

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS
ESCOLA DE ENGENHARIA

FERNANDO MAINARDI FAN

ACOPLAMENTO ENTRE MODELOS HIDROLÓGICOS E SISTEMAS DE
INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA: INTEGRAÇÃO DO MODELO MGB-IPH

Porto Alegre

2011

FERNANDO MAINARDI FAN

ACOPLAMENTO ENTRE MODELOS HIDROLÓGICOS E SISTEMAS DE
INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA: INTEGRAÇÃO DO MODELO MGB-IPH

Trabalho de Diplomação apresentado ao
Instituto de Pesquisas Hidráulicas da
Universidade Federal do Rio Grande do
Sul, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro
Ambiental

Orientador: Prof^o Dr. Walter Collischonn

Porto Alegre

2011

FERNANDO MAINARDI FAN

ACOPLAMENTO ENTRE MODELOS HIDROLÓGICOS E SISTEMAS DE
INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA: INTEGRAÇÃO DO MODELO MGB-IPH

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em 16/12/2011 pela Comissão
avaliadora constituída pelos professores:

ORIENTADOR

Prof. Walter Collischonn
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Alfonso Risso
Msc. Eng. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Masato Kobiyama
Dr. Eng. pela Universidade Federal do Paraná

Para meus pais

AGRADECIMENTOS

Desejo expressar meus sinceros agradecimentos:

Primeiramente aos meus pais Jorge e Isabel e minha irmã Laura, por sempre me apoiarem e me incentivarem incondicionalmente, e por tornarem possível o meu sonho de ser um Engenheiro Ambiental.

Ao meu amigo e orientador Walter, pela paciência, pelos ensinamentos, orientações, oportunidades e principalmente por sempre ouvir e valorizar as minhas opiniões e as minhas idéias, até mesmo as não convencionais.

A minha namorada, Vilma, por ser minha companheira e minha grande motivadora, e fazer os meus dias cada vez mais felizes com o seu sorriso.

A todos os meus colegas de curso, especialmente a minha turma de 2007, por serem mais que colegas, mas sim grandes amigos, praticamente a minha família dentro da universidade.

Ao professor Monteggia, por ser além de um grande professor, um amigo, e por todo empenho e dedicação durante a caminhada que empreendemos durante o período que fui representante discente.

A todos os meus demais professores, que foram fundamentais para a minha formação.

A todos os colegas de estágio que tive durante a minha graduação, por me ensinarem a valorizar o trabalho e me auxiliarem a expandir meus conhecimentos práticos.

Ao meu amigo Pako, por todo o suporte e pelas rodas de chimarrão que foram fundamentais nos primeiros semestres de minha graduação.

A todos os meus demais amigos e familiares, pelo apoio, amizade e suporte.

E, por fim, mas não menos importante, a Deus, por tudo.

*“Se faltar calor, a gente esquenta
Se ficar pequeno, a gente aumenta
E se não for possível, a gente tenta”*

- Pose (Humberto Gessinger)

RESUMO

FAN, M. F. **Acoplamento entre Modelos Hidrológicos e Sistemas de Informação Geográfica: Integração do Modelo MGB-IPH**. 2011. 179 p. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas e Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Resumo do Trabalho

Problemas relacionados ao uso eficiente dos recursos hídricos estão entre os grandes desafios a serem vencidos pela humanidade nas próximas décadas. Neste contexto, a modelagem hidrológica se apresenta como uma ferramenta extremamente útil para a realização de avaliações e apoio à tomada de decisão. Os modelos hidrológicos do tipo distribuído são capazes de representar o comportamento de uma bacia hidrográfica de forma complexa, permitindo análises e estudos detalhados a partir de seus resultados. Um dos requisitos básicos para o uso destes modelos distribuídos é a descrição fisiográfica detalhada da bacia estudada, obtida através do uso de plataformas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Visando potencializar o uso da simulação hidrológica e o desenvolvimento de soluções para o correto gerenciamento de recursos hídrico, o presente trabalho apresenta a concepção de um acoplamento entre a plataforma de SIG MapWindow GIS® e o modelo hidrológico MGB-IPH. A integração desenvolvida pode ser considerada do tipo *acoplamento próximo (ou rígido)*, devido as suas características de transferência interna de dados. A ferramenta concebida foi testada com sucesso na modelagem de duas bacias hidrográficas brasileiras, uma da região sul (bacia do rio Ijuí), e outra da região Sudeste (bacia Três Marias, no rio São Francisco). As aplicações demonstraram que um grau elevado de integração entre o modelo hidrológico e o SIG foi obtido. Foram criadas ferramentas úteis para manipulação e representação simplificada dos dados de entrada no ambiente SIG, e para pós-processamento e análise dos resultados do modelo hidrológico. De uma forma geral, pode-se afirmar que os grandes avanços trazidos pelo trabalho desenvolvido foram a simplificação na utilização do modelo, as ferramentas avançadas de análise, espacialização e processamento de dados, o uso de bases de dados internas que facilitam a preparação das informações de entrada do modelo

hidrológico, e que a plataforma MapWindow GIS® passou a ser a forma como o usuário interage com o modelo MGB-IPH.

PALAVRAS CHAVE: Modelos Hidrológicos, Sistemas de Informação Geográfica, Acoplamento Rígido

Abstract

Problems related to the efficient use of water resources are major challenges to be faced by humanity in the coming decades. In this context, the hydrologic modeling application is an extremely useful tool for assessments development and for decision making support. The distributed type hydrological models are able to represent the behavior of a watershed in a complex manner, allowing detailed analysis and studies from their results. One of the essential requirements for the use of distributed models is the detailed physiographic description of the studied basin, obtained through the use of Geographic Information Systems (GIS) platforms. Aiming to enhance the use of hydrologic simulation and to develop solutions for proper water resources management, this paper presents the design of a coupling between the MapWindow GIS® platform and the MGB-IPH hydrological model. The developed integration can be considered a close coupling, due to the internal data transfer characteristics developed. The designed tool was successfully tested for the modeling of two Brazilian river basins, one from the southern region (Ijuí River basin), and one from the Southeast (Three Marias basin, São Francisco river). The applications showed that a high degree of integration between the GIS and the hydrologic model was obtained. Useful tools were created for input data handling and representation in the GIS environment, and for post-processing and analysis of the hydrological model results. In general, it can be said that the greatest advances reached with this work are the simplification of the model use, the advanced tools for data analysis, spatial representation and data processing, the use of internal databases to assist the preparation of the hydrological model input information, and that the MapWindow GIS® platform became the way that an user interacts with the MGB-IPH model.

