
MANUAL DE EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO MODELO MGB-IPH 2017 UTILIZANDO O IPH-Hydro Tools

Fevereiro de 2017

Pedro Frediani Jardim
Ayan Santos Fleischmann
Dieyson Pelinson
Aline Meyer Oliveira
Vinícius Alencar Siqueira
Fernando Mainardi Fan
Walter Collischonn

Conteúdo

1	Introdução	5
1.1	Como usar este manual.....	5
2	Discretização utilizando o IPH-Hydro Tools	6
2.1	Modelo Digital de Elevação	6
2.2	Criação de um Mosaico	8
2.3	Extração da área de interesse	10
2.4	Processamento do MDE: Sink and Destroy	13
2.5	Acumulação de Fluxos: Flow Accumulation	14
2.6	Definição da rede de drenagem: Stream Definition	15
2.7	Delimitação da bacia hidrográfica: Watershed Delineation	17
2.8	Delimitação de sub-bacias hidrográficas: Watershed Delineation	19
2.9	Recorte das informações de interesse	20
2.10	Segmentation Tools.....	21
2.10.1	ArcHydro Segmentation	21
2.10.2	Length Accumulation/Segmentation	21
2.10.3	Minimum Length Segmentation	22
2.11	Obtenção de minibacias: Catchment Delineation.....	23
2.12	Conversão em arquivos vetoriais	24
2.12.1	Drainage Line.....	24
2.12.2	Watershed Polygon	25
2.13	Criação das Classes de Respostas Hidrológicas.....	25
2.13.1	Alternativa 01: Utilizando uma base externa de dados do tipo vetorial	26
2.13.2	Alternativa 02: Utilizando o Mapa de URHs da América do Sul.....	33
2.14	Finalização do pré-processamento via IPH-Hydro Tools.....	34
3	MGB-IPH.....	37
3.1	Geração do shapefile dos centróides das minibacias	37
3.2	Descrição das Classes de Respostas Hidrológicas	38
3.3	Interpolação dos dados de precipitação	40
3.3.1	Alternativa 01: <i>Dados da Agência Nacional de Águas (ANA)</i>	41
3.3.2	Alternativa 02: Uso de dados satélite para América do Sul - MERGE/CPTEC	42
3.3.3	Alternativa 03: Uso de satélite global – TRMM.....	45
3.3.4	Alternativa 04: Outras fontes de dados de chuva.....	45
3.4	Geração do arquivo de vazões observadas.....	46

3.5	Download de dados de chuva e vazão	48
3.6	Manejo dos Dados de Clima.....	49
3.6.1	Alternativa 1: Uso de base de dados interna de normais climatológicas para o Brasil (INMET).....	50
3.6.2	Alternativa 2: Uso de base de dados Climatic Research Unit (CRU)	51
3.6.3	Alternativa 3: Uso de base de dados de clima diário	52
3.7	Definição dos Parâmetros de Vegetação	54
3.8	Definição dos parâmetros de Solo	57
3.9	Criação de um projeto para simulação	58
3.10	Simulação	59
3.11	Visualização dos resultados	60
3.11.1	Comparação de hidrograma calculado e observado.....	60
3.11.2	Comparação de curva de permanência simulada e observada	62
3.11.3	Visualização do hidrograma simulado.....	63
3.11.4	Visualização da curva de permanência simulada	63
3.11.5	Visualização da série de níveis simulada (apenas com o Modelo Inercial).....	63
3.11.6	Visualização da área inundada simulada (apenas com o Modelo Inercial)	64
3.11.7	Pós-processamento da área inundada (apenas com o Modelo Inercial).....	65
3.12	Calibração Manual.....	67
3.13	Calibração Automática	70
4	Outras ferramentas.....	76
4.1	Edição do arquivo mini.gtp	76
4.2	Hidrograma de posto fluviométrico	76
4.3	Filtro de vazão de base de posto fluviométrico	77
4.4	Curva de permanência de posto fluviométrico.....	79
4.5	Pluviograma de posto pluviométrico	79
4.6	Criação de raster de dados de chuva	79
4.6.1	Raster de precipitação média anual	80
4.6.2	Raster de precipitação acumulada	80
4.6.3	Interface e geração do arquivo raster	80
4.7	Base de dados interna.....	81
4.8	Perfil Longitudinal	82
5	Troubleshooting	84
5.1	Configurações do Windows.....	84

5.2	Resolvendo problemas com prompt de comando	84
5.3	Problemas ao rodar o MGB PreProcessing	86
5.4	Problemas ao simular	88
5.5	Problemas na visualização dos resultados da simulação	88
5.6	Problemas na leitura de arquivos ASCII colunas	88
5.7	Compatibilidade com o ArcGis	88
5.8	Informações sobre o Modelo inercial	89
6	Referências	90

ATENÇÃO: Para rodar o MGB-IPH é necessário que as configurações de região e idioma do computador estejam corretas. Para isso, entre em Painel de Controle/Região e Idioma e configure o formato para Português (Brasil). Em Configurações adicionais, selecione como símbolo decimal ponto ('.') e como separador de milhar vírgula (',').

1 Introdução

Este manual visa a apresentação e aplicação do modelo de simulação hidrológica MGB-IPH (Collischonn, 2001; Collischonn et al., 2007, Paiva et al., 2013) para a bacia hidrográfica do Rio das Almas, localizado no estado de Goiás, desde a aquisição de dados até visualização e calibração dos resultados.

O pré-processamento dos arquivos de entrada será realizado com o pacote de ferramentas **IPH-Hydro Tools**, que é um plugin para o software de SIG MapWindow GIS, assim como o plugin do MGB-IPH. Nesta etapa de pré-processamento são gerados arquivos descritores do terreno, como rede de drenagem, delineamento da bacia hidrográfica, de minibacias e definição das classes de respostas hidrológicas. A partir das informações reunidas é gerado, entre outros dados, o arquivo "Mini.gtp", que concentra informações sobre cada uma das minibacias em que foi discretizada a bacia em estudo, como área de drenagem a montante, coordenada do centróide, comprimento do trecho de rede, entre outros. Este arquivo de topologia é fundamental para as etapas seguintes de preparação de dados do modelo hidrológico e simulação pelo MGB-IPH.

A partir dos dados oriundos do pré-processamento, inicia-se as etapas de preparação de dados para o modelo hidrológico, a partir das ferramentas disponíveis no plugin **MGB-IPH**. Dados de chuva, vazão, clima, parâmetros fixos e calibráveis são organizados de forma a permitir a simulação hidrológica através do modelo. Por fim, é feita a simulação, e então realizada a calibração do modelo, pós-processamento e visualização de resultados.

Downloads dos plugins IPH-HydroTools e MGB-IPH podem ser feitos no site do nosso grupo de pesquisas: <https://www.ufrgs.br/hge/>.

1.1 Como usar este manual

Este manual apresenta todas as ferramentas disponíveis na interface do MGB-IPH, além de apresentar as etapas necessárias para rodar o modelo utilizando o IPH-HydroTools para pré-processamento de dados. Caso o usuário tenha interesse, é possível fazer as mesmas etapas com o ArchHydro ou outras plataformas de geoprocessamento aplicado a recursos hídricos. Manuais para a versão antiga do MGB-IPH com esses outros pacotes estão disponíveis na página do MGB-IPH 2011 (versão antiga). Detalhes referentes à compatibilidade de arquivos gerados em outras plataformas de geoprocessamento com o MGB-IPH são também apresentados na seção de Troubleshooting do presente manual.

No manual, para cada etapa de processamento do modelo, estão exemplificadas as diversas alternativas possíveis. Assim, por exemplo, na seção "3.3 Interpolação dos dados de precipitação", estão apresentadas as três alternativas possíveis de utilização de dados de chuva - (1) dados da Agência Nacional de Águas; (2) dados de satélite do MERGE/CPTEC; e (3) dados de satélite do TRMM. Cabe ao usuário escolher qual alternativa melhor se enquadra no seu estudo.

A Figura 1 apresenta um fluxograma de aplicação do modelo MGB-IPH.

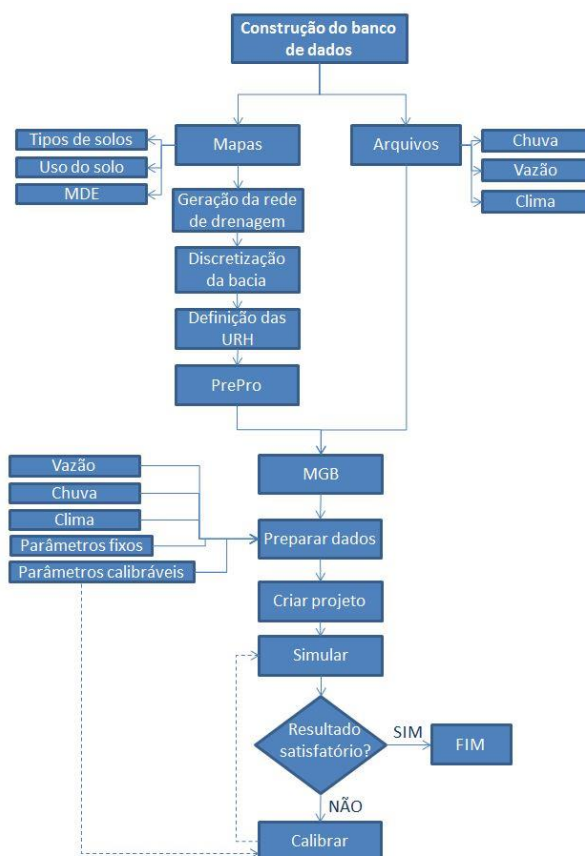


Figura 1. Fluxograma de aplicação do modelo MGB-IPH.

2 Discretização utilizando o IPH-Hydro Tools

2.1 Modelo Digital de Elevação

O primeiro passo antes de começar a utilizar as ferramentas do IPH-Hydro Tools é a construção de uma base de dados para alimentar o programa. Deve-se inicialmente obter um Modelo Digital de Elevação (MDE), que consiste em um arquivo do tipo raster onde cada célula apresenta a cota do terreno para uma certa resolução espacial.

Algumas das fontes para adquirir estes modelos de forma gratuita são pelo CGIAR (<http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>), onde é possível baixar os dados

diretamente no formato ASCII, pelo Laboratório de Geoprocessamento do Centro de Ecologia da UFRGS (http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/index.php?option=com_content&view=article&id=51%3Ageotiff&catid=9%3Anoticias&Itemid=16) e pelo site da EMBRAPA (<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/index.htm>). Todos estes locais disponibilizam os MDEs a partir de imagens do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) com resolução espacial de aproximadamente 90 metros.

Para a bacia do Rio das Almas, baixaremos o MDE no formato GeoTiff pelo site do CGIAR na projeção geográfica WGS 1984. Note que foi necessário baixar 4 quadros para compor toda a bacia conforme mostra a Figura 2. São eles: srtm_26_15, srtm_26_16, srtm_27_15 e srtm_27_16, cada um com 3 arquivos que você deve descompactar.

A partir daqui é interessante que você tenha no seu diretório uma pasta exclusiva para os arquivos discretizados a partir do IPH-HydroTools, para uma melhor organização dos seus arquivos. Neste caso chamamos a pasta de “IPH-HydroTools”.

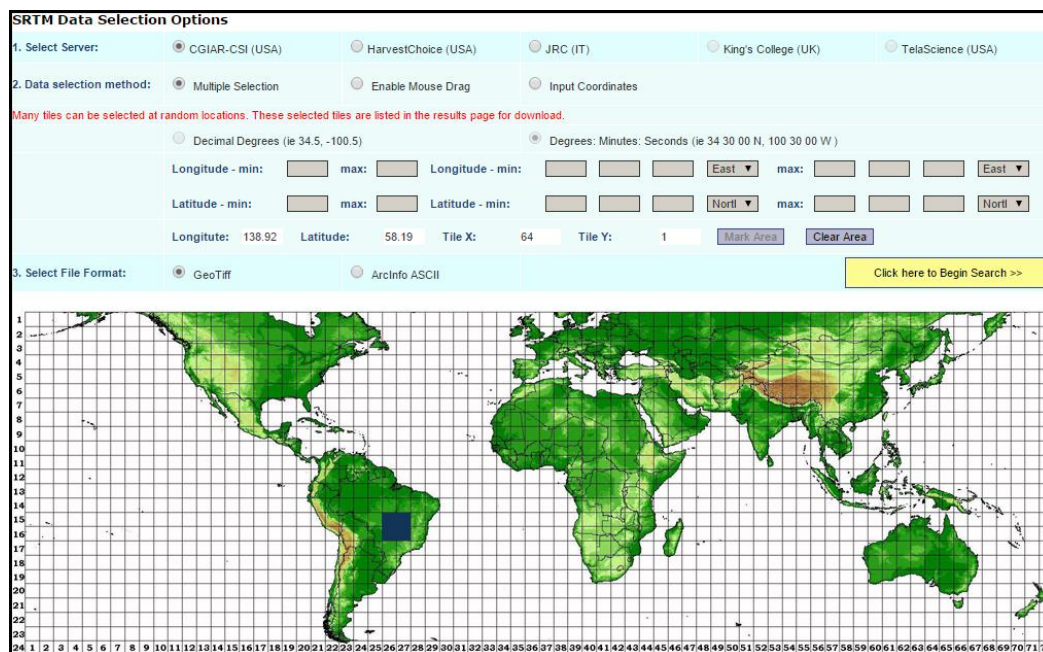


Figura 2. MDEs necessários para delimitação da bacia.

Abra agora o MapWindow, adicione estes arquivos através do botão **Add Layer** e dê OK para a mensagem que aparece a seguir. Os arquivos deveram ser apresentados como mostrado na Figura 3, mas não necessariamente com a mesma paleta de cores.

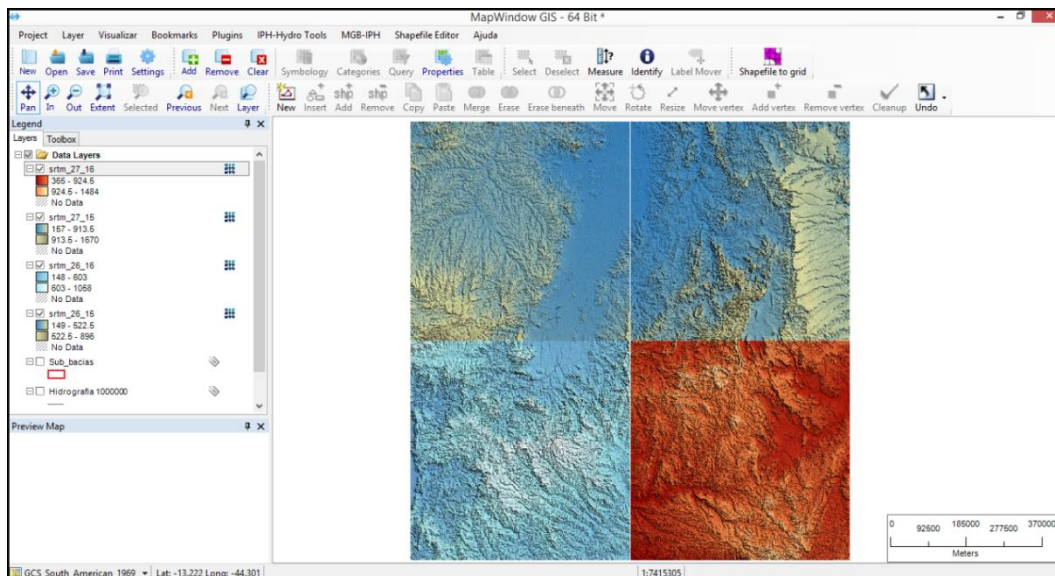


Figura 3. Arquivos baixados carregados na interface do MapWindow.

2.2 Criação de um Mosaico

Como neste caso, muitas vezes a área de interesse não estará dentro de apenas um quadro baixado. Assim faz-se necessário criar um mosaico dos MDEs adquiridos para englobar toda a bacia. Através da ferramenta **Merge Grids** das ferramentas **Raster** na aba **Toolbox** do MapWindow (geralmente posicionado no menu da esquerda da tela) é possível unir dois ou mais arquivos raster que possuam o mesmo sistema de projeção e resolução espacial.

Abra a ferramenta e selecione os 4 arquivos baixados que serão mostrados na janela **Select Grids**. Dê OK para então ser aberta a janela **Output Options** onde selecionaremos como formato do arquivo de saída ASCII (*.asc) e daremos o nome “Mosaic” ao arquivo gerado conforme pode ser visto na Figura 4. A seguir clique em **Finish**. Este passo pode demorar alguns minutos.

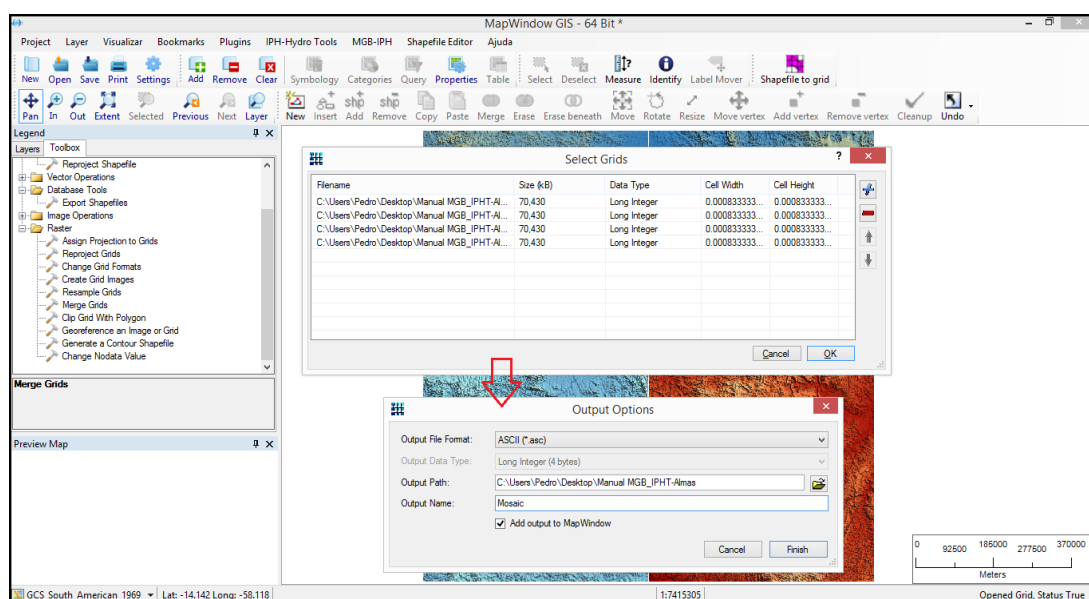


Figura 4. Ferramenta **Merge Grids** para união dos MDEs.

Arquivos ASCII criados a partir de ferramentas do próprio MapWindow possuem um cabeçalho (primeiras linhas do arquivo) escrito de uma forma diferente daquele que as ferramentas do IPH-Hydro Tools estão programadas para ler (tipo ESRI). Assim faz-se necessário converter o tipo de ASCII.

Ainda sobre tipo de formato, ao longo deste manual serão criados uma série de arquivos a partir do Modelo Digital de Elevação no formato ESRI ASCII. Estes arquivos no entanto, podem ser gerados tanto com a extensão .asc quanto na forma binária IRST (.irst). Esta última agiliza consideravelmente o tempo de processamento entre uma tarefa e outra, mas por outro lado não é possível visualizar arquivos neste formato na interface do MapWindow.

Caso o pacote do IPH-Hydro Tools não esteja habilitado, clique em **Plugins** na aba superior do MapWindow e então em *IPH-Hydro Tools*. Assim as ferramentas ficaram disponíveis na aba superior com a janela mostrada como na Figura 5.

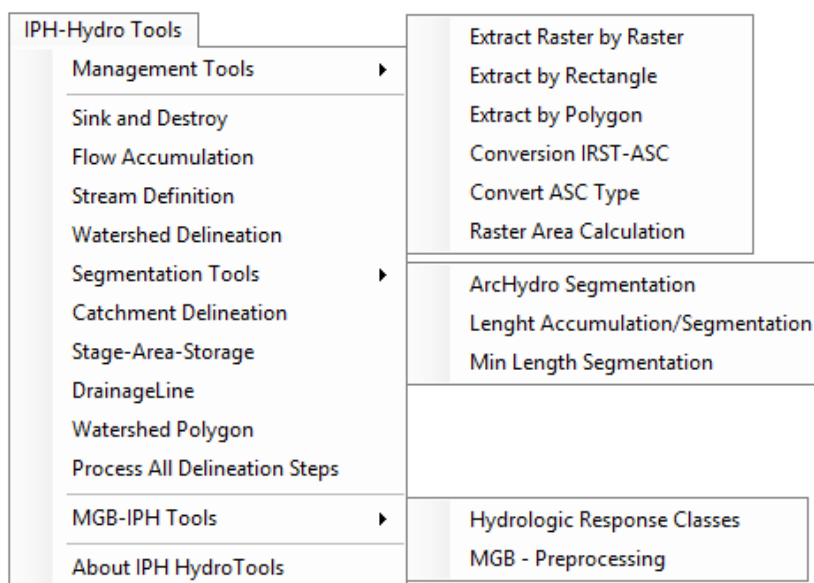


Figura 5. Ferramentas disponíveis no IPH-Hydro Tools.

Agora para converter o tipo de ASCII do mosaico criado clique na ferramenta **Convert ASC Type** no menu **Management Tools** do IPH-Hydro Tools. Aparecerá a janela mostrada na Figura 6 na qual você deve indicar o mosaico no campo *MapWindow ASCII File* e o arquivo convertido no campo *ESRI ASCII File*. Aqui daremos o nome “Mosaic_Map” e salvaremos na pasta destinada aos arquivos gerados pelo IPH-Hydro Tools que criamos. Clique em **Process**.

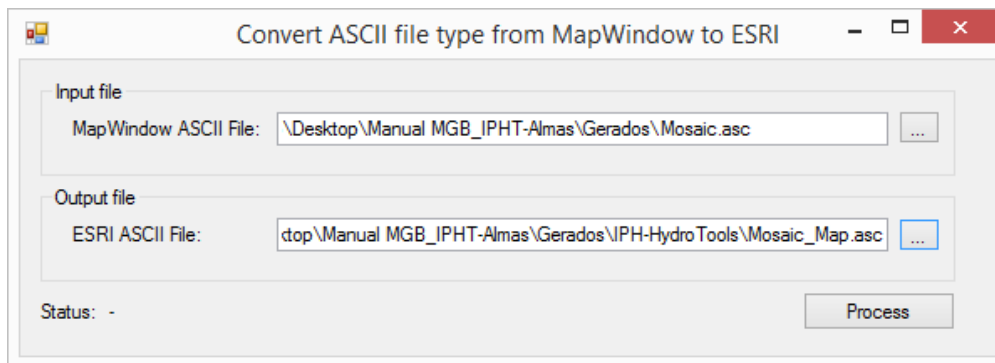


Figura 6. Ferramenta de conversão entre arquivos ASCII.

A partir deste ponto é interessante que você salve o seu projeto. Também sugere-se que o usuário continue salvando o projeto a cada nova etapa do processamento, para o caso de ter que interromper o programa por qualquer motivo. Isto pode ser feito através do **Save** localizado na parte superior do MapWindow.

2.3 Extração da área de interesse

A fim de agilizar o processamento e poupar tempo, é interessante fazer um "recorte" do mosaico do MDE gerado, excluindo aquelas regiões que não contribuem para a bacia de estudo. Isto pode ser feito com o uso de um polígono que envolva a área de bacia, deixando certa folga para evitar que alguma zona de contribuição da bacia fique de fora.

Para facilitar a identificação da área de interesse você pode acessar o portal Hidroweb (<http://hidroweb.ana.gov.br/>) da ANA e baixar os dados da Bacia do Tocantins, conforme apresentado na Figura 7. **Fonte de referência não encontrada.**, descompactar e acrescentar ao seu projeto o arquivo Hidrografia 1000000.



Figura 7. Portal Hidroweb da ANA para baixar dados da bacia.

Se você clicar com o botão direito do mouse sobre o nome do arquivo na aba *Layers* e então em **Attribute Table Editor**, você pode selecionar o Rio das Almas clicando no botão **Build Query** e escrevendo a fórmula “[NUCOMPRIQ] = 317.2”, conforme mostra a Figura 8. Clique em **Execute** e então na ferramenta **Zoom to Select** localizada no canto esquerdo de baixo na tabela.

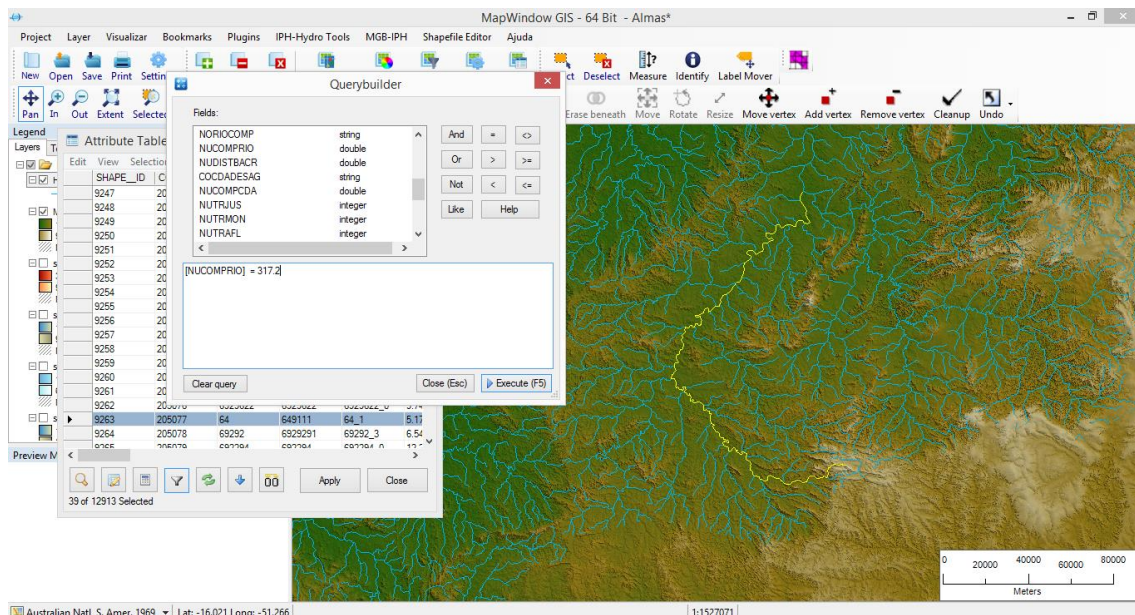


Figura 8. Visualização da drenagem da ANA com o Rio das Almas em destaque.

Para isto, precisamos primeiramente criar um arquivo vetorial do tipo shape que servirá para extrair a área de interesse do mosaico criado. Para isto é preciso que o plugin **Shapefile Editor** esteja habilitado no MapWindow, o quê pode ser feito pelo menu Plugins na aba superior na janela do MapWindow. Uma vez habilitado o plugin, as ferramentas apresentadas na Figura 9 ficam disponíveis.



Figura 9. Ferramentas disponíveis pelo plugin Shapefile Editor.

Clique no botão **New** e aparecerá uma janela na qual você deve indicar um nome e caminho de destino para o arquivo shapefile no campo *Filename*. Na mesma janela indique o tipo Polygon no campo Shapefile Type. Neste caso chamamos o shape de “Mascara_Map” e salvaremos na pasta IPH-HydroTools. Clique **OK** e o arquivo criado aparecerá na sua janela *Layers* do MapWindow, mas nada será mostrado na janela de visualização uma vez que o arquivo está vazio. Precisaremos então delimitar a nossa área de interesse editando este shape.

Agora, com o shape selecionado na aba *Layers*, é possível clicar no botão **Add** mostrado na Figura 9 e o cursor do mouse mudará para uma “cruzeta”, e aparecerá no canto superior uma pequena janela com coordenadas X e Y no MapWindow.

Clique então sobre o mapa na janela de visualização para que os vértices do polígono sejam acrescentados um a um de forma a contornar toda a bacia. Para finalizar o desenho dê um clique duplo sobre o primeiro vértice desenhado. O resultado deve envolver ao menos a área mostrada na Figura 10.

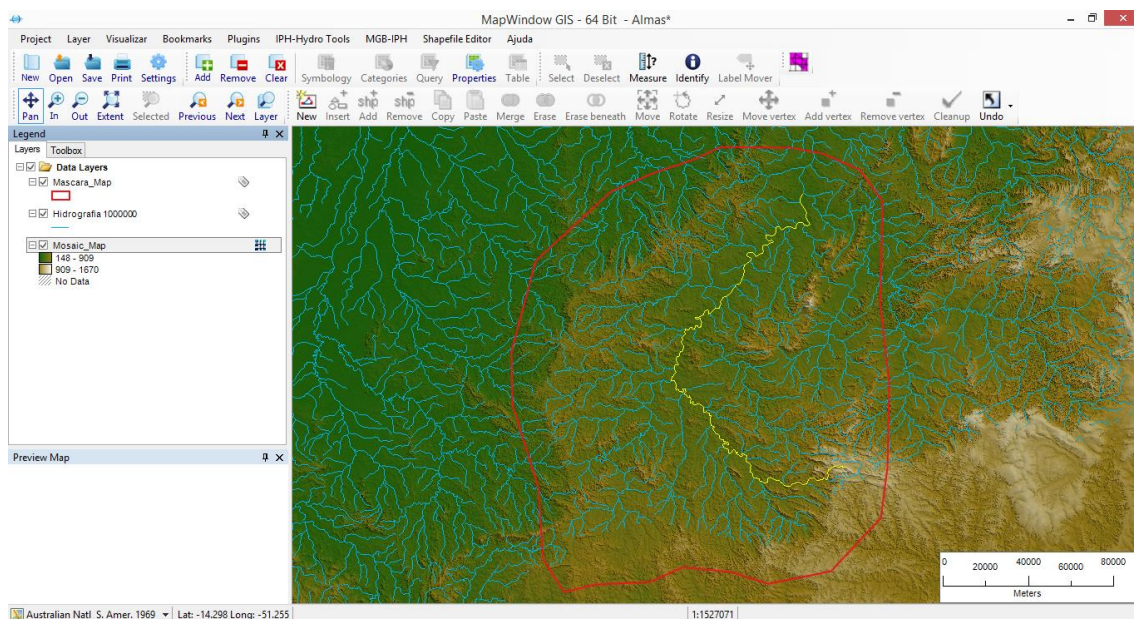


Figura 10. Máscara desenhada sobre a drenagem da ANA e o mosaico do MDE.

Sempre que você for criar uma máscara para recortar um MDE para uso no IPH-Hydro Tools é muito importante tentar evitar ao máximo a inclusão de áreas oceânicas. Isto se deve, pois estas são regiões de grande extensão e planas, o que acarreta em problemas e grande tempo de processamento no uso futuro da ferramenta chamada *Sink and Destroy*.

Vamos agora "recortar" esta área do mosaico. Abra a ferramenta **Extract Raster by Polygon**, Figura 11, do IPH-HydroTools localizado na aba *Management Tools* e indique o arquivo Mosaic_Map no campo *Input Raster File* e o shapefile Mascara_Map em *Polygon Mask File*. Chamaremos o arquivo gerado de “Mosaic_extract” e salvaremos como do tipo ASCII.

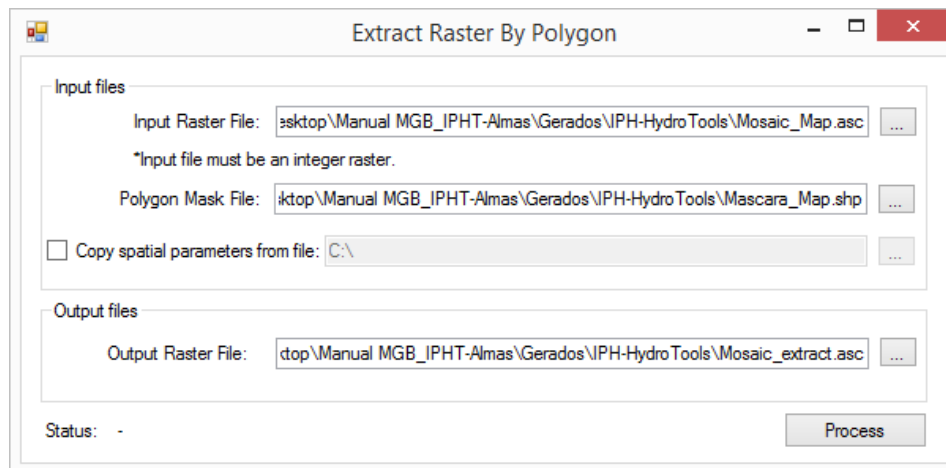


Figura 11. Ferramenta *Extract By Polygon* para recorte de arquivos raster.

Clique em **Process** e adicione o arquivo gerado à sua tela de visualização para observar o resultado.

2.4 Processamento do MDE: Sink and Destroy

Ao manipular MDEs para a criação de bacias e redes de drenagem o primeiro passo é o preenchimento de depressões no modelo. Depressões ocorrem quando o valor de altitude de uma célula ou conjunto de células é menor que o das suas vizinhas. Isto causa com que, ao processar as direções de fluxo, o software não ache uma saída para a rede de drenagem.

Na ferramenta **Sink and Destroy** do IPH-Hydro Tools é possível remover as depressões por três métodos: o MHS (*Modify Heuristic Search*), o PFS (*Priority-First-Search*) e o HS (*Heuristic Search*). Cada um destes métodos trabalha de forma diferente sendo o MHS e o PFS os que geralmente trazem os melhores resultados (Siqueira et al., 2016).

Entraremos com o MDE recortado da bacia onde pede *Raw DEM File*. Em *Correct DEM Output File name* indique o local e o nome do arquivo sem depressões. Como para este caso não nos interessa a visualização do arquivo, salvaremos com o nome "Almas_MHS " no formato IRST.

Nesta mesma janela da ferramenta você possui a opção de processar o arquivo com as direções de fluxo deixando marcada a opção **Process D8 Flow Direction**. Este arquivo atribui a cada célula do raster um valor que representa o sentido que a água segue na rede de drenagem daquele ponto. Para este arquivo também não nos interessa a visualização neste momento então salvaremos com o nome "Almas_fdr " no formato IRST.

Para este caso da Bacia do Rio das Almas, optamos pelo método MHS de remoção de depressões e, nos campos *Max Open List Number* e *Max Closed List Number*, escolhemos os valores de 2.000.000 e 1.000.000 respectivamente. Estes valores altos foram escolhidos para garantir que a ferramenta encontre um caminho no MDE para a remoção das áreas planas. Estes também foram suficientes para processar bacias muito maiores como a do São Francisco ou mais planas como a do Rio Purus na Amazônia. Manteremos o campo *Cost Function Weight*

no valor padrão de 2. A Figura 12 mostra a janela desta ferramenta onde deve-se preencher os campos com os dados indicados.

IPH HydroTools - Sink and Destroy

Input Files

Raw DEM File: MGB_IPHT-Almas\Gerados\IPH-HydroTools\Mosaic_extract.asc ...

Output Files

Corrected DEM Output Filename: Manual MGB_IPHT-Almas\Gerados\IPH-HydroTools\Almas_MHS.irst ...

☒ Process D8 Flow Direction

Flow Direction Output Filename: Manual MGB_IPHT-Almas\Gerados\IPH-HydroTools\Almas_fdr.irst ...

Processing Options

Pit Removal Method:

☒ MHS - Modified Heuristic Search

☐ PFS - Priority First Search

Priority Queue Parameters:

Max Open List Number: 2000000

Max Closed List Number: 1000000

Cost Function Weight: 2

Status: -

Remove Sinks!

Figura 12. Ferramenta Sink and Destroy para remoção de depressões.

Após preenchidos os campos pressione o botão **Remove Sinks!** e aguarde a mensagem de que as depressões foram removidas com sucesso.

2.5 Acumulação de Fluxos: Flow Accumulation

Uma vez geradas as direções de fluxo, podemos utilizar a ferramenta **Flow Accumulation** para criar um arquivo no qual a cada célula será atribuído um valor com o número de células que drenam a água até aquela. Isto permite que sejam geradas as redes de drenagem a partir de um certo número ou percentagem de células ou área de drenagem com base na resolução espacial do arquivo.

Sendo assim, selecione o arquivo com as direções de fluxo gerado anteriormente no campo *D8 Flow Direction File* conforme a Figura 13. Os próximos passos requerem uma análise visual então criaremos um arquivo chamado "Almas_fac" no formato ASCII (.asc).

