

APLICACÃO DO MODELO HIDROLOGICO MGB-IPH NA BACIA TRANSFRONTEIRIÇA DO RIO APA

Carlos Echeverria¹; Juan Martín Bravo² & Walter Collischonn³

RESUMO --- Este trabalho apresenta uma aplicação detalhada do modelo MGB-IPH em uma bacia caracterizada pela pouca disponibilidade de dados hidrológicos e climatológicos. A bacia hidrográfica selecionada foi a do Rio Apa, uma bacia transfronteiriça que inclui parte de territórios brasileiros e paraguaios. Além disso, foi avaliado o desempenho da versão mais recente do modelo MGB-IPH, atualmente em fase de aprimoramento. O modelo foi calibrado com sucesso na bacia, apesar da escassez de dados existente, reproduzindo satisfatoriamente os picos de cheias e os períodos de estiagens, além das extensões dos períodos de cheia e estiagem e os anos mais secos e úmidos. Estes últimos representam pontos de interesse do ajuste em função do futuro uso que será dado ao modelo, a avaliação de cenários de mudanças climáticas no contexto do projeto Sistema Internacional de Estudos sobre Recursos Hídricos e Gerenciamento de Impactos Gerados pelo Aquecimento Global na Bacia do rio Paraguai (SINERGIA). Também se pode mencionar que a nova versão do modelo MGB-IPH, desenvolvida na interface gráfica para MapWindow, facilita a calibração manual permitindo a obtenção dos resultados em um menor tempo, mantendo a mesma acurácia da versão antiga.

ABSTRACT --- This paper presents the steps to apply the model MGB-IPH in a basin characterized by limited availability of climatological and hydrological data. The watershed selected was of the Apa River, which is a transboundary basin that includes part of Brazilian and Paraguayan territories. In addition, the performance of the latest version of the MGB-IPH model was evaluated, which actually is in stage of improvement. The model was successfully calibrated in the basin, despite the lack of existing data, satisfactorily reproducing the peak periods of floods and droughts, as well as extensions of periods of flood and drought and the dry and wet years. Latters represent adjusting points of interest for future use to be made to the model, the assessment of climate change scenarios in the context of the project SINERGIA. Also could be mention that the new version of the MGB-IPH model, developed in the graphical interface for MapWindow, allows easier manual calibration to obtain results in less time while maintaining the same accuracy from the old version.

Palavras-chave: Modelagem hidrológica, MGB-IPH, Bacia Rio Apa.

¹ Estagiário Projeto SINERGIA no IPH/UFRGS. Av. Bento Gonçalves, 9500. Porto Alegre, RS. E-mail: echeverriacarlospy@gmail.com

² Professor Adjunto IPH/UFRGS. Av. Bento Gonçalves, 9500. Porto Alegre, RS. E-mail: jumarbra@iph.ufrgs.br

³ Professor Adjunto IPH/UFRGS. Av. Bento Gonçalves, 9500. Porto Alegre, RS. E-mail: collischonn@iph.ufrgs.br

1. INTRODUÇÃO

A modelagem hidrológica é uma ferramenta muito utilizada para contribuir na tomada de decisão na área de recursos hídricos. Os modelos chuva-vazão são, tipicamente, os mais utilizados. Estes modelos utilizam informações de precipitação e outras variáveis climatológicas, junto com informações de características da bacia para estimar as vazões nos pontos de interesse.

Entre os modelos chuva-vazão, o modelo hidrológico de grandes bacias, desenvolvido no IPH-UFRGS (MGB-IPH), é um dos modelos que maior destaque tem apresentado no Brasil nos últimos tempos. O MGB-IPH tem uma longa história de aprimoramento desde sua primeira versão, apresentada em 2001 (Collischonn, 2001), até a versão atual, onde uma interface gráfica foi adicionada para facilitar a preparação dos dados de entrada ao modelo (Collischonn *et al.*, 2010).

Nesse sentido esse trabalho apresenta uma aplicação detalhada do modelo MGB-IPH em uma bacia caracterizada pela pouca disponibilidade de dados hidrológicos e climatológicos. A bacia hidrográfica selecionada foi a do Rio Apa, uma bacia transfronteiriça que inclui parte de territórios brasileiros e paraguaios. Dado que se trata de uma bacia transfronteiriça, foi necessário ainda lidar com informações espaciais e pontuais em diferentes formatos, em função dos diferentes órgãos públicos dos países envolvidos.

Esse trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto Sinergia, um projeto multinacional para a análise das mudanças climáticas na bacia hidrográfica do rio Paraguai (BHRP). As análises são feitas a partir do ajuste de um modelo hidrológico à situação atual da bacia. Posteriormente são utilizadas projeções das variáveis hidrológicas de entrada ao modelo, obtidas de cenários futuros, para obter as projeções das vazões nesses mesmos cenários. Assim, o ajuste do modelo hidrológico aqui apresentado representa a primeira etapa desse procedimento.

Outro objetivo desse trabalho é avaliar o desempenho da versão mais recente do modelo MGB-IPH, atualmente em desenvolvimento, em um estudo de caso com as características previamente descritas, e tratar dessa forma de contribuir no aprimoramento das diferentes interfaces criadas.

2. ESTUDO DE CASO

O rio Apa, escolhido para as análises nesse trabalho é um afluente do rio Paraguai por sua margem esquerda (Figura 1). A bacia hidrográfica do Rio Apa possui uma área de aproximadamente 15.263,11 km² e a longitude do curso principal é de 307,25 km. A nascente do rio Apa se encontra localizada no estado do Mato Grosso do Sul em território brasileiro, e no departamento de Amambay em território paraguaio. A foz do rio Apa se encontra no estado do

Mato Grosso do Sul, no território brasileiro e no departamento de Concepción, no território paraguaio.

O rio Apa corre sobre território muito plano, apresentado assim viagem muito tortuosa e com muitos meandros em tudo seu trajeto. Entre seus afluentes mais importantes estão os rios Pirapucu, Caracol e Perdido, que nascem nas montanhas da Boquedana.

Em total a bacia do Rio Apa abarca 7 cidades brasileiras: Porto Murtinho, Caracol, Bela Vista, Antônio João, Ponta Porã, Jardim e Bonito, e 5 cidades paraguaias: San Lázaro, San Carlos, Concepción, Bella Vista e Pedro Juan Caballero. Também é importante dizer que aproximadamente 75% da área da bacia está em território brasileiro e 25% em território paraguaio.