KEY WORDS: Hydrological Models, Geographic Information Systems, Rigid Coupling

Resumen

Los problemas relacionados con el uso eficiente de los recursos hídricos son un desafío importante que enfrentará la humanidad por las próximas décadas. En este contexto, los modelos hidrológicos se presentan como una herramienta extremadamente útil para la realización de evaluaciones y apoyo a la toma de decisiones. Los modelos hidrológicos distribuidos son capaces de representar el comportamiento de una cuenca de una manera integral, lo que permite un análisis detallado y facilita el estudio de los resultados. Uno de los requisitos básicos para el uso de modelos distribuidos es la descripción fisiográfica detallada de la cuenca estudiada, obtenida mediante el uso de plataformas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Con el objetivo de impulsar el uso de simulación hidrológica y el desarrollo de soluciones para la gestión adecuada de los recursos hídricos, este trabajo presenta el desarrollo de un acoplamiento entre la plataforma de SIG MapWindow GIS® y el modelo hidrológico MGB-IPH. La integración puede ser considerada de acoplamiento duro, porque las transferencias de datos son internas. La herramienta se aplicó con éxito en dos estudios de cuencas hidrográficas brasileñas, una en la región sur (cuenca del río Ijuí), y una de la región Sudeste (cuenca Tres Mariás, en el río São Francisco). Las aplicaciones demostraron que se obtuvo un alto grado de integración entre el SIG y el modelo hidrológico. Se han creado herramientas útiles para la manipulación y representación simplificada de los datos de entrada en un entorno SIG, y de post-procesamiento y análisis de los resultados del modelo hidrológico. En general, se puede decir que estas herramientas han logrado simplificar el uso del modelo, facilitando el análisis y procesamiento de datos espaciales, y el manejo de las bases de datos internas que facilitan la preparación de la información de entrada del modelo hidrológico. La plataforma SIG MapWindow ® se convirtió en la forma en que el usuario interactúa con el modelo MGB-IPH.

PALABRAS CLAVE: Modelos Hidrológicos, Sistemas de Información Geográfica, Acoplamiento Rígido

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura geral de um Sistema de Informações Geográficas.....	27
Figura 2 – Exemplo do aspecto geral de um programa de SIG, na imagem, o ArcGIS®.....	28
Figura 3 Acoplamento Solto entre SIG e Modelos Hidrológicos.....	37
Figura 4 - Acoplamento próximo entre SIG e Modelos Hidrológicos.	38
Figura 5 - SIG embutido em Modelos Hidrológicos.	39
Figura 6Figura 06 - Modelos Hidrológicos embutidos em SIG.	39
Figura 7 – Divisão em mini-bacias da bacia dos rios Almas e Maranhão.	43
Figura 8 – Representação esquemática do procedimento de geração das HRUs....	45
Figura 9 – Exemplo de URHs geradas para a bacia dos rios Almas e Maranhão para a aplicação do modelo MGB-IPH.	46
Figura 10 - Bacias sul-americanas em que o modelo MGB-IPH foi aplicado com sucesso.	48
Figura 11 – Área principal de trabalho do software <i>MapWindow GIS®</i>	55
Figura 12 – Menu de habilitação de plugins do software <i>MapWindow GIS®</i>	57
Figura 13 – Página principal do portal <i>HidroWeb</i>	59
Figura 14 – Exemplo de gráfico gerado utilizando o <i>ZedGraph</i>	60
Figura 15 - Localização da bacia Ijuí, com seus principais municípios.	65
Figura 16 - Topografia e principais rios da bacia.....	65
Figura 17 – Resultados das etapas de discretização da bacia do Ijuí.....	69
Figura 18 – Mapa de solos da bacia Ijuí.....	71
Figura 19 – Mapa de vegetação e uso do solo da bacia Ijuí.	72
Figura 20 – Unidades de Resposta Hidrológica construídas para a bacia Ijuí.	73
Figura 21 – Interface do <i>PrePro_MGB</i>	74
Figura 22 – Interface do <i>MGB-IPH</i> habilitada dentro do <i>MapWindow GIS®</i>	75
Figura 23 – Planos de Informação da Bacia Ijuí no <i>MapWindow GIS®</i>	76
Figura 24 - Bacia do rio Ijuí na interface <i>MapWindow GIS®</i> do <i>MGB-IPH</i> , com os centróides das mini-bacias.	77
Figura 25 – Ilustração do gráfico de disponibilidade temporal de dados de vazão na bacia do rio Ijuí..	79

Figura 26 - Interface do MGB-IPH com o layer de postos fluviométricos adicionado ao projeto.	80
Figura 27 - Gráfico de disponibilidade temporal de dados de chuva na bacia do rio Ijuí.	82
Figura 28 - Interface do MGB-IPH com o layer de postos pluviométricos adicionado ao projeto.	83
Figura 29 – Ferramenta “Precipitação” da interface MapWindow do MGB-IPH. Desenvolvida neste trabalho.	84
Figura 30 – Ferramenta “Vazão” da interface MapWindow GIS® do MGB-IPH. Desenvolvida neste trabalho.	85
Figura 31 – Ferramenta “Clima” da interface MapWindow do MGB-IPH, mostrando o número de anos em que existem dados de temperatura e das outras variáveis em cada mês do ano.	88
Figura 32 – Estações climatológicas disponíveis na base da ANA próximas a bacia Ijuí.	89
Figura 33 – Ferramenta “Blocos” da interface MapWindow do MGB-IPH.	90
Figura 34 - Ferramenta "Parâmetros Fixos".	92
Figura 35 - Ferramenta "Parâmetros Calibráveis".	95
Figura 36 - Ferramenta de criação de projeto de simulação do MGB-IPH.	96
Figura 37 - Simulação da bacia Ijuí através da interface desenvolvida.	98
Figura 38 - Resultado da simulação na mini-bacia 456 (comparado ao posto fluviométrico observado 75205000) na bacia Ijuí.	99
Figura 39 - Zoom em uma parte dos resultados da simulação na mini-bacia 456 (comparado ao posto fluviométrico observado 75205000) na bacia Ijuí.	100
Figura 40 – Comparação entre as curvas de permanência na mini-bacia 456 (comparado ao posto fluviométrico observado 75205000) na bacia Ijuí.	101
Figura 41 - Resultado da simulação na mini-bacia 487 (comparado ao posto fluviométrico observado 75295000) na bacia Ijuí.	104
Figura 42 – Zoom em resultado da simulação na mini-bacia 487 (comparado ao posto fluviométrico observado 75295000) na bacia Ijuí.	104
Figura 43 – Zoom em resultado da simulação na mini-bacia 487 (comparado ao posto fluviométrico observado 75295000) na bacia Ijuí.	105
Figura 44 – Curva de permanência resultado da simulação na mini-bacia 487 (comparado ao posto fluviométrico observado 75295000) na bacia Ijuí.	105