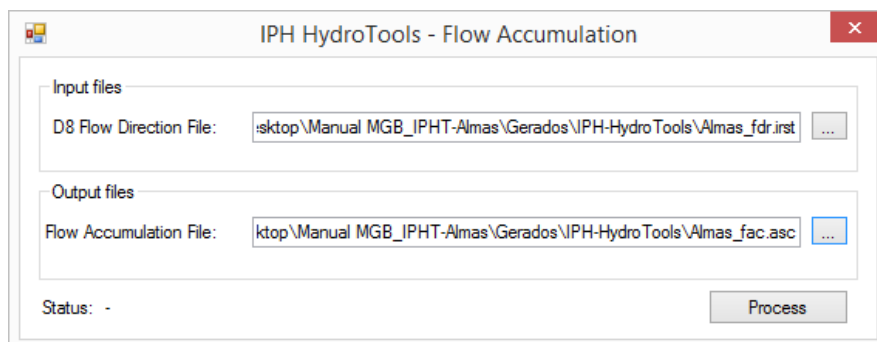


Figura 13. Ferramenta *Flow Accumulation*.

Clique em **Process**, e após o término, adicione o arquivo na tela do MapWindow.

2.6 Definição da rede de drenagem: Stream Definition

Para criar a rede de drenagem da bacia, primeiramente precisamos escolher a partir de que tamanho de drenagem a rede passa a ser considerada. Isto pode ser feito a partir de parâmetros, como um número mínimo ou percentagem de células que drenam para o ponto onde a rede começa a ser traçada, ou ainda uma área mínima de contribuição para o limiar do traçado. Assim utilizaremos o arquivo com a acumulação de fluxo para definir um valor mínimo de células. A escolha deste valor depende da experiência ou conhecimento prévio do operador a cerca da região. Um limiar muito baixo acarreta em uma drenagem muito ramificada que pode não ser interessante para o usuário, enquanto um valor alto pode excluir rios de interesse. Para mais detalhes teóricos sobre a escolha do limiar de drenagem a ser adotado, sugere-se a leitura do artigo de Fan et al. (2013). Utilize a ferramenta de zoom do MapWindow em uma área próxima a borda da bacia com drenagem definida no arquivo de fluxo acumulado como mostra a Figura 14. Com a ferramenta **Identify**, faça um pequeno retângulo que englobe a região da drenagem. Surgirá então uma janela de informações na qual a informação do *High Value* indica o valor do número de células que drenam para a maior rede nesta região. Neste caso o valor fornecido foi de 9078, mas você possivelmente obterá valores diferentes.

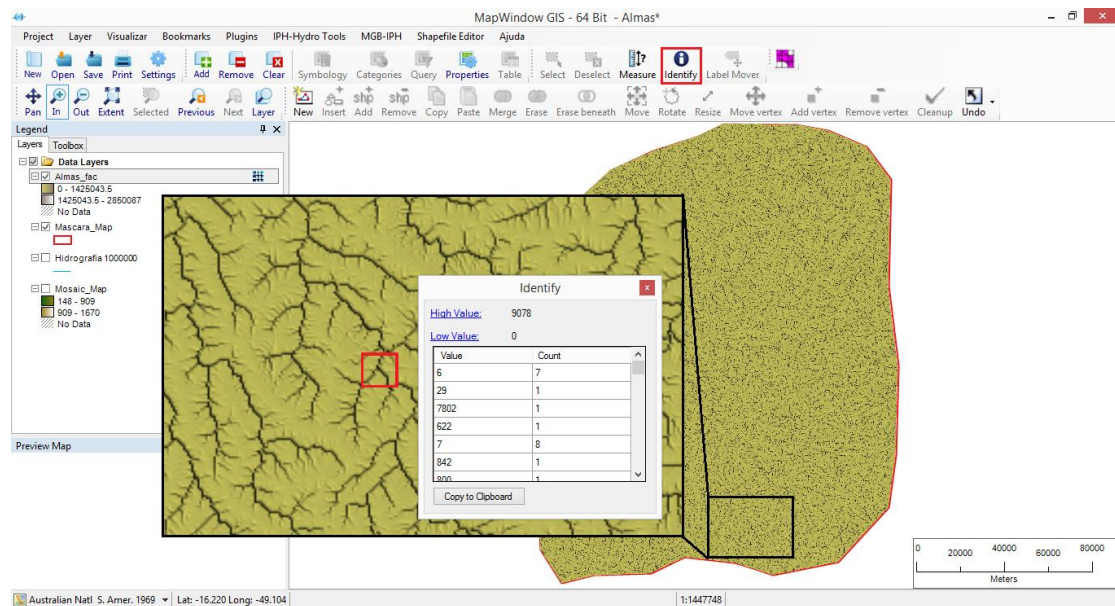


Figura 14. Identificação do valor do limiar pelo arquivo gerado do *Flow Accumulation*.

Podemos agora utilizar a ferramenta **Stream Definition** do IPH-Hydro Tools para gerar a rede de drenagem. Nesta é necessário indicar o arquivo das acumulações de fluxo no campo *Flow Accumulation File* e, em *Area Threshold*, indicaremos 9000 pelo que foi observado e, portanto, deixe marcada a opção *Number of Cells*. Chamaremos o arquivo "Almas_strd_9000" e este será do tipo ASCII, pois além de o resultado ser interessante visualmente, precisaremos do mesmo para criar o exutório da bacia.

The screenshot shows the IPH HydroTools - Stream Definition dialog box. The input files section includes:

- Flow Accumulation File: ktop\Manual MGB_IPHT-Almas\Gerados\IPH-HydroTools\Almas_fac.asc
- StreamGroups File: C:\
- D8 Flow Direction File: C:\

The output files section includes:

- Stream Definition File: Manual MGB_IPHT-Almas\Gerados\IPH-HydroTools\Almas_strd_9000.asc

The Area Threshold is set to 9000. The Number of Cells option is selected, along with Percentual of Number of Cells (%) and Approximate Area (km2). The Status field is empty. A Process button is at the bottom right.

Figura 15. Ferramenta *Stream Definition* para definição da rede de drenagem.

Clique em **Process**, dê OK para a primeira mensagem e aguarde a indicação de sucesso. Adicione este arquivo ao MapWindow.

Aqui se recomenda que o usuário avalie a rede de drenagem gerada e verifique que ela está representando todos os rios de interesse na bacia. Da mesma forma, deve-se avaliar se a rede não está excessivamente densa. E caso o usuário não esteja satisfeito, este passo pode ser feito novamente adotando outro limiar. Para o caso do Rio das Almas, foi adotado um limiar que considera-se adequado.

2.7 Delimitação da bacia hidrográfica: Watershed Delineation

A bacia hidrográfica pode ser definida como "uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída" (Tucci, 1997). Precisamos então definir o exutório da bacia antes de trabalhar na sua delimitação.

Para o caso em questão escolhemos um ponto sobre a rede de drenagem próxima à chegada do Rio das Almas ao Rio Maranhão com a latitude de -14,570 e longitude -49,042. Você deve então criar um arquivo vetorial do tipo ponto nestas coordenadas ou próximo a elas para garantir que a bacia será definida para a drenagem principal e não alguma menor que passe próximo a ela. Para tanto, clique no botão **New** do MapWindow, indique nome, aqui chamaremos de "Exut_almas", e local onde será salvo o shape mantendo *Point* selecionado em *Shapefile Type*.

Em seguida clique no botão **Add** e, sobre a tela, dê um clique quando as coordenadas no canto inferior esquerdo apontarem as coordenadas indicadas. Vale a pena utilizar as ferramentas de zoom quando próximo às coordenadas antes de clicar. Note que o shape não precisa estar rigorosamente sobre a rede de drenagem, apenas o mais próximo possível da rede principal do que de outra secundária. A Figura 16 mostra o local onde foi inserido o shape.

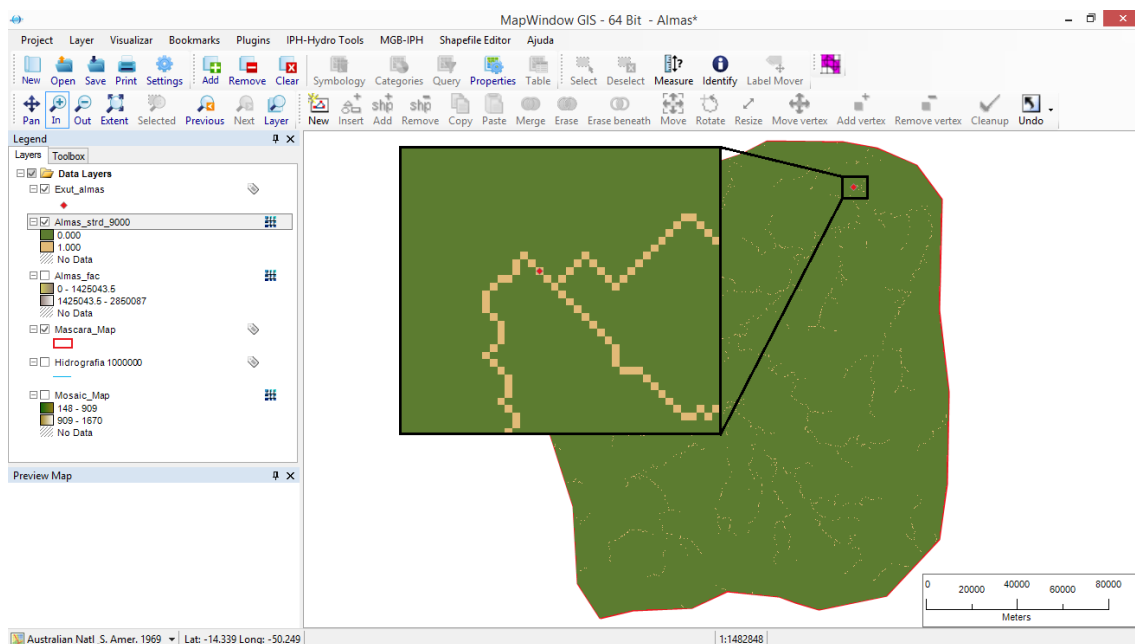


Figura 16. Inserção do ponto que define o exutório da bacia.

Uma vez definido o exutório abra a ferramenta **Watershed Delineation** do IPH-Hydro Tools e indique os arquivos de direções de fluxo e drenagem definida nos dois primeiros campos respectivamente. Em *Outlets Shapefile* indique o arquivo vetorial com o exutório recém-criado e após clique em *Read and Create New Shape*. Esta ferramenta fará o que chamamos de "snap". Ou seja, ela utilizará o arquivo da rede de drenagem para forçar o exutório a ficar sobre a própria rede, gerando um novo shapefile de exutório. Durante este processo será necessário que você indique o local e o nome que este novo arquivo terá, mas não é preciso escrever a extensão do arquivo. Chamaremos este novo shape de "Exut_snap".

O arquivo será imediatamente carregado no campo *New Outlets Shapefile* como mostrado na Figura 17, restando apenas indicar local e nome da bacia em *Watershed Delineation File*. Salvaremos este arquivo no formato ASCII com o nome "Almas_wat". Clique em **Process** e adicione o arquivo gerado ao projeto. O resultado deve ser quase idêntico ao mostrado na Figura 18.

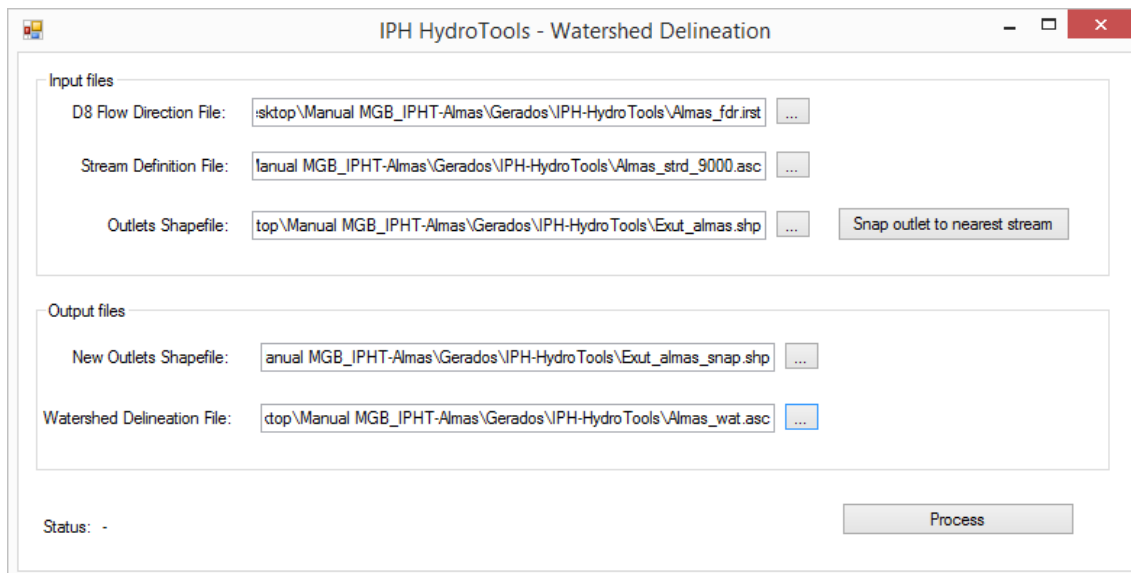


Figura 17. Ferramenta Watershed Delineation para delimitação de áreas de drenagem.

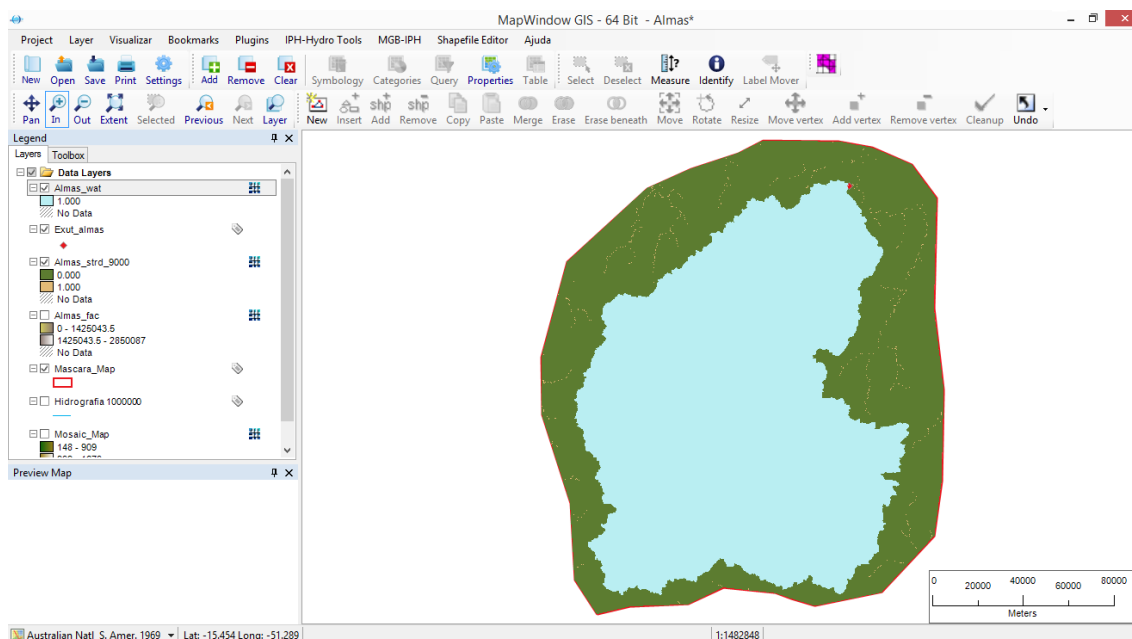


Figura 18. Bacia gerada a partir da ferramenta Watershed Delineation.

Analise agora as bordas da bacia gerada em comparação com MDE recortada do início do projeto. Caso, em algum ponto, o limite da bacia encostar na borda do MDE, é muito provável que o recorte feito tenha excluído parte da drenagem e assim a bacia gerada não representa a totalidade para o exutório. Assim é necessário recomençar desde o passo da criação da área de interesse para recorte do MDE.

2.8 Delimitação de sub-bacias hidrográficas: Watershed Delineation

Utilizaremos aqui novamente a ferramenta de delineamento da bacia para gerar um arquivo de sub-bacias para o MGB-IPH. Vamos criar, neste exemplo, duas sub-bacias para a aplicação do modelo. Uma será a sub-bacia do alto rio das Almas (região mais de montante da bacia) e a outra será a sub-bacia do baixo rio das Almas (região mais de jusante da bacia). O número de sub-bacias a serem usadas é sempre definido pelo usuário. Para este exemplo que escolhemos usar duas.

Um critério possível para a delimitação de sub-bacias seriam grandes áreas cujo tipo de ocupação do solo, geologia ou tipo de solo seja diferente do restante, ou ainda a separação de áreas mais declivosas de regiões mais planas por exemplo. Este seria um critério mais baseado na representação física da bacia, e que é mais indicado. E este foi o critério usado aqui, em dividir a bacia em parte alta e parte baixa.

Outro critério que usualmente é adotado, seria as posições de pontos onde se sabe que existem dados de vazão. Este seria um critério mais focado na representação de pontos existentes, e pouco focado na física da bacia, por este motivo consideramos menos indicado, embora seja usualmente também aplicado.

Para gerar as sub-bacias, crie novamente um shapefile de pontos, mas desta vez adicione dois pontos de interesse ao longo da drenagem como mostra a Figura 19. É importante que um destes esteja exatamente sobre aquele criado para gerar a bacia anteriormente, pois o exutório da bacia vai delimitar o fim de uma das sub-bacias. Carregue os arquivos normalmente na janela do **Watershed Delineation**. Apenas não se esqueça de dar novamente o comando **Read and Create New Shape** para que os pontos coincidam com a drenagem. O resultado é mostrado na Figura 20.

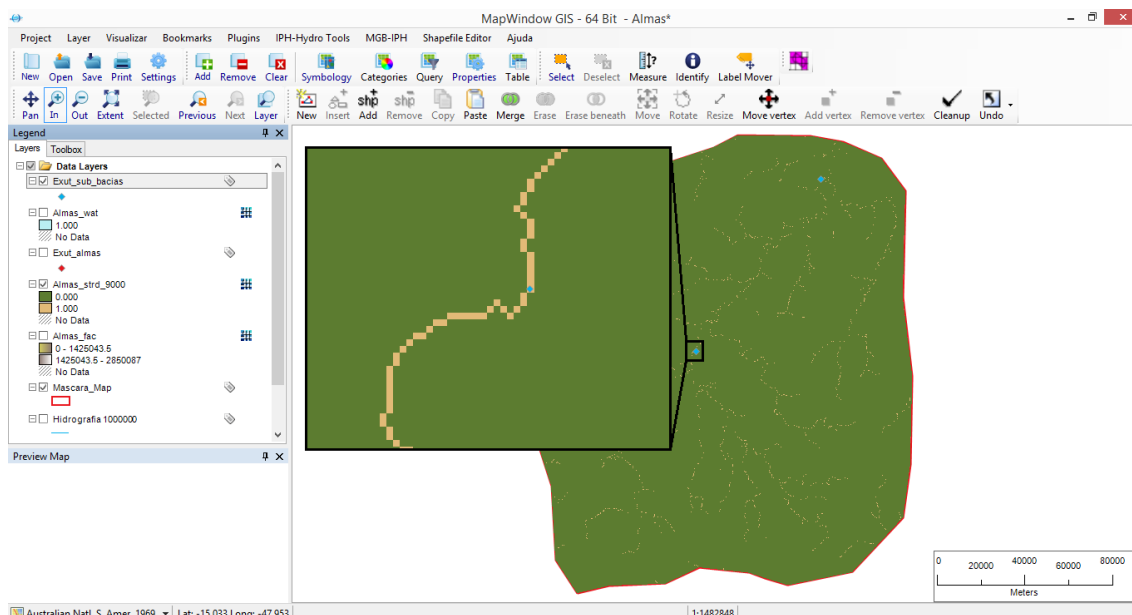


Figura 19. Exutórios criados para gerar sub-bacias.

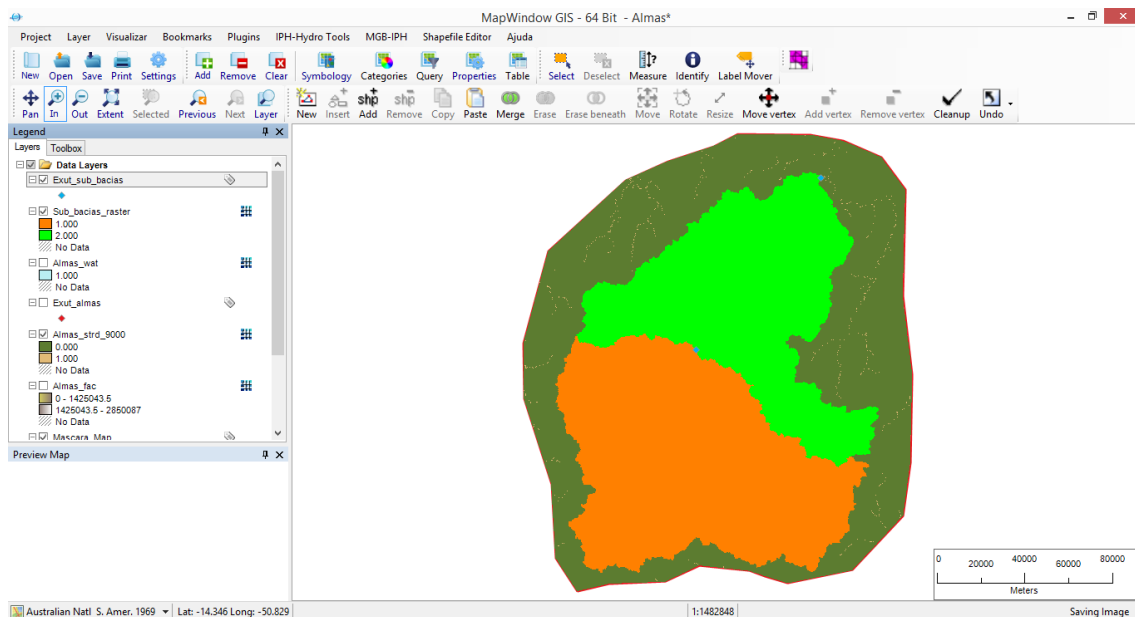


Figura 20. Sub-bacias geradas através da ferramenta Watershed Delineation.

2.9 Recorte das informações de interesse

Uma vez delimitada a bacia hidrográfica podemos recortar a rede de drenagem e o MDE corrigido gerados anteriormente para apenas a região de interesse. Para isto abra a ferramenta **Extract Raster by Raster** em *Management Tools* e indique o arquivo “Almas_strd_9000” no campo *Input Raster File* e a bacia, não as sub-bacias, no campo *Mask Raster File*. Ao arquivo de saída daremos o nome de “Almas_strd_9000_extr”. Clique **Process** e faça o mesmo para o arquivo que denominamos “Almas_MHS”.

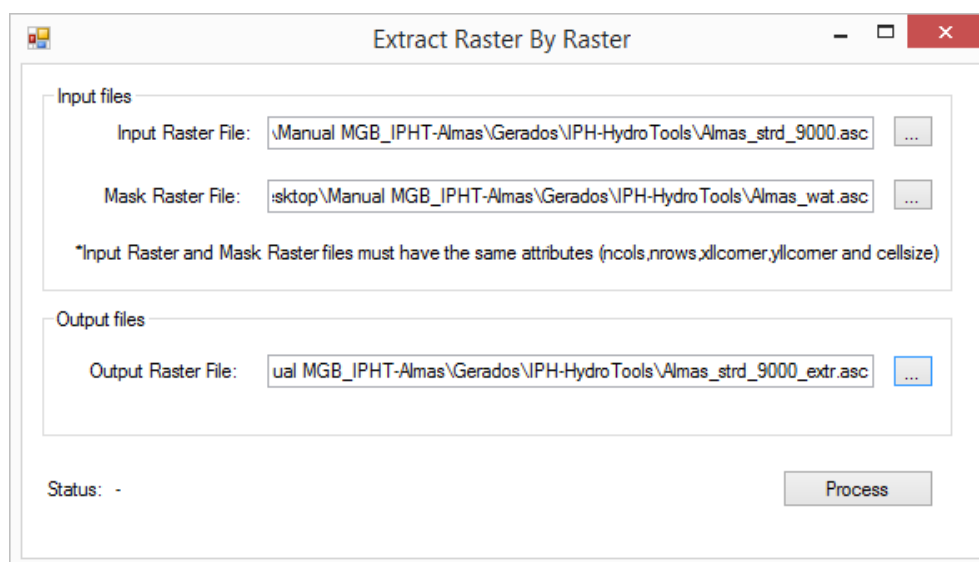


Figura 21. Ferramenta *Extract Raster by Raster* para recorte entre arquivos matriciais.

2.10 Segmentation Tools

A ferramenta **Segmentation Tools** permite seccionar a rede de drenagem gerada anteriormente. É importante para a aplicação do MGB posteriormente, que a rede de drenagem esteja recortada pela área da bacia. O IPH-Hydro Tools oferece três alternativas para a segmentação da rede de drenagem, cuja escolha influencia no número de minibacias a serem geradas em etapas posteriores. Embora as três alternativas sejam apresentadas aqui, o restante do presente manual adota a segmentação pela opção "1. ArchHydro Segmentation".

2.10.1 ArchHydro Segmentation

Com a ferramenta **ArchHydro Segmentation**, a rede de drenagem é seccionada entre pontos de confluência a montante e a jusante de um mesmo trecho de rio, ou, para aqueles trechos nos extremos à montante, até a primeira confluência.

Abra a ferramenta mostrada na Figura 22 e indique o arquivo com as direções de fluxo na primeira aba (*D8 Flow Direction File*) e o com a rede de drenagem que acabamos de recortar na segunda (*Stream Definition File*). Daremos o nome de "Almas_seg_extr" em *Stream Link File* e salvaremos o arquivo como ASCII caso você queira visualizar o resultado.

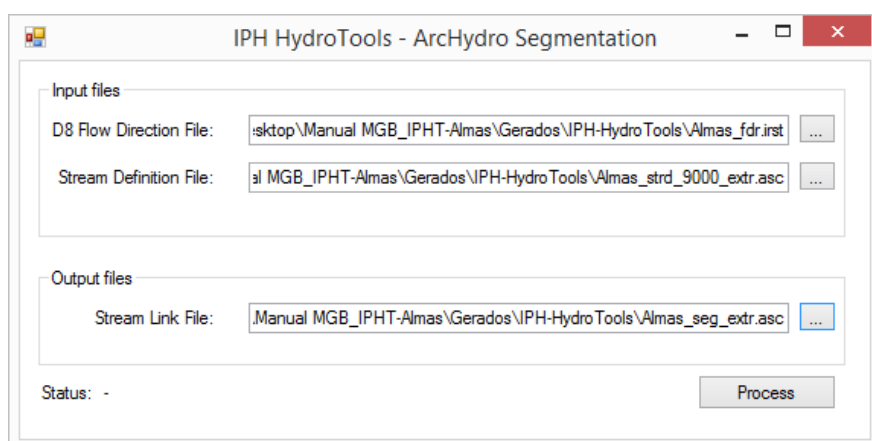


Figura 22. Ferramenta ArchHydro Segmentation para gerar drenagem segmentada.

2.10.2 Length Accumulation/Segmentation

Com a ferramenta **Length Accumulation/Segmentation**, a rede de drenagem é segmentada levando em conta uma distância máxima que um trecho pode ter antes de ser "cortado", o que leva a uma discretização mais homogênea das minibacias, posteriormente. Essa ferramenta também fornece os comprimentos acumulados de cada trecho de rio, ou seja, a distância entre a célula analisada e a confluência imediatamente à montante.

Abra a ferramenta mostrada na Figura 23 e indique o arquivo com a rede de drenagem recortada na primeira aba (*Stream Definition File*) e com as direções de fluxo na segunda aba (*D8 Flow Direction File*). Em *Accumulated Length File* será gerado o arquivo com os comprimentos acumulados de cada trecho de rio, que escolhemos salvar com o nome "Almas_acc_length".

Selecione a opção *Perform Segmented by Extension File* para gerar a rede de drenagem segmentada. Em *Choose max extension for segmented reaches*, preencha a distância máxima, em metros, que o trecho pode ter antes de ser segmentado. No presente manual, usaremos 10km, ou seja, 10000m. Daremos o nome de “Almas_seg_max_length” em *Segmented by Extension File* e salvaremos o arquivo como ASCII caso você queira visualizar o resultado.

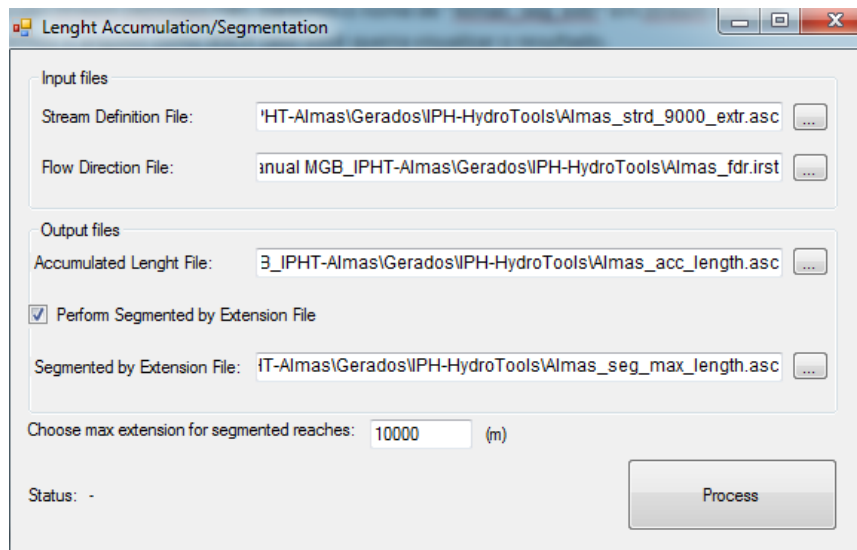


Figura 23. Ferramenta Length Accumulation/Segmentation para gerar drenagem segmentada.

2.10.3 Minimum Length Segmentation

Com a ferramenta **Minimum Length Segmentation**, a rede de drenagem é segmentada levando em conta uma distância mínima que um trecho deve ter antes de ser segmentado. Para utilizá-la, abra a ferramenta mostrada na Figura 24 e indique o arquivo com a rede de drenagem recortada na primeira aba (*Stream Definition File*), o arquivo com as direções de fluxo na segunda aba (*D8 Flow Direction File*) e o arquivo com as acumulações de fluxo na terceira aba (*Flow Accumulation File*). Em *Segmentation File* será gerado o arquivo da rede de drenagem segmentada, que escolhemos salvar com o nome “Almas_seg_min_length.asc”.

O usuário deve escolher a distância mínima que o trecho deve ter antes de ser segmentado em *Choose min extension for segmented reaches*, que nesse manual adotamos 10km, isto é, 10000 metros. Ainda, o usuário pode escolher se a distância mínima a montante da segmentação dos trechos deve levar em conta trechos únicos (*Single reaches*) ou múltiplos trechos (*Multiple reaches*).

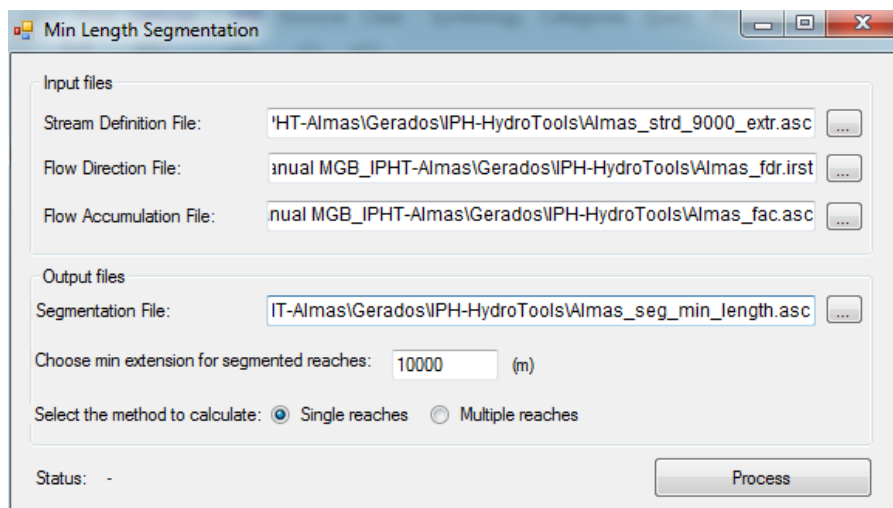


Figura 24. Ferramenta Min Length Segmentation para gerar drenagem segmentada.

2.11 Obtenção de minibacias: Catchment Delineation

Cada trecho da drenagem gerado pelo *ArchHydro Segmentation* possui uma área contribuinte própria na qual a água precipitada é conduzida diretamente para aquele segmento. A estas áreas menores damos o nome de minibacias.

Com a ferramenta ***Catchment Delineation*** (Erro! Fonte de referência não encontrada.), é possível extrair estas minibacias indicando o arquivo de direções de fluxo em *D8 Flow Direction File* e o arquivo das direções de fluxo segmentadas em *Stream Segmentation File*. Em *Catchment Delineation File* criaremos um arquivo no formato ASCII para permitir a visualização de nome "Almas_catch_extr".

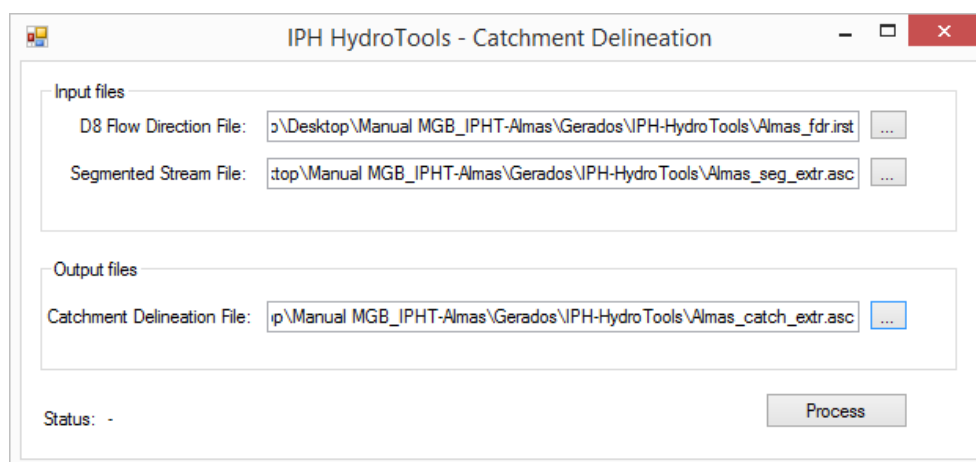


Figura 25. Ferramenta Catchment Delineation para delimitação das minibacias.

Clique em ***Process*** e adicione o resultado conforme mostra a Figura 26.

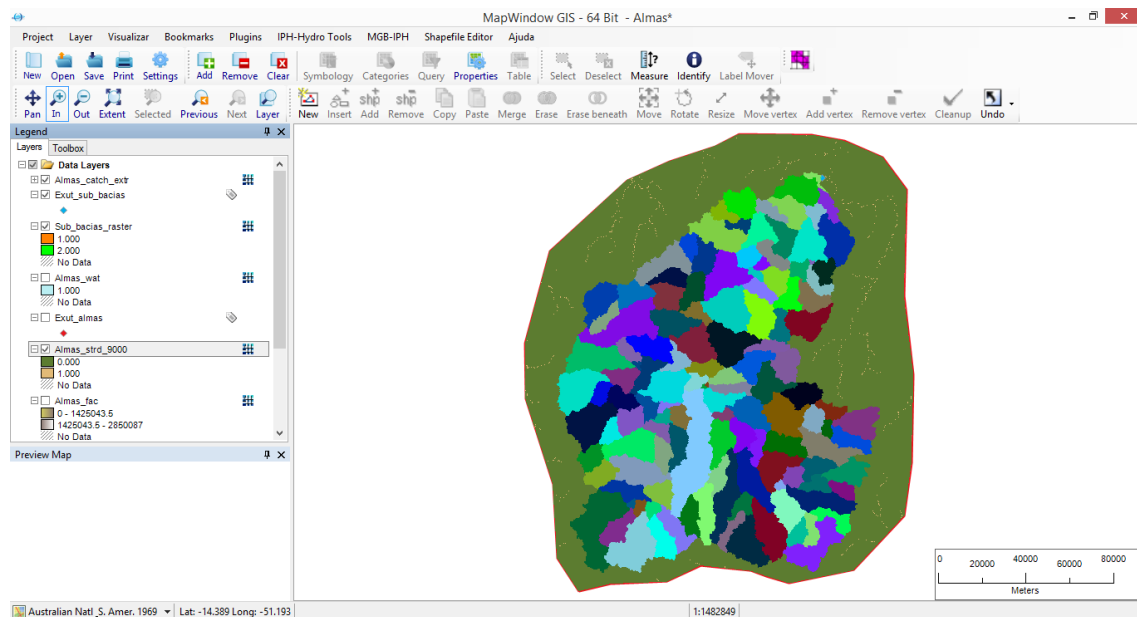


Figura 26. Minibacias geradas com a ferramenta Catchment Delineation.