Entre as atividades desenvolvidas pela população da bacia, as mais importantes são a pesca, o comercio e o turismo. O comercio está muito potenciado por ter tanto fronteira acuatica assim como fronteira seca, é enquanto ao turismo pode se dizer que é devido aos atrativos das paisagens montanhosas e os parques temáticos de Bonito, muito conhecidos e valorados.

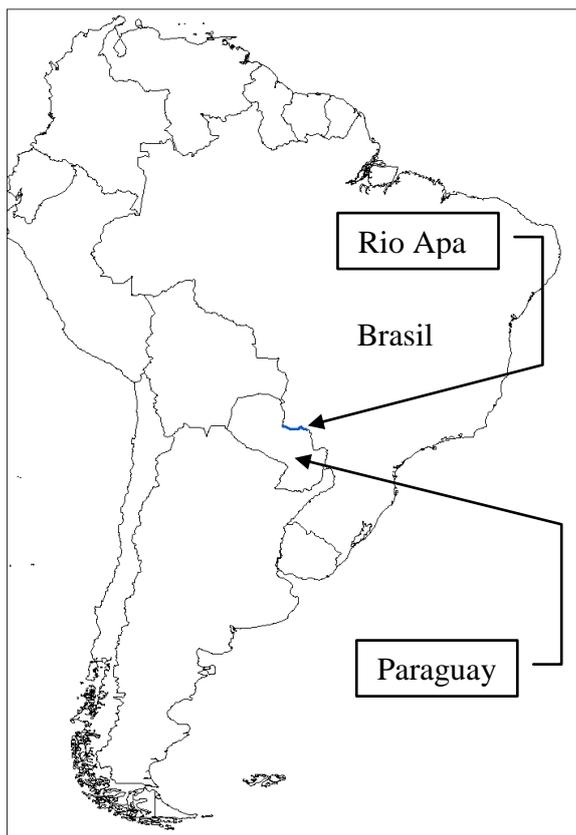


Figura 1 – Localização do Rio Apa no mapa da América do Sul.

3. MODELAGEM HIDROLÓGICA UTILIZANDO O MGB-IPH

A modelagem hidrológica utilizando o modelo MGB-IPH inclui uma série de etapas prévias nos quais as informações da bacia e das variáveis hidrológicas são obtidas e os dados de entrada preparados no formato adequado para leitura pelo modelo. Essa fase de preparação dos dados é de vital importância, pois a qualidade do ajuste obtido durante a calibração do modelo depende da acurácia dessas informações.

A seguir é apresentada uma descrição das etapas de aplicação da versão mais recente do modelo MGB-IPH considerando, como estudo de caso, a bacia hidrográfica do Rio Apa.

3.1- Obtenção do modelo numérico do terreno da região

O modelo numérico do terreno (MNT) da região representa uma das principais informações a serem utilizadas. Normalmente, emprega-se o MNT disponibilizado pelo CGIAR-CSI, referente ao *NASA Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM). O SRTM constitui um projeto conjunto entre duas agências dos Estados Unidos, a *National GeoSpatial Intelligence Agency* (NGA) e a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). A precisão vertical absoluta é estimada em torno de 16 m (CGIAR-CSI, 2006). Para a região da América do Sul, estão disponíveis dados em uma resolução de 3 arcos de segundo (90 m ou 0,00083333°).

O MNT foi obtido do site na internet denominado CSI-Geoportal: <http://srtm.csi.cgiar.org/> e é apresentado na Figura 2 para a bacia analisada.

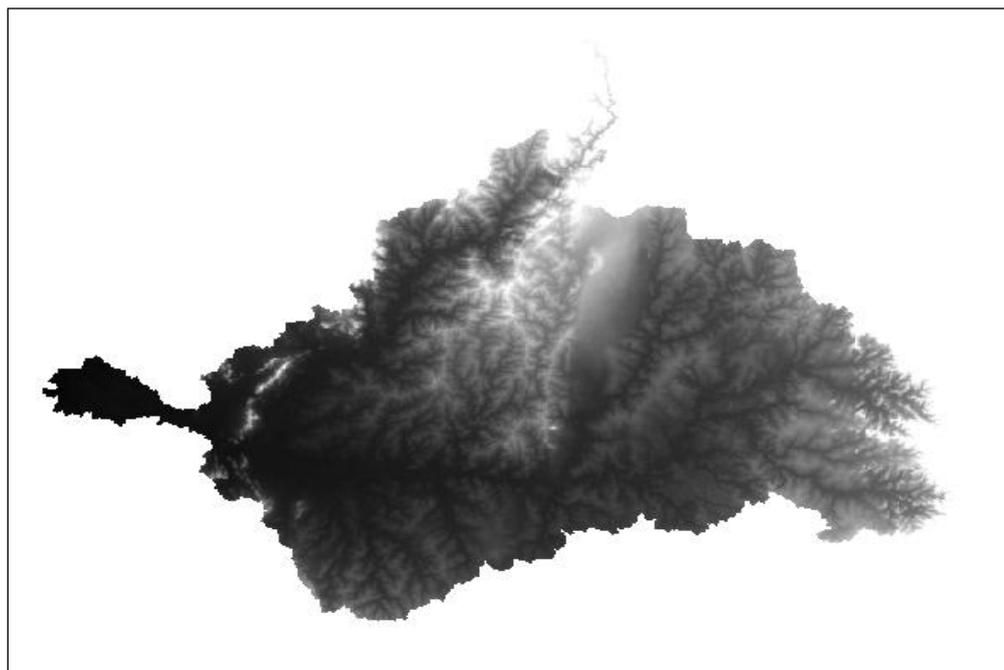


Figura 2 – MNT bruto da bacia do rio Apa.

A partir do MNT um conjunto de informações é gerado, conforme apresentado a seguir, baseado na aplicação de uma ferramenta de geoprocessamento do tipo SIG (Sistema de Informações Geográficas). A maioria dessas informações é gerada em formato raster, em função da discretização espacial do modelo.

3.2- Informações obtidas por geoprocessamento

A geração das diferentes informações baseadas no geoprocessamento foi feita no programa ArcGis 9.2 da ESRI, onde a partir do MNT bruto foram feitos cronologicamente as seguintes operações:

- Preenchimento de falhas no MNT bruto
- Determinação de direções de fluxo.
- Determinação de áreas de drenagem acumuladas.
- Definição da rede de drenagem.
- Identificação do exutório e delimitação da bacia hidrográfica do rio Apa.
- Discretização da bacia em mini-bacias, que representam a menor unidade de análise no modelo distribuído.