Figura 45 - Resultado da simulação na mini-bacia 456 (comparado ao posto fluviométrico observado 75205000) na bacia Ijuí.	106
Figura 46 - Curva de permanência resultado da simulação na mini-bacia 456 (comparado ao posto fluviométrico observado 75205000) na bacia Ijuí.	106
Figura 47 – Ferramenta de definição de parâmetros para calibração automática...	109
Figura 48 – Resultado da simulação na mini-bacia 456 (comparado ao posto fluviométrico observado 75205000), após procedimento de calibração automática na bacia Ijuí.	111
Figura 49 – Curva de permanência resultado da simulação na mini-bacia 456 (comparado ao posto fluviométrico observado 75205000), após procedimento de calibração automática na bacia Ijuí.	111
Figura 50 – Resultado da simulação na mini-bacia 487 (comparado ao posto fluviométrico observado 75295000), após procedimento de calibração automática na bacia Ijuí.	112
Figura 51 – Curva de permanência resultado da simulação na mini-bacia 487 (comparado ao posto fluviométrico observado 75295000), após procedimento de calibração automática na bacia Ijuí.	112
Figura 52 – Resultado da simulação na mini-bacia 507 (comparado ao posto fluviométrico observado 75320000), após procedimento de calibração automática na bacia Ijuí.	113
Figura 53 – Curva de permanência resultado da simulação na mini-bacia 507 (comparado ao posto fluviométrico observado 75320000), após procedimento de calibração automática na bacia Ijuí.	113
Figura 54 - Localização da bacia Três Marias.	115
Figura 55 - Topografia e principais rios da bacia.	116
Figura 56 – Resultado das etapas de discretização da bacia Três Marias.	117
Figura 57 - Mapa de tipos de solos na bacia.	118
Figura 58 - Mapa de vegetação na bacia.	119
Figura 59 - UHRs montadas para a bacia Três Marias.	120
Figura 60 – Planos de Informação da bacia no MapWindow GIS®	121
Figura 61 - Bacia Três Marias na interface MapWindow GIS® do MGB-IPH, com os centróides das mini-bacias.	122
Figura 62 - Interface do MGB-IPH com o layer de postos fluviométricos adicionado ao projeto no MapWindow GIS®	123

Figura 63 - Interface do MGB-IPH com o layer de postos pluviométricos adicionado ao projeto.	124
Figura 64 - Localização dos postos selecionados para a realização da simulação da bacia Três Marias.....	126
Figura 65 – Ferramenta “Preparar dados de clima utilizando base de dados interna” da interface MapWindow GIS® desenvolvida para o MGB-IPH.....	128
Figura 66 – Estações climatológicas, disponíveis na base de dados interna da interface do MGB-IPH, selecionadas para aplicação.	129
Figura 67 - Divisão em sub-bacias assumida para a bacia de Três Marias.	132
Figura 68- Resultado da simulação na mini-bacia 234 (comparado ao posto fluviométrico observado 4102002) na bacia Três Marias.	134
Figura 69 - Resultado da simulação na mini-bacia 202 (comparado ao posto fluviométrico observado 40850000) na bacia Três Marias.	135
Figura 70 - Resultado da simulação na mini-bacia 201 (comparado ao posto fluviométrico observado 40070000) na bacia Três Marias.	135
Figura 71 – Curva de permanência resultado da simulação na mini-bacia 159 (comparado ao posto fluviométrico observado 40400000) na bacia Três Marias. ...	136
Figura 72 - Resultado da simulação na mini-bacia 151 (comparado ao posto fluviométrico observado 40960000) na bacia Três Marias.	139
Figura 73Figura 73 - Resultado da simulação na mini-bacia 165 (comparado ao posto fluviométrico observado 40710000) na bacia Três Marias.	139
Figura 74Figura 74 - Resultado da simulação na mini-bacia 170 (comparado ao posto fluviométrico observado 40740000) na bacia Três Marias.	140
Figura 75 - Resultado da simulação na mini-bacia 177 (comparado ao posto fluviométrico observado 41075001) na bacia Três Marias.	140
Figura 76 - Resultado da simulação na mini-bacia 180 (comparado ao posto fluviométrico observado 40050000) na bacia Três Marias.	141
Figura 77 - Resultado da simulação na mini-bacia 181 (comparado ao posto fluviométrico observado 40850000) na bacia Três Marias.	141
Figura 78 - Resultado da simulação na mini-bacia 186 (comparado ao posto fluviométrico observado 40800001) na bacia Três Marias.	142
Figura 79 - Resultado da simulação na mini-bacia 201 (comparado ao posto fluviométrico observado 40070000) na bacia Três Marias.	142

Figura 80 - Resultado da simulação na mini-bacia 202 (comparado ao posto fluviométrico observado 40850000) na bacia Três Marias.....	143
Figura 81 - Resultado da simulação na mini-bacia 218 (comparado ao posto fluviométrico observado 40100000) na bacia Três Marias.....	143
Figura 82 - Resultado da simulação na mini-bacia 234 (comparado ao posto fluviométrico observado Reservat) na bacia Três Marias.....	144
Figura 83 - Resultado da simulação na mini-bacia 158 (comparado ao posto fluviométrico observado 40130000) na bacia Três Marias.....	144