2.12 Conversão em arquivos vetoriais

Uma maneira interessante de apresentação e que permite a edição/visualização de forma mais simples dos resultados gerados é com arquivos na forma vetorial. O IPH-Hydro Tools permite que seja feita a conversão para este tipo de arquivo dos arquivos de drenagem e bacia hidrográfica.

2.12.1 Drainage Line

Por meio da ferramenta **Drainage Line** você pode converter a drenagem gerada no passo 2.6 de raster para vetor, indicando os arquivos de direções de fluxo e drenagem segmentada respectivamente em *Input files*. Estes podem ser tanto IRST quanto ASCII. Em *Drainage Line File* é necessário, ao clicar nos três pontos, informar apenas a pasta e o nome pois a extensão do arquivo fica automaticamente como .shp (arquivo no formato *shapefile*) e do tipo linha. Chamaremos este shape de "Almas_dren".

Esta ferramenta funciona apenas para redes segmentadas a partir do método ArcHydro Segmentation, e será pedido que você confirme que escolheu o tipo certo de arquivo de entrada ao clicar em **Process**.

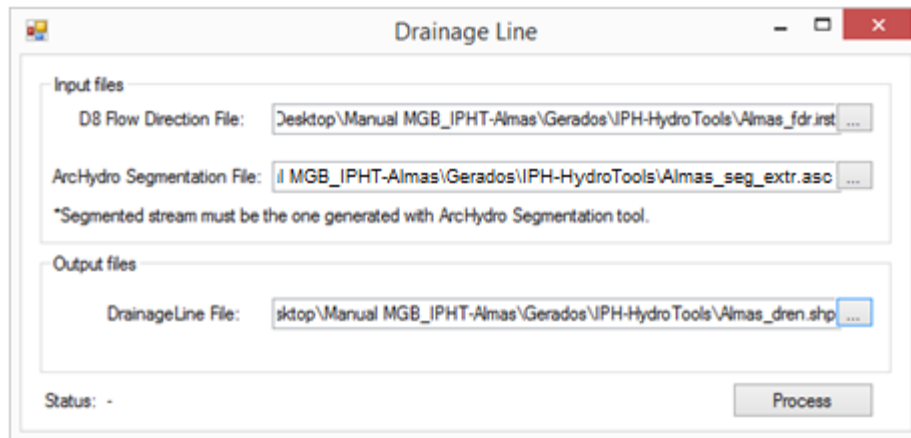


Figura 27. Transformação da drenagem do tipo raster para vetorial.

2.12.2 Watershed Polygon

Com a ferramenta **Watershed Polygon** (Figura 28) você pode converter o arquivo da bacia hidrográfica, sub-bacias e minibacias para o formato vetorial *shapefile* do tipo polígono. Neste passo é necessário apenas o arquivo raster da bacia para conversão que também pode ser tanto IRST quanto ASCII.

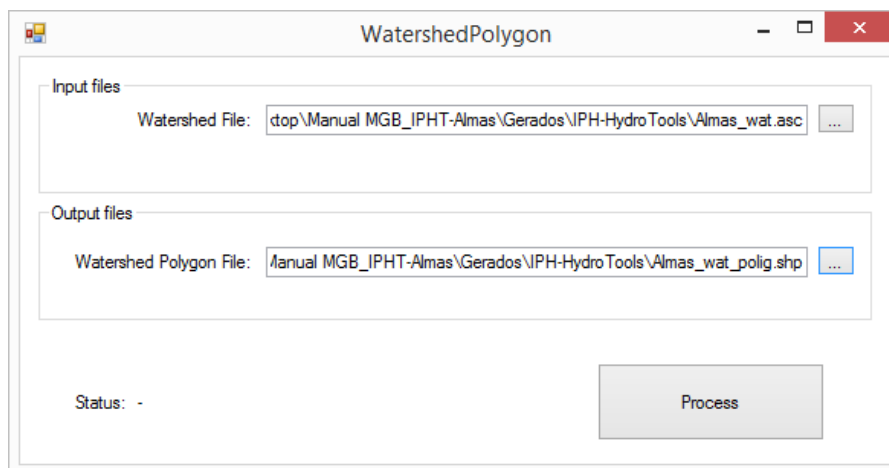


Figura 28. Transformação da bacia gerada do tipo raster para vetorial.

Clique em **Process** e adicione o arquivo ao projeto. Faça o mesmo para as minibacias.

2.13 Criação das Classes de Respostas Hidrológicas

As classes de respostas hidrológicas são regiões da bacia que agregam mesmas características quanto a atributos geológicos e ao tipo de uso do solo. Estas unidades em teoria apresentariam as mesmas respostas quanto a parâmetros da modelagem, como a capacidade de armazenamento do solo ou na evapotranspiração.

Existem muitas formas de se obter estes mapas. Aqui neste manual são apresentadas duas maneiras a partir das quais você pode gerar os arquivos de CRH para entrada no modelo MGB:

- Alternativa 01: Utilizando uma base de dados externa de dados tipo vetorial
- Alternativa 02: Utilizando o Mapa de URHs da América do Sul

Cabe ao usuário selecionar uma destas duas metodologias, ou outra que o próprio usuário quiser utilizar, para gerar o arquivo de entrada para o modelo. A seguir a forma de usar estas duas alternativas é mostrada.

2.13.1 Alternativa 01: Utilizando uma base externa de dados do tipo vetorial

Aqui será apresentado como gerar um arquivo de CRH a partir de dados em formato shapefile de uso e tipo de solo para a bacia do Rio das Almas. Esta mesma metodologia pode ser aplicada para uma outra base de dados que por acaso você possua.

2.13.1.1 Tipos de Solos

A bacia do rio das Almas está inteiramente dentro do estado de Goiás. O portal SIEG (<http://www.sieg.go.gov.br/>) do governo do estado de Goiás contém mapas de solos e de usos da terra em formato vetorial disponíveis para download (Figura 29) em uma resolução aceitável para a aplicação do modelo MGB-IPH, portanto vamos usar os mapas de solo e de uso do solo obtidos nesse sistema.

Em outras bacias os dados de tipos de solos podem ser obtidos do projeto RADAM-BRASIL, disponível para boa parte do Brasil, ou de bases de dados regionais.

The screenshot shows the SIEG website interface. At the top, there is a navigation bar with links: Início, Agenda, SIG Online, Fórum, Contato, and Busca. Below this is the SIEG logo and the text 'Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás'. A user profile section shows 'FERNANDO MAINARDI FAN' with a 'Sair' button. The main content area is titled 'Base cartográfica e mapas temáticos do Estado de Goiás:'. It features a section for 'Arquivos SIGs (shape)' with a description: 'Sistema de coordenadas geográficas Lat/Long - Datum horizontal SAD69 - Brasil'. Below this, there is a list of map files for download, including 'Cobertura e Uso do Solo' and 'Mapa de cobertura vegetal'. A 'Baixar' button is visible, along with a 'Número de Downloads: 2911' counter. The footer includes the logo of the Agência Ambiental de Goiás.

Figura 29. Obtenção de mapas vetoriais de tipos de solos e de uso e cobertura do solo no sistema SIEG.

Baixe o arquivo de tipo de solo em formato shapefile e adicione-o ao seu projeto. Você irá perceber que o arquivo é muito maior do que a área da bacia do Rio das Almas, sendo necessário portanto fazer o recorte deste arquivo.

Podemos fazer isto a partir de uma ferramenta do próprio MapWindow denominada **Clip Shapefile With Polygon** localizada no toolbox em **Old Tools**, utilizando a própria bacia vetorial que criamos no passo 2.7 conforme mostra a Figura 30. Para isso abra a ferramenta e indique o shape do tipo de solo no primeiro campo e o da bacia vetorial no segundo. Clique então em **Select Shapes** e sobre a bacia na sua janela de visualização. Antes esta deve também estar selecionada na sua janela Layer. Clique em **Done** onde antes ficava o botão **Select Shapes**, indique o caminho e nome do arquivo de saída (aqui denominamos de tipo_solo_clip) e dê OK.

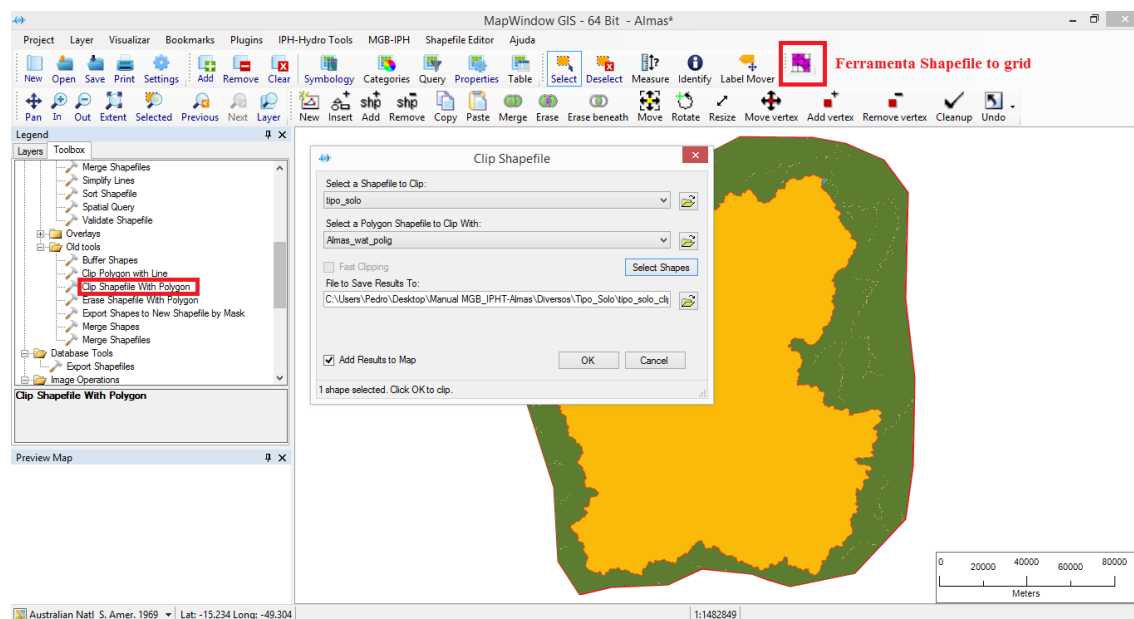


Figura 30. Ferramenta Clip With Polygon para extrair área de interesse de arquivos vetoriais.

Uma vez recortado o arquivo de tipo de solo, é necessário converter o mesmo para o tipo raster. Para isto, é necessário que você tenha instalado o plugin **Shapefile to Grid** disponível em: http://www.mapwindow.org/apps/wiki/doku.php?id=shapefile_to_grid. Quando habilitada, esta aparece como um ícone roxo na janela do MapWindow como destacado na Figura 30.

Porém para utilizar esta ferramenta teremos que primeiramente editar a tabela de atributos do arquivo recortado, de forma a existir um campo do tipo numérico que defina as características que desejamos do shape. Abra a tabela de atributos do arquivo “clipado” e em **Edit** clique em **Add Field** e crie um campo de nome “Tipo” como *Integer* de extensão 10 conforme mostra a Figura 31.

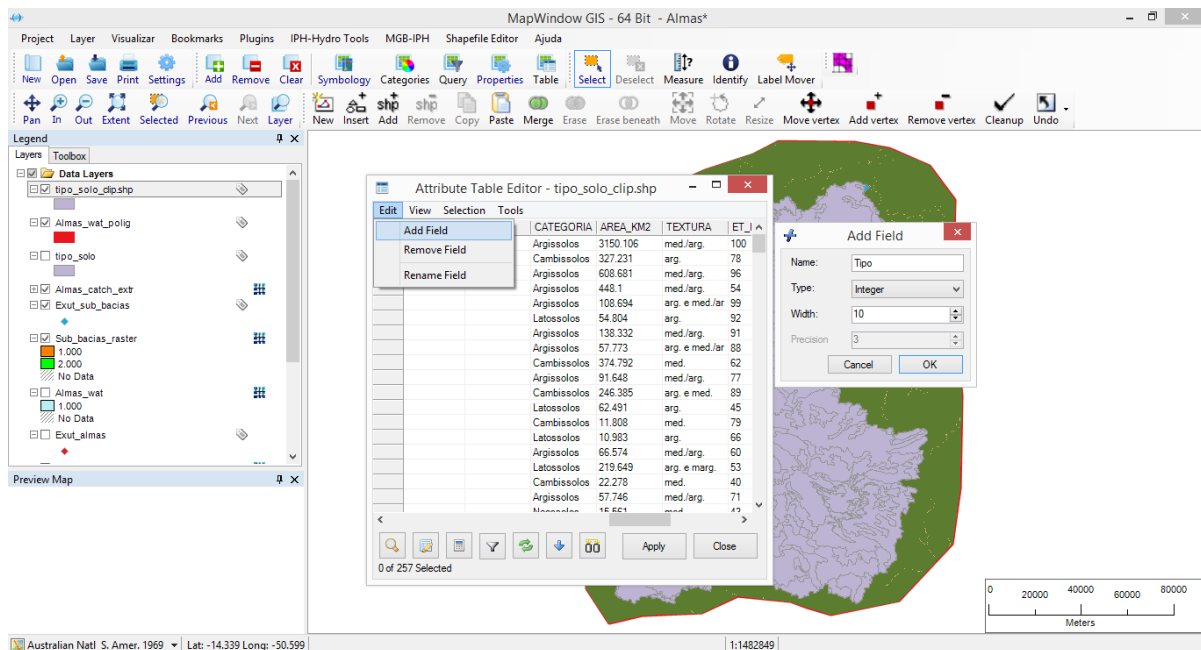


Figura 31. Edição da tabela de atributos do arquivo de tipo de solo recortado.

Busque agora o campo “Categoria” na tabela de atributos e clique sobre seu nome com o botão direito do mouse e então em *Sort ASC* para ordenar o campo e facilitar a seleção. Explorando o campo você perceberá que existem 6 tipos de solo: Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Gleissolos, Latossolos e Neossolos. Utilizando a ferramenta **Build Query** selecionaremos cada tipo de solo através da fórmula “[CATEGORIA]= ‘Argissolos’”, mudando apenas o último termo como na Figura 32.

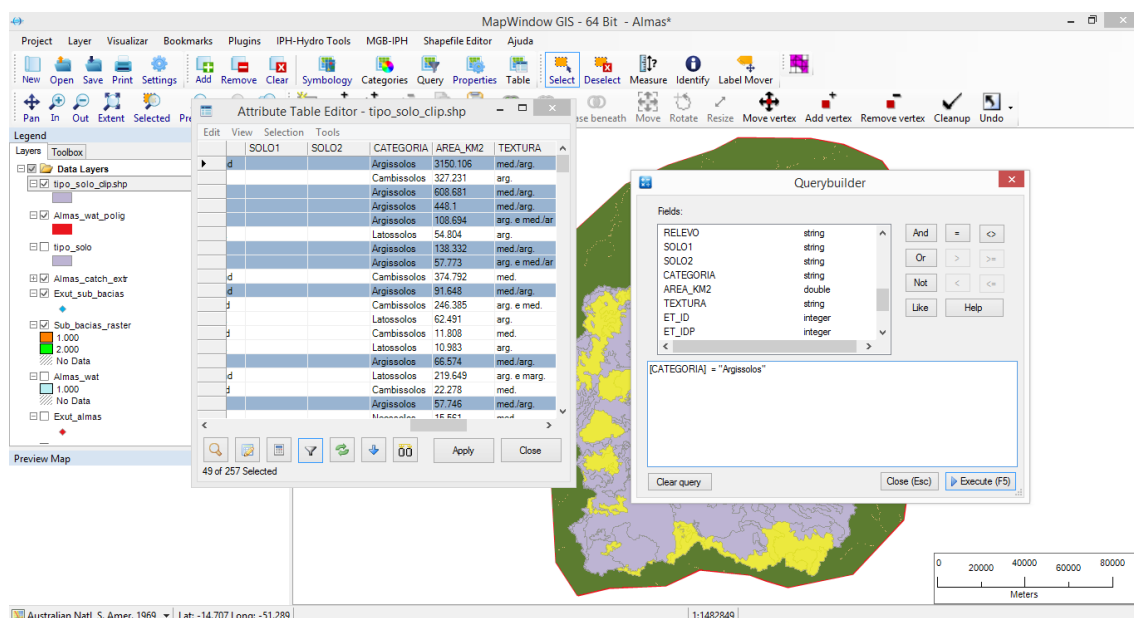


Figura 32. Seleção dos tipos de solo através da ferramenta Build Query.

Após cada nova seleção abra a caixa **Field Calculator**, cujo ícone parece uma calculadora na tabela de atributos, e com o campo Tipo que criamos selecionado digite um valor de 1 a 6 para cada tipo de solo conforme mostra a Figura 33, clique em **Calculate** e em **Apply** em seguida na

tabela de atributos. Para fins deste manual atribua os valores da seguinte maneira: Argissolos = 1, Cambissolos = 2, Chernossolos = 3, Gleissolos = 4, Latossolos = 5 e Neossolos = 6.

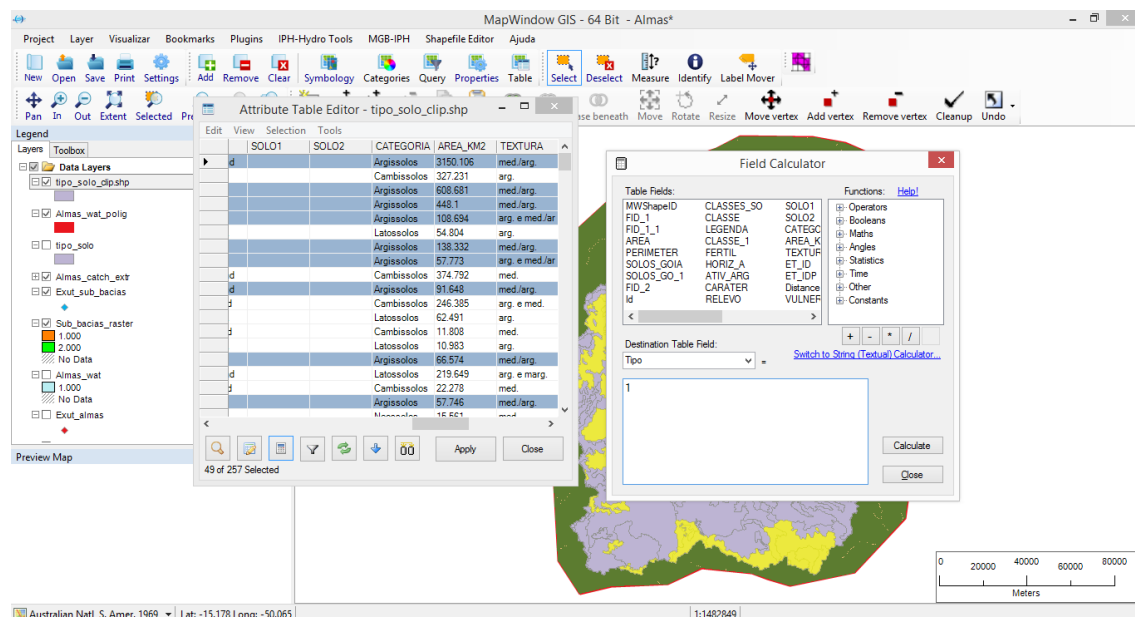


Figura 33. Edição da tabela de atributos inserindo um valor para cada tipo de solo.

Ao fim você deverá ter para cada tipo de solo no campo Categoria um valor relativo no campo Tipo.

Abra agora a ferramenta **Shapefile to grid** e busque o arquivo editado com a opção *Use a file from disk* marcada e indique o campo "Tipo" na aba inferior. Clique OK e surgirá em seguida uma janela pedindo as características do raster a ser criado. Aqui selecionamos o arquivo de minibacias tanto no campo que pede o tamanho das células quanto naquele que pede as extensões do arquivo de saída. Na aba *Grid file type* selecione o tipo ASCII e como *Short Data Type* na aba *Grid Data Type*. Indique um nome e caminho para o arquivo gerado, clique em **Finish** e adicione o arquivo gerado ao projeto.

Esta ferramenta também gera arquivos ASCII do formato específico do MapWindow sendo portanto necessária a conversão para ASCII do tipo ESRI pela ferramenta **Convert ASC Type** que utilizamos no início deste manual. O arquivo final gerado após o uso desta ferramenta denominamos "Tipo_Solo_Map".

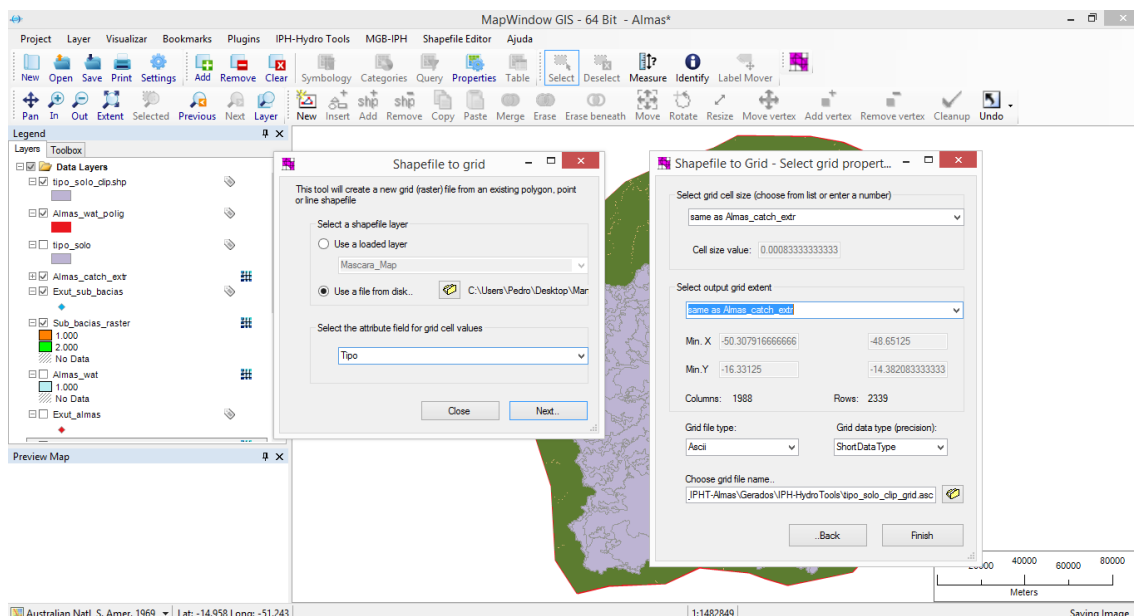


Figura 34. Conversão de arquivo vetorial para matricial com a ferramenta Shapefile to Grid.

2.13.1.2 Uso do Solo

Através do portal SIEG também é possível baixar informações de uso e ocupação do solo no tipo shapefile. Proceda então da mesma forma que para o tipo de solo, recortando através da ferramenta de clip o uso do solo pela bacia que geramos para o Rio das Almas.

Explorando a tabela de atributos no campo “Uso” você irá perceber que existem também 6 tipos de uso do solo para esta bacia. São eles: Agricultura, Água, Área Urbana, Cerrado, Floresta e Pastagem.

Crie novamente um campo numérico e, da mesma forma, atribua um valor único para cada tipo de uso do solo. No nosso caso o campo criado teve nome "Uso_Num" e os valores seguiram a ordem: Agricultura =1, Água=2, Área Urbana=3, Cerrado=4, Floresta=5 e Pastagem=6.

Utilize novamente a ferramenta **Shapefile to grid** indicando exatamente os mesmos atributos que usamos para o tipo de solo mas desta vez com o campo Uso_Num na primeira janela. Adicione o resultado ao projeto e este deve ser similar ao mostrado na Figura 35.

Não se esqueça de também fazer a conversão do tipo de ASCII gerado para este arquivo através da ferramenta **Convert ASC Type**. O arquivo final gerado após esta conversão denominamos “Uso_Solo_Map”.

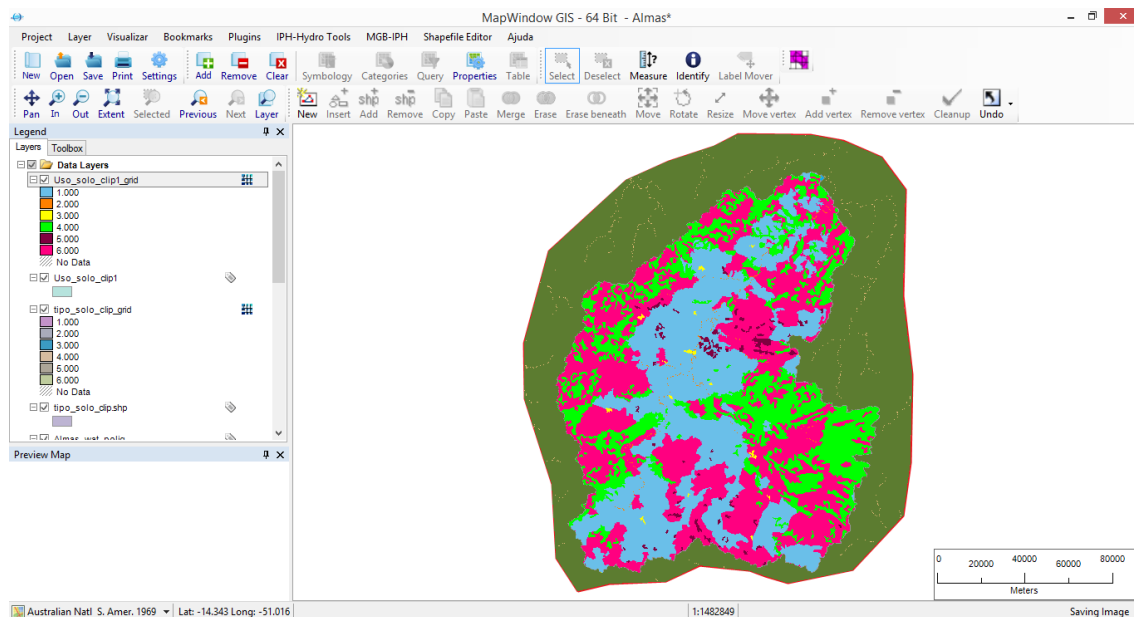


Figura 35. Arquivo raster de uso do solo reclassificado.

2.13.1.3 Definição da HRC

Vamos agora “juntar” os arquivos de tipo de solo e uso do solo de forma a gerar um único arquivo que representará as Classes de Resposta Hidrológica. Esta união é possível através da ferramenta **Hydrologic Response Classes**, no menu *MGB-IPH Tools*, na qual você deve indicar no primeiro campo o arquivo de uso da terra (Usos_solo_Map), o arquivo de tipo de solo no segundo (Tipo_solo_Map) e um arquivo de ajuste dos parâmetros dos raster no terceiro. Neste último indicamos o arquivo das minibacias geradas.

Na janela da ferramenta você irá perceber que existem 3 abas com as quais se deve trabalhar. Com a primeira selecionada e os arquivos indicados clique em **Scan Land Use (LU) classes**. Abreirá uma janela pedindo um local e nome do arquivo ajustado ao qual manteremos o nome sugerido de “Usos_solo_Map_Adjusted”.

Os campos *Land Use/Vegetation Class* e *Actual Classification* ficarão agora disponíveis para edição sendo o primeiro destinado às classes originais do arquivo de entrada e o segundo uma reclassificação que pode ser feita a fim de diminuir a quantidade de classes. Como aqui só temos 6 usos da terra não se faz necessário simplificar ainda mais as classes, e no segundo campo daremos apenas um nome mais curto do que o primeiro conforme mostra a Figura 36.

Após preencher os campos você pode salvar um arquivo com a descrição feita através do botão **Save LU class names** caso seja necessário rodar a ferramenta novamente para os mesmo arquivos de entrada.

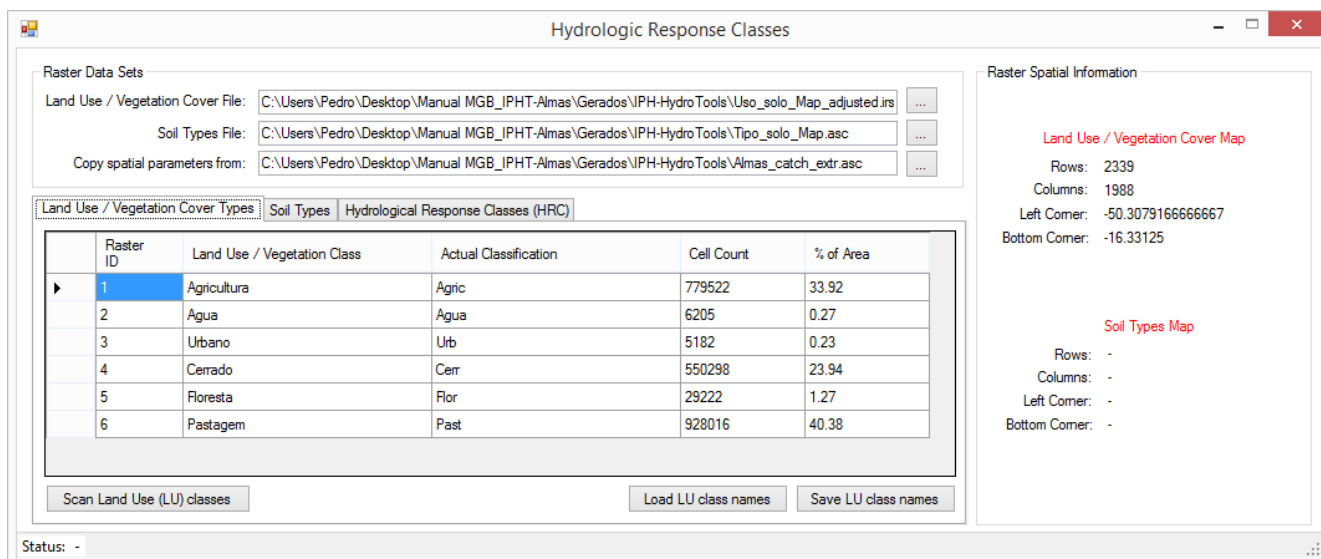


Figura 36. Ferramenta Hydrologic Response Classes com edição na aba de uso do solo.

Proceda da mesma forma para a segunda aba denominada Soil Types, mas neste caso faremos nesta ferramenta a reclassificação dos tipos de solo de forma a simplifica-los.

Os latossolos, os argissolos e os chernossolos podem ser considerados como uma categoria de solos com tendência a gerar menos escoamento superficial. Estes solos serão agrupados em uma categoria que será denominada "solos profundos". Os cambissolos e os neossolos são solos mais rasos, que ocorrem em regiões de relevo mais movimentado, com tendência a gerar mais escoamento superficial. Estes solos serão agrupados em uma categoria que será denominada "solos rasos". Os gleissolos são solos que ocorrem em várzeas e apresentam o lençol freático próximo da superfície. Estes solos podem gerar escoamento superficial quando saturados. Pela sua pequena presença na bacia eles serão simplesmente agrupados à categoria "solos rasos". Preencha portanto os campos conforme mostrado na Figura 37.

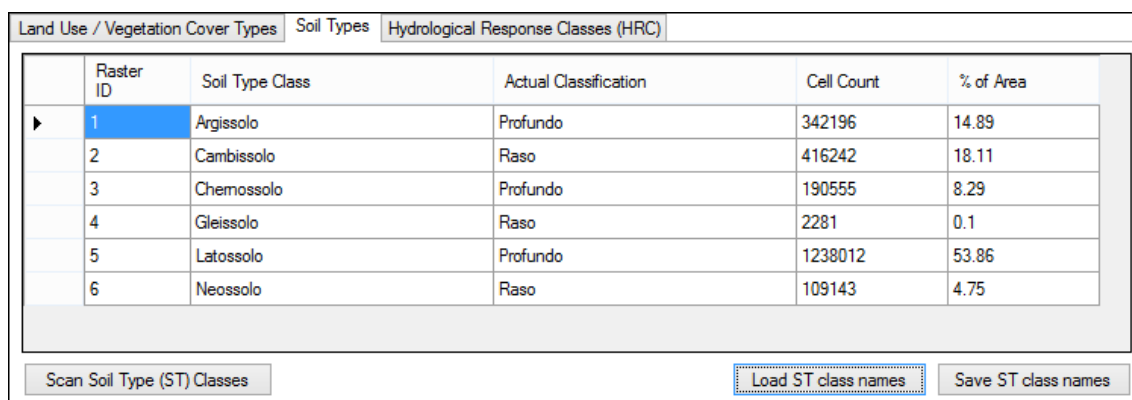


Figura 37. Ferramenta Hydrologic Response Classes com edição na aba de tipo de solo.

Por fim, entre na aba *Hydrologic Response Classes (HRC)* e clique no botão **Get HRC Combinations**. Confira as mensagens que seguem e dê OK se estiver de acordo.

Busque agora as classes que foram criadas que contém os usos água e urbano no campo HRC Class. Nestes, marque a opção **Soil Type Disable** no campo *Status* pois para tais tipos de ocupação do solo não existirá distinção quanto a profundidade do solo na qual se encontra no

momento de calibrar os dados do MGB. Uma vez feito isso marque a opção **Água** onde diz **HRC associated to water** e então em **Classify HRCs**. A sua janela deverá estar similar à mostrada na Figura 38.

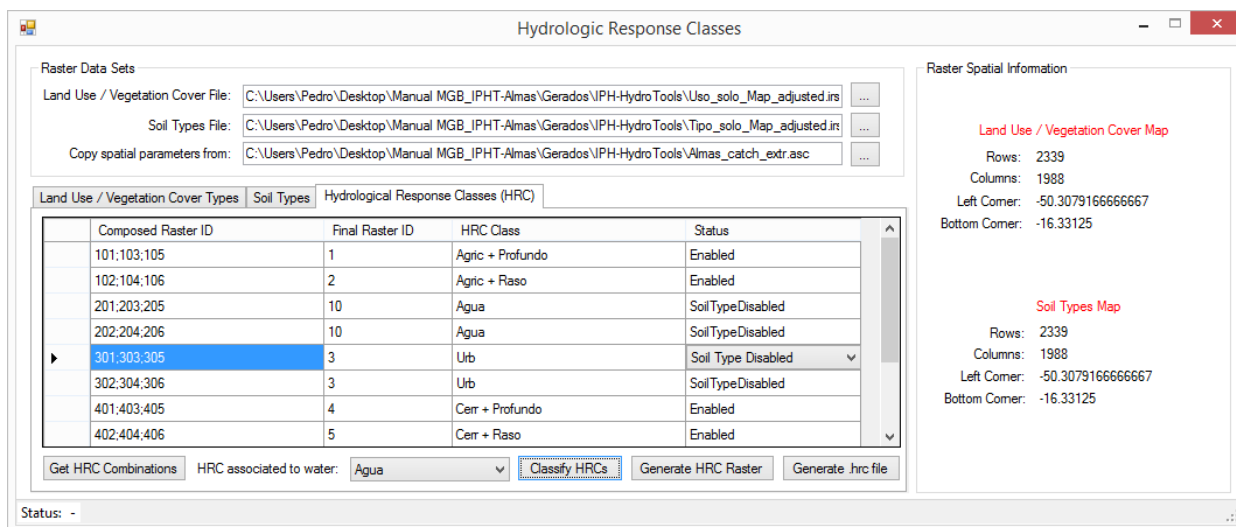


Figura 38. Janela da ferramenta Hydrologic Response Classes após definição das classes.

Clique agora em **Generate HRC Raster** indicando um nome e destino para o arquivo gerado. Neste caso chamaremos o arquivo de "HRC_Map" e você pode escolher entre salvar o arquivo como ASCII ou IRST. Antes de fechar a janela clique também no botão **Generate .hrc file**, para gerar um arquivo com a descrição das classes e o respectivo campo numérico de identificação. A este chamaremos de "HRC_descrip" com a extensão .hrc.

