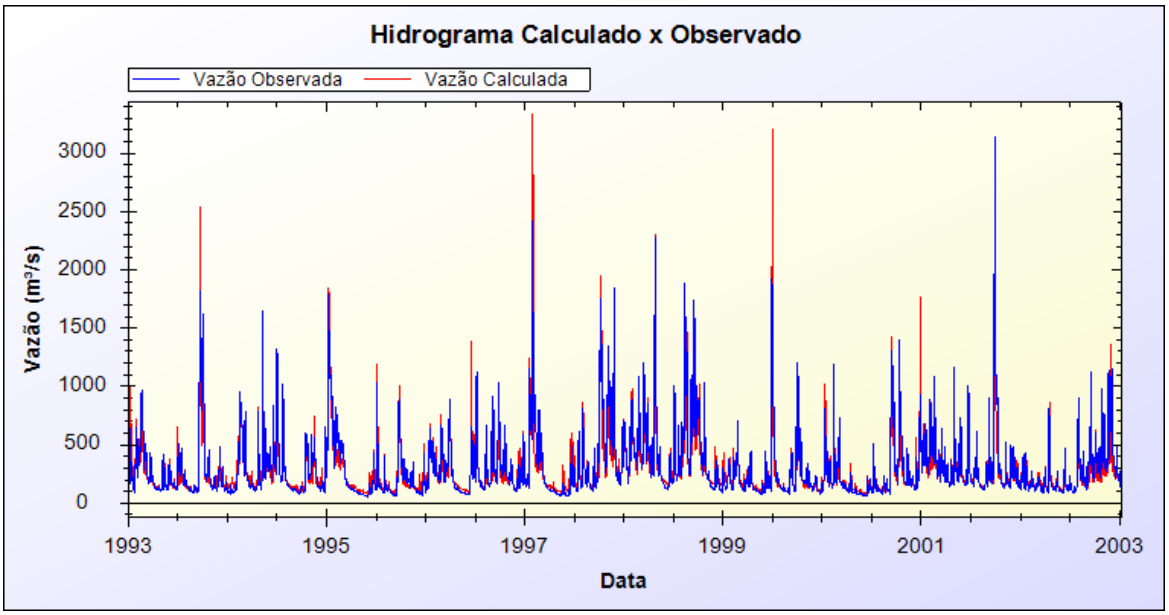

Figura 10: Comparação dos hidrogramas para o posto fluviométrico Indaial

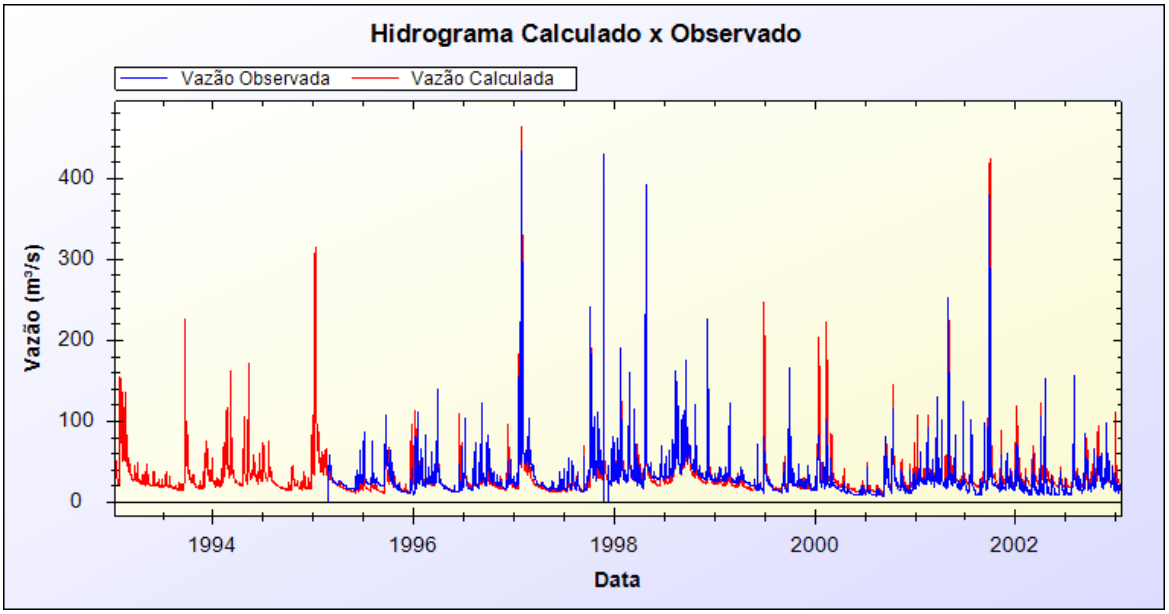

Figura 11: Comparação dos hidrogramas para o posto fluviométrico Brusque

CONCLUSÕES

A Tabela 1 mostra que a eficiência na calibração do modelo nas cheias, representada pelo Nash, ficou acima de 0,6 em todos os postos, e a eficiência durante as estiagens, representada pelo Nashlog, ficou acima de 0,5 em todos os postos. Este desempenho foi considerado aceitável.