Como exemplo, a Figura 3 e a Figura 4 apresentam alguns produtos gerados nessa etapa. A Figura 3 mostra a bacia hidrográfica do rio Apa definida até a confluência com o rio Paraguai, totalizando uma área de 15.263,11 km². Por sua vez, na Figura 4 é apresentada a rede de drenagem da bacia e a delimitação de mini-bacias, sendo em total, 141 mini-bacias apresentadas.

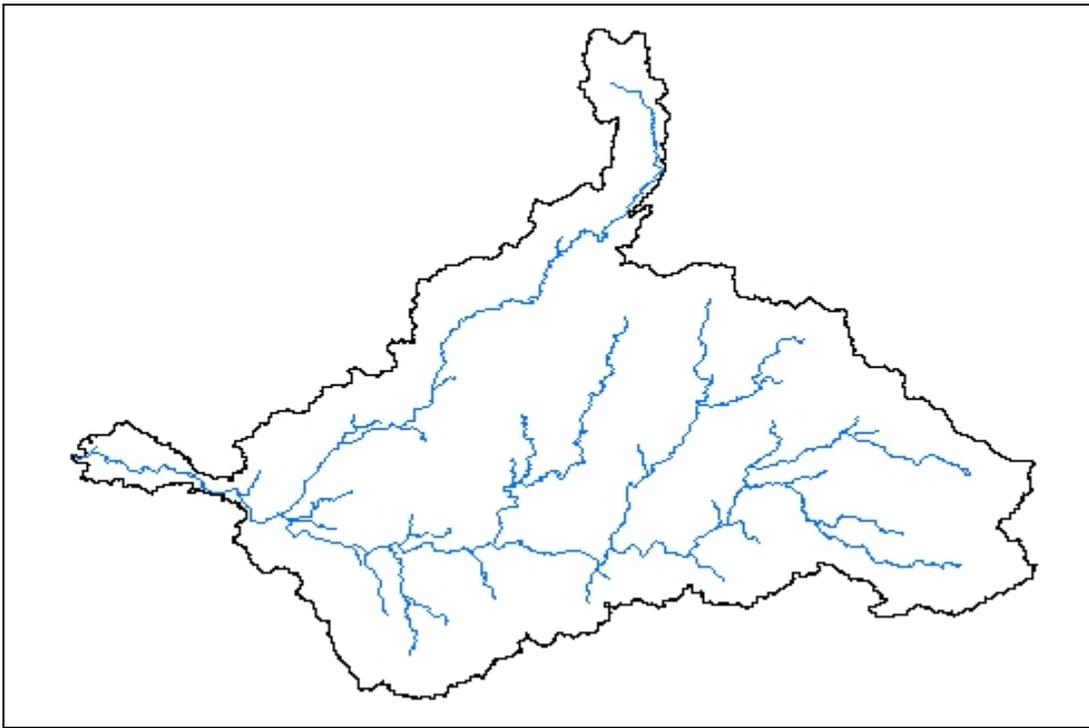


Figura 3 – Bacia do Rio Apa.

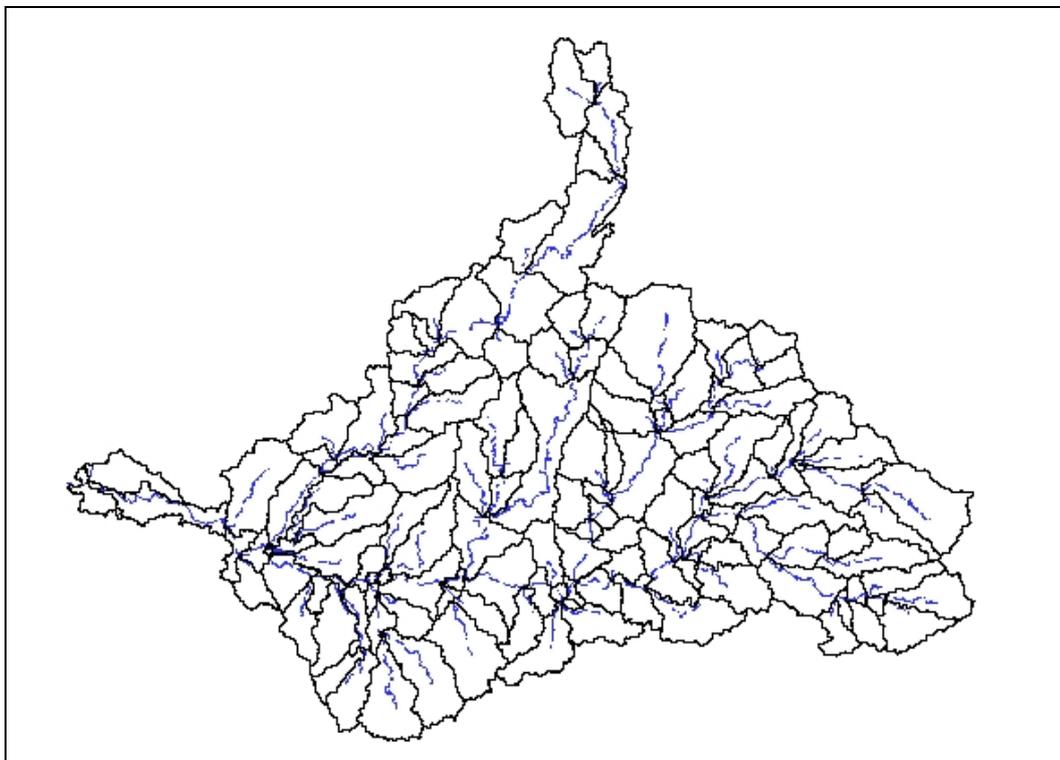


Figura 4 – Discretização da bacia do rio Apa em mini-bacias e traçado da rede de drenagem.

O modelo MGB-IPH permite considerar a variabilidade espacial das características físicas internamente às células da malha de discretização. Os tipos de solo e usos da terra são combinados para compor os blocos ou Unidades de Resposta Hidrológica (URHs), seguindo abordagem de Kowen et al. (1993). A combinação desses dois planos de informação visa produzir áreas semelhantes do ponto de vista hidrológico. Alguns parâmetros do modelo hidrológico são calibrados especificamente para cada bloco e, portanto, procura-se reduzir a quantidade de blocos visando parcimônia na quantidade de parâmetros.