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Esquema de subdivisão da bacia hidrográfica de estudo adotado no MGB-IPH.....	44
Quadro 2 – Dados espaciais que devem ser gerados utilizando o SIG.	50
Quadro 3 – Dados hidrológicos de entrada do modelo MGB-IPH.....	52
Quadro 4 – Parâmetros fixos do modelo MGB-IPH.....	53
Quadro 5 – Parâmetros calibráveis do modelo MGB-IPH.	53
Quadro 6 – Postos fluviométricos obtidos no sistema Hidroweb.....	78
Quadro 7 – Postos pluviométricos obtidos no sistema Hidroweb.....	81
Quadro 8 – Postos Fluviométricos escolhidos e Mini-Bacia a qual o mesmo corresponde.	87
Quadro 9 – Sumário do arquivo de blocos (UHRs) gerado para a bacia Ijuí. A coluna da direita corresponde ao nome do bloco e a da esquerda apresenta uma breve descrição.....	91
Quadro 10 - Valores de Albedo adotados na bacia Ijuí.	93
Quadro 11 - Valores de Índice de Área Foliar (IAF) adotados na bacia Ijuí.	93
Quadro 12 - Valores da altura média das árvores adotados na bacia Ijuí.....	94
Quadro 13 - Valores de resistência superficial em boas condições de umidade do solo adotados na bacia Ijuí.....	94
Quadro 14 - Valores dos parâmetros calibráveis adotados na simulação preliminar na bacia Ijuí.	95
Quadro 15 - Valores dos parâmetros calibráveis CS, CI e CB adotados na simulação preliminar da bacia Ijuí.	95
Quadro 16 - Descrição dos arquivos gerados via interface e utilizados para criar o projeto de simulação da bacia Ijuí.	97
Quadro 17 - Valores finais de parâmetros ajustados através do processo de calibração manual.	103
Quadro 18- valores finais de CS, CB e CI ajustados através do processo de calibração manual.	103
Quadro 19 - Novo conjunto de parâmetros calibráveis do MGB-IPH, definidos no processo de calibração automática.	110
Quadro 20 - Novo conjunto de CB, CI, CS do MGB-IPH, definidos no processo de calibração automática.	110
Quadro 21 – Postos Fluviométricos escolhidos e Mini-Bacia a qual o mesmo corresponde para a simulação da bacia Três Marias.....	125
Quadro 22 – Sumário do arquivo de blocos gerado para a bacia Três Marias.	130
Quadro 23 - Valores de Albedo adotados para a bacia Três Marias.....	130
Quadro 24 - Valores de Índice de Área Foliar (IAF) adotados para a bacia Três Marias.	131
Quadro 25- Valores da altura média das árvores adotados para a bacia Três Marias.	131
Quadro 26 - Valores da resistência superficial em boas condições de umidade do solo adotados para a bacia Três Marias.	131
Quadro 27 - Valores dos parâmetros calibráveis adotados na simulação preliminar da bacia Três Marias.....	133
Quadro 28 - Valores dos de CB, CI e CS adotados na simulação preliminar da bacia Três Marias.	133

Quadro 29 - Novo conjunto de parâmetros calibráveis do MGB-IPH, definidos no processo de calibração automática para as sub-bacias 1 a 6, 12 e 13 da bacia Três Marias.	137
Quadro 30 - Novo conjunto de parâmetros calibráveis do MGB-IPH, definidos no processo de calibração automática para as sub-bacias 1 a 6, 12 e 13 da bacia Três Marias.	138
Quadro 31 - Novo conjunto de parâmetros calibráveis do MGB-IPH, definidos no processo de calibração automática para as sub-bacias 7 a 11 da bacia Três Marias.	138
Quadro 32 - Novo conjunto de parâmetros calibráveis do MGB-IPH, definidos no processo de calibração automática para as sub-bacias 7 a 11 da bacia Três Marias.	138

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	21
1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVA.....	21
1.2 OBJETIVOS	24
1.2.1 Objetivo Geral	24
1.2.2 Objetivos Específicos	24
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	24
CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
2.1 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG).....	26
2.1.1 Introdução	26
2.1.2 Programas de SIG	28
2.2. MODELOS HIDROLÓGICOS	30
2.2.1. Generalidades	30
2.2.2 Integração entre Modelos Hidrológicos e SIG	32
CAPÍTULO 3: MATERIAIS E MÉTODOS.....	42
3.1 O MGB-IPH	42
3.1.1. Introdução	42
3.1.2 Dados de Entrada do Modelo MGB-IPH	49
3.1.3 Resultados Gerados Pelo Modelo.....	54
3.2 O MAPWINDOW GIS®	54
3.2.1 Programação de <i>Plugins</i> Dentro do <i>Mapwindow GIS®</i>	56
3.3 INTEGRAÇÃO E USO DE BASES DE DADOS BRASILEIRAS	58
3.4 A BIBLIOTECA ZEDGRAPH	60
3.5 ARCHYDRO TOOLS	61
CAPÍTULO 4: APLICAÇÃO DA INTEGRAÇÃO MGB-IPH E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	63
4.1 APLICAÇÃO NA BACIA IJUÍ.....	63
4.1.1 Informações Preliminares	63
4.1.2 Extração de Informações Espaciais e Discretização da Bacia Hidrográfica	66
4.1.3 Simulação Usando MGB-IPH Interface MapWindow GIS®	74
4.2 APLICAÇÃO NA BACIA TRÊS MARIAS.....	114
4.2.1 Informações Preliminares	114
4.2.2 Extração de Informações Espaciais e Discretização da Bacia Hidrográfica	116
4.2.3 Simulação Usando MGB-IPH Interface Mapwindow	120
CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES	145
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	150

ANEXOS	156
ANEXO A - Relação de postos fluviométricos e gráficos de disponibilidade temporal da bacia Três Marias.....	157
ANEXO B - Relação de postos pluviométricos e gráficos de disponibilidade temporal da bacia Três Marias.....	165

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVA

A água é um recurso natural essencial, que representa, sobretudo, o principal constituinte de todos os organismos vivos. Ela é um recurso natural que está relacionado com todos os aspectos da civilização, sendo primordial para o desenvolvimento agrícola, social e industrial.

Através dos séculos, os usos múltiplos excessivos e as retiradas permanentes de água para diversas finalidades têm diminuído consideravelmente a disponibilidade de água e produzido problemas de escassez em muitas regiões e países. Alavancado pelo crescimento da população mundial, o crescimento da demanda de água tende a se tornar um dos maiores problemas de escassez de recursos naturais do próximo século.

Para solucionar este emergente problema, de como utilizar corretamente os nossos recursos hídricos, exige-se uma solução criteriosa, que possibilite uma avaliação constante da disponibilidade de água. Esta solução pode ser encontrada na utilização de modelagem hidrológica, capaz de representar matematicamente as complexas interações que ocorrem entre os diferentes compartimentos que compõem uma bacia hidrográfica.

A modelagem de uma bacia hidrográfica é uma valiosa ferramenta para a Engenharia Ambiental, que se constitui na aplicação de equações matemáticas para a simulação dos processos hidrológicos que ocorrem nas diferentes porções da superfície terrestre. A sua aplicação propicia a previsão de disponibilidade hídrica, avaliação de cenários, como modificações no uso do solo ou alterações climáticas, a

previsão de desastres, como cheias, e a otimização da alocação de quantidades de água para os diferentes usos dos recursos hídricos.

A modelagem hidrológica é realizada através de modelos hidrológicos, que podem ser definidos como representações matemáticas dos processos físicos que ocorrem no planeta e geram informações sobre o fluxo de água, sua variação temporal e outras características relacionadas ao escoamento.