2.13.2 Alternativa 02: Utilizando o Mapa de URHs da América do Sul

Uma outra opção para a criação do arquivo de classes de resposta hidrológica é a utilização do Mapa de URHs da América do Sul disponibilizado pelo HGE na página: <https://www.ufrgs.br/hge/modelos-e-outros-produtos/mapa-de-urhs-da-america-do-sul/>.

Neste endereço você pode baixar o mapa para toda a América do Sul gerado a partir de diferentes bases de dados e reespecializado para uma resolução de 400m, mas que para a aplicação do modelo MGB apresenta resultados satisfatórios (Fan et al., 2015). Baixe o arquivo e descompacte-o. Você pode perceber que o mesmo encontra-se em formato binário .irst e que junto do arquivo virá uma planilha de descrição dos dados.

Como nosso uso está restrito à área da bacia do Almas, abra a ferramenta **Extract by Polygon** (Figura 39), indique o mapa de URH no campo **Input Raster File** e o arquivo da bacia vetorial no campo **Polygon Mask File**. Habilite também a opção **Copy spacial parameters from file** e ali indique um arquivo como o das minibacias para ajustar a resolução e tamanho do mapa para as mesmas especificações dos demais arquivos que estamos trabalhando. A Figura 39 mostra a janela da ferramenta com os dados de entrada. Chamaremos o arquivo de saída de "HRC_AS_Almas" e salvaremos como ASCII.

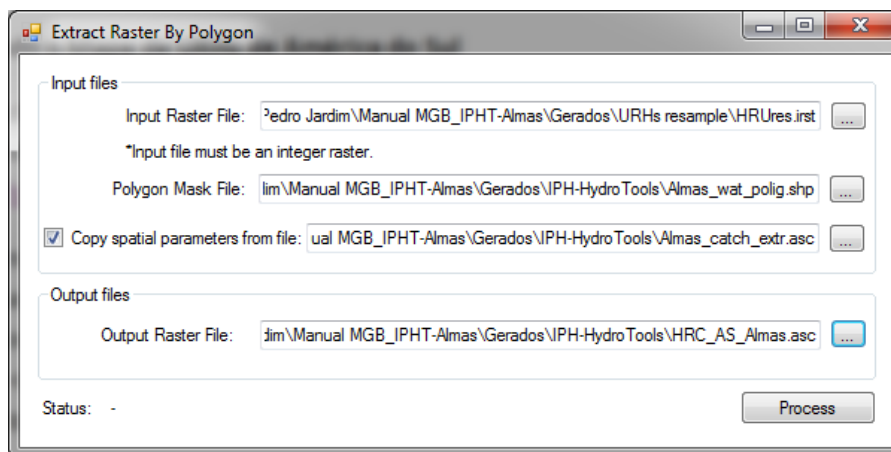


Figura 39. Ferramenta *Extract by Polygon* para recorte do Mapa de HRUs da América do Sul.

É muito importante que o arquivo gerado possua alguma célula com valor correspondente à classe água para a aplicação no MGB. Abra portanto o ASCII criado e verifique se o mesmo possui valores iguais a 9 (referente à cobertura do tipo água). No caso para a bacia do Rio das Almas, percebemos que existem células com este valor próximo ao exutório da bacia como mostra a Figura 40, caso contrário o arquivo teria que ser editado para acrescentar estes valores.

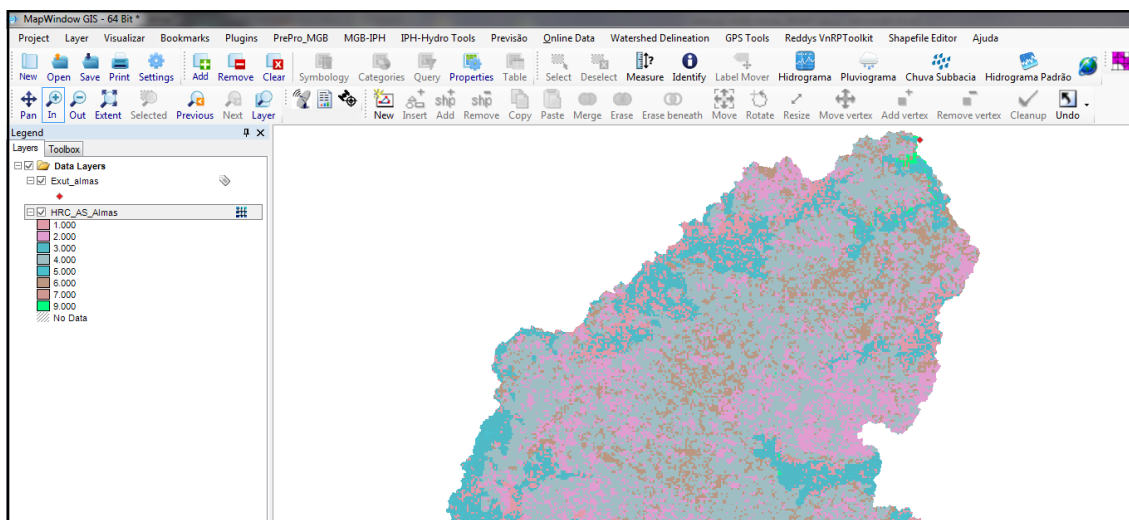


Figura 40. Mapa de classes de respostas hidrológicas da América do Sul recortada pela bacia do Rio das Almas. Células em verde mostram cobertura por água.

2.14 Finalização do pré-processamento via IPH-Hydro Tools

Finalmente, podemos processar os arquivos criados nas etapas anteriores para gerar os arquivos necessários para simulação hidrológica no MGB-IPH. Os seguintes arquivos serão utilizados:

1. Modelo Digital de Elevação (MDE) corrigido (gerado na etapa 2.1);

2. Direções de escoamento (gerado na etapa 2.4);
3. Minibacias (bacias por trechos de rio) (gerado na etapa 2.11);
4. Rede de drenagem na bacia (gerado na etapa 2.6);
5. Classes de resposta hidrológica (HRCs) (gerado na etapa 2.13);
6. Sub-bacias (gerado na etapa 2.8).

Neste momento é interessante que você salve seu projeto e crie uma pasta chamada “MGB” no seu diretório de trabalho. Dentro desta crie também mais três denominadas: Chuva, Vazão e Clima, para facilitar sua organização dos arquivos que serão gerados.

Abra a ferramenta **MGB-IPH Tools/MGB-Preprocessing** (Figura 41). A Janela permite a definição de alguns parâmetros com os quais serão gerados arquivos base para a simulação com o MGB-IPH, como o arquivo "Mini.gtp". Este arquivo contém informações topológicas do modelo, fornecendo para cada minibacia informações como área de drenagem, comprimento e declividade do trecho, e fração de classes de resposta hidrológica (Tabela 1).

As informações que podem ser fornecidas na janela de pré-processamento são listadas abaixo. Pode-se deixar as informações padrões como indicadas. Caso necessário, o arquivo "Mini.gtp" pode ser posteriormente editado na ferramenta de "Geometry File Editor".

- MGB Routing Method: método de propagação de vazões. Atualmente apenas o método Muskingum-Cunge linear é permitido via interface, mas em breve o modelo Inercial (Fan et al., 2014) estará também disponível;

- River Hydraulic Options: declividades máxima e mínima permitidas para cada trecho (para evitar instabilidades numéricas) e coeficiente de Manning;

- Bankfull Geomorphic Relationships: relações geomorfológicas que relacionam profundidade (depth) e largura (width) com a área de drenagem de cada minibacia;

- Raster Distance Options: diferentes métodos para cálculo do comprimento de trechos de rio em rasters. Aconselha-se o uso do segundo método (Distance Transforms), descrito em Paz et al (2008);

- Drainage network options: caso o pré-processamento já tenha sido anteriormente rodado, o arquivo de comprimentos acumulados já foi criado, sendo possível carregá-lo aqui (ele terá sido criado na pasta C://MGB/PREPRO/OUTPUT). Caso contrário, deixe habilitado a opção "Perform length accumulation".

Agora, para rodar o pré-processamento, indique os arquivos que foram mencionados acima (caso não tenha criado raster de sub-bacias deixe a opção "Disable sub-basins file" habilitada), selecione um diretório de saída ("Output Directory") e clique em "**Perform Preprocessing**".

Surgirá então uma tela preta na qual você deve dar *Enter* nos passos em que é pedido para então começar o processamento dos arquivos. Se tudo ocorreu certo serão gerados dois arquivos na pasta diretório que você indicou, sendo o mais importante neste momento o arquivo "mini.gtp", descrito acima e na Tabela 1.

IPH Hydro Tools - MGB Pre Processing

Input Files

Digital Elevation Model: ...

D8 Flow Direction: ...

Catchments: ...

Stream Network: ...

Hydrological Response Units: ...

Sub-basins: ...

☐ Disable sub-basins file

Output

Output Directory: ...

Raster Distance Options

☐ Unit lengths between pixels (standard): Side = 1; Diagonal = 1.414

☒ Unit lengths by Distance Transforms method: Side = 0.96194; Diagonal = 1.36039

Drainage Network Options

☒ Perform length accumulation

☐ Read accumulated lengths from file: ...

MGB Routing Method

☒ Muskingum-Cunge (Fast) ☐ Inertial (Slow)

River Hydraulic Options

Set maximum reach slope to: m/km

Set minimum reach slope to: m/km

Manning's coefficient:

Bankfull Geomorphic Relationships

River parameters based on drainage area (A):

Channel Width: $W = a * A^b$

Channel Depth: $D = c * A^d$

Status: -

Figura 41. Pré-processamento dos arquivos de entrada do MGB.

Tabela 1. Lista dos atributos do arquivo MINI.MGB criado pelo PrePro-MGB.

Atributo	Informações
CatID	Código da mini-bacia original (fornecido pelo IPH Hydro-Tools)
MINI	Número da mini-bacia em ordem topológica (iniciando pelas mini-bacias de cabeceira até a mini-bacia exutório)
Xcen e Ycen	Coordenadas do centróide
Sub	Sub-bacia a qual pertence a mini-bacia
Area	Área de drenagem da mini-bacia em km2
AreaM	Área de drenagem total a montante de cada mini-bacia em km2
Ltr e Str	Comprimento e declividade, respectivamente, do rio principal que atravessa uma mini-bacia
Lrl e Srl	Comprimento e declividade, respectivamente, do afluente mais longo dentro de uma mini-bacia
MiniJus	Número da mini-bacia localizada imediatamente a jusante
Ordem	Ordem do curso d'água da mini-bacia
Hdr	Campo para posterior indicação do tipo de propagação da vazão no trecho de rio da mini-bacia (0 = propagação simplificada e 1 = propagação com hidrodinâmico)
Width	Largura do trecho baseada na equação geomorfológica fornecida na Janela do MGB PreProcessing.
Depth	Profundidade do trecho baseada na equação geomorfológica fornecida na Janela do MGB PreProcessing.
Manning	Rugosidade de Manning
BLC_X	Porcentagem da área da mini-bacia em que existe cada uma das unidades de resposta hidrológica, onde X varia de 1 até o número de URH

3 MGB-IPH

A partir de agora todas as ferramentas que serão utilizadas encontram-se dentro do plugin do MGB-IPH, conforme mostra a Figura 42. A sequência do menu segue a ordem lógica para preparação dos dados de entrada do modelo: (1) Geração de shapefile de centróides de minibacias; (2) Preparação de dados de chuva (dados ANA, MERGE ou outras fontes), vazão (dados ANA ou outras fontes) e clima (base interna ou dados externos); (3) Parâmetros de vegetação; (4) Parâmetros de solo; (5) Compilação dos diversos arquivos gerados dentro do arquivo de Projeto; (6) Simulação.

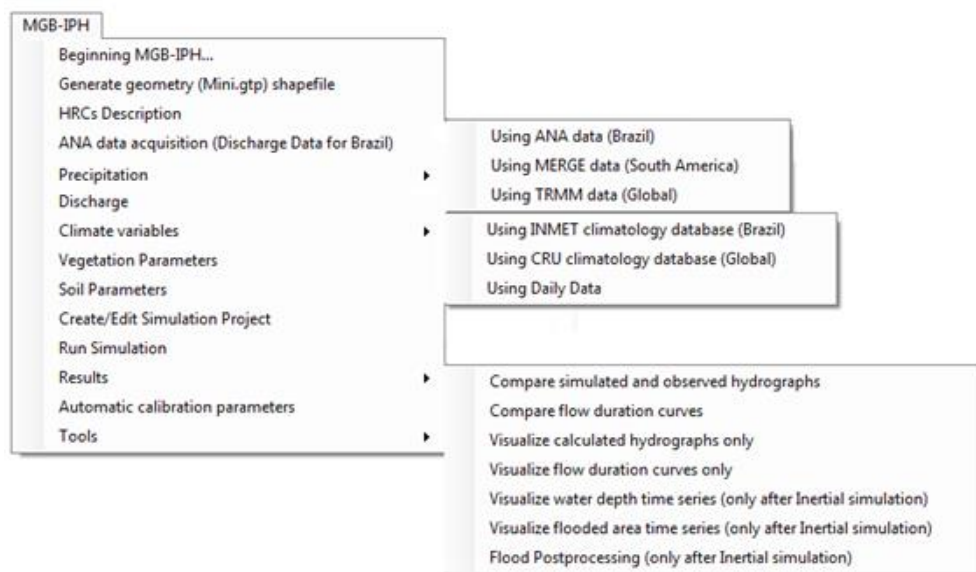


Figura 42. Principais ferramentas do plugin MGB-IPH.

3.1 Geração do shapefile dos centróides das minibacias

Para etapas posteriores de uso do MGB-IPH, é importante adicionar um layer contendo os centróides das mini-bacias. Este layer é um shapefile criado na própria interface do MGB-IPH, usando a ferramenta **Generate geometry (Mini.gtp) shapefile**, no menu de ferramentas MGB-IPH.

No caso da bacia do rio das Almas, o arquivo texto mini.gtp, criado pelo MGB PreProcessing, foi transformado no arquivo "Centr_Almas", e adicionado ao projeto do MapWindow para visualização dos centróides das mini-bacias, conforme mostra a Figura 43.

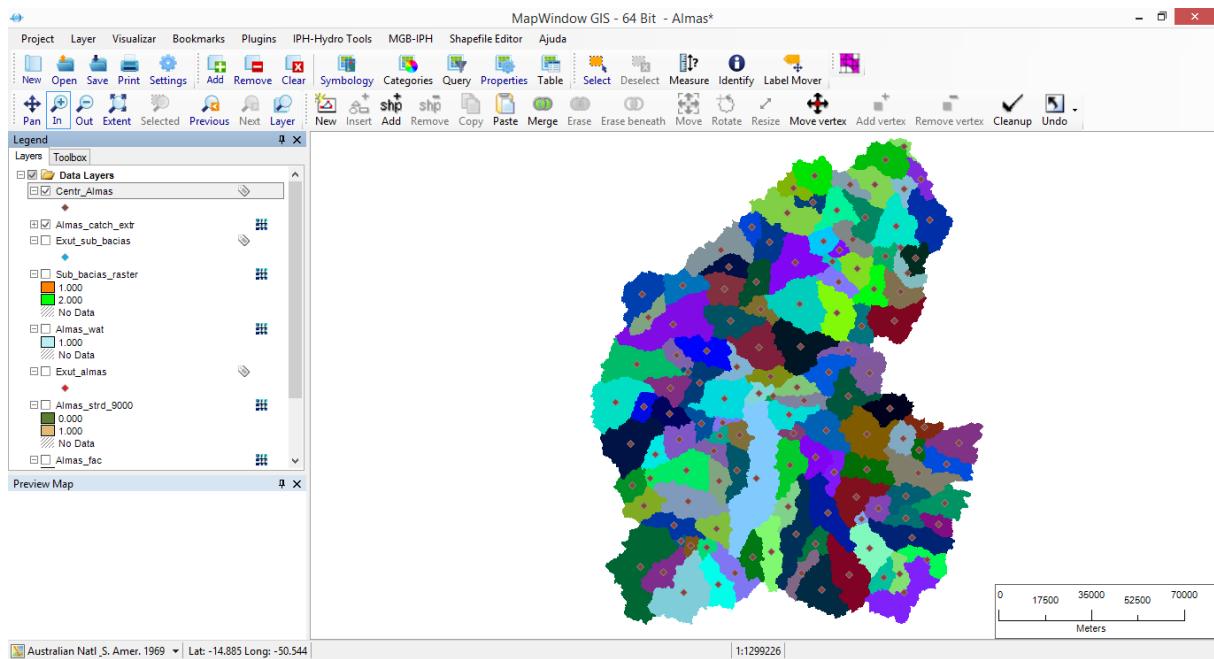


Figura 43. Centróides das minibacias criados pela ferramenta Generate geometry (Mini.gtp) shapefile.

3.2 Descrição das Classes de Respostas Hidrológicas

Abra a ferramenta “**HRCs Description**” no menu do MGB-IPH.

Quando geramos o arquivo HRC no passo 2.13 criamos também um arquivo de descrição com extensão .hrc. Devemos agora reescrever este arquivo a fim de que a descrição simplificada das classes não possua mais do que 9 caracteres na primeira coluna da tabela mostrada através da ferramenta **HRCs Description**.

Caso você tenha gerado o arquivo de classes a partir dos arquivos vetoriais (item 2.13.1 – a alternativa 01 de geração de HRCs apresentada no manual), abra a ferramenta, clique em Open e indique o arquivo “HRC_descrip.hrc”. Reescreva-o conforme indicado na Figura 44 e então você poderá salvar o arquivo sobre o antigo HRC_descrip.hrc.

HRC

Instructions for creating Hydrologic Response Classes (HRCs)

Add the watershed HRCs, one by one, in the table below. In the left column fill in with the simplified HRC name, this name can not contain more than 9 characters (Ex.: Sandysoil). In the second column fill in the description of the HRC, with key information such as the soil type and vegetation (Ex.: Sandy soil, without vegetation, comprising the coastal regions, or beaches).

When you fill in the first row of the table the second row becomes available for editing. When all HRCs are ready click the "Save" button at the bottom of the window to save the HRC file.

Important: the last HRC to be added must be the HRC that corresponds to Water.

HRU

HRC	Description
AgrProf	Agricultura em solo profundo
AgrRas	Agricultura em solo raso
Urbano	Uso urbano
CerProf	Cerrado em solo profundo
CerRas	Cerrado em solo raso
FlorProf	Floresta em solo profundo
FlorRas	Floresta em solo raso
PastProf	Pastagem em solo profundo
PastRas	Pastagem em solo raso
Agua	Água

Number of HRCs:

Figura 44. Descrição das classes de resposta hidrológica tendo utilizado a base externa.

Se você usou o Mapa de URHs da América do Sul (item 2.13.2 -a alternativa 02 de geração de HRCs apresentada no manual), com as informações disponibilizadas na planilha baixada junto do arquivo você pode preencher a ferramenta como mostrado na Figura 45. Neste caso também salvaremos com o nome "HRC_descrip.hrc".

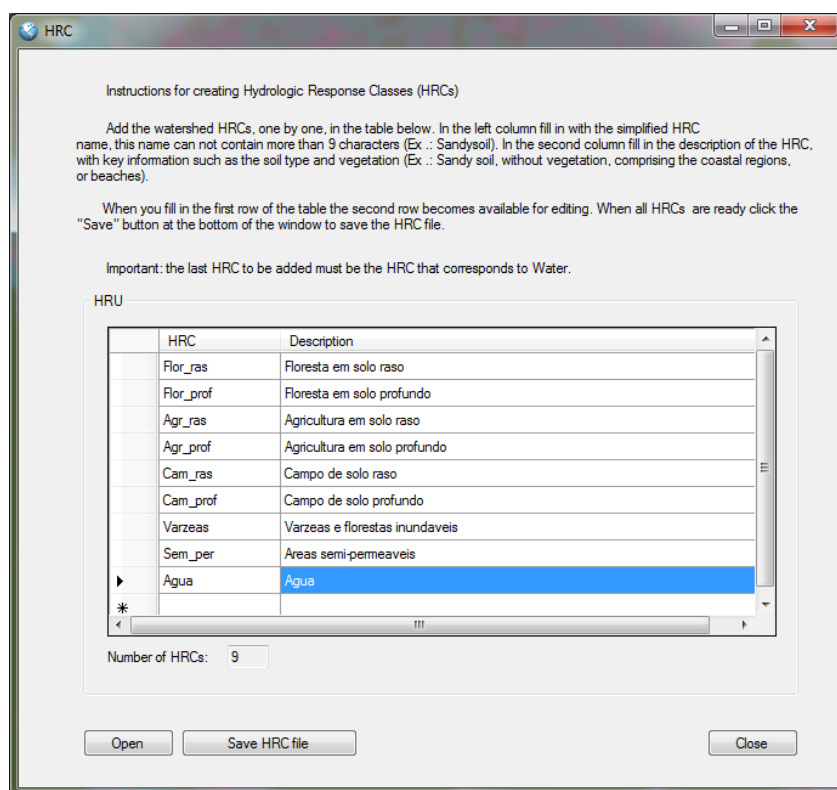


Figura 45. Descrição das classes de respostas hidrológicas tendo utilizado o Mapa de URHs.

Se você gerou as HRCs de alguma outra forma, que não as apresentadas neste manual, basta escrever na tabela a descrição das suas HRCs. Neste caso também salvaremos com o nome "HRC_descrip.hrc".

IMPORTANTE: No MGB-IPH o último HRC sempre deve ser o bloco "Água". Este HRC deve existir e deve ser o último.

3.3 Interpolação dos dados de precipitação

Para rodar o modelo MGB-IPH é necessário gerar um arquivo de dados de chuva interpolados. Para isto, é necessário interpolar os dados de chuva dos postos pluviométricos para a posição dos centróides das minibacias. Assim, diferentes bases de dados podem ser utilizadas no modelo. Os dados podem ser de quatro tipos:

- Alternativa 01: *Dados da Agência Nacional de Águas - HIDROWEB*
- Alternativa 02: *Dados satélite para América do Sul - MERGE/CPTEC*
- Alternativa 03: *Dados de satélite global - TRMM*
- Alternativa 04: *Outras fontes de dados de chuva*

Vamos explorar cada uma destas alternativas a seguir. Cabe ao usuário definir qual deseja utilizar.

3.3.1 Alternativa 01: Dados da Agência Nacional de Águas (ANA)

Nesta alternativa são usados como dados de entrada os dados provenientes da Agência Nacional de Águas (ANA). É acessada na aba "Using precipitation data from ANA".

Os dados da ANA vêm no formato que aqui chamamos de "Hidroweb". O uso de programas como "Manejo e Visualização de Dados Hidrológicos" (disponível em <https://www.ufrgs.br/hge/modelos-e-outros-produtos/software-de-manejo-e-visualizacao-de-dados-hidrologicos/>) permite transformar estes dados no formato coluna, que é mais fácil para visualização e edição.

Neste manual serão utilizados os dados ANA no formato coluna. Dentro do MGB-IPH existe uma ferramenta para download automático dos dados de chuva e vazão da ANA, o qual é descrito na seção 3.5, e gera automaticamente os dados no formato coluna.

Para rodar a interpolação de dados de chuva, deve-se primeiro carregar os dados das estações de chuva com a opção ASCII Columns marcada, e os códigos dos postos pluviométricos devem aparecer na tabela. Depois, deve se especificar o arquivo de minibacias gerado pelo MGB-PreProcessing no campo denominado MINI.GTP, localizado na parte superior direita. Depois deve ser especificado o período para a interpolação. Para isto clique na opção **Time availability** e um gráfico mostrando a qualidade dos dados por estação e ano surgirá na tela como o da Figura 46. Aqui é fundamental que no período escolhido não haja nenhum ano em que não exista ao menos uma estação com dados completos de chuva.

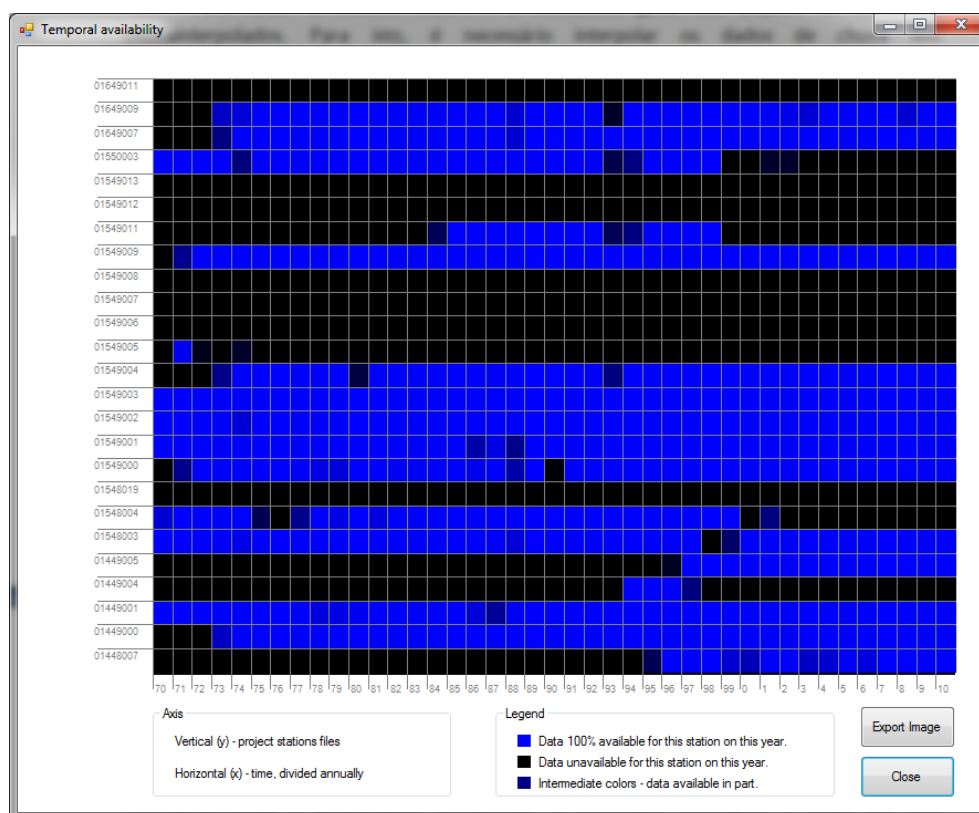


Figura 46. Ferramenta de disponibilidade temporal com as estações baixadas.

Na bacia do rio das Almas optou-se por realizar uma simulação no período de 1970 a 2010, por este motivo, as datas de início e fim do período a interpolar é especificado como 01/01/1970 a 31/12/2010. Finalmente, é necessário especificar a pasta em que será gravado o arquivo de chuva interpolada, onde indicaremos a pasta Chuva, e definir um nome para este arquivo. A extensão será sempre *.PBI. No exemplo da bacia do rio das Almas foi gerado um arquivo com o nome "PRECIP_70_10.pbi" como é mostrado na Figura 47.

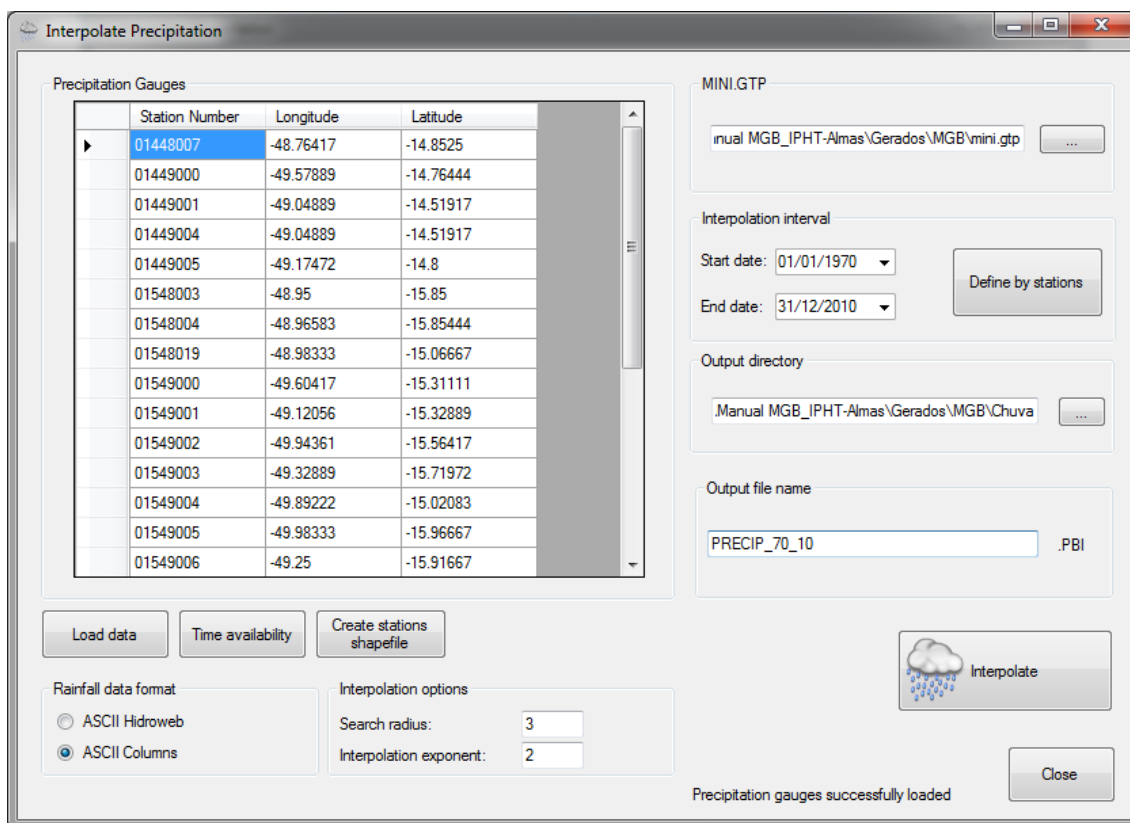


Figura 47. Ferramenta para interpolação dos dados de chuva.

3.3.2 Alternativa 02: Uso de dados satélite para América do Sul - MERGE/CPTEC

Para bacias mal monitoradas, pode ser interessante o uso de dados de satélite. Assim, foi criada uma ferramenta junto ao modelo MGB-IPH para processar e interpolar dados de precipitação do MERGE. MERGE é o nome dado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) ao produto da combinação entre dados observados de pluviometria e dados de chuva do satélite TRMM. Sua principal vantagem é que cobre toda a América do Sul, podendo ser utilizado para regiões com baixa disponibilidade de dados de chuva. Os dados podem ser obtidos no endereço <http://ftp1.cptec.inpe.br/modelos/io/produtos/MERGE>, sendo que o Interplu MERGE do MGB-IPH dispõe de uma rotina para realizar o download do ftp automaticamente. Mais informações sobre a metodologia empregada no MERGE podem ser obtidas no seguinte artigo:

Rozante, J.R., Moreira, D.S., Gonçalves, L.G., Vila, D. (2010). Combining TRMM and Surface Observations of Precipitation: Technique and Validation over South America. *Weather&Forecasting* 25, 885-894.

A função básica do Interplu MERGE é a interpolação destes dados de precipitação para cada centroide de minibacia da bacia em estudo, criando um arquivo binário de chuva interpolada que pode ser utilizado como dado de entrada no MGB-IPH.

O Interplu MERGE está disponível dentro do plugin do MGB-IPH para o MapWindow. A ferramenta pode ser acessada através da aba “Precipitation/Using MERGE Data”. Uma janela como na Figura 48 é aberta.

O procedimento padrão para criação de um arquivo de precipitação interpolada segue os seguintes passos: (1) Criação de uma base de dados; (2) Leitura da base de dados; (3) Download dos dados MERGE; (4) Atualização da base de dados; (5) Leitura do Mini.MGB (arquivo contendo as coordenadas dos centroides de cada minibacia); e (6) Interpolação dos dados MERGE com os centroides das minibacias.

Alternativamente pode-se baixar uma base de dados pronta do site do MGB-IPH (<http://www.ufrgs.br/hge/mgb-iph/downloads/>), seguindo então as seguintes etapas: (1) Leitura da base de dados; (2) Atualização da base de dados (caso necessário); (3) Leitura do Mini.MGB (arquivo contendo as coordenadas dos centroides de cada minibacia); e (4) Interpolação dos dados MERGE com os centroides das minibacias.

As próximas seções explicarão detalhadamente estas etapas.

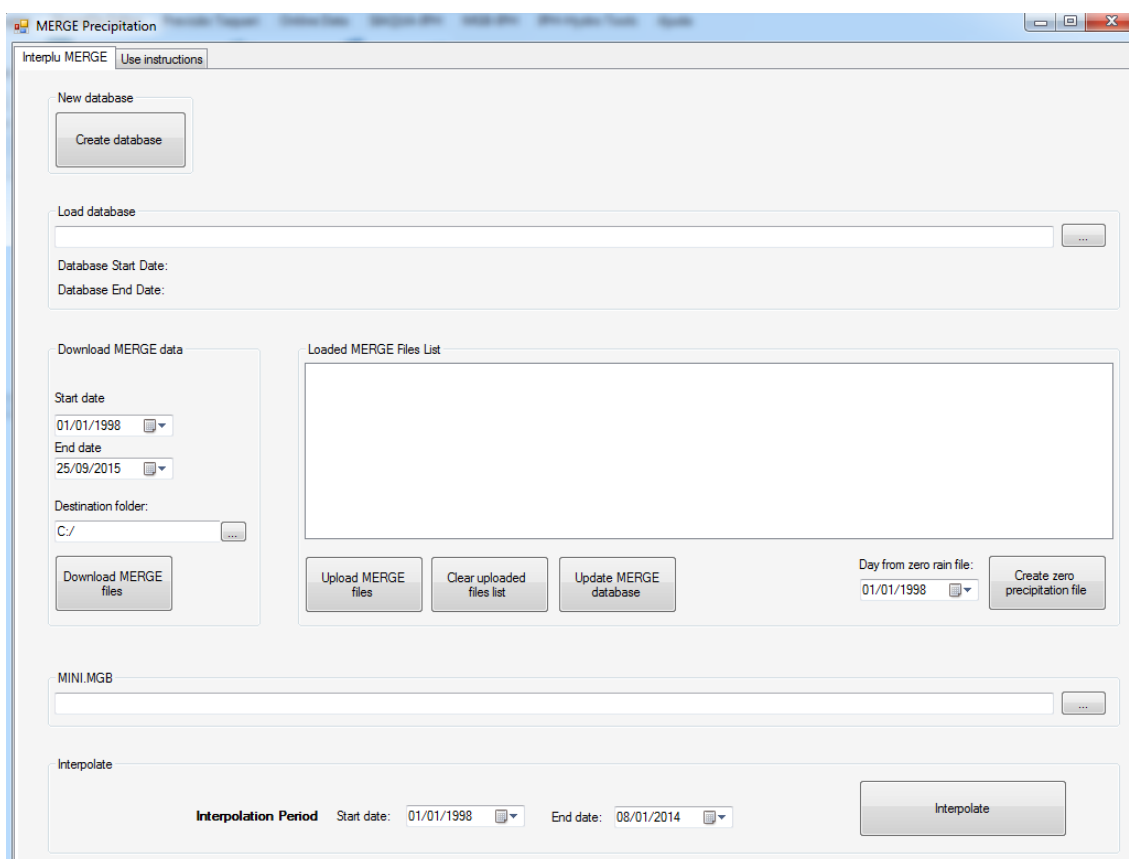


Figura 48. Interface do Interplu MERGE.

Os dados MERGE podem ser baixados de duas formas: (1) pode-se utilizar a seção “Download MERGE files” do Interplu MERGE para fazer o download do período desejado. Posteriormente estes dados serão adicionados a uma base de dados criada na interface; ou (2) pode-se baixar uma base de dados pronta através do site do MGB-IPH (<http://www.ufrgs.br/hge/mgb-iph/downloads/>), a qual é atualizada a cada mês, contendo dados desde o primeiro dia com disponibilidade de dados MERGE (02/01/1998) até o mês atual. O usuário pode então carregar a base de dados na interface, e posteriormente selecionar o período de interpolação desejado. Caso o período desejado seja mais recente que o disponível na base de dados, pode-se fazer o download dos arquivos faltantes e adicioná-los à base de dados baixada. Esta segunda opção é mais confiável e rápida, pois evita a necessidade de download de dados do ftp.

A base de dados é um arquivo binário, e os arquivos MERGE baixados do ftp são compostos por um arquivo .ctl e um arquivo .bin por dia.

3.3.2.1 Criação e atualização da base de dados

Para a geração do arquivo de chuva interpolada, pode-se utilizar a base de dados disponível no site do MGB-IPH ou baixar os dados via ftp, criando uma nova base de dados.