A obtenção das URHs também forma parte do conjunto de procedimentos baseados no geoprocessamento de imagens. Um resumo dos passos feitos para definir as URHs é apresentado a seguir:

- 1) Obtenção dos dados dos usos do terreno de LANDSAT (dato obtido da pagina web http://landsat.usgs.gov/Landsat_Search_and_Download.php)
- 2) Identificação e classificação dos usos do terreno predominantes na bacia analisada.
- 3) Obtenção dos dados de tipos de solo (Map of World Soil Resources 1:25.000.000 - FAO, 2003)
- 4) Processamento dos tipos de solo.
- 5) Criação das URHs combinando as informações de usos do terreno e tipo de solos na bacia hidrográfica analisada.

Nesse sentido, as informações disponibilizadas nas imagens de satélites foram classificadas como: Água, Cidade, Floresta, e Pastagem. Por sua vez, os tipos de solos predominantes na bacia, segundo a classificação da FAO 2003 são: Acrisols, Ferralsols, Fluvisols and Planosols. A partir dessas informações, foram definidas quatro URHS e nomeadas: Água, Cidade, Floresta e Pastagem, cuja distribuição espacial é apresentada na Figura 5. Conforme se observa nessa figura, as URHs predominantes são Floresta e Pastagem, as quais abrangem 85 % da área da bacia, aproximadamente.

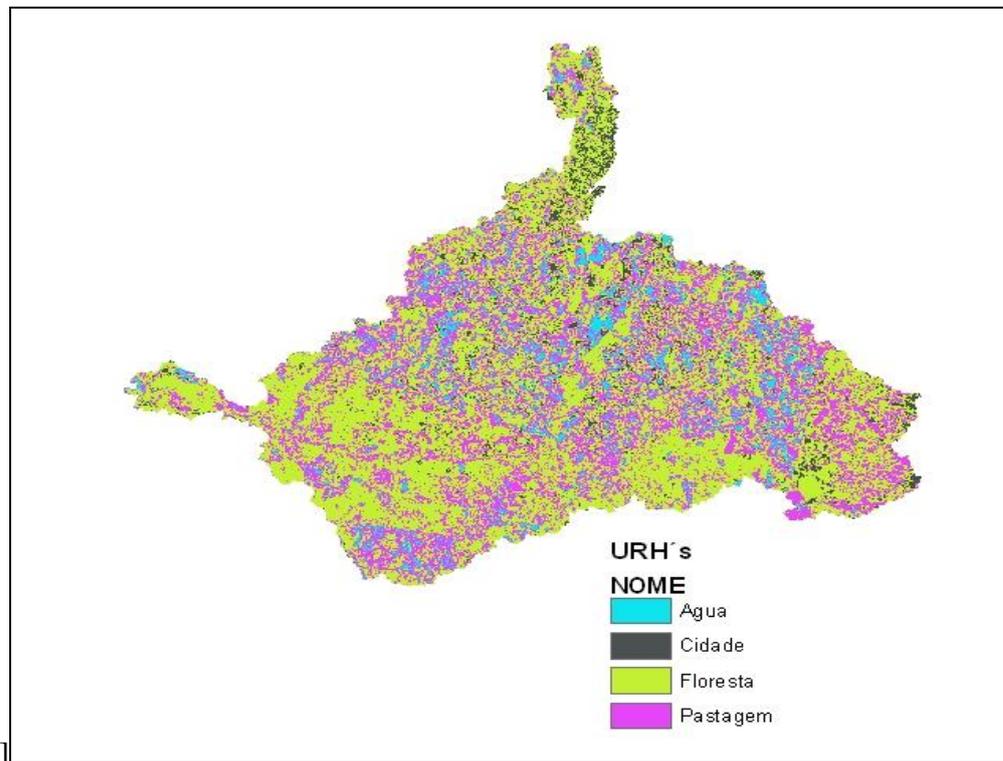


Figura 5 – Unidades de Resposta Hidrológica definidas na modelagem hidrológica do rio Apa.

3.3- Obtenção dos dados hidrológicos e meteorológicos

Os dados hidrológicos e meteorológicos com influência na bacia hidrográfica do rio Apa foram obtidos do site Hidroweb da ANA. Estes dados passaram inicialmente por uma análise de consistência e, posteriormente, foi dado o formato para sua utilização pelo modelo hidrológico.

A Tabela 1 apresenta algumas características dos dados utilizados, sendo que foram identificados dez postos pluviométricos, um posto fluviométrico localizado no rio principal e três postos meteorológicos, onde informações de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, insolação e pressão atmosférica foram utilizadas, mas é importante dizer que mais datas se têm de clima são disponibilizadas. Por sua vez, a Figura 6 apresenta a localização dos postos pluviométricos com incidência na bacia hidrográfica analisada.

Tabela 1 – Postos com dados de chuva, vazão e clima utilizados na modelagem da bacia do Rio Apa.

| ID | Tipo | Nome | Latitude | Longitude | Período de Dados |
|----------|------|-----------------|--------------|--------------|--------------------------|
| 02157000 | cli | Porto Murtinho | -57.88333333 | -21.70000000 | 01/01/1961 31/12/1978 |
| 02254002 | cli | Dourados | -54.79222222 | -22.39805556 | 01/01/1961 31/12/1978 |
| 02255000 | cli | Ponta Porã | -55.71666667 | -22.53333333 | 01/01/1961 31/12/1978 |
| 02056007 | plu | Santa Rosa | -56.98388889 | -20.92666667 | 01/02/1982 31/08/2010 |
| 02057000 | plu | Taruma | -57.64777778 | -20.29083333 | 07/04/1971 30/06/2010 |
| 02057001 | plu | São Simão | -57.32138889 | -20.04972222 | 01/02/1977 30/06/2010 |
| 02157003 | plu | Santa Otília | -57.03833333 | -21.19000000 | 31/10/1970 30/06/2010 |
| 02157004 | plu | Porto Murtinho | -57.88527778 | -21.69361111 | 01/01/1966 31/08/2010 |
| 02157005 | plu | Marabá | -57.35777778 | -21.68833333 | 01/01/1976 31/08/2010 |
| 02157006 | plu | Barranco Branco | -57.84416667 | -21.09861111 | 01/05/1980 31/08/2010 |
| 02255002 | plu | Antônio João | -55.94194444 | -22.18555556 | 01/04/1984 31/07/2010 |
| 02256001 | plu | Bela Vista | -56.52638889 | -22.10888889 | 01/11/1969 31/08/2010 |
| 02257000 | plu | Caracol | -57.02916667 | -22.03083333 | 01/07/1968 31/08/2010 |
| 67170000 | flu | São Carlos | -57.30390000 | -22.22360000 | 01/09/1971 30/09/2009 |