Ainda, para a utilização de modelos hidrológicos, o uso de geoprocessamento para a preparação dos dados espaciais de entrada é extremamente útil. A utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) permite que se manipule adequadamente o grande volume de dados de entrada especializados para descrição das características das bacias hidrográficas.

É neste contexto de desenvolvimento de soluções para o gerenciamento de recursos hídricos e integração de diferentes recursos na área de Engenharia Ambiental, que possibilitam a obtenção, interpretação de informações, e tomada de decisão, que se insere o presente projeto de conclusão de curso.

Este trabalho apresenta a concepção de uma ferramenta que possibilita a análise, avaliação e preparação de dados, espaciais e hidrológicos, para a aplicação do modelo hidrológico MGB—IPH (COLLISCHONN, 2001). Além disto, a ferramenta foi desenvolvida acoplada a uma plataforma de SIG, promovendo a integração entre o modelo hidrológico e a representação espacial de informações.

Este acoplamento busca permitir que o modelo hidrológico seja executado de maneira simplificada e que os seus resultados sejam acessados de forma intuitiva, visando o aperfeiçoamento da aplicabilidade do mesmo para o gerenciamento de

recursos hídricos. O sistema proposto foi desenvolvido acoplado à plataforma de SIG *MapWindow GIS*®.

Nas páginas a seguir são descritos de forma detalhada os passos do desenvolvimento da ferramenta integradora, assim como o embasamento teórico considerado e os materiais e métodos utilizados.

1.2 OBJETIVOS

A seguir são apresentados os objetivos deste trabalho de conclusão de curso.

1.2.1 Objetivo Geral

Na busca por soluções que possibilitem uma avaliação acessível e constante do comportamento da água em bacias hidrográficas, o presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta, integrada a um sistema de informações geográficas, para o tratamento e avaliação de dados hidrológicos e espaciais, e execução de modelagens hidrológicas através do modelo MGB-IPH.

1.2.2 Objetivos Específicos

Têm-se o seguinte objetivo específico:

1. Desenvolvimento de uma ferramenta que promova o acoplamento do modelo MGB-IPH com a plataforma *MapWindow GIS®*.
2. Desenvolvimento de ferramentas que permitam a avaliação, o tratamento e a geração dos dados de entrada para o modelo, dentro do ambiente SIG.
3. Desenvolvimento de ferramentas que permitam a análise dos resultados gerados pelo modelo, também dentro do ambiente SIG.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Para melhor organização textual e acesso ao leitor, os próximos capítulos deste trabalho apresentam a seguinte estrutura:

Capítulo 2 - Revisão bibliográfica sobre o que é um SIG, o que são modelos hidrológicos e a interação dos SIG com a área de recursos hídricos.

Capítulo 3 – Descrição dos materiais e métodos utilizados no desenvolvimento deste trabalho. É realizada a apresentação do programa MapWindow GIS®, das bases de dados consideradas para a construção da integração, e é apresentado o modelo hidrológico MGB-IPH, incluindo os parâmetros necessários para a sua utilização e resultados gerados.

Capítulo 4 – São apresentados dois estudos de caso de aplicação do trabalho desenvolvido, onde é destacada a forma de funcionamento do mesmo e outras informações importantes.

Capítulo 5 – Conclusões resultantes deste trabalho.

CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

2.1.1 Introdução

Geoprocessamento é o conjunto de tecnologias e técnicas empregadas na visualização, manipulação, cruzamento, documentação, gerenciamento e distribuição de dados e informações geográficas em formato digital. Para se realizar o geoprocessamento são necessários quatro elementos principais: dados geográficos, recursos humanos, equipamentos e programas computacionais (PINA & SANTOS, 2000).

Os sistemas computacionais utilizados para a realização do Geoprocessamento são chamados de Sistemas de Informação Geográfica, popularmente conhecidos como “SIG”. Os SIG permitem realizar análises complexas ao integrar informações de diversas fontes com dados espacialmente referenciados (DAVIS & CÂMARA, 1991).

Um SIG pode ser definido a partir de três propriedades (MAGUIRRE ET. AL., 1991; SMITH ET. AL, 1987):

- I. Capacidade de apresentação cartográfica de informações;
- II. Uma base de dados e atributos integrada aos objetos espaciais;
- III. Mecanismos que possibilitam a combinação, manipulação, análise espacial e exportação dos dados.

Segundo Davis & Câmara (1991), uma plataforma SIG é composta por subsistemas, que são: Interface com o usuário; entrada e integração de dados; funções de consulta e análise espacial; visualização; plotagem; e armazenamento de dados. Estes subsistemas se inter-relacionam para suprir a necessidade dos usuários, conforme demonstra a Figura 01, abaixo:

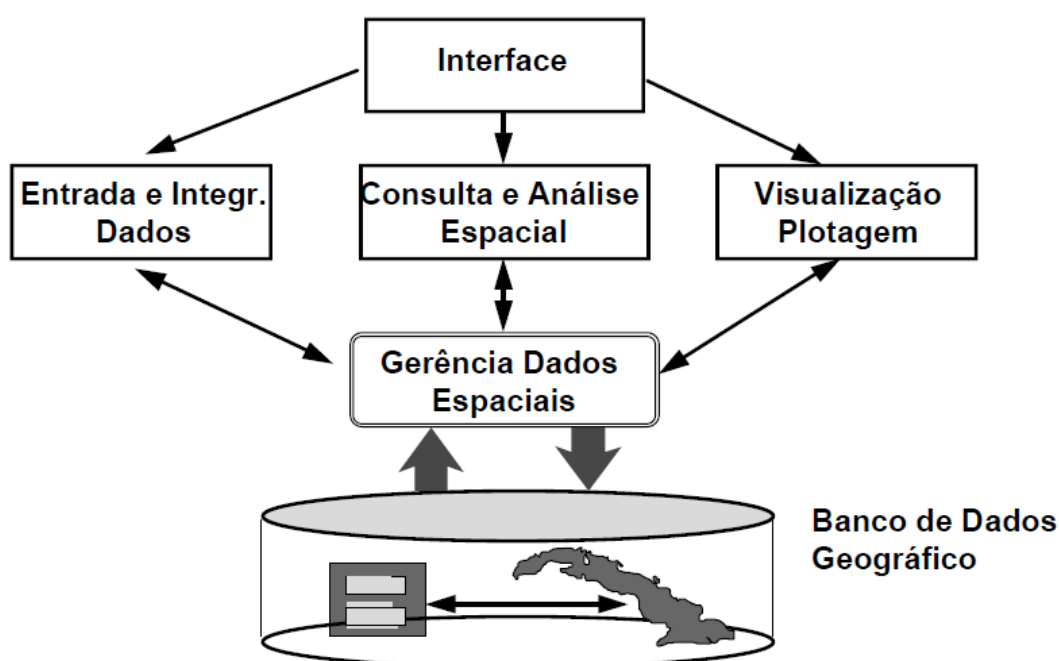


Figura 1 - Estrutura geral de um Sistema de Informações Geográficas.