Para se criar uma base de dados, à qual os dados MERGE baixados serão adicionados, clique em “Create database”.

Para adicionar dados à base, carregue a mesma na seção “Load database”. As datas de início e final da base serão apresentadas. Caso nenhum dado tenha sido adicionado, aparecerá a data “segunda-feira, 1 de janeiro de 1900” para início e fim.

Feito isso, carregue os dados que se quer adicionar em “Upload MERGE files”. Caso queira carregar mais arquivos, clique novamente em “Upload MERGE files”. Se deseja limpar a lista e recomençar a adicionar arquivos, clique em “Clear uploaded files list”. Quando a lista de dados a ser adicionada estiver completa, clique em “Update MERGE database”.

Importante: Os arquivos a serem adicionados devem estar em ordem cronológica. Assim, caso a base de dados contenha o período 02/01/1998 a 14/09/2002, caso se queira adicionar algum dado a esta base deve-se carregar os arquivos a partir do dia 15/09/2002. Eventualmente, erros no download do FTP podem ter ocorrido, e alguns arquivos podem não ter sido baixados, ou ainda alguns arquivos podem não existir no FTP do MERGE (o arquivo referente ao dia 01/01/1998, por exemplo, inexistente). Assim, às vezes pode ocorrer de o programa não conseguir atualizar a base de dados por não ter encontrado um arquivo. Duas alternativas são então possíveis: (1) o usuário pode tentar fazer o download deste dia faltante (através da seção “Download dados MERGE”, utilizando como datas inicial e final o dia desejado) ou (2) criar um arquivo falso de chuvas zero para este dia, caso o arquivo inexistente no FTP, o que pode ser feito com o botão “Criar arquivos de chuvas zero”, selecionando o dia de interesse. A existência do arquivo no FTP pode ser avaliada diretamente no endereço deste (<http://ftp1.cptec.inpe.br/modelos/io/produtos/MERGE>).

3.3.2.2 Interpolação dos dados de chuva

Com a base de dados atualizada, procede-se à interpolação dos dados de chuva. Para isso carregue o arquivo MINI.MGB (ou algum outro que contenha as coordenadas dos centroides das mini-bacias) na seção “MINI.MGB”, o qual é gerado com o programa MGB-PreProcessing (veja, por exemplo, nos manuais de exemplo do MGB-IPH como criar o MINI.MGB). Após, selecione o período de interpolação desejado, e clique em “Interpolar”. O arquivo de saída é um arquivo binário que pode ser posteriormente utilizado como dado de entrada de precipitação do modelo MGB-IPH.

Importante: O período selecionado para interpolação de dados do MERGE deve ser idêntico ao período de simulação do MGB-IPH.

3.3.3 Alternativa 03: Uso de satélite global – TRMM

Caso o usuário opte por utilizar dados do Tropical Rainfall Measuring Mission, existe uma alternativa no MGB capaz de interpolar os dados de precipitação do TRMM, que pode ser acessada através da aba “Precipitation/Using TRMM Data”. Uma janela como na Figura 49 é aberta.

Para a utilização dessa ferramenta, o usuário já deve ter feito o download dos dados do TRMM. Na janela da Figura 49, deve clicar em “Upload TRMM Files” e selecionar os arquivos em ordem **cronológica**. Carregue o arquivo MINI na aba *MINI.GTP* e insira um nome para o arquivo de precipitação interpolada a ser gerado em *Output Precipitation File*.

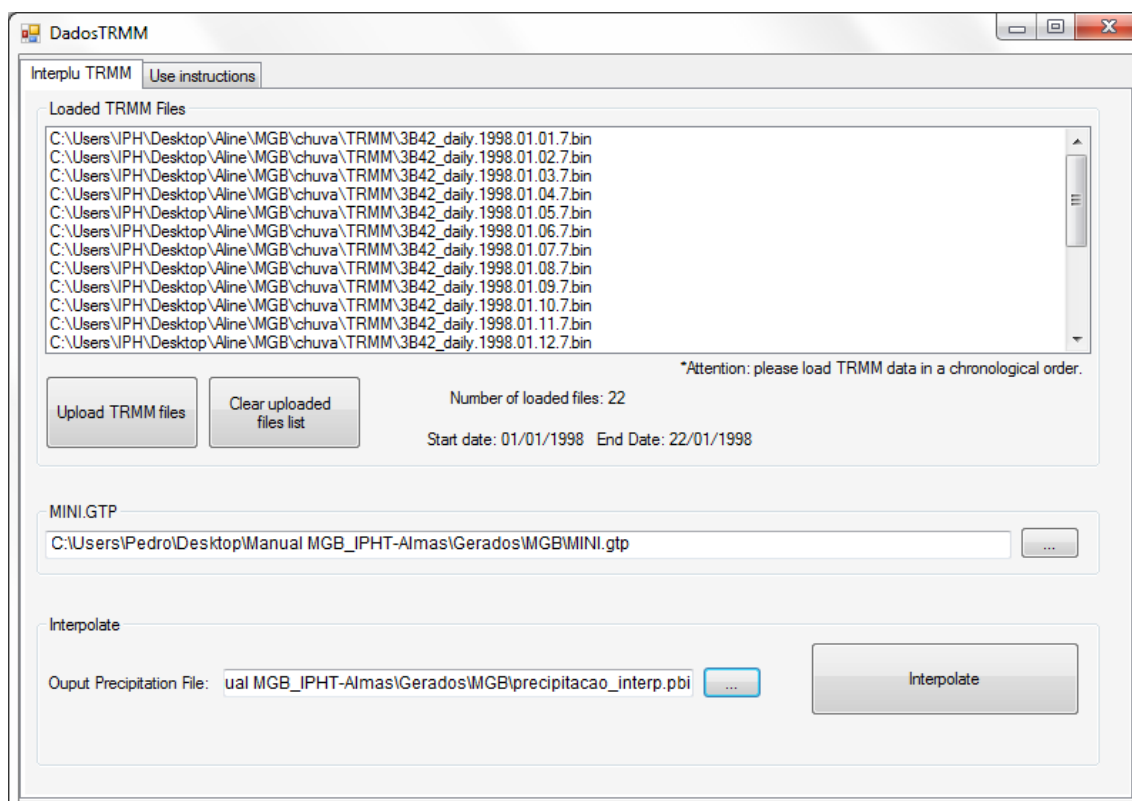


Figura 49. Interface de interpolação do TRMM.

Importante: O período selecionado para interpolação de dados do TRMM deve ser idêntico ao período de simulação do MGB-IPH.

3.3.4 Alternativa 04: Outras fontes de dados de chuva

Caso outras fontes de dados de chuva sejam utilizadas no modelo, é necessário transformar as séries históricas de cada posto em um arquivo texto em colunas. Por exemplo, caso se esteja trabalhando com dados de grade de algum produto de satélite, pode-se criar uma "estação virtual" para cada ponto da grade, em que se coloque os dados no formato coluna. O uso de dados de estações pluviométricas de outros países pode ser realizado desta mesma forma.

Um exemplo dos arquivos texto no formato coluna que devem ser criados está disponível na janela "Beginning MGB-IPH/MGB Input Data". O espaçamento das colunas deve ser mantido idêntico ao apresentado no arquivo exemplo.

De posse dos arquivos de chuva de cada estação, a interpolação para os centroides das minibacias pode ser realizado com a mesma ferramenta de interpolação de dados ANA (item 3.4.1).

Para isto, basta que o usuário adicione à base de dados interna de postos de chuva do MGB-IPH as informações relativas às novas estações que deseja usar na interpolação. Isto é feito através da ferramenta "Tools/Internal Database" (Figura 50). Vá à última linha, escreva o nome, latitude e longitude de cada novo posto e clique em "Update Database". Pronto! Agora é só voltar à janela "Using precipitation data from ANA" e seguir os mesmos passos descritos no item 3.4.1.

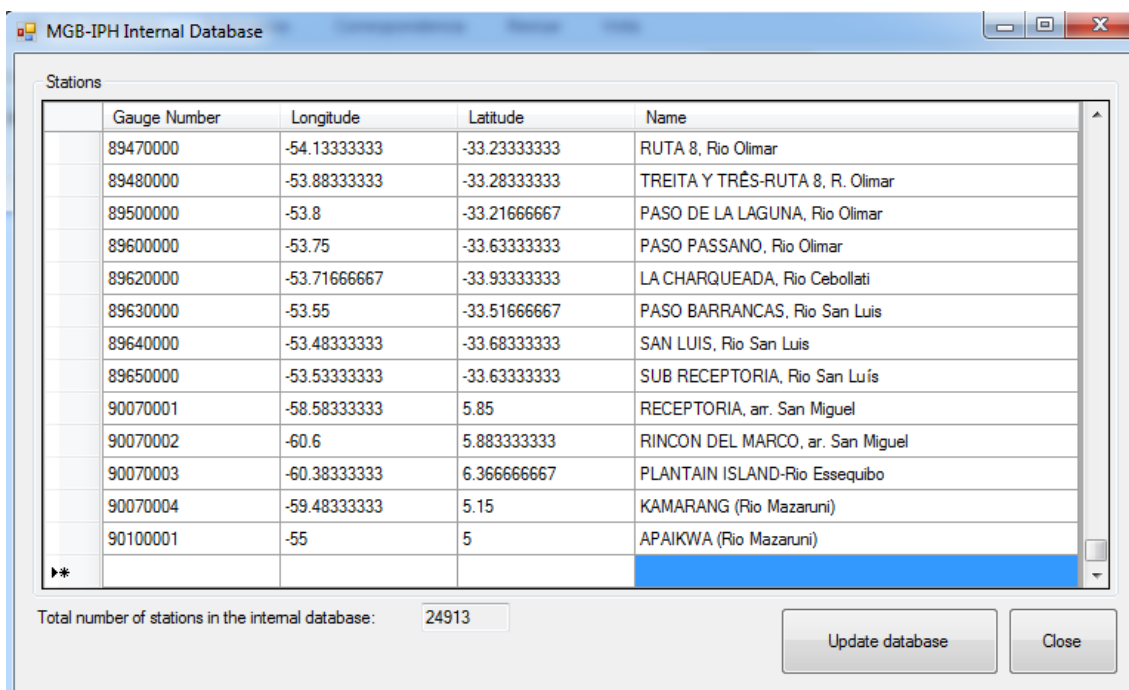


Figura 50. Interface do editor da base interna de estações pluviométricas do MGB-IPH.

3.4 Geração do arquivo de vazões observadas

Os dados de vazão calculados pelo MGB-IPH serão comparados aos dados de vazão observados nos postos fluviométricos. Para isto é necessário gerar um arquivo com dados de vazão observada utilizando a ferramenta **Flow** do menu.

Os dados de vazão devem ser um arquivo texto para cada estação, e devem estar em formato coluna. Exemplo destes arquivos pode ser visualizado em "Beginning MGB-IPH/MGB Input Data". Neste manual, serão utilizados os dados baixados pelo programa automático de download de dados da ANA (seção 3.6), que gera arquivos automaticamente no formato coluna. Dados baixados pelo portal Hidroweb vêm no formato aqui definido como "Hidroweb".

Para gerar o arquivo de vazão para o MGB-IPH, primeiro selecione a opção **ASCII Columns** e visualize a disponibilidade temporal das estações baixadas.

Neste caso nem todas as estações baixadas serão utilizadas, pois algumas não possuem dados no período escolhido ou ainda existe mais de uma sobre a mesma minibacia. Neste último caso deve-se escolher aquela com a maior série de dados. Assim observando-se a localização das estações e suas disponibilidades temporais ficou escolhido trabalhar com as estações de códigos: 20100000, 20200000, 20250000, 20490000 e 20489100.

O período de dados deve ser exatamente o mesmo que no caso da chuva interpolada, isto é, foi adotado o intervalo de 01/01/1970 até 31/12/2010. Também é necessário informar qual é o número da minibacia correspondente ao posto fluviométrico. Para isto, é necessário ter o shapefile dos postos fluviométricos. Caso tenha sido utilizado a ferramenta de download automático de dados ANA, o shapefile já terá sido gerado. Caso contrário, clique em "Generate shapefile".

Adicione o shapefile de postos fluviométricos ao projeto. Para cada posto é possível descobrir o número da minibacia correspondente adicionando o label do campo Mini no layer dos centróides das minibacias, e usando as ferramentas de zoom com o shapefile das estações carregado no projeto.

O arquivo de vazões observadas gerado no caso do rio das Almas recebeu o nome "VAZAO_70_10.qob", e foi definido que as vazões calculadas na minibacia 106 correspondem aos dados do posto fluviométrico 20100000, e assim por diante: 114 - 20200000; 118 - 20250000; 127 - 20490000; 125 - 20489100 conforme a Figura 51 **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

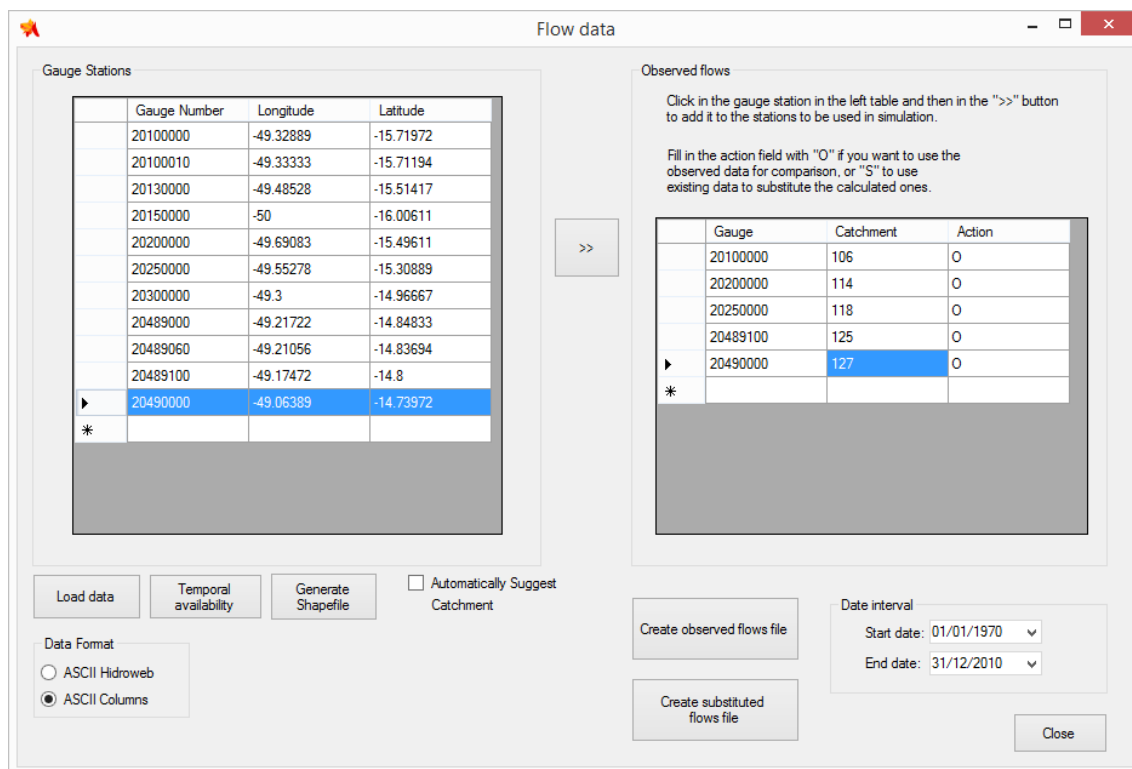


Figura 51. Ferramenta flow com a correlação das minibacias com estações fluviométricas.

3.5 Download de dados de chuva e vazão

Para adquirir dados de chuva e vazão para incorporar ao modelo MGB-IPH você pode utilizar a ferramenta **ANA data acquisition** (Figura 52), que permite o download automático de vários postos pluviométricos e fluviométricos da sua região de interesse. Abra a ferramenta e indique como data inicial 01/01/1970 e data final 31/12/2010 e em seguida marque a opção *Shapefile* como tipo de dado de entrada. Como para dados de precipitação nos interessam dados que também estejam fora da zona da bacia, entraremos com aquele primeiro shape que criamos para recortar o mosaico do MDE.

No momento em que você selecionar o arquivo shapefile o programa buscará na sua base interna de dados as estações pluviométricas que se encontram dentro daquele polígono para então mostrá-los na tabela. Uma vez identificadas as estações clique no botão **Generate Shapefile** e crie o arquivo de localização das estações dentro da pasta Chuva.

Indique esta mesma pasta no campo *Destination folder* e clique em **Download Data**. O programa indicará quantas estações serão baixadas e a partir de agora acompanhe a pasta “Chuva” na medida em que os dados são baixados. Se por acaso você reparar que trancou em alguma estação, feche o programa e abra novamente seu projeto para baixar os dados. Você também pode deletar aquelas linhas das estações que já foram baixadas com sucesso antes de clicar para baixar novamente, caso isto ocorra.

Gauge number	Latitude	Longitude
01449000	-14.76444	-49.57889
01449005	-14.8	-49.17472
01548003	-15.85	-48.95
01548004	-15.85444	-48.96583
01549000	-15.31111	-49.60417

Figura 52. Ferramenta ANA data acquisition para download automático de dados da ANA.

Uma vez baixados os dados de precipitação marque a opção **Discharge** no topo e indique o mesmo período de dados para baixar os dados de vazão. Como nos interessa apenas as estações que estão de fato dentro da bacia para os dados de vazão, selecione o arquivo da bacia do tipo vetorial que geramos no passo 2.12.2. Desta vez indique a pasta “Vazao” em *Destination folder*, gere novamente o arquivo de pontos e baixe os dados observando agora a pasta Vazão.

3.6 Manejo dos Dados de Clima

Para calcular a evapotranspiração no modelo MGB-IPH são utilizados dados de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, pressão atmosférica e insolação (horas de sol por dia).

Na interface do MGB existem três opções de entrada de dados de clima. A primeira alternativa é o uso de uma base de dados interna do MGB-IPH de Normais climatológicas de 1960-1990 calculadas pelo INMET para todo o Brasil. A segunda opção é usando uma base de dados global da University of East Anglia chamada de Climatic Research Unit (CRU). A terceira alternativa é uma base de dados externa, como o uso de dados de clima de outras fontes que não o INMET. O padrão destes dados para o modelo MGB-IPH deve seguir o dos dados disponíveis no portal Hidroweb da ANA.

As opções são, portanto, as seguintes:

- Alternativa 1: uso de base de dados interna de normais para o Brasil (INMET)
- Alternativa 2: uso de base de dados Climatic Research Unit (CRU)
- Alternativa 3: uso de base de dados de clima diário

Cada uma delas é explorada a seguir.

3.6.1 Alternativa 1: Uso de base de dados interna de normais climatológicas para o Brasil (INMET)

É possível utilizar a base de dados interna de normais climatológicas do MGB-IPH, construída a partir de dados de normais de estações climatológicas do INMET. A Figura 53 apresenta a interface.

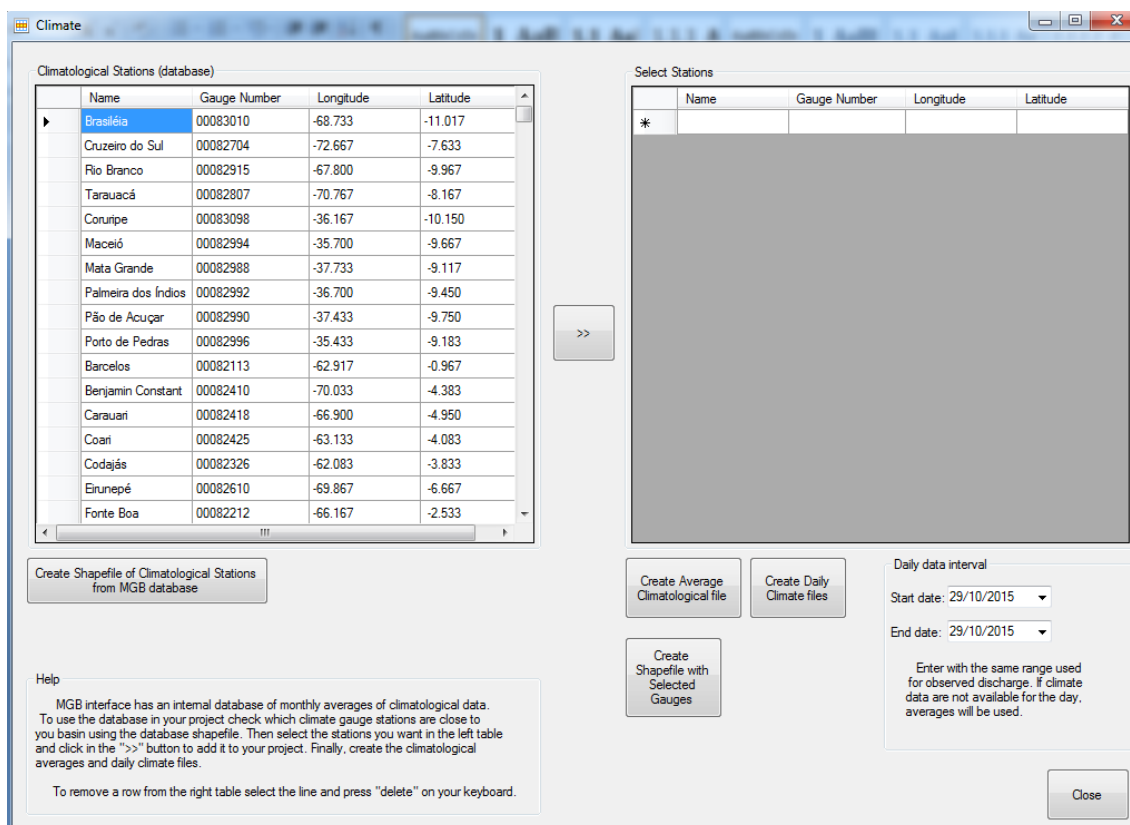


Figura 53. Interface da base de dados interna de clima do MGB-IPH.

Na tabela da esquerda, existe uma lista das estações climatológicas disponíveis. Para utilizar uma dada estação, selecione esta na tabela da esquerda, e transfira para a tabela da direita pelo botão ">>". Caso queira saber quais são as estações climatológicas próximas à sua área de estudo, você pode criar um shapefile das estações clicando em "Create Shapefile of Climatological Stations from MGB database", adicionar o shape ao projeto e localizar as estações mais próximas.

Após ter selecionado as estações desejadas, e as carregado na tabela da direita de "Selected stations", crie os arquivos de normais climatológicas ("Create Average Climatological file") e os arquivos de clima diários ("Create Daily Climate files") com o mesmo período utilizado nos dados de chuva e vazão.

Como a base de dados interna do MGB-IPH apenas possui dados de normais climatológicas (médias de longo período das variáveis climatológicas), os arquivos de clima diários gerados conterão apenas informações de falhas e não serão utilizados para realizar a simulação hidrológica. No entanto, ao criar um projeto de simulação do MGB-IPH (seção 3.9: Criação de

um projeto para simulação), é necessário que se forneça tanto arquivos de médias climatológicas quando dados diários, e por isso estes arquivos são aqui gerados.

3.6.2 Alternativa 2: Uso de base de dados Climatic Research Unit (CRU)

Os dados do Climatic Research Unit (CRU) apresentam uma resolução global de 10 minutos. Para utilizá-los, visite o site <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/tmc/> para baixar os dados. Faça o download dos dados “Elevation”, “Relative Humidity”, “Sunshine”, “Mean Temperature” e “10m Wind Speed”, conforme é ilustrado na Figura 54.

File	Gzipped	Uncompressed	Description
readme.txt	-	-	Documentation
grid_10min_problems.txt	-	-	Problem log (none)
new_et_al_10minute_climate_CR.pdf	-	3 MB	<i>Climate Research</i> paper describing dataset
grid_10min_pre.dat.gz	28 MB	101 MB	Precipitation
grid_10min_rd0.dat.gz	10 MB	56 MB	Wet-days
grid_10min_tmp.dat.gz	11 MB	56 MB	Mean temperature
grid_10min_dtr.dat.gz	9 MB	56 MB	Mean diurnal temperature range
grid_10min_reh.dat.gz	12 MB	56 MB	Relative humidity
grid_10min_sunp.dat.gz	12 MB	56 MB	Sunshine
grid_10min_frs.dat.gz	7 MB	56 MB	Ground-frost
grid_10min_wnd.dat.gz	6 MB	56 MB	10m windspeed
grid_10min_elv.dat.gz	3 MB	15 MB	Elevation
tmc.iso.gz	96 MB	509 MB	CD-ROM image of all files Use <i>Nero</i> , <i>Adaptec-CD</i> etc to cut to disc

Figura 54. Arquivos da base de dados CRU.

No MGB, direcione-se à aba Climate Variables/Using CRU climatology database (Global). Selecione o arquivo MINI em *Mini.gtp*, os arquivos das variáveis climatológicas, e a pasta onde deseja salvar o arquivo resultante em *Output Directory*, conforme mostra a Figura 55.

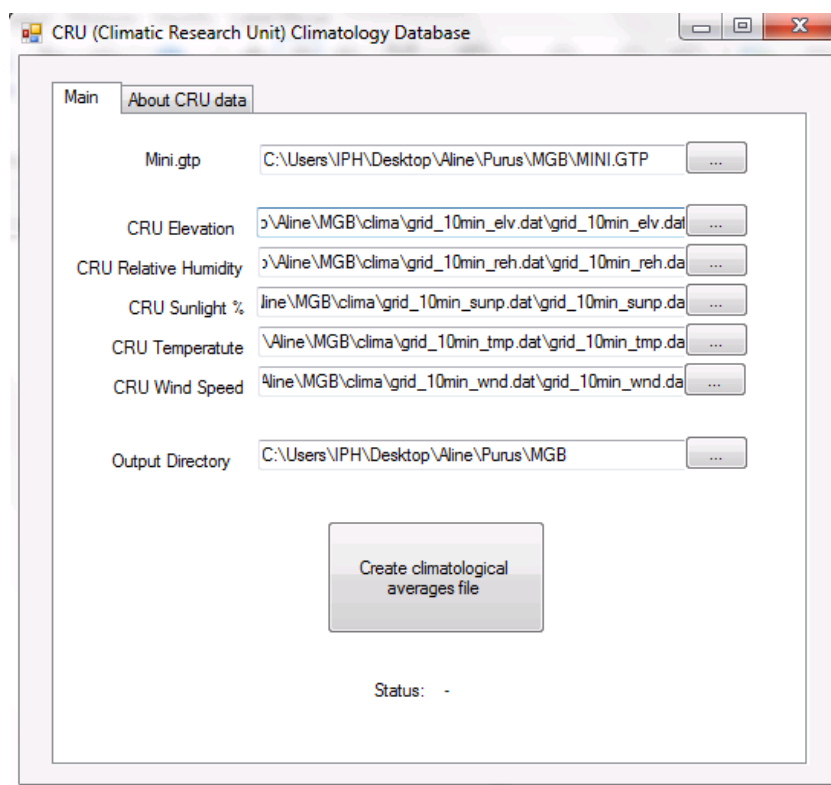


Figura 55. Interface do MGB para inserção dos dados de clima do CRU.

A referência para os dados do CRU é: Mark New, David Lister, Mike Hulme, Ian Makin. A high-resolution data set of surface climate over global land areas. *Climate Research*, Vol. 21: 1–25, 2002.

3.6.3 Alternativa 3: Uso de base de dados de clima diário

No caso específico da ANA, os dados de clima estão disponíveis em estações climatológicas e deverão ser baixadas através do portal Hidroweb. A janela para esta opção pode ser acessada em *"Using Daily Data"*.

As estações próximas à bacia do Rio das Almas que foram identificadas foram as de código 1446002, 1547003, 1548004, 1549001, 1549011, 1550003 e 1552003. Assim baixe os dados climatológicos destas estações no formato *.TXT como mostra a Figura 56. Os arquivos devem estar no formato especificado em *"ASCII climate data in columns format example"*, dentro de *"MGB Input Data"*, presente no primeiro item do menu do MGB: *"Begging MGB-IPH"*.

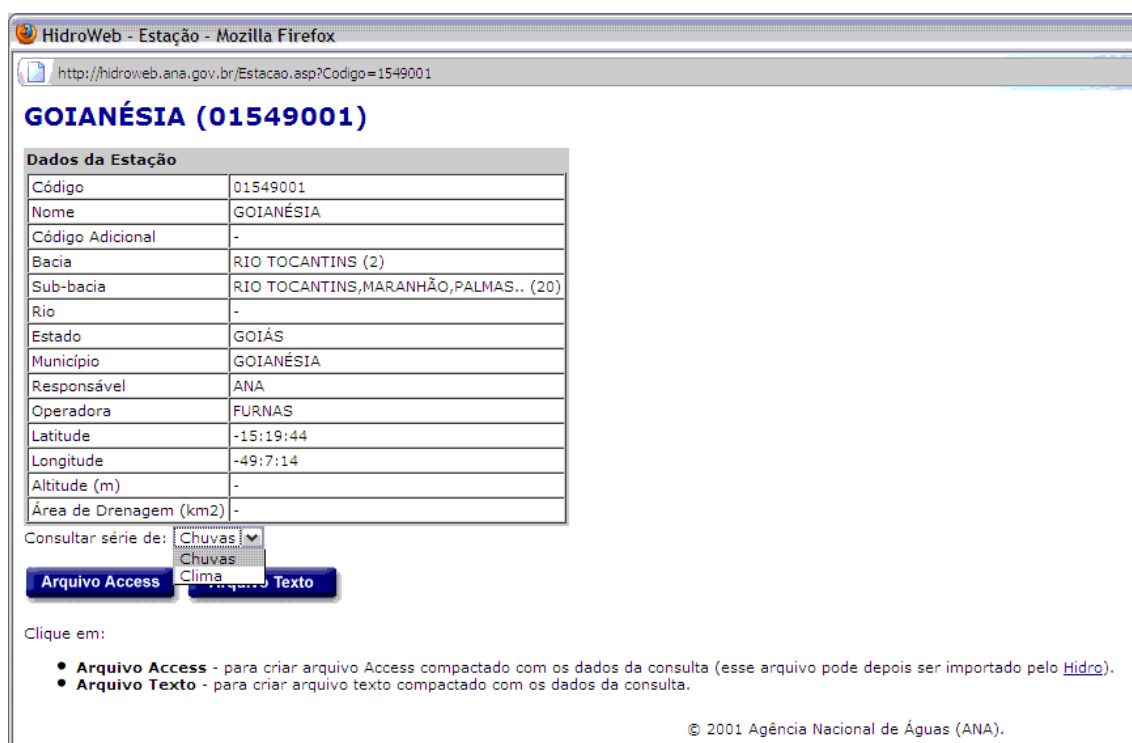


Figura 56. Obtenção de dados meteorológicos (clima) no sistema Hidroweb da ANA.

Acesse a opção “Using Daily Data” no menu de “Climate variables”. Dentro desta ferramenta é necessário clicar no botão **Load Data** e selecionar os arquivos de dados climáticos obtidos do Hidroweb. Os dados dos arquivos serão lidos e uma tabela vai apresentar o número de anos em que existem dados de cada variável em cada mês do ano. Alterando a estação climatológica neste painel é possível escolher quais estações serão utilizadas nas simulações. É aconselhável utilizar apenas as estações com mais do que cinco anos de dados em cada variável e em cada mês.

As estações são selecionadas clicando na opção **Yes** da área “Use station?” no limite inferior do formulário (Figura 57). No caso do rio das Almas foram selecionadas as estações Posse, Formosa, Goiás e Aragarças. Nenhuma destas estações está localizada no interior da bacia, mas elas estão relativamente próximas, especialmente a estação Goiás.

Devem ser gerados os dados de clima diários e os dados de clima médios mensais. Para isto basta definir o período (01/01/1970 a 31/12/2010), que deve corresponder ao mesmo período que a chuva, a vazão e a simulação, e clicar nos botões correspondentes.

Na aplicação do rio das Almas foram criados os arquivos “medias_cli.cln”, que contém os valores médios das variáveis (semelhantes às normais climatológicas), e arquivos com dados diários de cada um dos postos climáticos, que recebem um nome automaticamente pelo código do posto, e recebem a extensão “.cli”. Todos estes foram salvos na pasta “Clima”.

Climate

Data format
☒ ASCII Hidroweb
☐ ASCII Columns

Load data

Create climatological averages

Create daily climate files

Create stations shapefile

Climatological Station:
 Name: POSSE
 Latitude: -14.08417 Longitude: -46.37111

Range of daily data
 Start date: 01/01/1970
 End date: 31/12/2010

Enter with the same range used for observed discharges. If climate data are not available on the day, the averages will be used.

Number of years with data

Month	Temperature	Humidity	Insolation	Wind	Pressure
January	13	7	2	14	13
February	13	7	2	15	13
March	12	7	2	15	12
April	11	7	2	13	13
May	12	7	2	14	14
June	12	7	2	14	14
July	11	7	2	14	13
August	11	6	2	14	11
September	12	6	2	15	13
October	15	8	3	12	15
November	15	9	4	16	15
December	15	9	4	16	14
*					

Use station?
☒ Yes ☐ No

1

Close

Figura 57. Ferramenta Climate para manejo de dados climáticos.

3.7 Definição dos Parâmetros de Vegetação

Os parâmetros de vegetação são parâmetros associados com a vegetação existente em cada URH. Eles não são alterados no processo de calibração, e por este motivo eram chamados de parâmetros fixos na versão anterior do MGB, embora tenham valores que podem variar ao longo do ano.

Os parâmetros de vegetação que devem ser definidos são albedo, altura da vegetação, índice de área foliar, e resistência superficial em boas condições de umidade do solo. Todos estes parâmetros são utilizados no cálculo da evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith.

Para definir os parâmetros de vegetação deve ser acionada a ferramenta **Vegetation Parameters** do menu do MGB. Para iniciar um novo arquivo de parâmetros de vegetação, é necessário clicar no botão **New vegetation parameters file**. O programa pergunta se o usuário deseja utilizar um arquivo de blocos. A opção correta é “Sim”, e então o programa permitirá selecionar o arquivo de blocos gerado anteriormente de extensão .hrc.

Algumas sugestões de valores que devem ser adotados aparecem na própria janela de edição dos parâmetros de vegetação. Estes valores devem ser definidos com base nestas sugestões e com base no conhecimento do hidrólogo.

Tabela 3. Parâmetros fixos para índice de área foliar.

HRC	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	ouc	nov	dec
AgrProf	6.00	6.00	5.00	4.00	3.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	4.00	5.00
AgrRas	6.00	6.00	5.00	4.00	3.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Urbano	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
CerProf	5.00	5.00	5.00	4.00	3.00	3.00	2.00	2.00	2.00	3.00	4.00	5.00
CerRas	5.00	5.00	5.00	4.00	3.00	3.00	2.00	2.00	2.00	3.00	4.00	5.00
FlorProf	9.00	9.00	8.00	7.00	6.00	5.00	4.00	5.00	6.00	7.00	7.00	8.00
FlorRas	9.00	9.00	8.00	7.00	6.00	5.00	4.00	5.00	6.00	7.00	7.00	8.00
PastProf	4.00	4.00	3.00	3.00	2.00	2.00	1.00	2.00	3.00	3.00	3.00	4.00
PastRas	4.00	4.00	3.00	3.00	2.00	2.00	1.00	2.00	3.00	3.00	3.00	4.00
Agua	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabela 4. Valores de parâmetros fixos para altura das árvores.

use	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec
AgrProf	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
AgrRas	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Urbano	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
CerProf	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
CerRas	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
FlorProf	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00
FlorRas	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00
PastProf	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
PastRas	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Agua	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10

Tabela 5. Valores para resistência superficial nos parâmetros fixos.

use	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec
AgrProf	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
AgrRas	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
Urbano	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0
CerProf	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
CerRas	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
FlorProf	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
FlorRas	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
PastProf	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
PastRas	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0
Agua	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Quando terminar de preencher os valores clique em **Save vegetation parameters file**. Neste caso chamaremos o arquivo de “PAR_Fixos” sendo que o mesmo recebe a extensão .FIX e o salvaremos na raiz da pasta MGB.

3.8 Definição dos parâmetros de Solo

Os parâmetros de solo podem ser alterados no processo de calibração, e também estão associados às URH. Para definir os parâmetros calibráveis deve ser acionada a ferramenta **Soil Parameters**. Para iniciar um novo arquivo de parâmetros de solo, é necessário abrir o arquivo de blocos, o arquivo de minibacias (.gtp) e depois clicar no botão **New soil parameters file**.