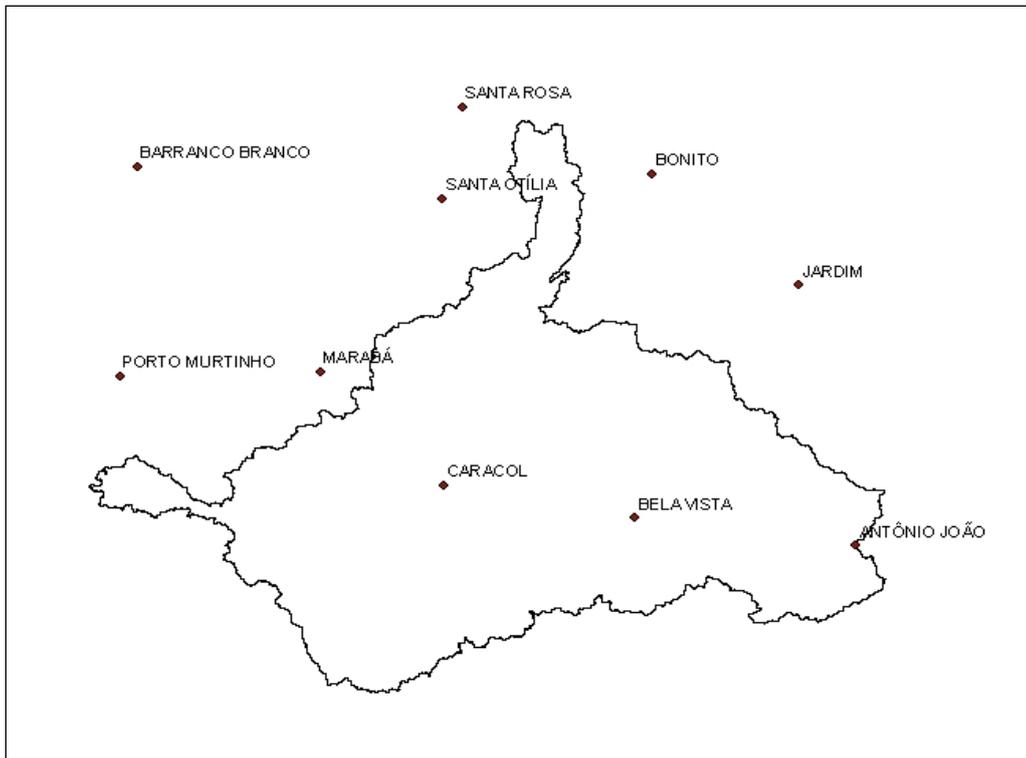


Figura 6 – Estações pluviométricas utilizadas na modelagem hidrológica do rio Apa.

3.4- Criando o projeto da bacia do rio Apa na interface do MGB-IPH em MapWindow

A nova versão do MGB-IPH trabalha em um ambiente MapWindow baseado na criação de projetos de trabalho. No projeto são incluídas todas as informações previamente obtidas e algumas que são calculadas a partir de programas complementares, como o PrePro, além de serem definidos os valores dos parâmetros do modelo.

O programa PrePro, foi desenvolvido em Fortran e têm a interface compatível com ArcGis, desenvolvida em Visual Basic, a qual requer como dados de entrada os layers de: MNT, direções de fluxo, área de drenagem acumuladas e rede de drenagem, sendo obtido como resultado a localização de todos os centroides das mini-bacias.

A criação de um projeto segue duas etapas: (1) Preparação dos dados de entrada e (2) Preparação do projeto.

Na etapa de preparação dos dados de entrada, todas as informações previamente obtidas são utilizadas, e dado o formato necessário para a leitura pelo modelo. A janela utilizada nesta etapa é apresentada na Figura 7, sendo as principais operações executadas:

- Geração de um shapefile com os centroides das mini bacias, arquivo gerado no PrePro
- Descrição dos blocos das URH
- Geração do arquivo de vazões observadas e shapefile dos postos fluviométricos utilizados na modelação.

- Interpolação dos dados de chuva e geração de um shapefile com os postos pluviométricos a utilizar na modelação.
- Preparação dos dados de clima: Temperatura, Umidade Relativa, Insolação, Pressão, e Velocidade do Vento.
- Definição dos valores dos parâmetros fixos e geração de um arquivo de parâmetros fixos.
- Definição dos valores dos parâmetros calibráveis e geração de um arquivo de parâmetros calibráveis.

Por fim, na etapa de preparação do projeto, os dados previamente preparados são identificados para dar origem a um projeto, sendo estes apresentados a seguir (a interface utilizada nesta etapa é ainda apresentada na Figura 8):

- Dados de feições: arquivo de células ou centroides e descrição dos blocos.
- Dados hidrológicos: chuva interpolada e vazões observadas.
- Dados climatológicos: médias climatológicas e arquivos de dados diários de clima.
- Dados de parâmetros: fixos e calibráveis.