Fonte: Davis e Câmara (1991).

A Figura 02, abaixo, apresenta o aspecto geral de um programa de SIG, que geralmente é constituído por uma janela central de visualização de mapas, um menu que possibilita alterar as propriedades das camadas de informação (no caso, à esquerda) e uma série de ferramentas acessadas pela interface.

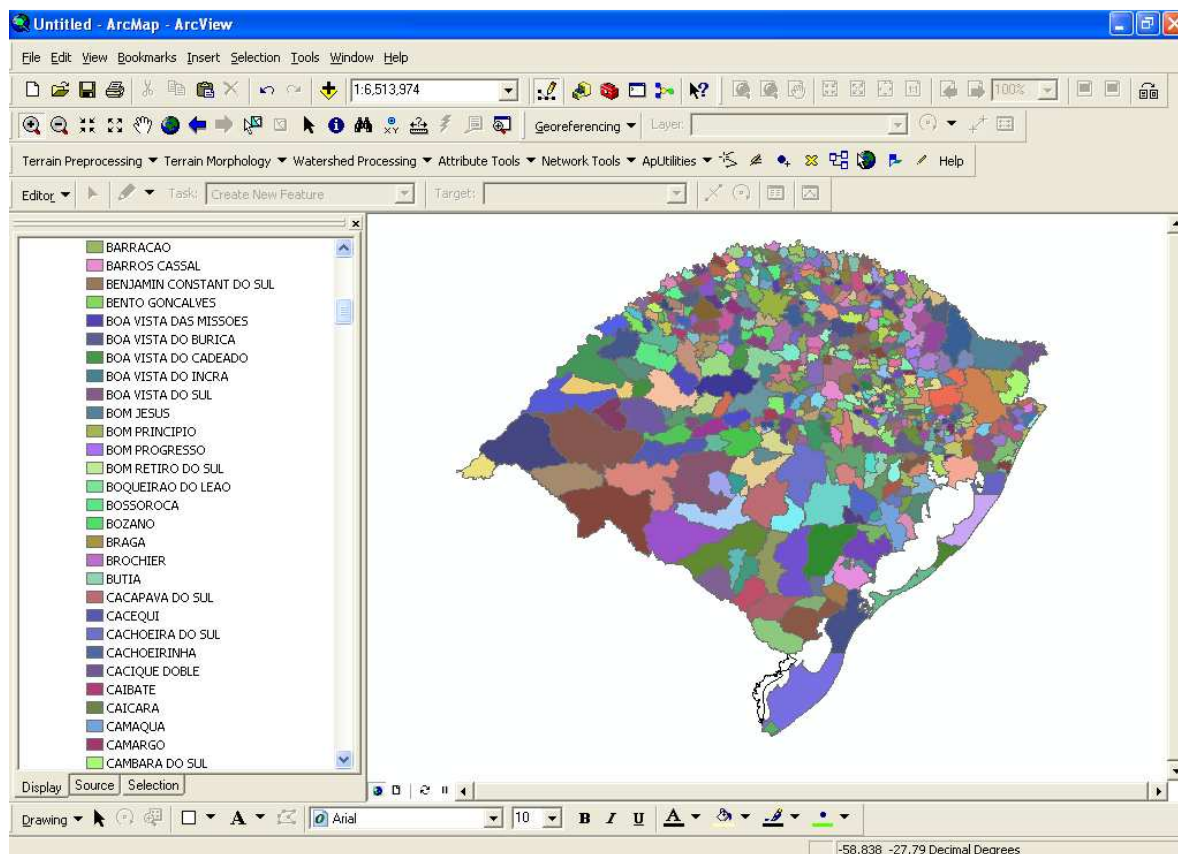


Figura 2 – Exemplo do aspecto geral de um programa de SIG, na imagem, o ArcGIS®.

Pode-se dizer, de forma genérica, se *onde* é importante para um projeto, então um SIG é a ferramenta de trabalho. Sempre que *onde* aparece dentre as questões e problemas que precisam ser resolvidos, haverá uma oportunidade para considerar a adoção de um SIG. Este conceito, no contexto da Engenharia Ambiental, simplifica a importância da utilização destes programas, uma vez que *onde* é sempre importante neste campo de trabalho.

2.1.2 Programas de SIG

Segundo AMES (2006), a indústria dos Sistemas Geográficos de Informação é largamente desenvolvida sobre uma coleção relativamente pequena de programas comerciais. Porém, nos últimos anos, os usuários de programas de SIG têm se

deparado com algumas opções de softwares livres, inclusive alguns que possuem o código aberto e permitem a criação de ferramentas dentro do próprio programa.

Portanto, existem várias plataformas de geoprocessamento disponíveis, algumas pagas e outras livres. De uma maneira geral, constata-se que os programas pagos possuem maior número de ferramentas e suportam operações mais pesadas, com dados de dimensões maiores.

Dentre os programas que exigem a compra de uma licença, os que merecem mais destaque são o *IDRISI*[®] e o *ArcGIS*[®]. Este último, desenvolvido pela *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), é um dos programas mais utilizados atualmente, pois, além do grande número de ferramentas, ele possui uma arquitetura diferenciada, que facilita o trabalho.

Os programas livres normalmente são menos “equipados” ou não suportam operações com grande quantidade de dados, como os pagos. No entanto, o fato de o número de funcionalidades deles ser reduzido faz com que geralmente esses programas sejam mais simples de serem utilizados.

Ainda, existem empresas ou usuários individuais de programas de SIG que desenvolvem aplicações de geoprocessamento específicas, utilizando códigos de programação disponíveis internamente nos softwares. Esta é uma vantagem dos programas de uso livre, uma vez que a distribuição de ferramentas personalizadas em programas pagos não é desejada. O alto custo das plataformas comerciais de SIG pode criar um problema, especialmente quando a ferramenta desenvolvida é intencionada para o uso individual ou por entidades que não possuem recursos financeiros para adquirir programas comerciais (AMES, 2006).