A partir daí, a ferramenta de "Parâmetros de Solo" permite definir os valores dos parâmetros associados aos blocos para as duas sub-bacias diferentes selecionando-as pelo item *Subwatershed*. A Figura 59 mostra janela com os valores preenchidos.

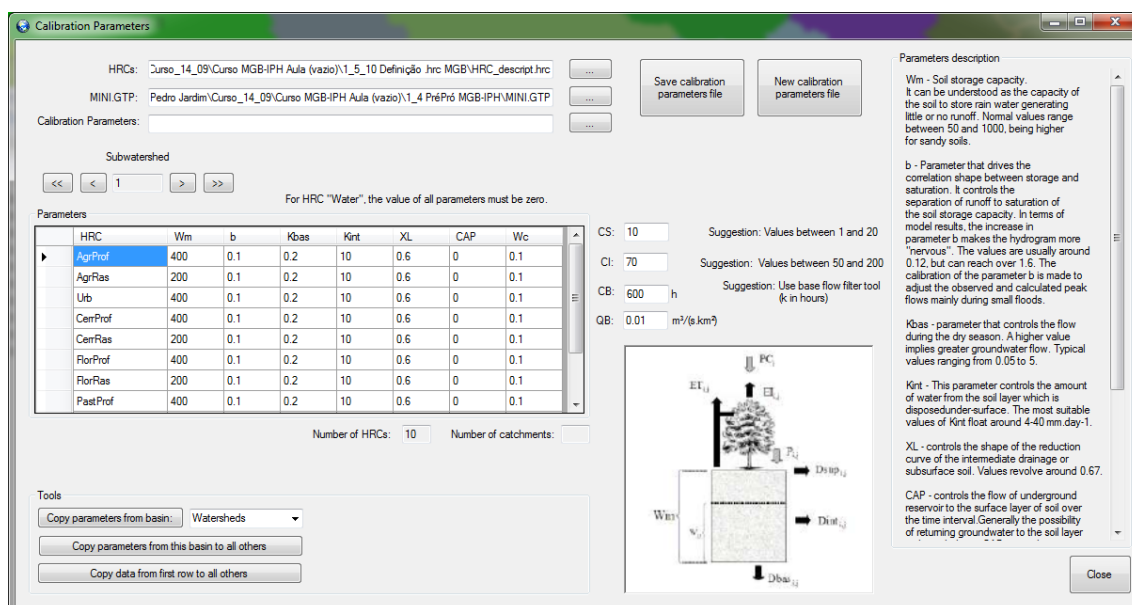


Figura 59. Janela da ferramenta de definição dos parâmetros calibráveis.

Num primeiro momento os valores dos parâmetros são definidos com base em sugestões dadas no texto na margem direita da ferramenta, e com base em informações de aplicações anteriores em bacias semelhantes. No nosso caso, uma primeira simulação foi realizada utilizando os valores de parâmetros calibráveis apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Valores que serão atribuídos em um primeiro momento aos parâmetros calibráveis.

HRC	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
AgrProf	400.0	0.10	0.20	10.00	0.60	0.00	0.10
AgrRas	200.0	0.10	0.20	10.00	0.60	0.00	0.10
Urbano	400.0	0.10	0.20	10.00	0.60	0.00	0.10
CerProf	400.0	0.10	0.20	10.00	0.60	0.00	0.10
CerRas	200.0	0.10	0.20	10.00	0.60	0.00	0.10
FlorProf	400.0	0.10	0.20	10.00	0.60	0.00	0.10
FlorRas	200.0	0.10	0.20	10.00	0.60	0.00	0.10
PastProf	400.0	0.10	0.20	10.00	0.60	0.00	0.10
PastRas	200.0	0.10	0.20	10.00	0.60	0.00	0.10
Agua	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Uma vez que você preencheu os dados para a primeira sub-bacia, clique no botão **Copy parameters from this basin to all others** para que estes mesmos valores sejam atribuídos para a segunda sub-bacia. É importante não se esquecer de preencher os valores dos parâmetros CS, CI, CB e QB. Na aplicação na bacia do rio das Almas foram adotados os valores $C_s = 8.0$; $C_i = 40.0$; $C_b = 600.0$; $Q_b = 0.01$.

Quando todos os parâmetros estiverem preenchidos para todas as sub-bacias, clique no botão **Save soil parameters file** e salve o arquivo de parâmetros calibráveis para o modelo. No exemplo do Rio das Almas o arquivo recebeu o nome de "PAR_Calib.CAL" e também foi salvo na raiz da pasta MGB.

3.9 Criação de um projeto para simulação

Para podermos rodar a simulação, é necessário agregar as informações que geramos nos últimos passos em um único arquivo de projeto. Para isto clique na ferramenta **Project** no menu do MGB e uma janela como a da Figura 60 irá abrir. Vamos agora preencher cada um dos campos com os arquivos corretos.

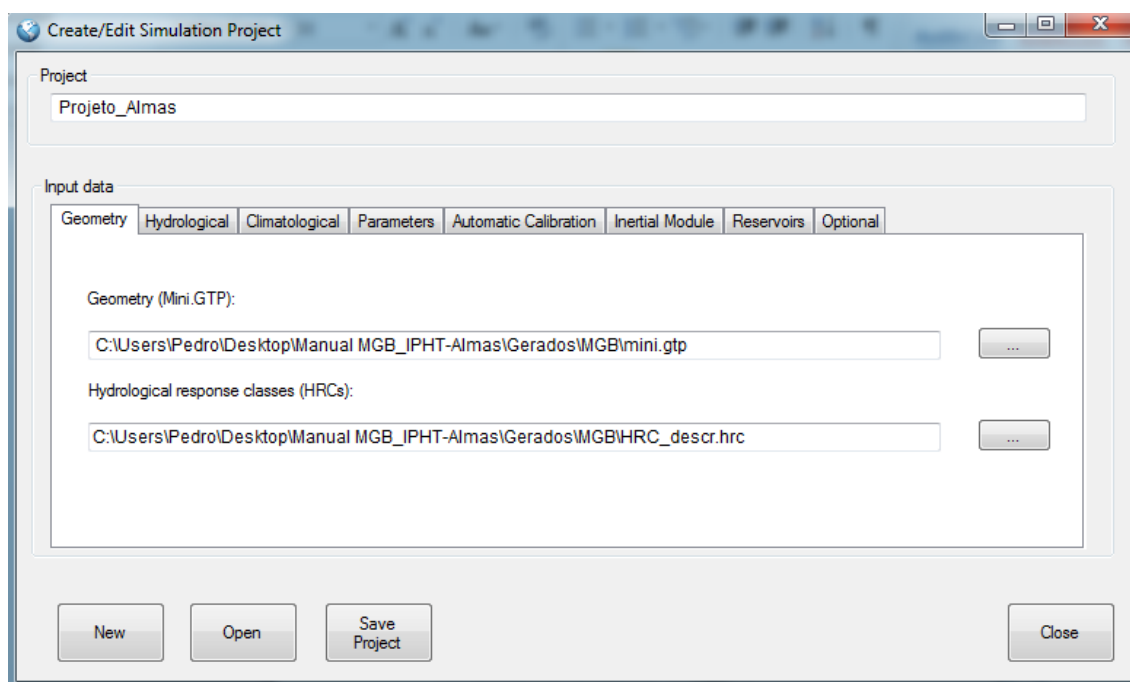


Figura 60. Ferramenta de projeto para entrada na simulação.

Primeiramente digite um nome para o seu projeto no campo *Project* na parte superior da janela. No nosso caso iremos chamá-lo “Projeto_Almas”. Em seguida no campo **Geometry** indique o arquivo “mini.gtp” que foi gerado a partir da ferramenta de pré-processamento no passo 2.14. Logo abaixo no campo *Hydrologic response classes* entre com o arquivo de extensão .hrc criado no passo 3.2 ao qual havíamos chamado de “HRC_descr”.

Na aba **Hydrological** entraremos no campo *Interpolated Precipitation* com o arquivo "PRECIP_70_10" que geramos no passo 3.3 enquanto que no campo *Observed Discharge* indique o arquivo "VAZAO_70_10.qob" que criamos no passo 3.4. Deixe o campo *Replaced Discharge* vazio.

Na aba **Climatological** indique o arquivo de médias climatológicas no campo *Climatological Averages* que chamamos de "medias_cli.cln" no passo 3.6, localizado na pasta "Clima". No campo *Daily climate data* busque a pasta Clima pelo botão dos três pontinhos e indique dentro de uma mesma seleção os 4 arquivos de extensão ".cli". Clique em abrir e será mostrado no campo o caminho da pasta "Clima".

Na aba **Parameters** busque o arquivo de parâmetros fixos (PAR_Fixos.FIX) e o de parâmetros calibráveis (PAR_Calib.CAL) no primeiro e segundo campo respectivamente.

Se a intenção do usuário for realizar a simulação por Muskingum-Cunge, clique em **Save Project**. Caso queira utilizar o modelo inercial para simulação, que utiliza uma aproximação das equações de Saint Venant que despreza apenas o termo de inércia advectiva na equação dinâmica (Pontes, 2015), siga a etapa seguinte.

Na aba **Inertial Module** selecione o arquivo chamado "COTA_AREA.FLP" gerado na etapa de pré-processamento. Clique em **Save Project**.

3.10 Simulação

Com o projeto preparado abra a janela de simulação do MGB no menu principal em **Run Simulation**. É necessário especificar o arquivo de projeto que será simulado. No caso do rio das Almas vamos simular o projeto recém criado "Projeto_Almas.mgb".

Ao especificar este projeto, o programa identifica automaticamente o período que se pretende simular, bem como as minibacias com dados de vazão e onde os resultados devem ser gravados para realizarmos a comparação de dados calculados e observados. Caso o usuário deseje os resultados de vazão em outros locais da bacia, basta identificar o número da minibacia correspondente ao local desejado e adicionar este número ao fim da lista de minibacias.

Caso tenha optado pela utilização de simulação por Muskingum-Cunge na etapa de criação do projeto, "Muskingum-Cunge" estará selecionado em *Flood Routing Method*, ao passo que se o usuário tiver salvo o projeto como inercial anteriormente, o MGB automaticamente seleciona a opção "Inertial" na janela de simulação.

As opções no quadro *Advanced* e demais campos devem ser mantidas como estão. Principalmente a opção de *Save results on memory*, pois é ela que nos permitirá o uso das ferramentas gráficas de visualização de resultados.

Ao clicar em **Simulate** o programa executável (Fortran) do MGB será chamado para realizar a simulação. Isto pode levar alguns minutos se a bacia for grande (com muitas minibacias e URHs) ou caso esteja sendo simulado o modelo inercial, mas deve tomar apenas alguns segundos no caso da bacia do rio das Almas, como o modelo Muskingum-Cunge.

Durante a rodada do programa na tela preta é pedido que você dê *enter* em alguns momentos e, se tudo ocorrer bem, aparecerá uma mensagem dizendo que a simulação foi feita com sucesso. Os resultados do modelo MGB-IPH foram todos salvos na pasta onde está o arquivo do projeto do MapWindow.

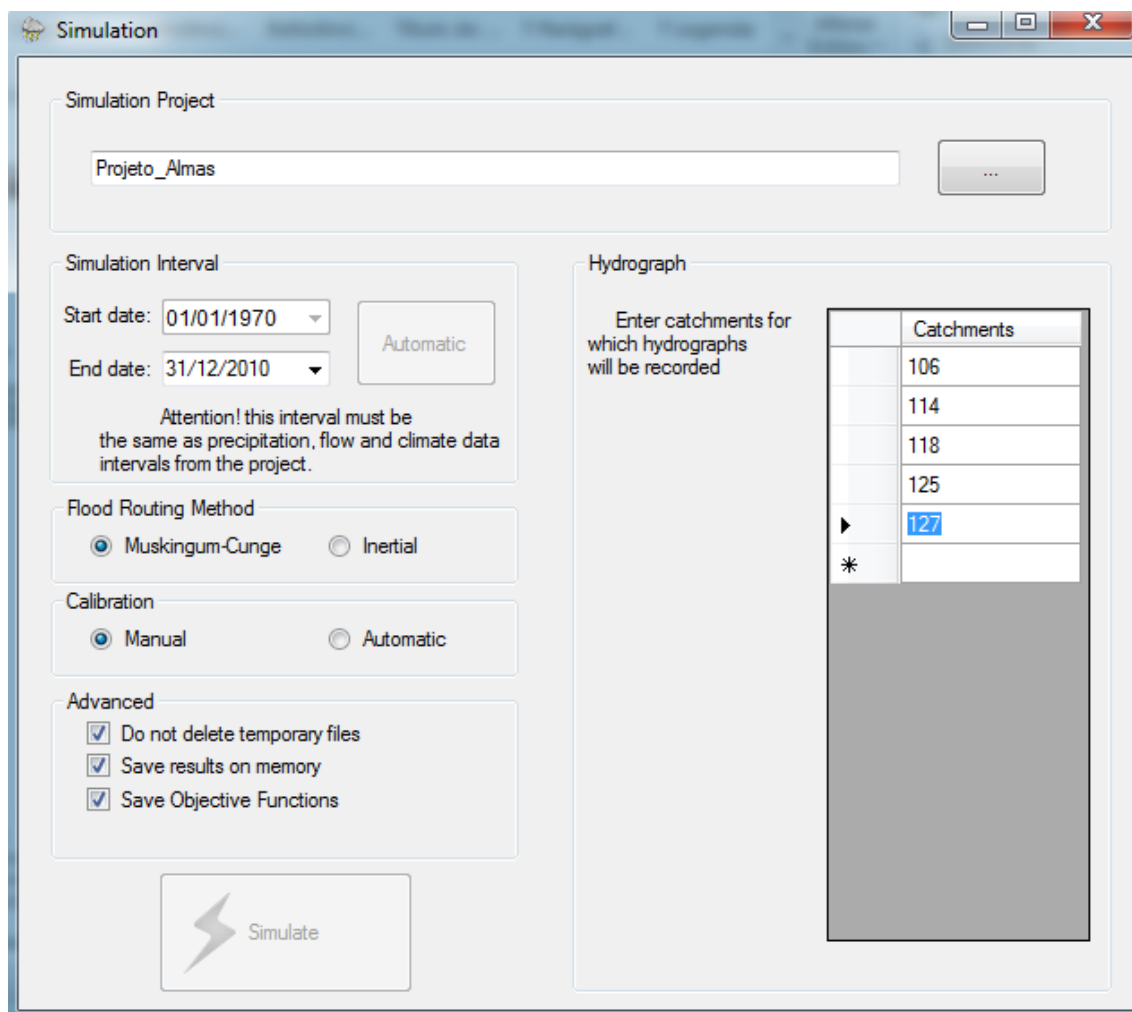


Figura 61. Janela de simulação do MGB com o projeto carregado.

3.11 Visualização dos resultados

Os resultados podem ser visualizados utilizando as ferramentas no menu **Results** do MGB.

3.11.1 Comparação de hidrograma calculado e observado

Clique na opção de nome **Compare observed and calculated hydrographs**. Neste momento é necessário que o layer dos centróides das mini-bacias no menu de layers esteja selecionado e visível no projeto do MapWindow. O próprio programa emite um aviso neste sentido.

No momento em que você seleciona a opção de visualizar os hidrogramas fica habilitada a ferramenta de seleção com o mouse. Para visualizar os hidrogramas basta então fazer a seleção no centróide da minibacia que possuía dados observados, mas sempre antes de fazê-lo clique primeiro no botão **Deselect** do MapWindow para limpar a variável que armazena o valor

do shape. Assim, ao fazer uma nova seleção, um gráfico deverá ser exibido automaticamente como na Figura 62.

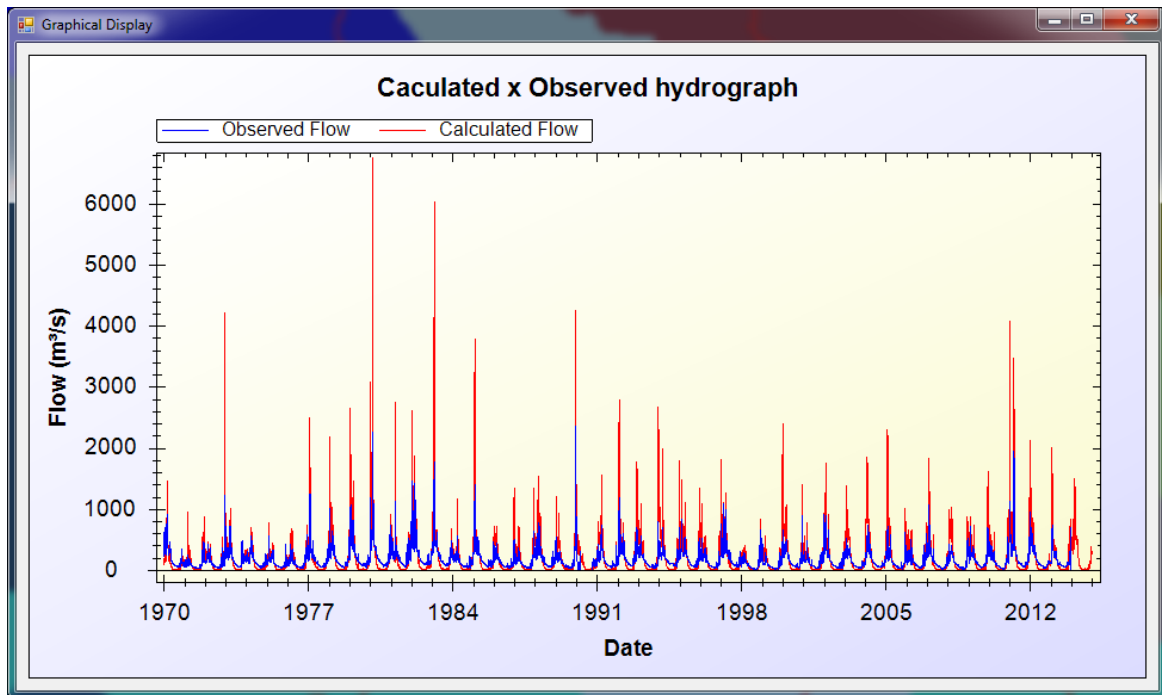


Figura 62. Hidrogramas calculados e observados da estação 20250000.

Este gráfico pode ser modificado com ferramentas de zoom, bastando arrastar o mouse sobre a parte do hidrograma que se deseja visualizar melhor. Outras opções de imagem podem ser acessadas clicando no botão direito do mouse diretamente sobre o gráfico.

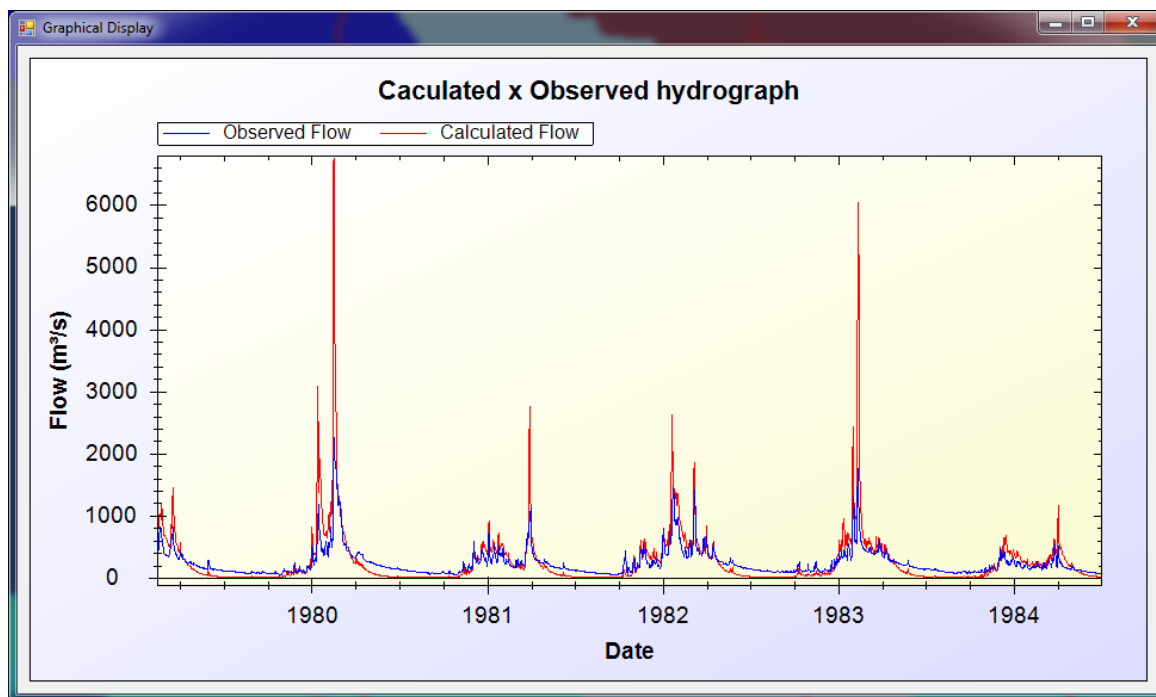


Figura 63. Zoom no hidrograma de vazões calculadas e observadas da estação 20250000.

3.11.2 Comparação de curva de permanência simulada e observada

Também é possível gerar gráficos de curvas de permanência nas minibacias utilizando a ferramenta **Compare flow duration curves** no menu **Results**. A Figura 64 mostra um exemplo de curvas de permanência geradas no posto fluviométrico Colônia dos Americanos (que está localizado próximo à foz do rio das Almas). Observa-se que as vazões mínimas calculadas estão muito inferiores às vazões mínimas observadas. Isto pode ser melhorado calibrando os parâmetros do modelo.

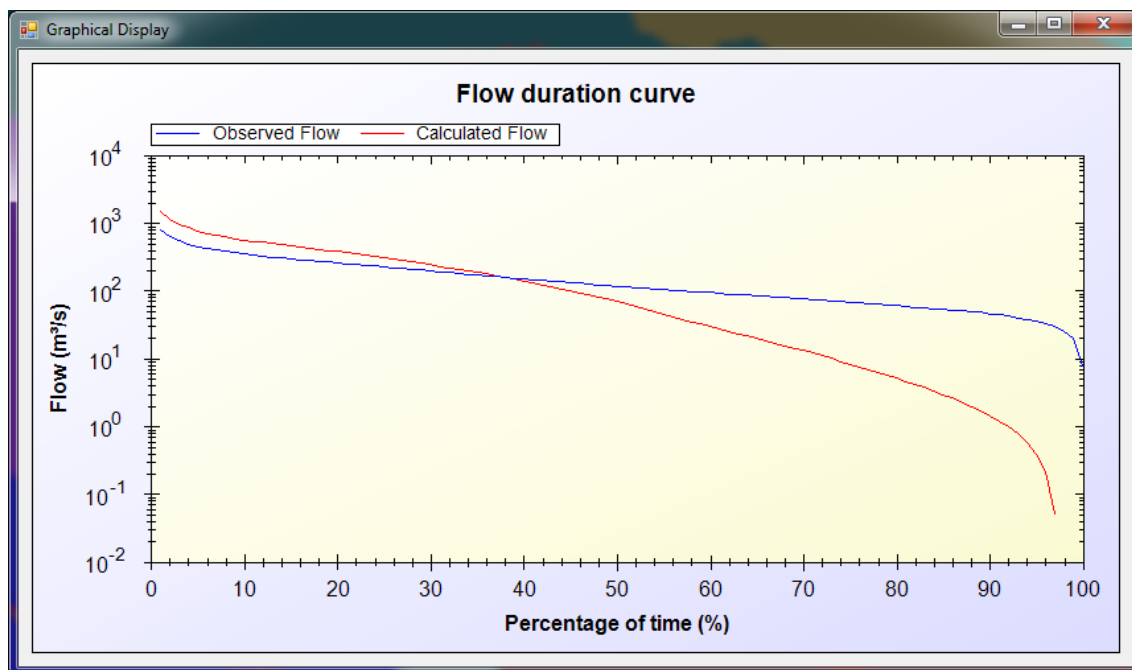


Figura 64. Curvas de permanência calculada e observada para o posto 20250000.

3.11.3 Visualização do hidrograma simulado

Caso o usuário deseje visualizar apenas o hidrograma resultante da simulação, mas não em um gráfico conjunto com o hidrograma observado (como em 3.11.1 *Comparação de hidrograma calculado e observado*), deve selecionar a opção “Visualize calculated hydrographs only” no menu **Results**.

3.11.4 Visualização da curva de permanência simulada

Ainda no menu **Results**, é possível selecionar a opção “Visualize flow duration curves only”, que permite a visualização do resultado da curva de permanência simulada, em um gráfico sem a comparação com a curva de permanência observada (como em 3.11.2 *Comparação de curva de permanência calculada e simulada*).

3.11.5 Visualização da série de níveis simulada (apenas com o Modelo Inercial)

Se a simulação foi realizada com o modelo inercial, o MGB oferece também a visualização dos resultados de série de níveis.

O presente manual consiste em uma aplicação do MGB para o Rio das Almas, em que modelo de Muskingum-Cunge apresenta resultados semelhantes ao modelo inercial, já que o rio das Almas não apresenta efeito significativo de planícies de inundação. Sendo assim, para uma melhor visualização da aplicação do modelo inercial, apresentamos a seguir a aplicação das ferramentas do modelo inercial do MGB para o rio Purus, na Amazônia.

Para visualizar a série de níveis, acesse no menu “Results” a ferramenta “Visualize water depth time series”. A Figura 65 apresenta o resultado da simulação da série de níveis para o rio Purus.

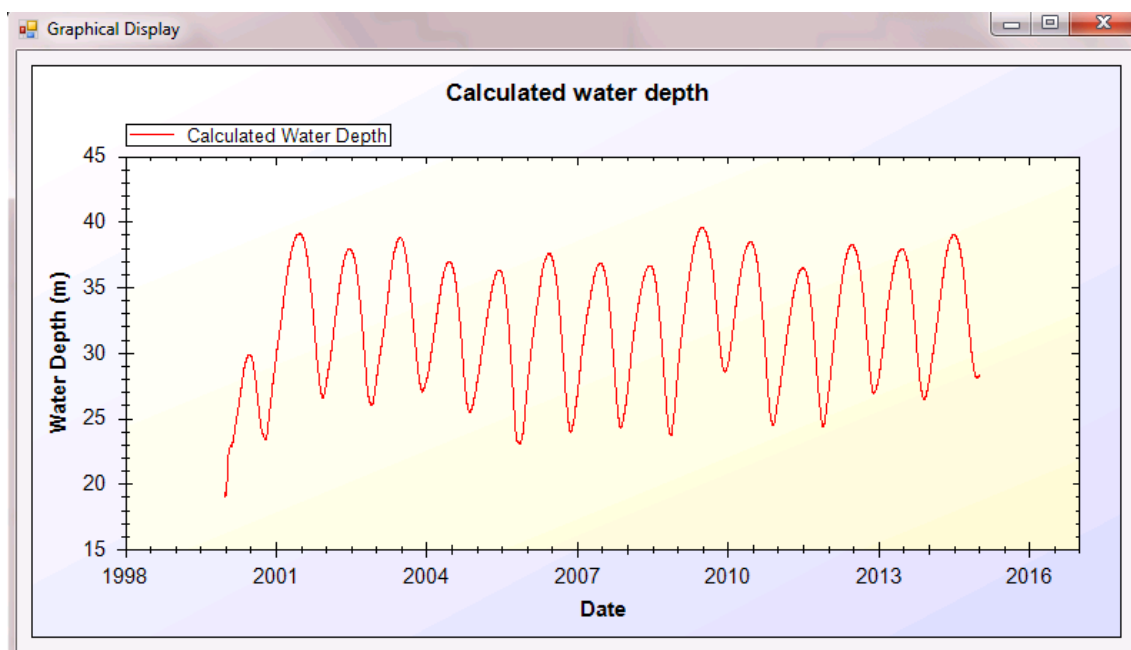


Figura 65. Série de níveis resultante da simulação do Rio Purus com o MGB Inercial.

3.11.6 Visualização da área inundada simulada (apenas com o Modelo Inercial)

Com a aplicação do Modelo Inercial, o MGB também oferece os resultados da simulação para área inundada. Assim como a série de níveis, o presente manual apresenta resultados de área inundada para o rio Purus (e não para o rio das Almas), a fim de proporcionar uma melhor visualização dos resultados para um rio que apresente planície de inundação (caso do rio Purus, mas não do rio das Almas).

Para visualizar a série de área inundada, clique em *“Visualize flooded area time series”* no menu *“Results”*. A Figura 66 apresenta o resultado da visualização da série de área inundada simulada para o rio Purus.

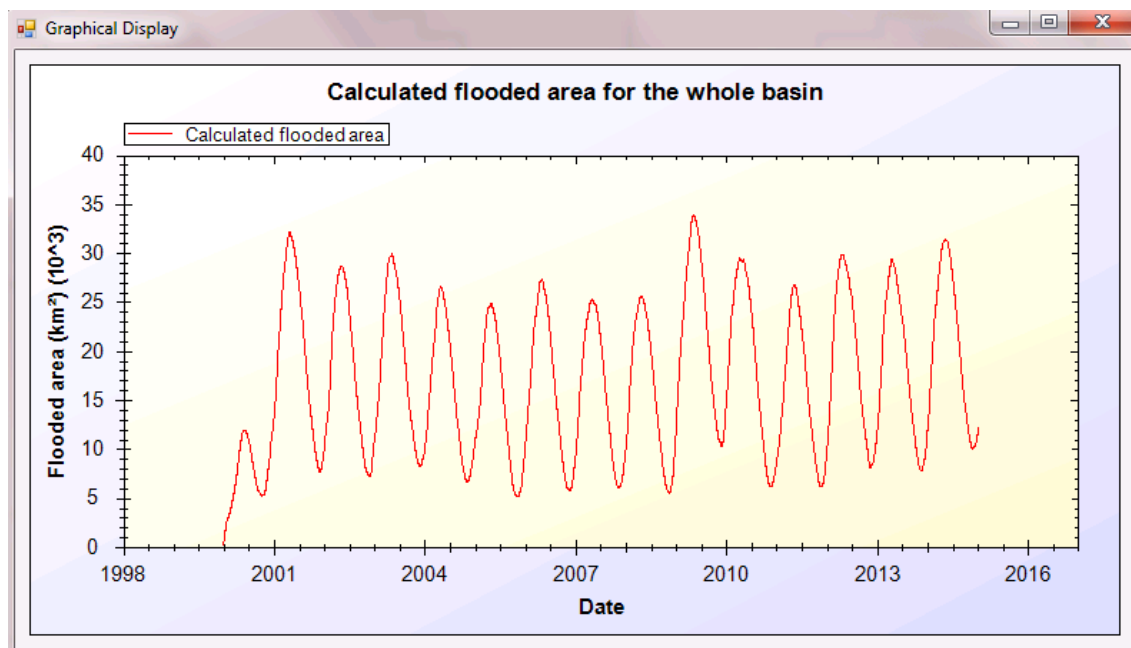


Figura 66. Série de área inundada resultante da simulação do rio Purus com o MGB Inercial.

3.11.7 Pós-processamento da área inundada (apenas com o Modelo Inercial)

Além de apresentar o resultado da área inundada simulada através da série apresentada na Figura 66, também é possível selecionar datas específicas e exportar um raster da área inundada. Para isso, selecione "*Flood Post-processing*" no menu "*Results*", conforme Figura 67. No campo "*DEM*", selecione o modelo digital de elevação, em "*Catchments*" selecione o raster das minibacias, em "*MINI.gtp*" selecione o arquivo mini.gtp e em "*Simulation Project*" selecione o projeto criado na etapa 3.9.. As datas de início e final da simulação serão automaticamente identificadas. Depois, o usuário deve informar as datas para as quais pretende exportar arquivos raster de área inundada. No presente manual, escolhemos um período mais seco (abril) e um período mais úmido (novembro) na região do rio Purus, para melhor ilustrar a inundação. Clique em "*Process*" e então selecione a pasta de destino para os arquivos gerados.

Figura 67. Janela para a geração de arquivos raster com a área de inundação simulada.

A Figura 68 apresenta o resultado dos arquivos raster gerados com a ferramenta “Flood Post-processing” para o rio Purus, que podem ser visualizados através da importação dos arquivos .asc gerados para o MapWindow ou ArcGis, por exemplo.

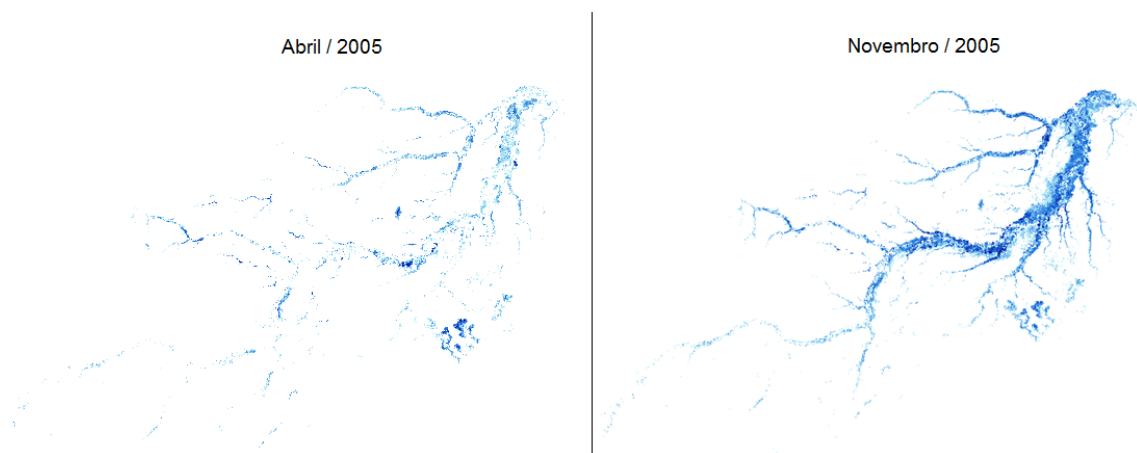


Figura 68. Imagens de área inundada simulada para o Rio Purus com a ferramenta Flood Post-processing.

3.12 Calibração Manual

A calibração manual consiste na alteração dos valores dos parâmetros calibráveis, procurando fazer com que os hidrogramas calculados coincidam com os hidrogramas observados.

Os aspectos que devem ser verificados na calibração são a forma geral do hidrograma, a recessão das vazões durante as estiagens, a magnitude dos picos, o tempo de ocorrência dos picos, e o volume geral dos hidrogramas. Também é importante verificar se as vazões calculadas estão sistematicamente superiores ou inferiores às vazões observadas, o que indicaria que a calibração não está boa.

Observa-se nos resultados obtidos até aqui para o Rio das Almas (veja figuras de hidrogramas e curvas de permanência anteriores), que as vazões calculadas estão superestimando as vazões durante as cheias e subestimando as vazões durante as estiagens.

Um dos principais parâmetros do modelo MGB-IPH que tem efeito sobre as estiagens é o parâmetro C_b . Este é o parâmetro do reservatório linear simples que representa o aquífero de cada minibacia. O valor de C_b é dado em horas, e pode ser estimado a partir das vazões observadas de um posto fluviométrico em um período longo sem chuva.

Para estimar o valor de C_b em uma bacia é necessário identificar dois valores observados de vazão espaçados por um intervalo de tempo de alguns dias (Δt), e aplicar a equação a seguir:

$$C_b = 24 \cdot \frac{-\Delta t}{\ln\left(\frac{Q(t+\Delta t)}{Q(t)}\right)}$$

Onde C_b é dado em horas; Δt é dado em dias; e $Q(t+\Delta t)$ é uma vazão observada que ocorre Δt dias depois da vazão observada $Q(t)$.

O valor de C_b depende das características físicas da bacia, em especial as suas características geológicas. Bacias localizadas em regiões onde predominam as rochas sedimentares normalmente têm maior capacidade de armazenamento de água subterrânea e os rios que drenam estas áreas apresentam valores de C_b relativamente altos. Bacias localizadas em regiões de rochas pouco porosas, como o basalto, tendem a apresentar valores de C_b mais baixos. Quanto maior o valor de C_b mais horizontal é o hidrograma durante as estiagens e mais altas são as vazões de estiagem.

Para fazer com que o MGB-IPH gere vazões mais altas durante as estiagens é necessário, ainda, que o valor do parâmetro K_{bas} seja aumentado. O valor adotado preliminarmente foi de 0,2 mm/dia. Este valor indica que a água do solo percolará para o aquífero a uma taxa de 0,2 mm por dia na situação em que o solo estiver saturado. É esta água armazenada no aquífero que vai manter as vazões durante as estiagens.

Para melhorar a calibração do MGB-IPH nesta bacia podemos começar por aumentar o valor de K_{bas} em todas as URH (exceto água) e em todas as sub-bacias para um valor de 1,0 mm/dia.