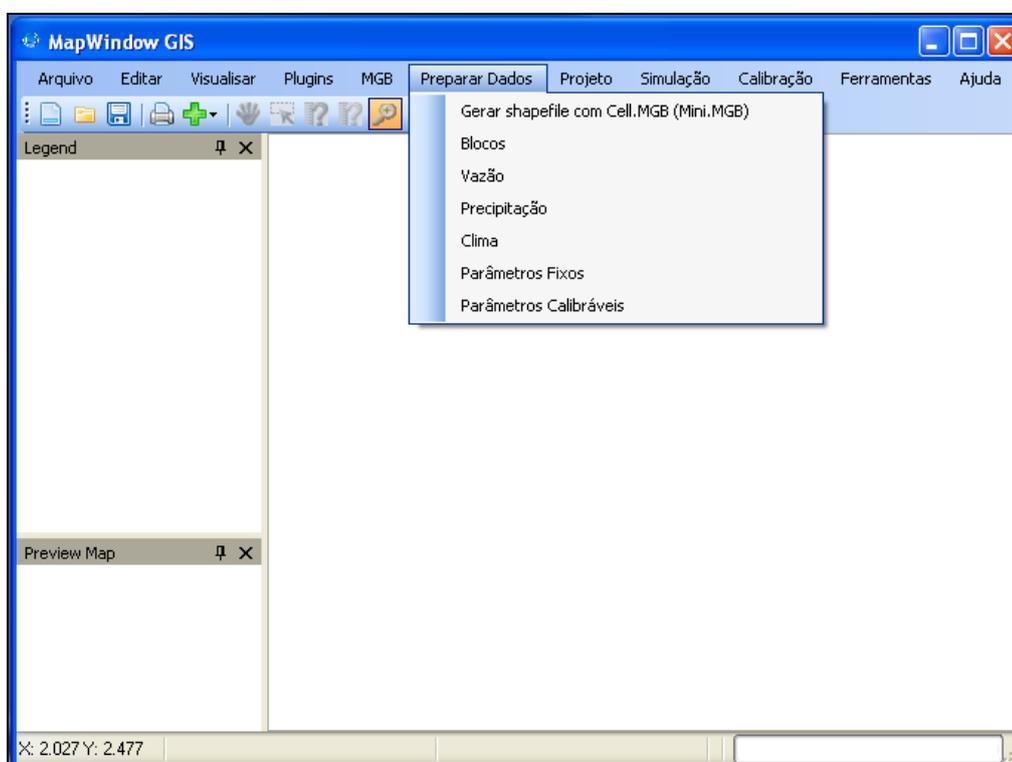


Figura 7 – Interface MGB em MapWindow – Janela de preparação de dados de entrada.

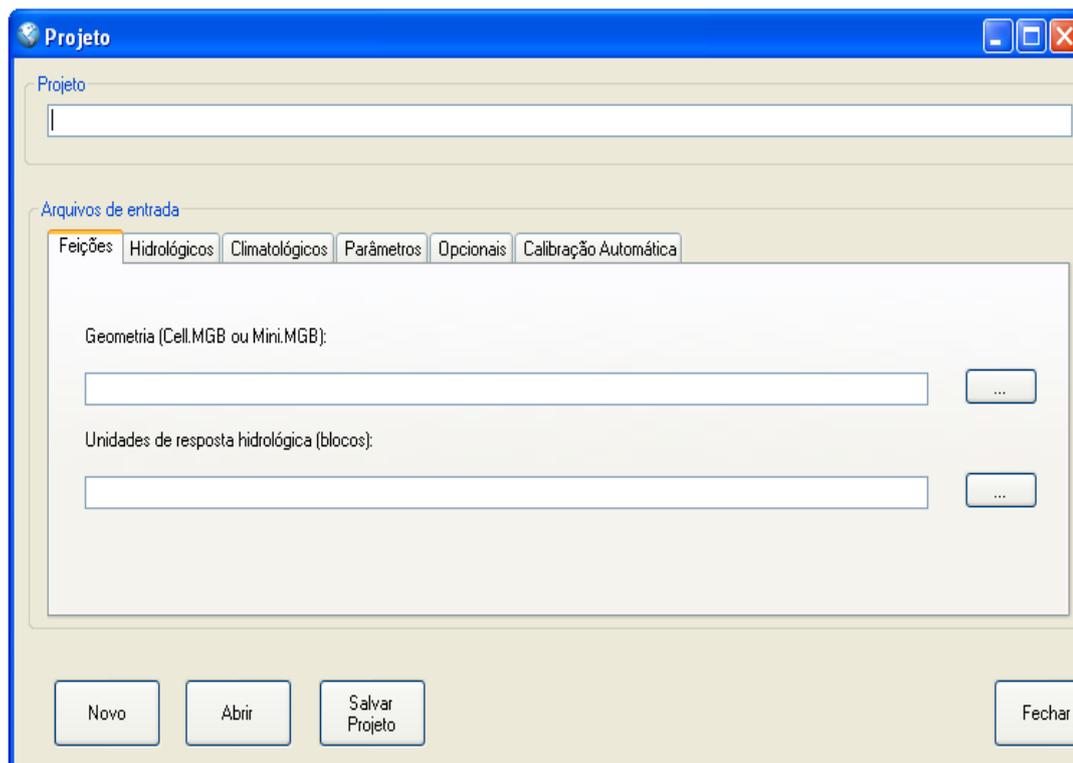


Figura 8 – Interface MGB em MapWindow – Janela de preparação de projeto MGB.

3.5- Calibração do modelo MGB-IPH na interface de MapWindow

Uma vez definido o projeto da bacia hidrográfica do rio Apa este pode ser utilizado para iniciar um processo de calibração. Duas opções de calibração são disponibilizadas: Manual e Automática, conforme apresentado na Figura 9.

A calibração manual foi utilizada no ajuste dos parâmetros do modelo na bacia do rio Apa. Dessa forma, um processo iterativo foi utilizado, onde o usuário do modelo altera os valores dos parâmetros do modelo a cada tentativa. A cada tentativa, foi feita uma comparação visual dos resultados obtidos com os valores observados com o objetivo de verificar se conseguiu uma melhor representação do sistema. Em caso afirmativo, os valores dos parâmetros continuam sendo modificados nessa direção; caso contrário, uma nova direção é testada. Esse processo iterativo prossegue até que o usuário encontre um conjunto de parâmetros que, conforme sua percepção, leve aos resultados mais apropriados para o processo simulado.

Dada a escassez de dados fluviométricos existente na bacia do rio Apa, a calibração dos parâmetros do modelo foi limitada a um único posto fluviométrico, o posto de São Carlos, localizado no rio principal da bacia. Este posto, apesar de apresentar dados no período 1971-2009, possui muitos períodos com falha. Assim, o período escolhido para a calibração foi 01/09/1996 a 31/12/2006, que representa, aproximadamente, dez anos de dados.