Um exemplo desta constatação é dado por Cirillo et al. (1997), que optou por implantar o sistema de informações de recursos hídricos do estado de Pernambuco sem a utilização de produtos de SIG comerciais, para garantir uma democratização da base de dados e facilitar o seu acesso. Neste caso, foi criado um sistema próprio denominado SIRH (Sistema de Informações de Recursos Hídricos), desenvolvido em linguagem *visual basic* e sem a funcionalidade de um SIG. Santos e Zeilhofer (2005) salientam que esta solução reduz a funcionalidade do sistema para a realização de análises ou modelagens.

Dentre os programas de SIG livres disponíveis, encontram-se o *SPRING*[®] (desenvolvido no Brasil pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE), *WhiteboxGAT*[®] (antigo Terrain Analysis System, TAS) e o *MapWindow GIS*[®], que é apresentado de forma mais detalhado no Capítulo 3 deste trabalho.

2.2. MODELOS HIDROLÓGICOS

2.2.1. Generalidades

Os modelos hidrológicos são representações matemáticas do comportamento dos sistemas hídricos. Destacam-se entre estes modelos os de transformação chuva-vazão, que representam os processos de transformação da precipitação em escoamento e a propagação deste escoamento em uma bacia hidrográfica.

Modelos hidrológicos do tipo chuva vazão podem ser classificados de acordo com os conceitos físicos considerados no seu desenvolvimento e com base na abrangência espacial (Tucci, 1998). Modelos hidrológicos que procuram representar os processos hidrológicos internos, além da vazão de saída, são conhecidos como modelos conceituais, ou de base física. Modelos hidrológicos que representam

apenas as variáveis de saída a partir das variáveis de entrada, sem uma preocupação em representar os processos internos do sistema, são conhecidos como modelos empíricos, ou de "caixa-preta".

Com relação à variabilidade espacial, modelos que representam a variabilidade espacial das variáveis de entrada e das variáveis de estado são chamados de modelos distribuídos. Já os modelos que representam o sistema hídrico ou a bacia hidrográfica como uma entidade adimensional são chamados de modelos concentrados.

Os modelos concentrados representam uniformemente a bacia hidrográfica estudada e geralmente utilizam equações empíricas ou conceituais para representar o ciclo hidrológico. Segundo Paiva (2009), a maior preocupação dos modelos concentrados é a geração correta do hidrograma de saída, sem compromisso com os demais processos hidrológicos intermediários. A principal função destes modelos é responder a questões práticas de engenharia, como o dimensionamento de estruturas hidráulicas.

Com a melhora da capacidade computacional, avanços na área de geoprocessamento e o aumento da preocupação com os impactos de alterações ambientais sobre o ciclo hidrológico, surgiram os modelos hidrológicos semi-distribuídos e distribuídos. Eles superam as limitações dos modelos concentrados ao representarem com maior exatidão física os processos intermediários do ciclo hidrológico como infiltração, evapotranspiração e interceptação. Estes são chamados de modelos hidrológicos de base física (PAIVA, 2009).

Para a simulação do comportamento de uma bacia hidrográfica, estes modelos utilizam, então, uma série de equações com dados de entrada complexos,

como uso do solo na região estudada, precipitação ao longo do tempo, e outras variáveis climáticas. Como resultados, são geradas informações hidrológicas ao longo de vários pontos da bacia hidrográfica estudada, como vazão nos rios e balanços de água no solo.

2.2.2 Integração entre Modelos Hidrológicos e SIG

A maior limitação da utilização de modelos hidrológicos distribuídos é a necessidade de manipulação de grande quantidade de dados relacionados à variabilidade espacial e temporal das características que descrevem a heterogeneidade do comportamento hidrológico (TUCCI, 1998; MACHADO, 2002; PAIVA, 2009).

Os SIG, com a sua capacidade de geração de bancos de dados espaciais e processamento das informações, são a ferramenta que possibilita a eliminação da dificuldade de obter-se uma descrição espacial detalhada da região de estudo. Dentre as variáveis comumente utilizadas como dados de entrada em modelos hidrológicos que podem ser fornecidas pelos SIG pode-se citar tipo e uso do solo, cobertura vegetal e distribuição de feições hidrológicas (MELO ET. AL., 2008a).

Ainda, para a tomada de decisão e solução de problemas relacionados aos recursos hídricos, os SIG possibilitam a apresentação e interpretação visual de informações de entrada e saída dos modelos hidrológicos. Isto permite uma interação dinâmica do usuário com os dados de entrada e com a área de estudo, facilitando alterações e desenvolvimento de cenários, e fornecendo uma visão mais compreensível da região de interesse (MARTIN ET. AL., 2005; JOHNSON, 2009).

2.2.2.1 Histórico da integração entre SIG e Modelos Hidrológicos

Com suas raízes históricas nas disciplinas de cartografia computacional e processamento digital de imagens, os SIG são atualmente uma ferramenta altamente difundida para a solução de problemas que dependem de avaliações espaciais precisas e eficientes (MARTIN ET. AL., 2005; SUI & MAGGIO, 1999).

Apesar do seu uso abrangente, a tecnologia SIG não foi especificamente desenvolvida para a modelagem de problemas de engenharia; inicialmente ela foi desenvolvida como uma ferramenta para armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados geográficos. Contudo, com o já citado contínuo declínio do custo das tecnologias computacionais e o concomitante aumento na velocidade dos processadores, a tecnologia SIG foi disseminada entre os pesquisadores, desenvolvedores e usuários de modelos (MARTIN ET. AL., 2005).

Tratando-se da área de recursos hídricos, por volta das décadas de 1970 e 1960, surgiram as primeiras idéias de se integrar os SIG aos estudos hidrológicos, com o desenvolvimento de algumas aplicações pouco integradas (MELO ET. AL., 2008). Os primeiros esforços do uso de SIG se concentraram paralelamente em duas áreas: a aplicação da ferramenta para a obtenção de parâmetros de entrada para os modelos hidrológicos, e a utilização do SIG como interface para modelos de simulação (MARTIN ET. AL., 2005).

O primeiro modelo hidrológico que se baseou em SIG para a obtenção de seus parâmetros foi o Topmodel (BEVEN & KIRKBY, 1979). Ele é um modelo que prediz a vazão em chuvas de curta duração baseado na topografia obtida através de um MDE (Modelo Digital de Elevação).

Outro exemplo de modelo que utiliza SIG para a estimativa de seus dados de entrada pode ser encontrado no trabalho de Moore et al. (1988), onde um SIG é utilizado para prover atributos topográficos para a modelagem hidrológica e de qualidade da água em uma bacia hidrográfica. Ou no trabalho de Olivierie et al. (1991), que utilizou um software SIG para obter dados de entrada para um modelo de alterações na qualidade da água devido a fontes difusas de poluição.