Em todos os postos, os erros de volume, representados por Erro Vol, ficaram dentro da faixa de +/-10%, sendo considerados excelentes, devido às incertezas que existem nas vazões observadas nas estações. Os erros de volume negativos, indicam uma pequena subestimativa as vazões.

Em alguns postos fluviométricos foi verificada uma diferença em alguns picos de vazão entre o calculado e o observado, isto é perceptível nas figuras de comparações de hidrogramas (Figuras 7, 8, 9, 10 e 11). É possível que isto ocorra, em parte, devido às incertezas provenientes da curva-chave utilizada pela ANA para a determinação das vazões a partir de dados de chuva (erros na extrapolação da curva-chave) e devido à baixa disponibilidade de dados de chuva na região. Contudo, o modelo representou bem a ocorrência dos picos de cheias.

Devido às grandes dimensões da bacia hidrográfica estudada, um dos grandes desafios do trabalho foi a consolidação de uma base de dados espaciais consistente, que permita uma melhor representação da bacia para a aplicação do modelo hidrológico. A falta de dados de precipitação foi um fator importante na diminuição do desempenho da calibração do modelo hidrológico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do modelo hidrológico MGB-IPH mostrou-se satisfatória na calibração da bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu. Espera-se que os resultados obtidos neste trabalho sirvam como base para posteriores estudos que auxiliem em soluções para problemas enfrentados na região do Vale do Itajaí.

Posteriormente à realização deste trabalho, foi verificada a possibilidade de efetuar todo o trabalho utilizando somente o MapWindow GIS, que possui a grande vantagem de ser um software livre. Esta possibilidade foi confirmada, existindo apenas a necessidade de incluir algumas modificações no plugin PrePro-MGB.

Foram criados tutoriais de discretização de bacias hidrográficas e criação do mapa de URHs utilizando o MapWindow GIS, e as modificações necessárias no plugin PrePro-MGB foram definidas. Assim que possível

estas informações ficarão disponíveis no website do Modelo MGB-IPH esperando que sirvam como incentivo para estudos semelhantes em outras bacias hidrográficas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – Plataforma Hidroweb: Sistema de Informações Hidrológicas. http://hidroweb.ana.gov.br/. Acesso em 1 de setembro de 2012;
2. COLLISCHONN, W., ALLASIA, D.G., SILVA, B.C., TUCCI, C.E.M. The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modeling. Hydrological Sciences Journal, v52, p. 878-895, 2007.
3. COLLISCHONN, W., KAYSER, R., BUARQUE, D.C., PAIVA, R.C.D., FAN, F.M. Manual de Discretização de Bacias par Aplicação do Modelo MGB-IPH – Versão 2.0. Projeto Integrado de Cooperação Amazônica e de Modernização do Monitoramento Hidrológico, FINEP/ANA/IPH-UFRGS, Porto Alegre, Disponível on-line: http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/MGB-IPH/MGBIPH2010/Downloads.html.
4. COLLISCHONN, W., TUCCI, C.E.M. Simulação hidrológica de grandes bacias. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.6, n. 2, 2001.
5. COMITÊ ITAJAÍ. Site do Comitê da Bacia Hidrográfica do Itajaí. Disponível em http://www.comiteitajai.org.br. Acesso em 25 de setembro de 2012.
6. EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Brasil em Relevo. http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/index.htm. Acesso em 13 de setembro de 2012.
7. ESA (European Space Agency). Portal GlobCover. Disponível em http://ionia1.esrin.esa.int/, 2009.
8. FAN, F.M. Acoplamento entre SIG e modelos hidrológicos: Integração do modelo MGB-IPH. Trabalho de Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil, 2011.
9. FAN, F.M., COLLISCHON, W. Coupling the MGB-IPH hydrological model with MapWindow GIS platform. MapWindow International Open Source Conference. Velp, 2012.
10. FAN, F.M., PONTES, R.M., COLLISCHONN, W., BUARQUE, D.C., SORRIBAS, M.V. Calibração e verificação do modelo hidrológico MGB-IPH para a Bacia do Paraná. XI Simpósio de Recursos Naturais do Nordeste, 2012.
11. FRAGA, N.C. Enchentes urbanas no vale do Itajaí, Brasil. 25 Anos da enchente catástrofe de 1983 – Reflexos socioambientais e culturais no século XXI. FAE-UFPR-UNICURITIBA, 2009.
12. FRANK, B. A Gestão Inercial das Enchentes no Vale do Itajaí, 2011.
13. IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Mapeamento Topográfico. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm#GEOG, 2001.
14. Modelo MGB-IPH. http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/MGB-IPH/MGB.html. Acesso em 10 de setembro de 2012.
15. PAIVA, R.C.D., COLLISCHONN, W. Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de grandes bacias, estudo de caso: bacia do rio Solimões. Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil, 2009.
16. RIBEIRO NETO, A. Simulação Hidrológica na Amazônia: Rio Madeira. Tese de Doutorado, COPPE, UFRJ, 2006.