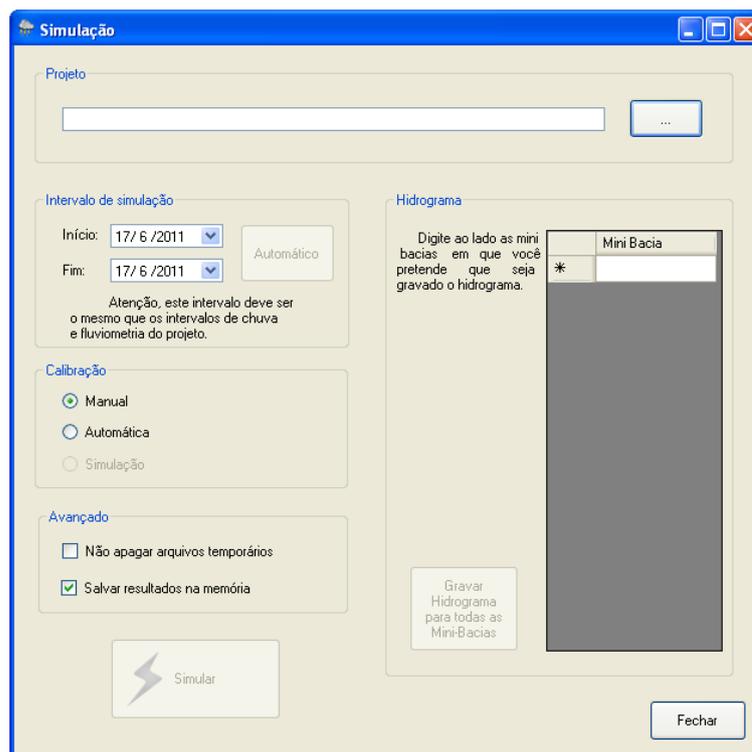


Figura 9 – Interface MGB em MapWindow – Janela de simulação de projeto MGB.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Figura 10 à Figura 12 apresentam os resultados obtidos na calibração manual do modelo MGB-IPH, utilizando a nova versão da interface do modelo, aplicado à bacia hidrográfica do rio Apa. A Figura 10 mostra os resultados no período 09/01/1996 a 31/12/1999, a Figura 11 mostra os resultados no período 01/01/2000 a 31/12/2003 e, por fim, a Figura 12 mostra os resultados no período 01/01/2004 a 31/12/2006 .

É importante ressaltar que esses resultados devem ser analisados considerando a escassez de dados existente na região. Assim, considerou-se que o modelo conseguiu representar muito bem os picos das maiores cheias, além das cheias menores que acontecem no começo e no final do período chuvoso. A subida e a descida dos hidrogramas de cheias também foram muito bem representadas.

Outro ponto de interesse no ajuste foi a correta representação da extensão dos períodos de cheias e estiagens, e dos anos mais secos e mais úmidos, em função do uso que será dado ao modelo (avaliação de cenários de mudanças climáticas). Conforma observam-se nessas figuras, ambas as características dos hidrogramas foram muito bem representadas.

Nos períodos de estiagens, as vazões calculadas apresentaram um comportamento mais nervoso, com pequenas subidas e descidas, mas com valores próximos aos observados.

A partir dessas análises considerou-se o ajuste como satisfatório e em futuros trabalhos será comparado aos resultados obtidos da calibração automática.

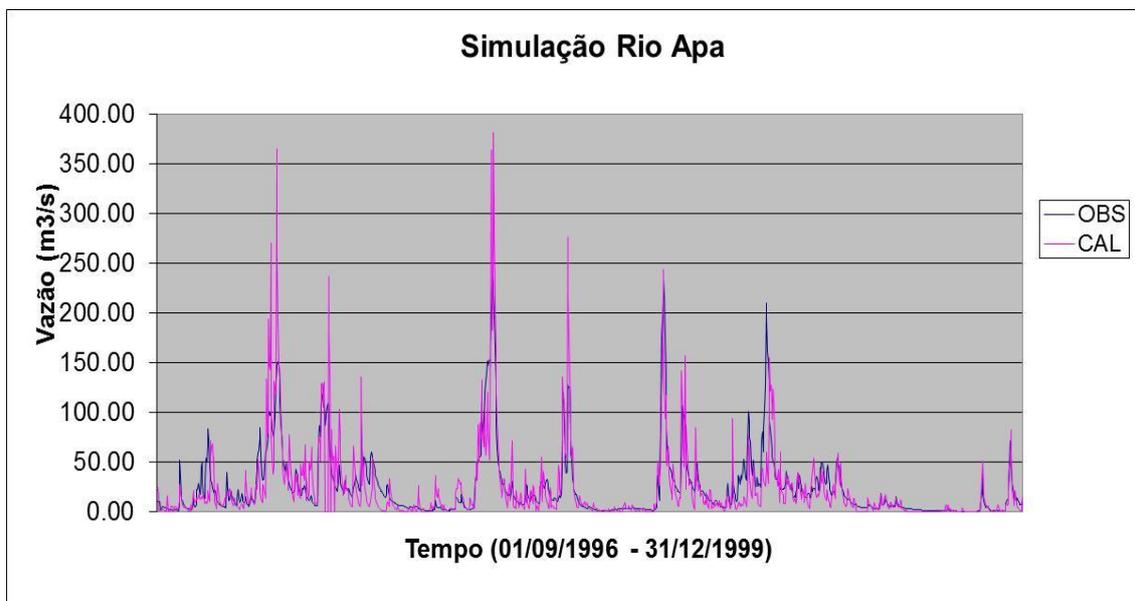


Figura 10 – Hidrograma calculados vs hidrograma observado no posto fluviométrico 67170000 – São Carlos, no período 01/09/1996 a 31/12/1999.