Ao mesmo tempo, as vazões calculadas estão superestimando os picos das cheias. Uma das causas para isto pode ser que a capacidade de armazenamento de água, dada pelo parâmetro W_m , esteja muito baixa. Por este motivo os valores de W_m também devem ser aumentados. Os valores adotados depois de alguns testes foram $W_m = 300\text{mm}$ em URH de solo raso, $W_m = 1000\text{ mm}$ em URH de solo profundo e 700 em solo urbano. O W_m da URH Água deve ser mantido com o valor zero.

Os valores dos parâmetros C_s e C_i também foram alterados um pouco, para suavizar mais os picos de cheia que estavam antecipando as vazões observadas. Assim, uma calibração manual preliminar foi atingida com os valores dos parâmetros apresentados na Tabela 7 para as duas sub-bacias trabalhadas. Além destes, os valores de CS , CI , CB e QB foram alterados para 13.00, 100.00, 2300.00 e 0.01 respectivamente.

Esta calibração ainda pode ser melhorada, o que pode ser feito de forma manual ou automática. A calibração automática do MGB-IPH é descrita abaixo, porém não será realizada neste manual.

Tabela 7. Valores dos parâmetros de calibração ajustados para correção dos hidrogramas e curvas de permanência.

HRC	W_m	b	K_{bas}	K_{int}	XL	CAP	W_c
AgrProf	1000	0.1	1	2	0.6	0	0.1
AgrRas	300	0.1	1	2	0.6	0	0.1
Urbano	700	0.1	1	2	0.6	0	0.1
CerProf	1000	0.1	1	2	0.6	0	0.1
CerRas	300	0.1	1	2	0.6	0	0.1
FlorProf	1000	0.1	1	2	0.6	0	0.1
FlorRas	300	0.1	1	2	0.6	0	0.1
PastProf	1000	0.1	1	2	0.6	0	0.1
PastRas	300	0.1	1	2	0.6	0	0.1
Agua	0	0	0	0	0	0	0

Assim, abra novamente a ferramenta **Calibration Parameters** e crie um novo arquivo de parâmetros calibráveis com estes valores para ambas as sub-bacias simuladas. Para não ter que criar um projeto novo você pode simplesmente salvar o novo arquivo sobre o primeiro que foi feito.

Com a ferramenta **Run Simulation**, rode o mesmo projeto criado anteriormente.

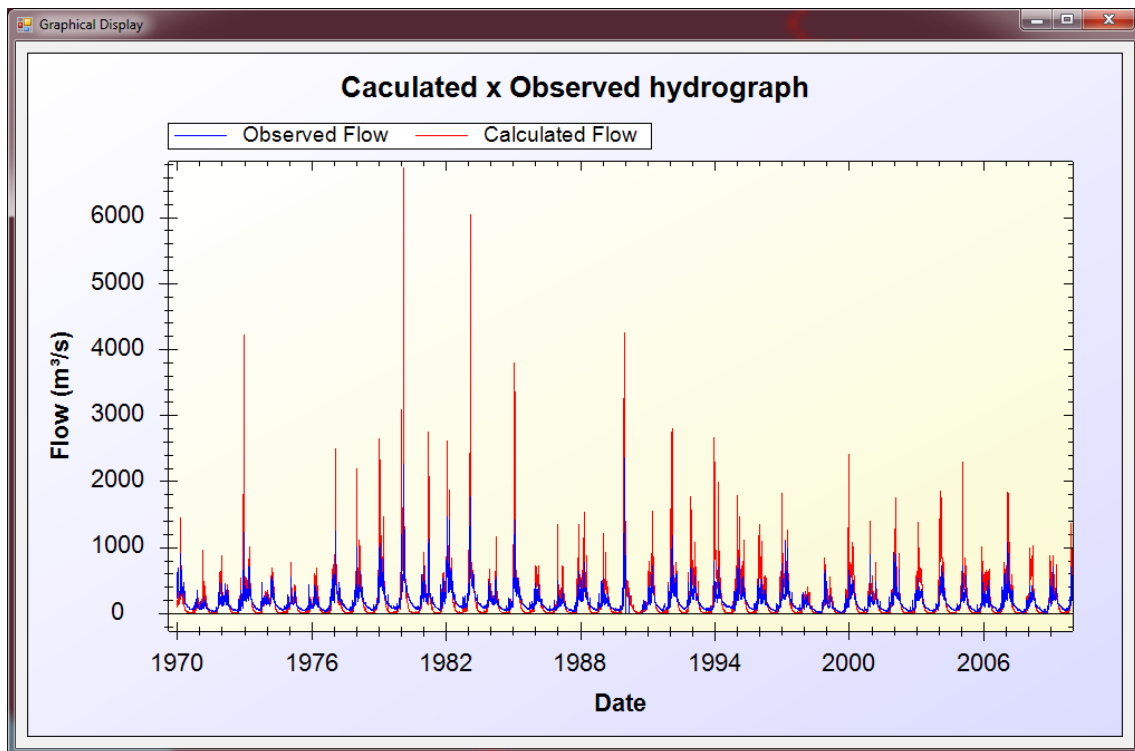


Figura 69. Hidrogramas calculados e observados após uma primeira calibração dos parâmetros para o posto 20250000.

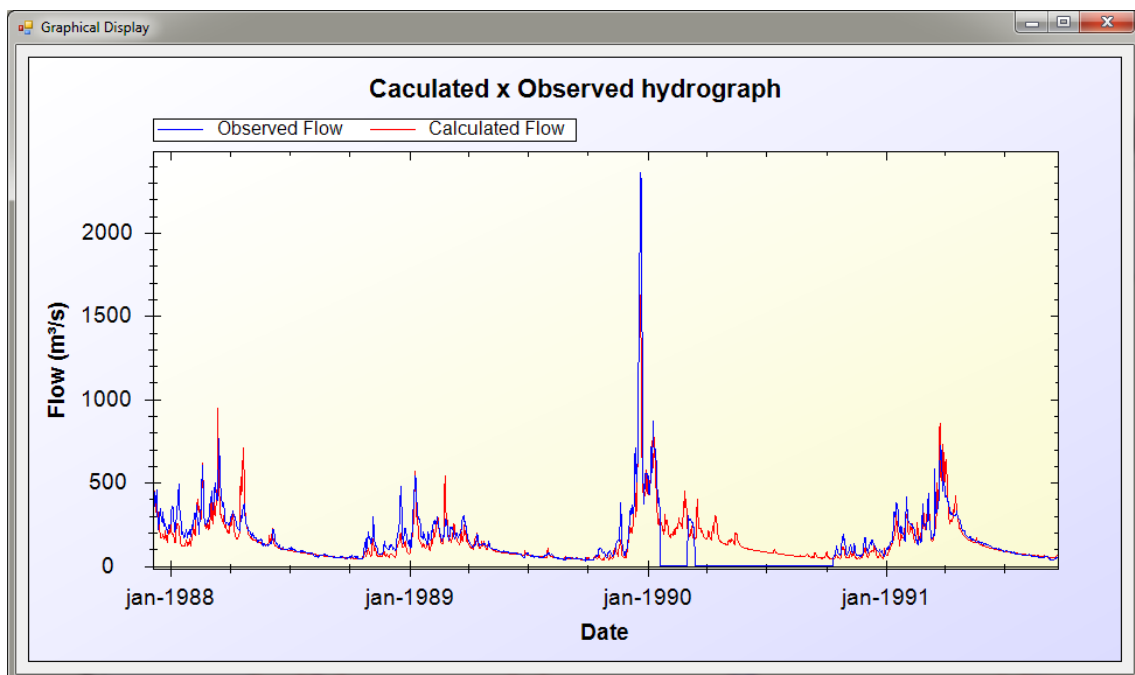


Figura 70. Zoom no resultado dos hidrogramas para o posto 20250000 após uma primeira calibração.

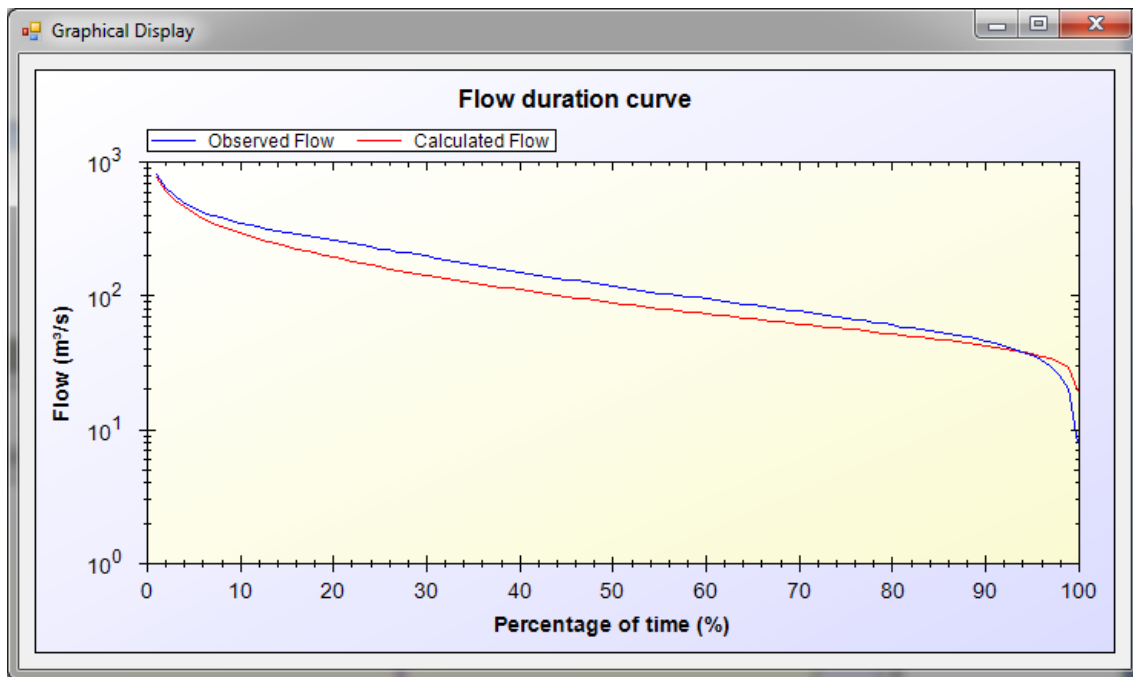


Figura 71. Curvas de permanência calculada e observada após uma primeira calibração dos parâmetros para o posto 20250000.

Observando os gráficos obtidos, você deve reparar que estes estão muito melhores do que os da primeira calibração. Existe ainda espaço para mais ajustes. A partir de agora você pode ir alterando os valores dos parâmetros calibráveis a fim de obter os melhores resultados.

3.13 Calibração Automática

Após a calibração manual preliminar pode ser iniciada a calibração automática. É importante saber que a calibração automática não faz milagres. O algoritmo utilizado procura valores ótimos próximos aos valores de parâmetros iniciais fornecidos. Assim, se a calibração manual do modelo estiver gerando resultados ruins (por exemplo, valores de funções objetivo como Nash e Erro de Volume bastante insatisfatórios), a calibração automática não fornecerá resultados bons.

- Abra a janela de calibração automática do MGB no menu principal em *Automatic calibration parameters*.
- Na primeira aba *Create Automatic Calibration File*, carregue o arquivo de blocos (**urh.mgb**) e o último arquivo de parâmetros calibráveis que você criou com a calibração manual. Você deverá ficar com algo parecido com isso (Figura 72):

Parâmetros para calibração automática

Criar Arquivo de Calibração Automática | Criar Novo Arquivo de Parâmetros Calibráveis | Descrição dos parâmetros calibráveis

Blocos: C:\Users\user\Desktop\RAIZA\ITAJAI 2\MGB\ufh.mgb

Parâmetros Calibráveis: C:\Users\user\Desktop\RAIZA\ITAJAI 2\MGB\parametros_calibraveis3.MGB

Parâmetros Calibração Automática:

Calibrar parâmetro? (Como preencher a coluna)
 0 = não calibra e utiliza valor original
 1 = calibra
 -n = calibração solidária com HRU n.

Salvar arquivo de parâmetros para calibração automática

Especificações para a calibração

Número de indivíduos em uma população: 100

Número máximo de gerações: 500

Funções objetivo

☒ Eficiência de Nash e Sutcliffe
☒ Eficiência de Nash e Sutcliffe do logaritmo das vazões
☒ Módulo do erro no volume total
☐ Erro da Q90

Bloco	Menor Wm	Wm Médio	Maior Wm	Calibrar Wm?	Menor b	b Médio	Maior b	Calibrar b?	Menor Kbas	Kbas médio	Ma
Mata_Prof	30	100	180	1	0.036	0.12	0.216	1	0.6	2	3.6
Agr_Prof	30	100	180	1	0.036	0.12	0.216	1	0.6	2	3.6
Mata_Raso	7.5	25	45	1	0.036	0.12	0.216	1	0.3	1	1.8
Agr_Raso	7.5	25	45	1	0.036	0.12	0.216	1	0.3	1	1.8
Artif	3	10	18	1	0.036	0.12	0.216	1	0.15	0.5	0.9
Agua	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Número de blocos: 6 | Número de bacias: 7

Quais sub-bacias calibrar?

Sub-bacias

Todas

Postos fluviométricos usados na calibração

Arquivo de vazões observadas:

Mini-bacia	Posto Flu	Ponderador 1	Ponderador 2	Ponderador 3
*				

CS: 1 8 20 | Sugestão: Valores entre 1 e 20

CI: 50 50 200 | Sugestão: Valores entre 50 e 200

CB: 1000 400 10000 h | Sugestão: Utilizar filtro de vazão de base

QB: 0.01 m³/(s.km²)

Sub-bacia de referência: 1

Fechar

Figura 72. Janela de calibração automática.

Esta janela mostra os parâmetros calibráveis, valores médios de cada parâmetro e valores máximos e mínimos que estes poderão atingir na calibração automática, para cada sub-bacia de referência. Você deve selecionar qual sub-bacia será utilizada como referência para a calibração e modificar, se necessário, estes valores máximos e mínimos de acordo com sua preferência.

Após a indicação destes valores para cada parâmetro, é possível indicar se o parâmetro será calibrado ou não, ou utilizar uma calibração solidária. Caso não deseje que o parâmetro seja calibrado, indique o valor “0” na coluna “Calibrar Wm?”, por exemplo, na URH desejada, e então o valor original será utilizado. Caso queira que o parâmetro seja calibrado, indique o valor “1”. A calibração solidária consiste em calibrar um parâmetro de uma URH com base na calibração de outra URH, ou seja, uma URH é calibrada e a outra será calibrada juntamente, com base em um multiplicador.

A calibração solidária é útil para que diferentes tipos de uso do solo sejam calibrados adequadamente, dependendo da profundidade do solo, por exemplo. No exemplo da bacia do Itajaí, iremos calibrar solidariamente as URH’s Mata_Prof com Agr_Prof, Mata_Raso com Agr_Raso. Para isto, iremos indicar na coluna “Calibrar Wm?”, “Calibrar b?”, etc., o valor 1 para as URH’s Mata_Prof e Mata_Raso (indicando que iremos calibrar estes parâmetros), o valor -1 para o a URH Agr_Prof (indicando que será calibrado solidariamente à URH 1, Mata_Prof) e o valor -3 para a URH Agr_Raso (indicando que será calibrado solidariamente à URH 3, Mata_Raso).

Abaixo, estão indicados o número de blocos, o número de sub-bacias e a sub-bacia de referência para a qual os parâmetros estão sendo exibidos acima. Iremos exemplificar a calibração automática para todas as bacias ao mesmo tempo, mas também é possível calibrar cada sub-bacia individualmente (Figura 73).

Parâmetros													
	Bloco	Menor Wm	Wm Médio	Maior Wm	Calibrar Wm?	Menor b	b Médio	Maior b	Calibrar b?	Menor Kbas	Kbas médio	Ma	
▶	Mata_Prof	100	450	810	1	0.03	0.1	3	1	0.015	0.05	2	
	Agr_Prof	100	450	810	1	0.03	0.1	3	1	0.015	0.05	2	
	Mata_Raso	70	350	630	1	0.021	0.07	2	1	0.015	0.05	1	
	Agr_Raso	70	350	630	1	0.021	0.07	2	1	0.015	0.05	1	
	Artif	30	100	180	1	0.015	0.05	1	1	0.015	0.05	0.5	
	Água	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
*													

Número de blocos: 6 Número de bacias: 7 Sub-bacia de referência: 3

Figura 73. Parâmetros calibráveis, seus valores médios, máximos e mínimos, para a sub-bacia nº 3.

- Mais abaixo, indique quais sub-bacias serão calibradas (Figura 74). Clicando no botão *All*, iremos calibrar todas as sub-bacias ao mesmo tempo.

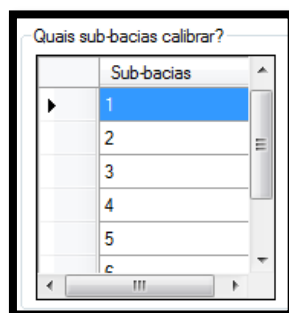


Figura 74. Selecionando as sub-bacias para calibração automática.

- Ainda, é necessário carregar o arquivo de vazões observadas, e indicar abaixo, quais postos fluviométricos serão calibrados, digitando “1” nos ponderadores dos postos fluviométricos desejados. Todos os postos que não são adequados para a calibração automática devem ter seus ponderadores “0”. No exemplo do Rio Itajaí, iremos calibrar os postos fluviométricos de nº 83900000, 83800002, 83500000, 83440000, 83300200, 83250000, pois o outro posto que se encontra na mesma sub-bacia não apresentou resultados desejáveis na calibração manual.

Postos fluviométricos usados na calibração					
Arquivo de vazões observadas:		C:\Users\wSER\Desktop\RAIZA\ITAJAÍ 2\MGB\va: ...			
	Mini-bacia	Posto Flu	Ponderador 1	Ponderador 2	Ponderador 3
	513	83300200	0	0	0
	504	83345000	0	0	0
▶	532	83440000	1	1	1
	387	83480000	0	0	0

Figura 75. Carregando o arquivo de vazões observadas, e selecionando os postos fluviométricos que serão calibrados automaticamente.

Também é possível visualizar e modificar os valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros CS, CI e CB, e também o parâmetro QB (Figura 76).

CS:	1	8	20
CI:	50	50	200
CB:	1000	1250	10000 h
QB:	0.01		m ³ /(s.km ²)

Figura 76. Valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros CS, CI e CB, e parâmetro QB.

- Clique no botão Save parameter file for automatic calibration.
- Abra a janela *Project* e crie um novo projeto, seguindo as instruções do item 8, modificando somente uma parte:
 - Indique como *Parameters for Automatic Calibration* o arquivo recém-criado.
- Abra a janela *Run Simulation* e selecione o último projeto criado para simular. Marque a opção *Automatic*. Para a simulação correr mais rapidamente, você pode desmarcar as duas últimas opções avançadas: *Save results on memory* e *Save Objective Functions*.

Esta simulação é bem mais demorada que as realizadas com calibração manual. É indicado deixar a simulação rodando de um dia para o outro. A Figura 77 mostra a janela de simulação para a calibração automática.

```

C:\Program Files\MapWindow\Plugins\MGB_15ABR12\MGB\MGB.exe
-0.7256*****
-0.6124*****
-0.5877*****
-0.8599*****
-0.7986*****
-0.7992*****
-0.6368*****
-1.2323*****
-0.7953*****
-1.1701*****
-0.9884*****
-2.9952*****
-13.8802*****
-0.7969*****
-0.3227*****
-0.7615*****
-0.7311*****
func1 func2 func3
0.632 0.600 19.253
PONTO ACEITO
280 2 1 0.6192 0.5979 0.1666
TEMPO TOTAL 2.2506876E+07 MINUTOS
PROGRAMA TERMINOU
TECLE ENTER

```

Figura 77. Simulação para a calibração automática.

Após a simulação, na pasta C://mgb/Output será criado o arquivo temporário **EVOLUTION.txt**.

- Copie este arquivo para o seu diretório.
- Abra novamente a janela de Calibração Automática.
- Na primeira aba carregue novamente o arquivo de Blocos e os Parâmetros Calibráveis.

- Selecione abaixo, novamente, as sub-bacias a calibrar (*Calibrate which subwatershed?*), o arquivo de vazões observadas e confira abaixo se os postos fluviométricos a calibrar estão marcados com ponderadores 1.

- Agora você pode abrir o arquivo de Parâmetros de Calibração Automática.
- Siga para a segunda aba *Create new calibration parameters file* e carregue o arquivo *EVOLUTION.txt*.

Observe que a calibração automática gerou diversas opções de Parâmetros Calibráveis. Cada linha representa uma combinação de parâmetros.

- Analise as combinações de parâmetros e as funções objetivos mostradas nas últimas colunas de cada linha, e escolha uma linha, selecionando-a (na seta ao lado: ).

- Com a linha escolhida selecionada, clique em *Create new calibration parameters file with the selected row*.

- Retorne novamente à janela *Project* e crie um novo projeto, indicando o novo arquivo de parâmetros calibráveis em *Calibration* e deixando em branco a parte referente aos *Parameters for automatic calibration*. Salve o projeto.

- Na janela de *Run Simulation*, simule este novo projeto e confira os resultados.

As Figura 78 e Figura 79 mostram o resultado desta calibração automática para um dos postos fluviométricos.

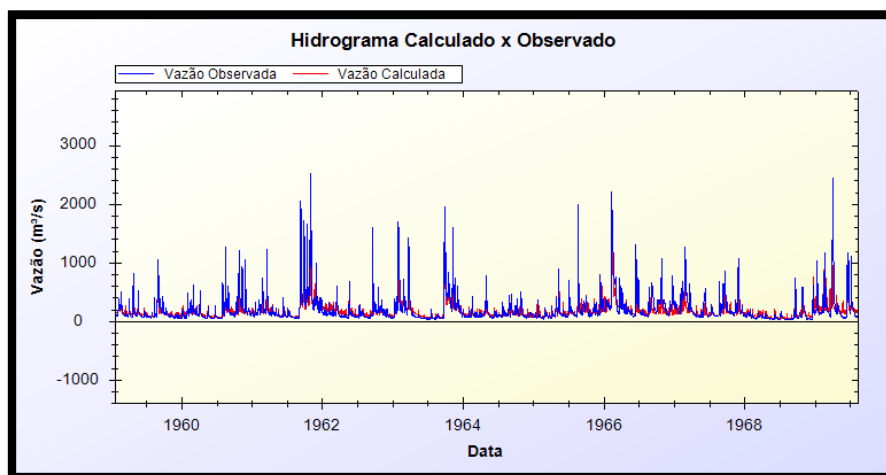


Figura 78. Comparação dos hidrogramas calculados e observados depois da calibração automática.

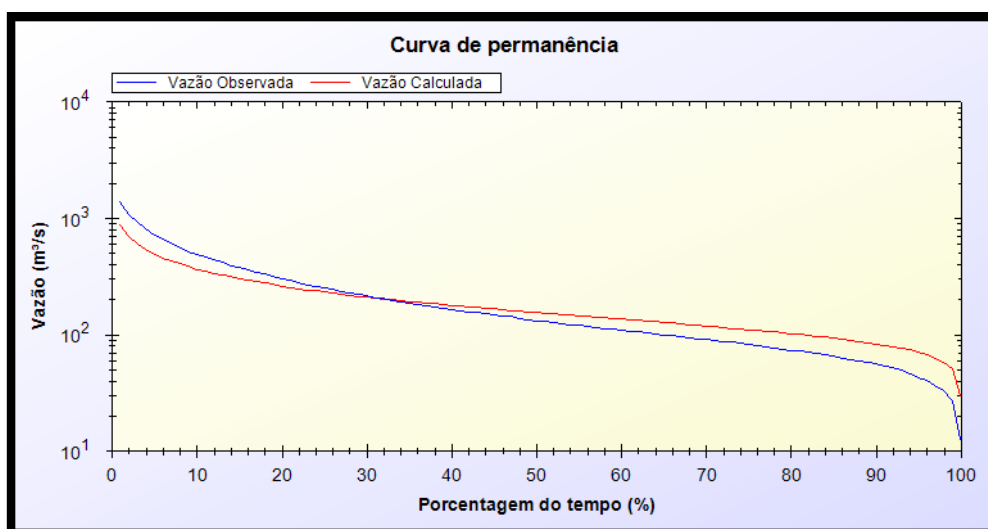


Figura 79. Comparação das curvas de permanência calculada e observada depois da calibração automática.

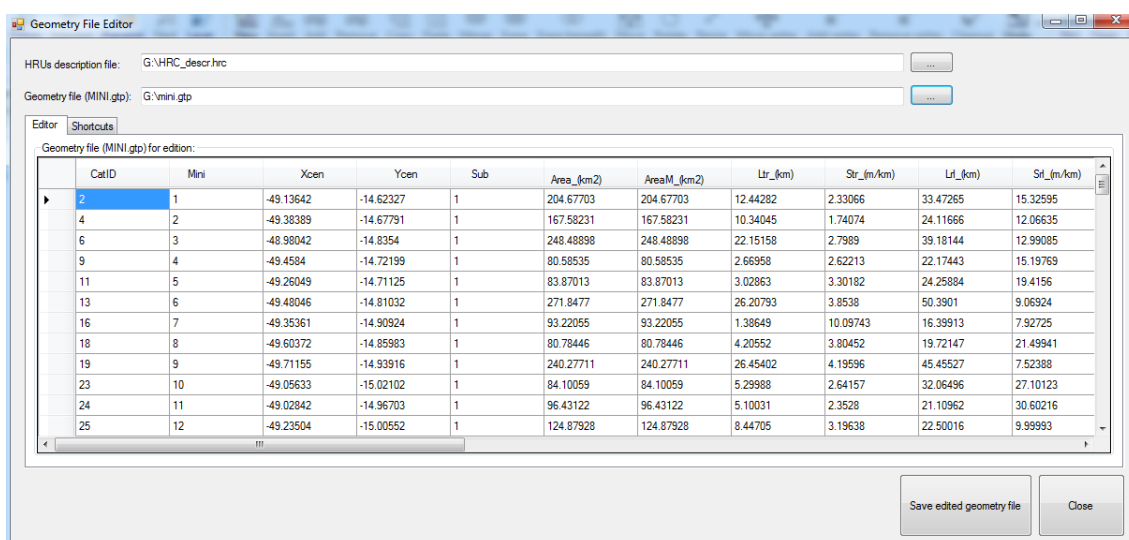
Ainda é possível melhorar os resultados através de mais modificações na calibração manual, ou calibrações automáticas para as sub-bacias individualmente.

4 Outras ferramentas

Na aba "Tools" é possível acessar diversas ferramentas de pós-processamento e visualização de dados do MGB-IPH, que são descritas a seguir.

4.1 Edição do arquivo mini.gtp

Nesta ferramenta é possível editar o arquivo mini.gtp gerado na etapa de pré-processamento (item 2.14). A Figura 80 apresenta a janela. Carregue o arquivo de unidades de resposta hidrológica e o Mini.gtp. Uma tabela com as informações topológicas das minibacias será aberta, e os valores podem ser alterados como desejado. Na aba "Shortcuts", algumas informações do Mini.gtp podem ser mais rapidamente editadas, como relações geomorfológicas, coeficiente de Manning ou arquivo contendo largura e profundidades por minibacias.



The screenshot shows the 'Geometry File Editor' window. It has two tabs: 'Editor' (selected) and 'Shortcuts'. The 'Editor' tab displays a table titled 'Geometry file (MINI.gtp) for edition:'. The table has 12 columns: CatID, Mini, Xcen, Ycen, Sub, Area_ (km2), AreaM_ (km2), Ltr_ (km), Str_ (m/km), Ltr_ (km), and Str_ (m/km). The table contains 15 rows of data. The first row is highlighted in blue. At the bottom right of the window, there are two buttons: 'Save edited geometry file' and 'Close'.

CatID	Mini	Xcen	Ycen	Sub	Area_ (km2)	AreaM_ (km2)	Ltr_ (km)	Str_ (m/km)	Ltr_ (km)	Str_ (m/km)
2	1	-49.13642	-14.62327	1	204.67703	204.67703	12.44282	2.33066	33.47265	15.32595
4	2	-49.38389	-14.67791	1	167.58231	167.58231	10.34045	1.74074	24.11666	12.06635
6	3	-48.98042	-14.8354	1	248.48898	248.48898	22.15158	2.7989	39.18144	12.99085
9	4	-49.4584	-14.72199	1	80.58535	80.58535	2.66958	2.62213	22.17443	15.19769
11	5	-49.26049	-14.71125	1	83.87013	83.87013	3.02863	3.30182	24.25884	19.4156
13	6	-49.48046	-14.81032	1	271.8477	271.8477	26.20793	3.8538	50.3901	9.06924
16	7	-49.35361	-14.90924	1	93.22055	93.22055	1.38649	10.09743	16.39913	7.92725
18	8	-49.60372	-14.85983	1	80.78446	80.78446	4.20552	3.80452	19.72147	21.49941
19	9	-49.71155	-14.93916	1	240.27711	240.27711	26.45402	4.19596	45.45527	7.52388
23	10	-49.05633	-15.02102	1	84.10059	84.10059	5.29988	2.64157	32.06496	27.10123
24	11	-49.02842	-14.96703	1	96.43122	96.43122	5.10031	2.3528	21.10962	30.60216
25	12	-49.23504	-15.00552	1	124.87928	124.87928	8.44705	3.19638	22.50016	9.99993

Figura 80. Interface da edição de arquivo Mini.gtp.

4.2 Hidrograma de posto fluviométrico

No menu *Ferramentas*, o botão *Hidrograma de posto fluviométrico* é utilizado para gerar um hidrograma da vazão total observada no posto selecionado.

- Para utilizar a ferramenta, basta selecionar o posto fluviométrico desejado (com o shapefile dos postos criado no item 3.5). Às vezes é necessário criar novamente o shapefile dos postos fluviométricos.

Essa ferramenta é útil quando é desejado visualizar somente os hidrogramas de vazões observadas nos postos, sem comparar com as vazões calculadas pelo MGB-IPH.

4.3 Filtro de vazão de base de posto fluviométrico

A ferramenta *Filtro de vazão de base de posto fluviométrico*, disponível no menu *Ferramentas*, tem dois objetivos: calcular o valor do parâmetro C_b , e estimar o percentual da vazão de um rio que tem origem subterrânea através da aplicação de um filtro numérico. A seguir são apresentados exemplos para um posto fluviométrico na bacia do Rio Itajaí.

Neste manual será descrita a utilização da ferramenta para estimar o valor do parâmetro C_b . Para isto, a ferramenta é aplicada clicando em um posto fluviométrico qualquer. O layer dos postos fluviométricos gerado no item 3.5 deve estar selecionado. Aqui utilizaremos o posto fluviométrico 83690000 da bacia do Rio Itajaí. Após clicar na ferramenta "Filtro de vazão de base" e no posto fluviométrico desejado, uma janela se abre mostrando o hidrograma observado neste posto ao longo de todo o período com dados disponíveis, como mostra a Figura 81.

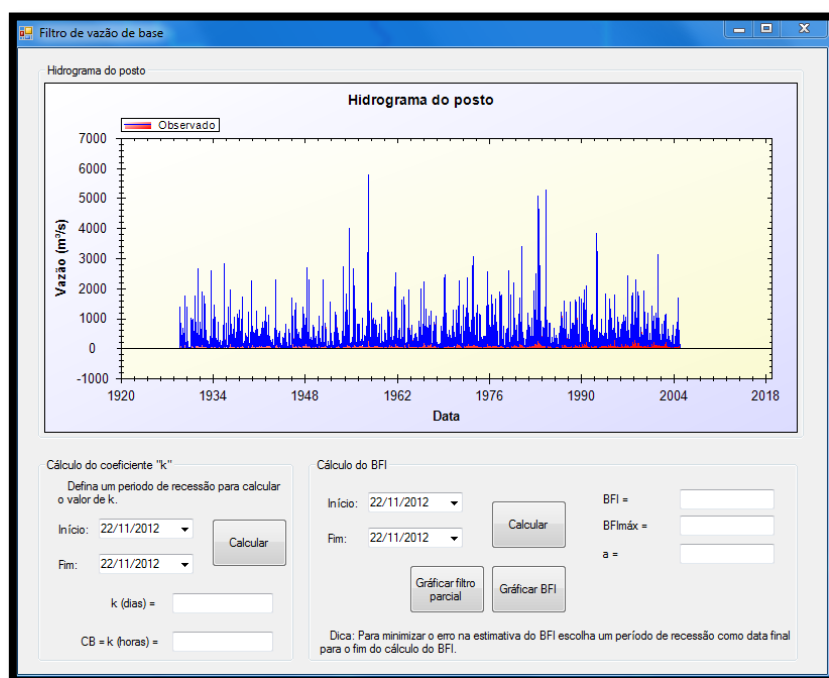


Figura 81. Janela inicial do filtro de vazão de base aplicado ao posto 83690000.

A partir deste ponto é necessário utilizar as ferramentas de zoom do gráfico para encontrar um período de estiagem com forte evidência que não tenham ocorrido chuvas no período. Idealmente deve ser encontrado um período em que as vazões são continuamente e constantemente decrescentes. Um período de estiagem com estas características ocorreu entre junho e julho de 1995, como mostra a Figura 82.

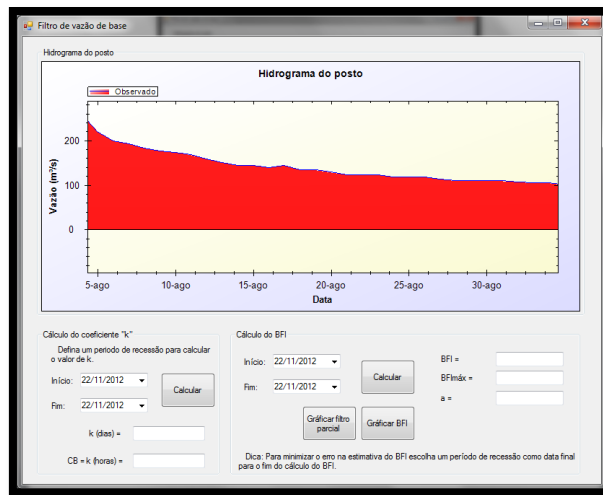


Figura 82. Recessão do hidrograma observado no rio Itajaí (posto 83690000) entre 5 e 30 de agosto de 1994.

- Depois de identificado o período de estiagem, duas datas devem ser especificadas na janela da ferramenta *Filtro de vazão de base*: *Início e Fim do período de recessão*. Depois disso clicamos no botão *Calcular* e um valor de 37,00 dias é obtido para o coeficiente *k* e este valor pode ser utilizado para definir o valor do parâmetro *Cb*, no caso, 888 horas.

- É indicado que este procedimento seja repetido algumas vezes, para determinarmos um valor médio de *Cb* para ser utilizado na calibração da bacia.

A ferramenta de *Cálculo do BFI* é utilizada para a visualização de um hidrograma com separação entre escoamento superficial e escoamento de base.

- Basta determinar o intervalo de tempo desejado e clicar no botão *Calcular*. Assim são gerados valores de BFI, BFI máximo e o parâmetro *a* (parâmetros propostos por Eckhardt, 2005). Clicando no botão *Gráfico BFI*, obtemos um gráfico da forma da Figura 83, um hidrograma com separação entre escoamento superficial e escoamento de base.

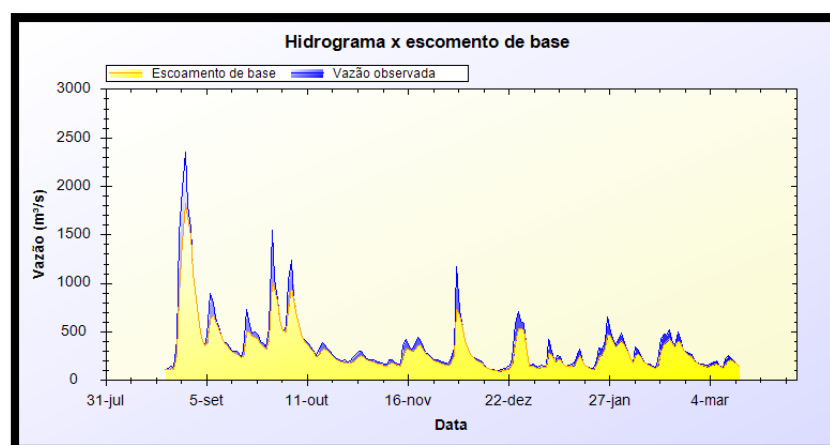


Figura 83. Hidrograma com separação entre escoamento superficial (em azul) e escoamento de base (em amarelo).

4.4 Curva de permanência de posto fluviométrico

O botão *Curva de permanência de posto fluviométrico* é utilizado para gerar uma curva de permanência da vazão total observada no posto selecionado.

- Para utilizar a ferramenta, basta selecionar o posto fluviométrico desejado (com o shapefile dos postos criado no item 3.5).

Essa ferramenta é útil quando é desejado visualizar somente a curva de permanência de vazão observada nos postos, sem comparar com a curva de permanência calculada pelo MGB-IPH.

4.5 Pluviograma de posto pluviométrico

O botão *Pluviograma de posto pluviométrico* é utilizado para gerar pluviograma das chuvas observadas em cada posto pluviométrico.

- Para utilizar a ferramenta, basta selecionar o posto pluviométrico desejado (com o shapefile dos postos criado no item 5.2.4 selecionado). Um exemplo de pluviograma é mostrado na Figura 84.

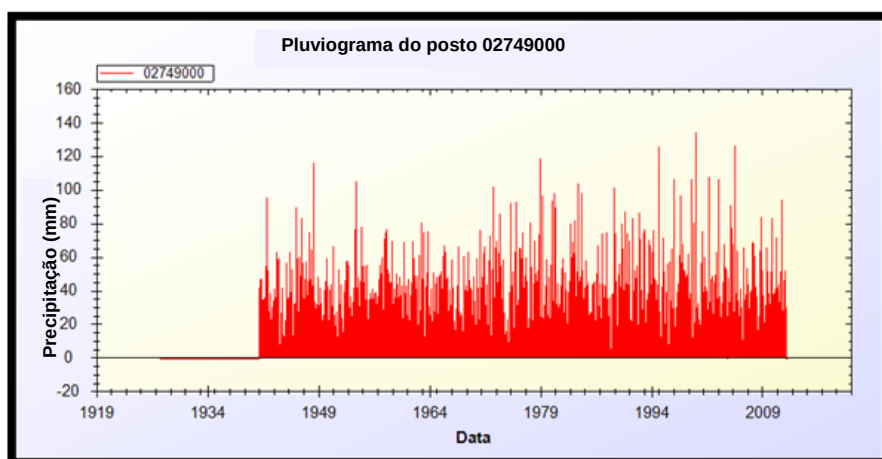


Figura 84. Pluviograma do posto pluviométrico 02749000.

4.6 Criação de raster de dados de chuva

Nesta ferramenta é possível criar arquivos raster de chuva interpolada no MGB-IPH para visualização da distribuição espacial da precipitação na bacia de estudo. A ferramenta tem como dados de entrada (i) o raster de minibacias gerado na fase de pré-processamento (item 2.11), (ii) o arquivo mini.gtp e (iii) o arquivo binário de chuva gerado nas janelas de interpolação. O processo realizado é simplesmente uma reclassificação do raster de minibacias, substituindo os valores de minibacias pelo valor de chuva associado.

Existem dois tipos de chuva que podem ser plotados no arquivo raster: (i) precipitação média anual e (ii) precipitação acumulada. A seguir são explicadas as duas opções.

4.6.1 Raster de precipitação média anual

Se for selecionado a opção de precipitação média anual, você deve fornecer o arquivo de chuvas binário gerado na fase de interpolação de chuvas (item 3.3).

4.6.2 Raster de precipitação acumulada

No caso da precipitação acumulada, é gerado um raster com o valor acumulado de chuva para todo o período para o qual foi interpolada a chuva. Assim, se você tiver gerado um arquivo de chuva interpolada para o período 01/01/1970 a 31/12/2010, como nas simulações realizadas neste manual, o raster gerado conterá informações da chuva acumulada para todo esse período. Assim, a grande valia desta ferramenta de precipitação acumulada é a avaliação espacial de eventos de chuva. Para isso, você pode interpolar novamente a chuva para um período curto, por exemplo de 01/01/2009 a 05/01/2009. O resultado do arquivo raster será um mapa da chuva acumulada para este período. Você pode fazer vários mapas de chuva com diferentes arquivos de chuva interpolada, por exemplo para os períodos 01/01/2009 a 05/01/2009, 01/01/2009 a 06/01/2009 e 01/01/2009 a 07/01/2009. Neste caso, é possível avaliar a distribuição espaço-temporal dos acumulados de chuva na sua área de estudo para períodos com diferentes dias de duração.

4.6.3 Interface e geração do arquivo raster

A Figura 85 apresenta a interface desta ferramenta. Forneça os três arquivos de entrada (raster de minibacias, arquivo mini.gtp e arquivo de chuva interpolada), selecione a opção desejada (precipitação média anual ou precipitação acumulada), o nome do arquivo de saída, e clique em "Create raster".

A Figura 86 apresenta o resultado da ferramenta para o mapa de precipitação média anual para a bacia, para o período 01/01/1970 a 31/12/2010.

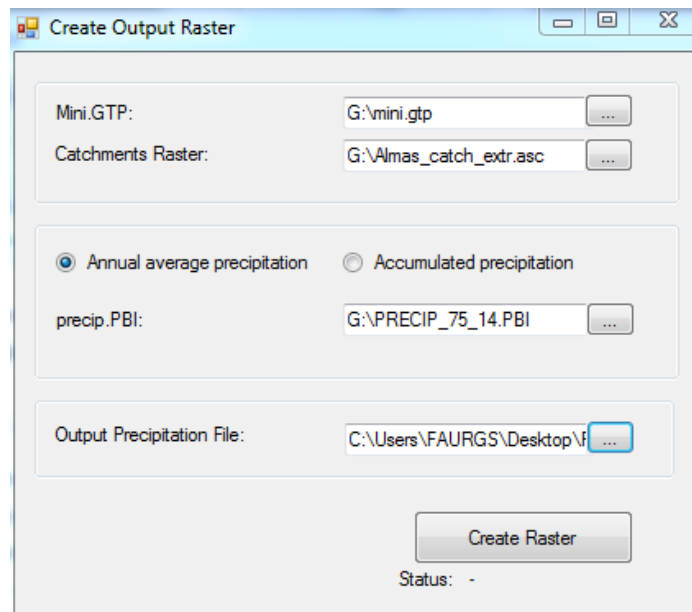


Figura 85. Interface da janela de criação de raster de chuva.

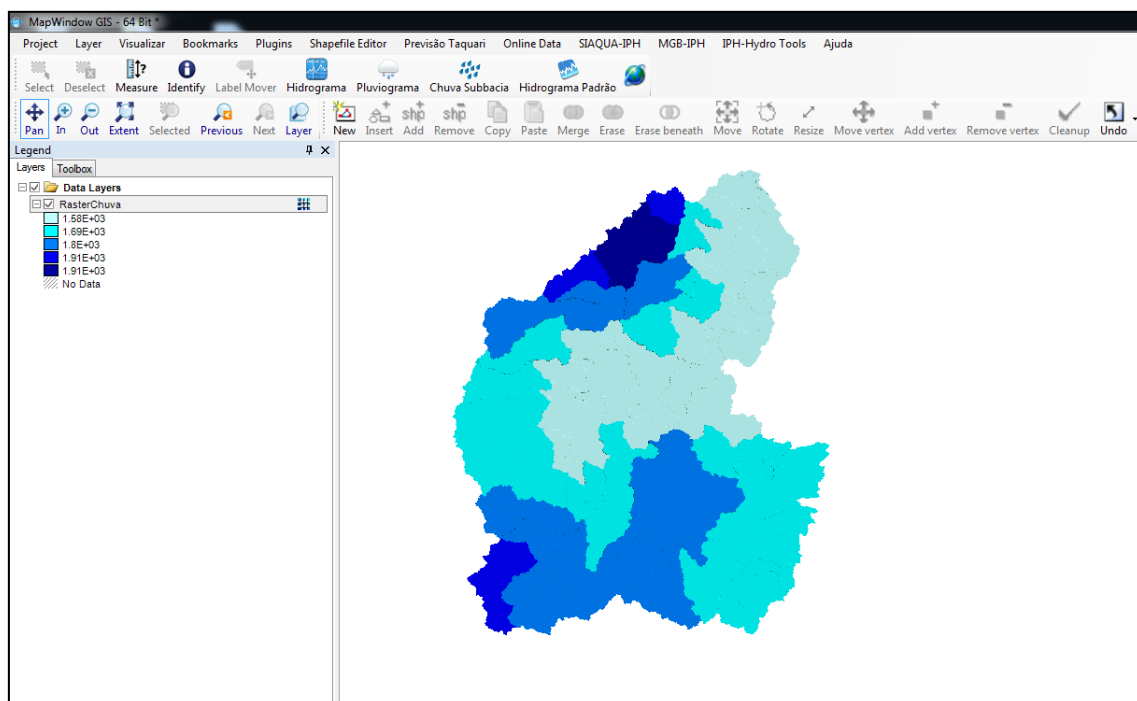


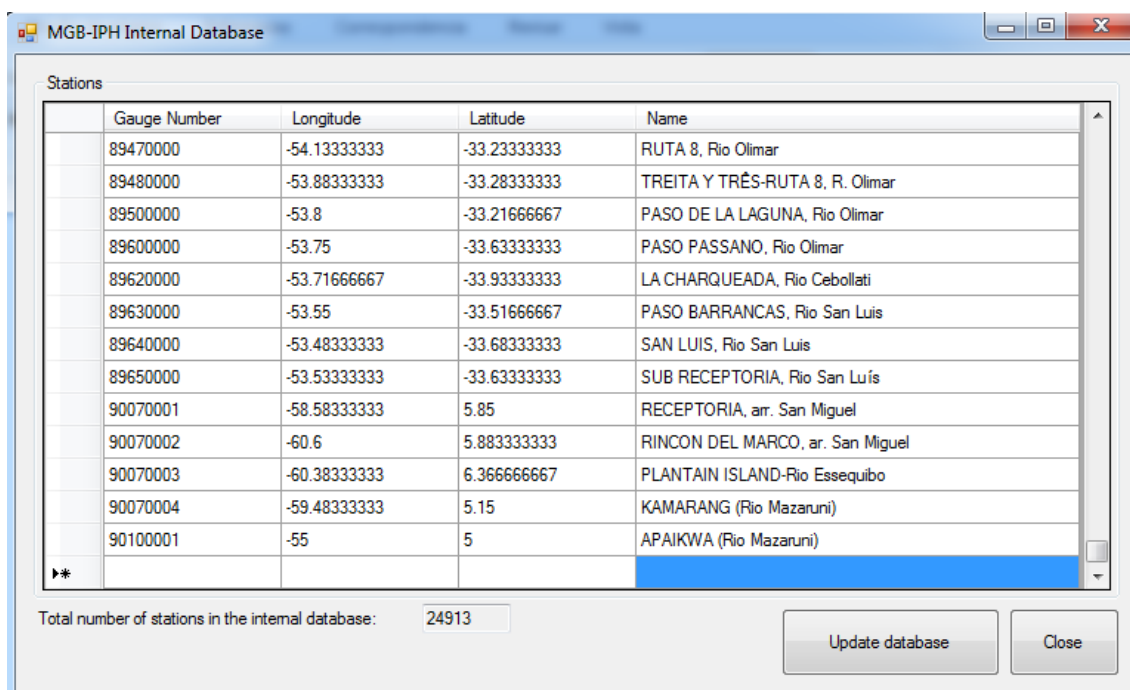
Figura 86. Raster de chuva média anual gerado.

4.7 Base de dados interna

A opção “*Internal database*” da barra *Ferramentas* é uma base de dados interna das estações pluviométricas e fluviométricas da ANA (Figura 87). Esses dados são utilizados para gerar os arquivos de vazões observadas (item 3.5) e para interpolar os dados de chuva (item 3.4).

Caso estes dados não estivessem completos, uma mensagem de erro ocorreria na execução dos itens citados anteriormente, e seria necessário atualizar manualmente os dados, digitando o código do posto, a sua localização (longitude e latitude) e o nome do posto ao final da lista.

Como descrito no item 3.3, é necessário editar esta base de dados caso seja necessário utilizar dados de precipitação de outras fontes que não a ANA ou MERGE/CPTEC.



Gauge Number	Longitude	Latitude	Name
89470000	-54.13333333	-33.23333333	RUTA 8, Rio Olimar
89480000	-53.88333333	-33.28333333	TREITA Y TRÉS-RUTA 8, R. Olimar
89500000	-53.8	-33.21666667	PASO DE LA LAGUNA, Rio Olimar
89600000	-53.75	-33.63333333	PASO PASSANO, Rio Olimar
89620000	-53.71666667	-33.93333333	LA CHARQUEADA, Rio Cebollati
89630000	-53.55	-33.51666667	PASO BARRANCAS, Rio San Luis
89640000	-53.48333333	-33.68333333	SAN LUIS, Rio San Luis
89650000	-53.53333333	-33.63333333	SUB RECEPTORIA, Rio San Luis
90070001	-58.58333333	5.85	RECEPTORIA, arr. San Miguel
90070002	-60.6	5.88333333	RINCON DEL MARCO, ar. San Miguel
90070003	-60.38333333	6.36666667	PLANTAIN ISLAND-Rio Essequibo
90070004	-59.48333333	5.15	KAMARANG (Rio Mazaruni)
90100001	-55	5	APAIKWA (Rio Mazaruni)

Total number of stations in the internal database: 24913

Update database Close

Figura 87. Base de dados interna do MGB-IPH

4.8 Perfil Longitudinal

A última opção do menu “Tools/Ferramentas” é “Longitudinal profile”, disponível apenas para a aplicação do modelo inercial, que permite a visualização do perfil longitudinal do rio em algum trecho de interesse. Para isso, o usuário deve selecionar o arquivo *MINI.gtp* e o arquivo *COTA_AREA.flp*, conforme a Figura 88. O usuário deve informar a minibacia de montante e de jusante do trecho que deseja visualizar em *First Catchment* e *Last Catchment*, respectivamente. Para o presente exemplo, utilizamos 1228 como minibacia de montante e 2957 como minibacia de jusante.

Para visualização da ferramenta de Perfil Longitudinal, o presente manual apresenta como exemplo o rio Purus, pois corresponde à simulação com o modelo inercial.

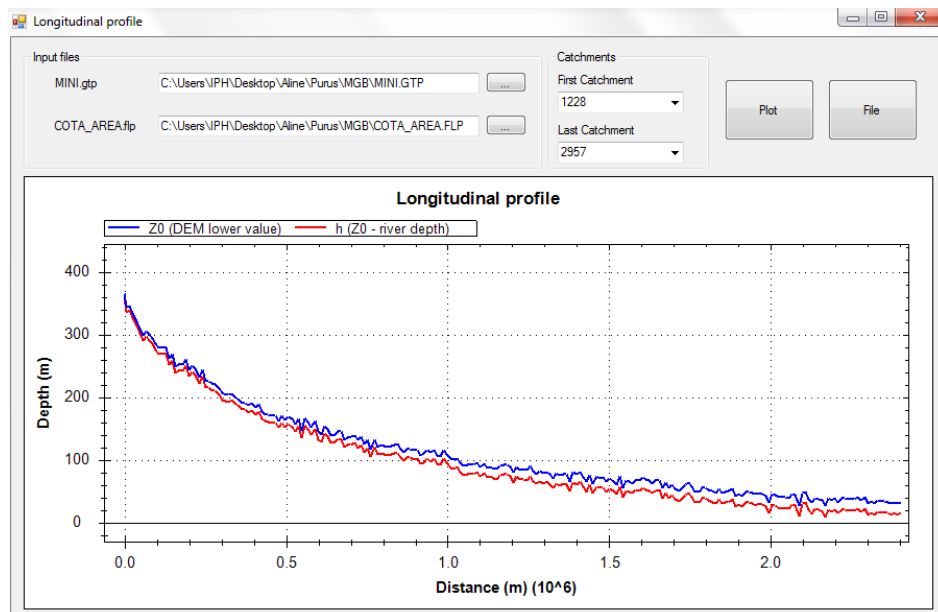


Figura 88. Perfil longitudinal de um trecho do rio Purus

Em azul – **Z0** (*DEM lower value*) – estão representados os valores correspondentes ao modelo digital de elevação ao longo da rede de drenagem. Em vermelho – **h** (*Z0 – river depth*) – é apresentado o valor de Z0 subtraído da profundidade do rio, definida pela relação exponencial entre largura e área de drenagem.

5 Troubleshooting

Nesta seção são apresentados alguns erros comuns que ocorrem na aplicação do MGB-IPH.

5.1 Configurações do Windows

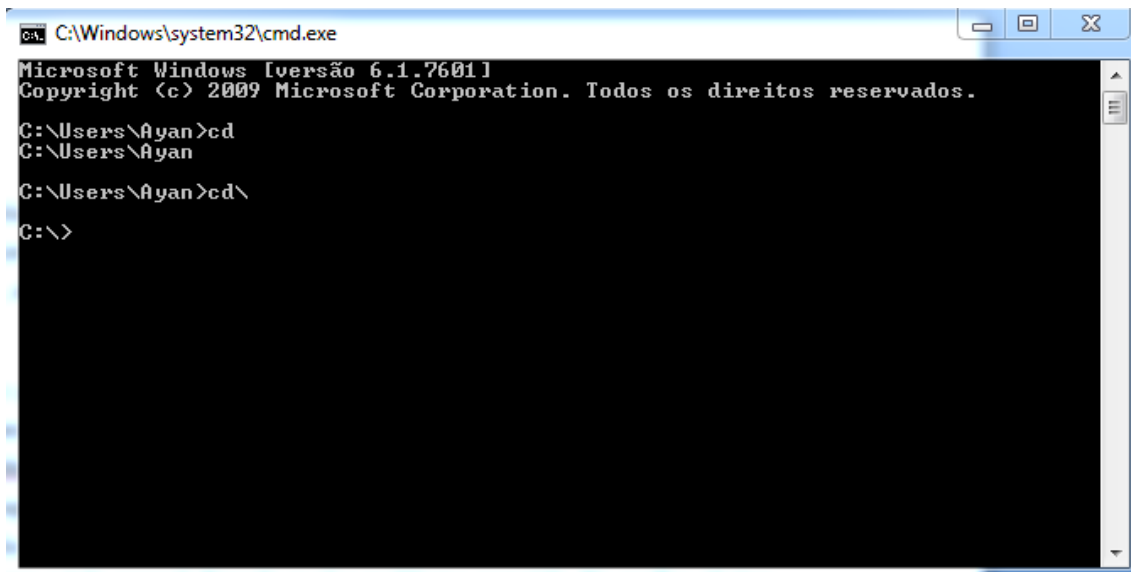
Para rodar o MGB-IPH é necessário que as configurações de região e idioma do computador estejam corretas. Para isso, entre em Painel de Controle/Região e Idioma e configure o formato para Português (Brasil) e em Configurações adicionais, coloque como Símbolo decimal ponto ('.') e como separador de milhar vírgula (','). Dê OK.

5.2 Resolvendo problemas com prompt de comando

Muitos dos problemas que usuários têm ao rodar o MGB-IPH ocorrem quando janelas auxiliares de comando são chamadas (as telas pretas, como na Figura 89). Entretanto, quando um erro ocorre, a janela fecha não sendo possível identificar o problema. Para visualizar qual o problema ocorrido, devemos rodar esta janela preta pelo Prompt de comando do Windows. Para isso, abra a janela cmd.exe que você pode localizar no “Buscar” do Menu Iniciar (Figura 89).

Se o problema tiver ocorrido no MGB PreProcessing, é necessário localizar para a linha de comando qual o diretório em que está o executável do MGB PreProcessing na pasta do IPH-HydroTools nos plugins do Mapwindow. Para isto, digite “cd\”, após “cd arquivos de programas”, após “cd mapwindow”, após, “cd plugins”, após “cd iphht” e então digite “PreProInertial” para acionar o executável do MGB PreProcessing (Figura 89, Figura 90 e Figura 91). Rode normalmente o programa, e quando surgir o erro a tela parará dizendo qual o problema ocorrido. Nas seções abaixo estão descritos alguns dos erros que podem aparecer na tela.

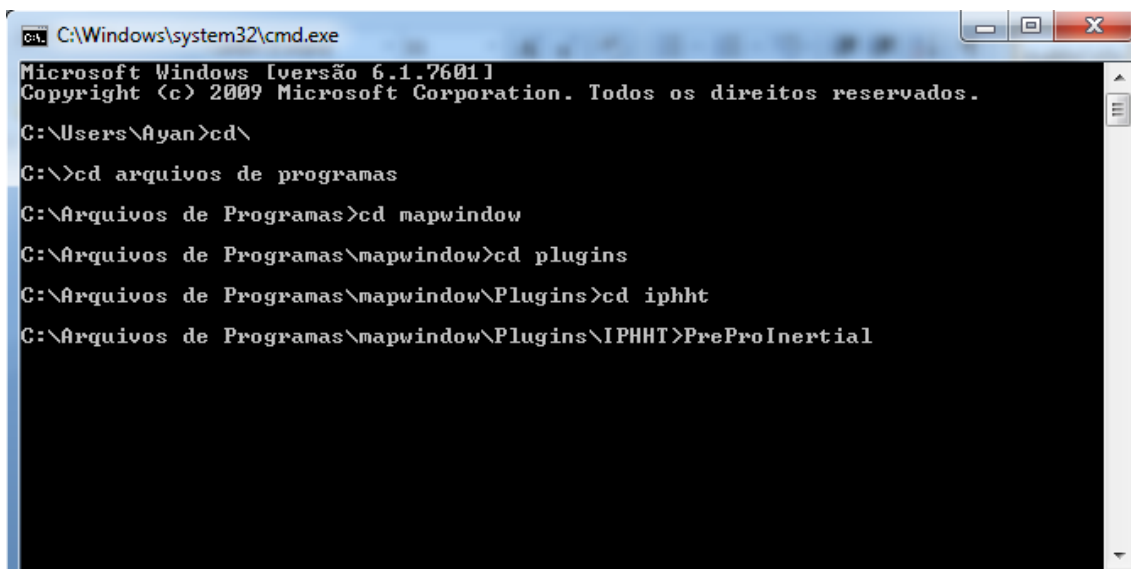
Se o problema tiver ocorrido ao simular o MGB, é necessário localizar o executável de simulação do MGB. Faça os mesmos passos descritos acima o MGB PreProcessing, mas desta vez vá à pasta “C:\Program Files\MapWindow\Plugins\MGB\MGB” e acione o executável de simulação que se chama “MGB”.



```
C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [versão 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

C:\Users\Ayan>cd
C:\Users\Ayan
C:\Users\Ayan>cd\
C:\>
```

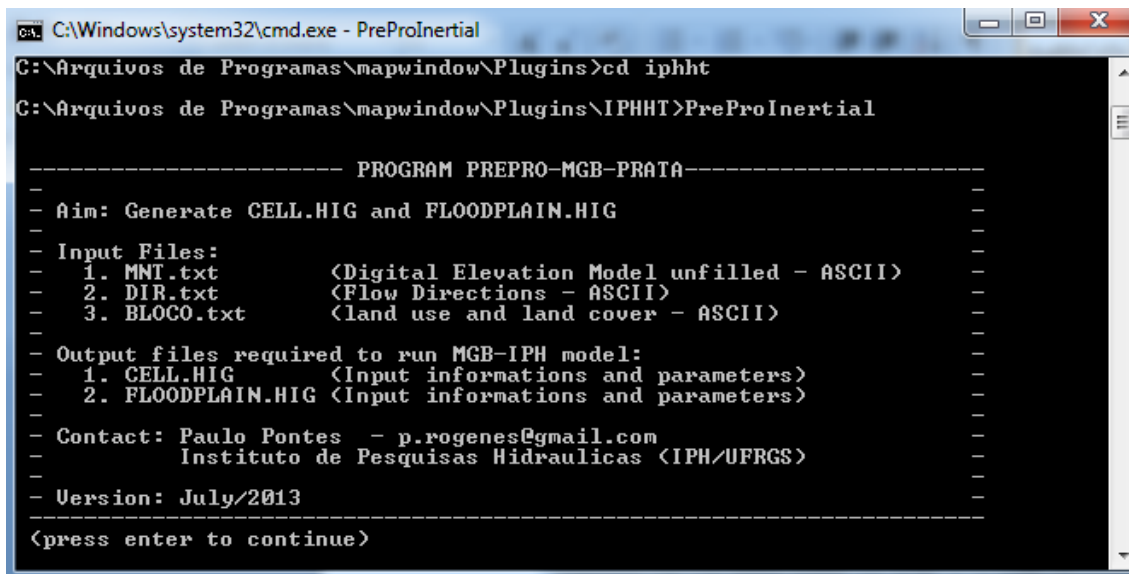
Figura 89. Prompt de comando Windows.



```
C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [versão 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

C:\Users\Ayan>cd\
C:\>cd arquivos de programas
C:\Arquivos de Programas>cd mapwindow
C:\Arquivos de Programas\mapwindow>cd plugins
C:\Arquivos de Programas\mapwindow\Plugins>cd iphht
C:\Arquivos de Programas\mapwindow\Plugins\IPHHT>PreProInertial
```

Figura 90. Linhas de comando no prompt.



```
C:\Windows\system32\cmd.exe - PreProInertial
C:\Arquivos de Programas\mapwindow\Plugins>cd iphht
C:\Arquivos de Programas\mapwindow\Plugins\IPHHT>PreProInertial

----- PROGRAM PREPRO-MGB-PRATA-----
-
- Aim: Generate CELL.HIG and FLOODPLAIN.HIG
-
- Input Files:
- 1. MNT.txt          <Digital Elevation Model unfilled - ASCII>
- 2. DIR.txt          <Flow Directions - ASCII>
- 3. BLOC0.txt        <land use and land cover - ASCII>
-
- Output files required to run MGB-IPH model:
- 1. CELL.HIG         <Input informations and parameters>
- 2. FLOODPLAIN.HIG  <Input informations and parameters>
-
- Contact: Paulo Pontes - p.rogenes@gmail.com
-           Instituto de Pesquisas Hidraulicas <IPH/UFRGS>
-
- Version: July/2013
-
-----
<press enter to continue>
```

Figura 91. Acionando o MGB PreProcessing.

5.3 Problemas ao rodar o MGB PreProcessing

Para gerar o arquivo Mini.GTP e outros oriundos do pré-processamento (seção 2.14 Finalização do pré-processamento via IPH-Hydro Tools), os arquivos criados nas etapas de pré-processamento via IPH-HydroTools devem estar corretos.

- Inicialmente, todos os arquivos raster de entrada devem ter o mesmo cabeçalho (número de linhas, colunas, tamanho da célula, etc.). Certifique que estão iguais.

- Pode ocorrer de o raster de minibacias estar errado. Para o PrePro, o raster de minibacias deve estar numerado a partir do número 1 (por exemplo, de 1 a 512). Se no seu caso o raster estiver numerado, por exemplo, de 46 a 558, o programa acusará um erro. A mensagem de erro via prompt de comando está apresentada na Figura 92. Isto ocorre quando se cria a rede segmentada a partir de uma rede de drenagem que não foi recortada pela bacia, e portanto as minibacias de valor 1 a 46 (neste caso) ficariam fora do raster de minibacias da sua bacia. Se for utilizado o raster de rede de drenagem cortado pela bacia para fazer a rede segmentada (ArchHydro Segmentation), o problema estará resolvido.

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
- bloco.asc

Number of HRU      =      8
8. Reordering the catchments...

fortrtl: severe (408): fort: (11): Subscript #1 of the array AREASRE has value -8
42150451 which is less than the lower bound of 1

Image              PC              Routine              Line              Source
PreProInertial.ex  0000000014012B9F8  Unknown              Unknown            Unknown
PreProInertial.ex  00000000140126869  Unknown              Unknown            Unknown
PreProInertial.ex  00000000140066DF6  Unknown              Unknown            Unknown
PreProInertial.ex  0000000014003EECF  Unknown              Unknown            Unknown
PreProInertial.ex  0000000014003F23D  Unknown              Unknown            Unknown
PreProInertial.ex  000000001400208F5  MAIN__               601               0Prata_Main.F90
PreProInertial.ex  0000000014013154C  Unknown              Unknown            Unknown
PreProInertial.ex  000000001400BC3F7  Unknown              Unknown            Unknown
PreProInertial.ex  000000001400BC2FE  Unknown              Unknown            Unknown
kernel32.dll       0000000076BA5A4D  Unknown              Unknown            Unknown
ntdll.dll          0000000076CDB831  Unknown              Unknown            Unknown

```

Figura 92. Erro no raster de minibacias.

- Outro erro bastante comum ocorre na geração das unidades de resposta hidrológicas (URHs). O erro via prompt de comando está na Figura 93. Ao fazer as etapas de geração do raster de URHs, às vezes ocorre de ficar faltando o valor de URH em algum pixel da sua bacia (provavelmente um pixel nas bordas da bacia). Assim, o MGB PreProcessing procura o valor neste pixel, encontra um valor de NoData (-9999) e avisa que não conseguiu rodar. A solução para o problema é a seguinte: para garantir que este pixel com valor faltante tenha um valor atribuído, você pode fazer um Reclass (ferramenta do ArcGis Reclassify) do raster de URHs, atribuindo para todos os pixels com valor NoData um valor de alguma URH (por exemplo, o valor '1'). Assim, todos os valores de NoData do seu raster de URH terão o valor '1', e quando o PrePro procurar o valor deste pixel, encontrará algo diferente de NoData, e conseguirá passar desta etapa. Após fazer a reclassificação, você pode exportar o raster reclassificado para o formato ASC e rodar o PrePro com ele. Isto deverá funcionar.

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
- bloco.asc

7.1 Reading the file:...

Number of HRU      =      8
fortrtl: severe (408): fort: (11): Subscript #2 of the array AREABLOC0 has value
-9999 which is less than the lower bound of 1

Image              PC              Routine              Line              Source
PreProInertial.ex  0000000014012B9F8  Unknown              Unknown            Unknown
PreProInertial.ex  00000000140126869  Unknown              Unknown            Unknown
PreProInertial.ex  00000000140066DF6  Unknown              Unknown            Unknown
PreProInertial.ex  0000000014003EECF  Unknown              Unknown            Unknown
PreProInertial.ex  0000000014003F23D  Unknown              Unknown            Unknown
PreProInertial.ex  0000000014001ED00  MAIN__               551               0Prata_Main.F90
PreProInertial.ex  0000000014013154C  Unknown              Unknown            Unknown
PreProInertial.ex  000000001400BC3F7  Unknown              Unknown            Unknown
PreProInertial.ex  000000001400BC2FE  Unknown              Unknown            Unknown
kernel32.dll       0000000076BA5A4D  Unknown              Unknown            Unknown
ntdll.dll          0000000076CDB831  Unknown              Unknown            Unknown

```

Figura 93. Erro no raster de URHs.

5.4 Problemas ao simular

Problemas ao simular ocorrem normalmente devido aos seguintes erros:

- Arquivos utilizados na geração do projeto (3.9: Criação de um projeto para simulação) estão errados. Garanta que os arquivos fornecidos estejam corretos.
- Períodos dos dados de chuva, vazão e clima não estão coerentes. É importante que as datas estejam coincidindo

5.5 Problemas na visualização dos resultados da simulação

- Para visualizar um hidrograma simulado, deve-se selecionar o centroide da minibacia referente. Para isto, antes o shape de centroides deve estar selecionado no menu lateral de layers.
- Apenas os hidrogramas dos centroides listados na janela de simulação podem ser visualizados após a simulação. Para ver hidrogramas de outros centroides, você pode interagir com o arquivo binário QTUDO.BIN que é gerado na pasta C:/MGB/OUTPUT após cada simulação.
- Para ver hidrogramas de várias minibacias em sequência, após visualizar o hidrograma de uma determinada minibacia clique em deselecionar (deselect) na aba superior e só após em selecionar (select), para então visualizar o hidrograma de outra minibacia clicando no seu respectivo centroide.

5.6 Problemas na leitura de arquivos ASCII colunas

- Para usar dados de chuva ou vazão no formato coluna (por exemplo, se o usuário possui uma fonte alternativa de dados), é necessário que os arquivos coluna estejam formatados com espaçamento 6 - 6 -6 - 16, que equivalem respectivamente a Dia - Mês - Ano - Chuva (Ou Vazão)

5.7 Compatibilidade com o ArcGis

É possível gerar todos os arquivos de entrada no ArcGis, e apenas rodar o PrePro dentro do IPH-HydroTools, no Map Window. Para importar um arquivo raster do ArcGis ao MapWindow, converta-o para o formato .asc. No MapWindow, utilize no IPH HydroTools, no menu *“Management Tools”* a opção de *“Extract by Polygon”*. Extraia o raster de entrada por um polígono da região de interesse, e habilite a opção de *“Copy spatial parameters from file”*, selecionando sempre algum mesmo raster, para que todos os arquivos de entrada no PrePro tenham mesmo número de linhas e de colunas, requisito para o programa realizar o pré-processamento.

5.8 Informações sobre o Modelo inercial

A principal novidade do MGB-IPH 2017 é a possibilidade de utilizar a propagação inercial (ou hidrodinâmica) de vazões no lugar do método simplificado Muskingum-Cunge linear, que permite a simulação de regiões planas com planícies de inundação, múltiplas defluências, estimativa de níveis e áreas inundadas de forma distribuída na bacia, além de representar melhor a física de ondas de cheia (e.g., representação da não-linearidade da relação celeridade-vazão). Exemplo de aplicação deste modelo está apresentado em Pontes et al. (2015).

Apesar das vantagens relacionadas à melhor representação dos processos físicos de inundação que ocorrem nestas bacias hidrográficas, é importante notar que a simulação com o modelo inercial é mais complexa que a aplicação padrão do MGB-IPH com o método Muskingum-Cunge, sendo necessário cuidado com instabilidades numéricas provenientes do método numérico utilizado. O tempo de processamento pode ser também mais longo.

A resolução numérica da equação inercial utilizada no MGB-IPH foi proposta inicialmente por Bates et al. (2010), e o MGB-IPH com método inercial está descrito em Fan et al. (2014) e Pontes et al. (2015). Análise de sensibilidade de parâmetros de modelo hidrodinâmico de grande escala (como largura, profundidade e coeficiente de Manning) está disponível em Paiva et al. (2013).

Referências:

Bates et al., 2010, A simple inertial formulation of the shallow water equations for efficient two-dimensional flood inundation modelling, *Journal of Hydrology*, 387.

Fan et al., 2014, Avaliação de um método de propagação de cheias em rios com aproximação inercial das equações de Saint-Venant, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19(4).

Paiva et al., 2013, Large-scale hydrologic and hydrodynamic modeling of the Amazon River basin, *Water Resources Research*, 49.

Pontes et al., 2015, Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões / Hydrologic and hydraulic large-scale modeling with inertial flow routing, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 20(4).

6 Referências

1. SIQUEIRA, V. A. ; FLEISCHMANN, A. S. ; JARDIM, P. F. ; FAN, F. M. ; COLLISCHONN, W. . IPH-Hydro Tools: uma ferramenta open source para determinação de informações topológicas em bacias hidrográficas integrada a um ambiente SIG. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 2016.
2. Fan F. M., Buarque D. C., Pontes, P.R.M., Collischonn W. [Um mapa de unidades de resposta hidrológica para a América do Sul](#). XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Novembro de 2015, Brasília-DF. Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. PAP019919. 2015.
3. Collischonn W, 2001 – Simulação Hidrológica de Grandes Bacias. tese de doutorado, IPH-UFRGS, Dezembro de 2001
4. Collischonn, W. ; Allasia, D. G. ; Silva, B. C. ; Tucci, C. E. M. . [The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling](#). Hydrological Sciences Journal, v. 52, p. 878-895, 2007.
5. FAN, F. M. ; COLLISCHONN, W. ; SORRIBAS, M. V. ; PONTES, P. R. M. . [Sobre o início da rede de drenagem definida a partir dos modelos digitais de elevação](#). Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 18, p. 241-257, 2013.
6. Paiva, R. C. D.; Buarque, D. C. ; Collischonn, W. ; Bonnet, M.-P. ; Frappart, F.; Calmant, S.; Bulhões Mendes, C. A.. [Large-scale hydrologic and hydrodynamic modeling of the Amazon River basin](#). Water Resources Research, v. 49, p. 1226-1243, 2013.
7. FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. .[Integração do Modelo MGB-IPH com Sistema de Informação Geográfica](#). Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, p. 243-254, 2014.
8. PAZ, A. R. ; COLLISCHONN, W. ; RISSO, A. ; MENDES, C. A. B. . [Errors in river lengths derived from raster digital elevation models](#). Computers & Geosciences, v. 34, p. 1584-1596, 2008.