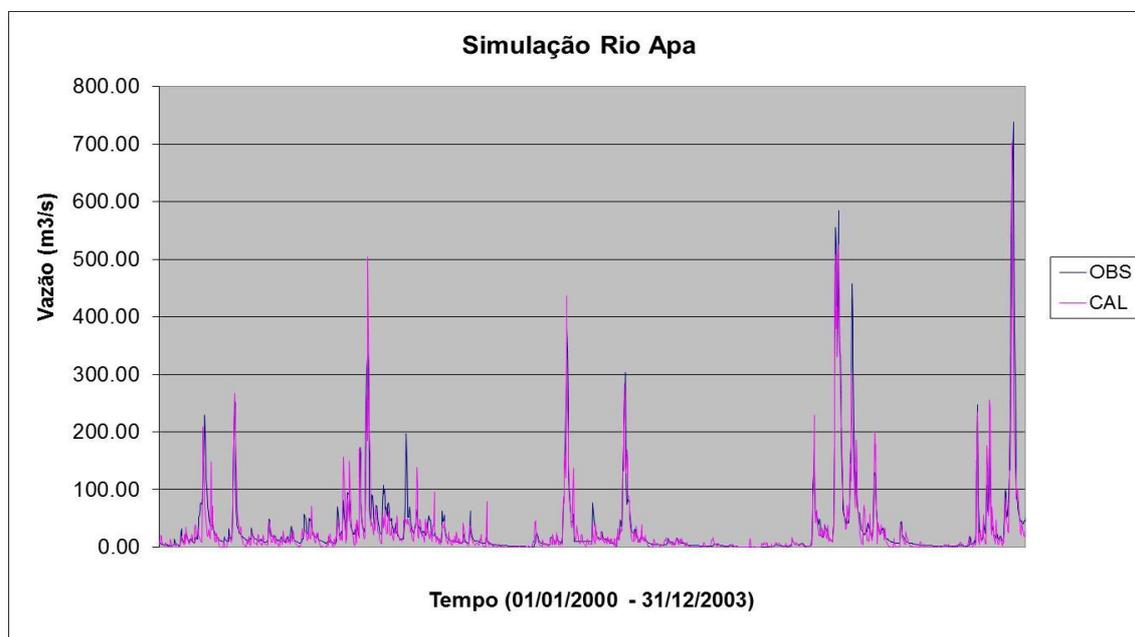


Figura 11 – Hidrograma calculados vs hidrograma observado no posto fluviométrico 67170000 – São Carlos, no período 01/01/2000 a 31/12/2003.

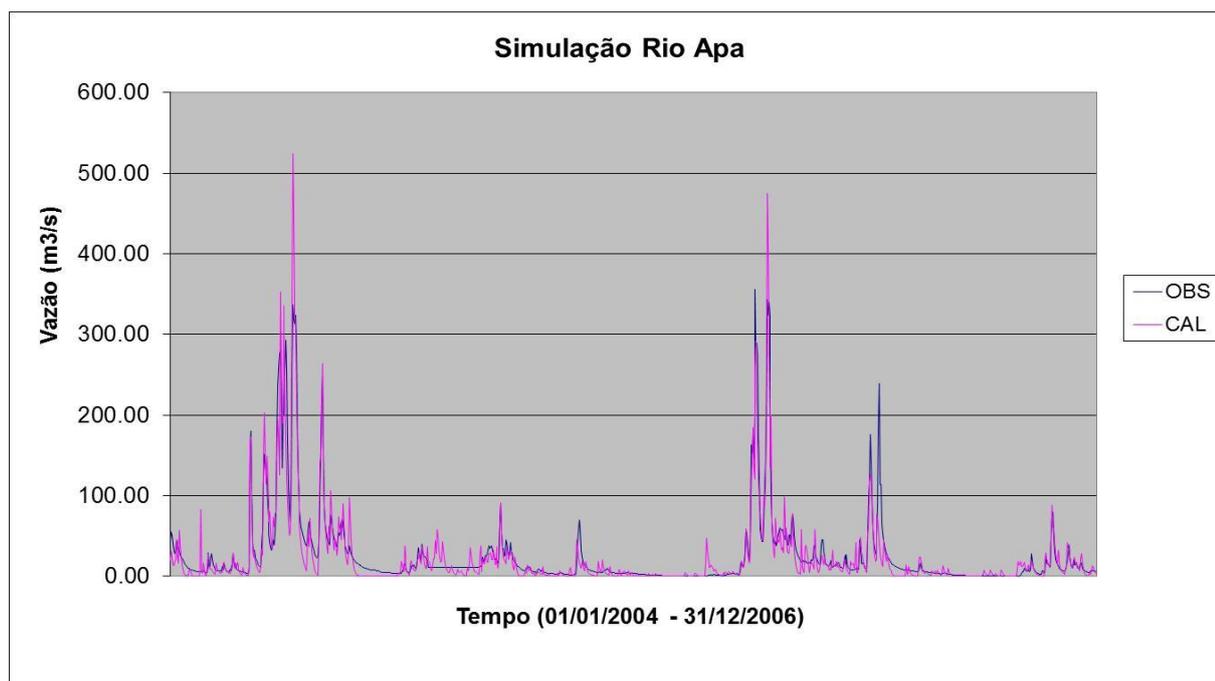


Figura 12 – Hidrograma calculados vs hidrograma observado no posto fluviométrico 67170000 – São Carlos, no período 01/01/2004 a 31/12/2006.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta uma aplicação detalhada do modelo MGB-IPH em uma bacia caracterizada pela pouca disponibilidade de dados hidrológicos e climatológicos. A bacia hidrográfica selecionada foi a do Rio Apa, uma bacia transfronteiriça que inclui parte de territórios brasileiros e paraguaios. Além disso, foi avaliado o desempenho da versão mais recente do modelo MGB-IPH, atualmente em desenvolvimento, em um estudo de caso com as características previamente descritas.

O modelo foi calibrado com sucesso na bacia, apesar da escassez de dados existente, reproduzindo satisfatoriamente os picos de cheias e os períodos de estiagens, além das extensões dos períodos de cheia e estiagem e os anos mais secos e úmidos. Estes últimos representam pontos de interesse do ajuste em função do futuro uso que será dado ao modelo (avaliação de cenários de mudanças climáticas).

Também se pode mencionar que a nova versão do modelo MGB-IPH, desenvolvida na interface gráfica para MapWindow, facilita a calibração manual permitindo a obtenção dos resultados em um menor tempo, mantendo a mesma acurácia da versão antiga que carece de interface gráfica.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao Projeto SINERGIA e ao CNPq pela bolsa de estudo concedida e que permitiu a realização dessa pesquisa, e ao IPH pelas instalações para a execução dos processos durante a modelagem.

BIBLIOGRAFIA

CGIAR-CSI (2006). *Void-filled seamless SRTM data V1 – 2004*. International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), The CGIAR Consortium for Spatial Information, <http://srtm.csi.cgiar.org>. Acessado em maio/2006.

COLLISCHONN, W. (2001). “*Simulação hidrológica de grandes bacias*”. Tese de Doutorado. IPH –UFRGS. 270 p.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. (2001). “*Simulação hidrológica de grandes bacias*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 6 No. 1

COLLISCHONN, W.; BUARQUE, D. C.; PAIVA, R. C. D.; FAN, F. M.; KAYSER, R. H. B. (2010). “*Manuais do modelo MGB-IPH versão 2.0*”.

TUCCI, C.E.M. (1998). “*Modelos hidrológicos*”. ABRH Editora da UFRGS. Porto Alegre. 669 p.