Paralelamente, trabalhos que incluíram o uso do SIG como uma interface para a modelagem hidrológica podem ser encontrados em projetos como o de Hession & Shanholtz (1988) e o de Tim et al. (1992), que também construíram modelos de interferências na qualidade da água devido a fontes de poluição difusas.

De uma maneira geral, pode-se afirmar que a maior compreensão da integração entre a modelagem hidrológica e os sistemas de informação geográfica começou em meados da década de 1990 (MELO ET. AL., 2008b), onde pesquisadores como Berry & Sailor (1987) tentaram construir funções de geoprocessamento que representassem transformações chuva-vazão. Na época, Petts (1995) classificou a integração destas duas tecnologias como a mais moderna abordagem geográfica em hidrologia.

Desde então, muitos outros modelos têm sido desenvolvidos de alguma forma integrada aos SIG, buscando não única e necessariamente processar a modelagem dentro do SIG, mas sim uma melhoria na estimativa dos parâmetros dos modelos conceituais, a parametrização das unidades espaciais em modelos distribuídos por sub-bacias, a subdivisão automatizada da bacia em unidades hidrológicas semelhantes, a contextualização espacial dos resultados e a simplificação da aplicação do modelo (GOODCHILD ET AL., 1992; MOORE, 1996; FERRAZ ET AL.,

1999; ZEILHOFER ET AL, 2003; WHITEAKER & MAIDMENT, 2004; COELHO, 2006).

2.2.2.2 Formas de Integração

Segundo Goodchild (1993) e Mizgalewics & Maidment (1996) *apud* Zeihofer et al. (2003), existem três funções principais que são contribuições dos SIG à modelagem hidrológica:

- i. Pré-processamento de dados espaciais: o SIG é utilizado para gerar informações espaciais de entrada no modelo hidrológico.
- ii. Suporte direto na modelagem: tarefas são executadas diretamente dentro do SIG, como ajustes e verificações.
- iii. Pós-processamento: os resultados do modelo hidrológico são trabalhados e visualizados dentro do SIG no seu contexto espacial.

Para Tsou & Whittmore (2001), os SIG e os modelos hidrológicos podem ser integrados de duas maneiras:

- i. Integração por meio de uma interface de transferência de dados, onde o modelo hidrológico funciona desvinculado ao SIG, apenas utilizando os seus produtos e/ou exportando resultados para dentro do SIG.
- ii. Integração das equações do modelo ao *software* de Sistemas de Informações Geográficas.

Nyerges (1991) sugere uma classificação mais rebuscada, onde existem três níveis de acoplamento, com diferentes estratégias de integração:

- i. *Acoplamento livre:* O modelo funciona desvinculado ao SIG, que é usado apenas para pré, pós-processamento e visualização de feições espaciais e/ou resultados.
- ii. *Acoplamento próximo ou rígido:* O modelo funciona junto ao SIG, com todas as funções de geração, processamento e visualização funcionando através do SIG. Porém, a modelagem funciona de forma paralela, sendo o SIG necessário para que ela seja ativada (a interface do modelo é o SIG).
- iii. *Acoplamento Pleno:* As equações de modelagem hidrológica são programadas dentro do código do próprio SIG, ou uma estrutura de SIG é programada dentro do próprio modelo hidrológico. Esta forma de acoplamento possui, portanto, duas subdivisões.

Esta sugestão de classificação dada por Nyerges é muito semelhante à de Tsou & Whittmore, com a adição da classificação por acoplamento próximo (ou rígido). Desta maneira, podemos considerar esta classificação como mais completa. A seguir, um breve relato sobre as vantagens e desvantagens de cada um dos métodos de acoplamento é realizado.

Acoplamento livre ou solto

O acoplamento livre entre SIG e modelos hidrológicos consiste na transferência de dados gerados através do SIG para serem utilizados como entrada no modelo. Após a simulação, os dados de saída tipicamente são transferidos para o SIG novamente para a apresentação dos resultados e realização de análises espaciais.

Este tipo de acoplamento é largamente adotado por pesquisadores devido ao desenvolvimento relativamente fácil (programação computacional é mínima). Outra vantagem desta abordagem é que programações redundantes podem ser evitadas. No entanto a conversão de dados entre os diferentes programas pode ser lenta e propensa a erros, e o acoplamento é limitado pela dependência do SIG e do modelo a formatos específicos de dados (SUI & MAGGIO, 1999).

Esta abordagem raramente permite aos usuários utilizar completamente as capacidades funcionais do SIG (i.e. ferramentas de análise espacial), já que o SIG é utilizado majoritariamente como uma ferramenta de visualização (MARTIN, 2005). A Figura 03, abaixo, esquematiza o acoplamento solto.

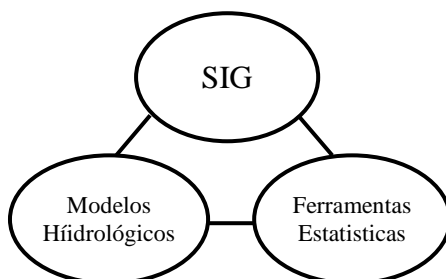


Figura 3 Acoplamento Solto entre SIG e Modelos Hidrológicos.
(Fonte: Adaptada de Sui & Maggio, 1999 *apud* Pereira Pessoa, 2010)

Acoplamento próximo ou rígido

No acoplamento próximo ou rígido (também conhecido como “combinado”), ao invés de transferências externas de arquivos os dados são trocados automaticamente entre o modelo hidrológico e o software SIG. Neste caso, a apresentação dos resultados do modelo é configurada como uma ferramenta interativa do SIG, e a preparação de dados de entrada e ativação do modelo é também feita através da interface do software (NYERGES, 1991; BURROUGH, 1990).

Esta abordagem aperfeiçoa o desempenho computacional e a interação entre os dois programas, traduzindo tudo para um ambiente de modelagem mais complexo (MARTIN, 2005). A Figura 04, abaixo, apresenta o acoplamento rígido de forma esquemática.

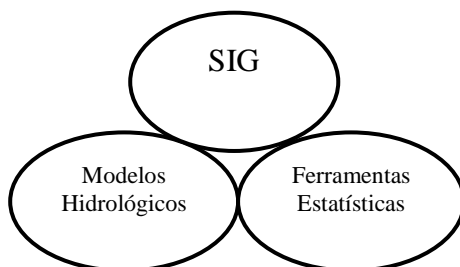


Figura 4 - Acoplamento próximo entre SIG e Modelos Hidrológicos.
(Fonte: Adaptada de Sui & Maggio, 1999 *apud* Pereira Pessoa, 2010).

Acoplamento pleno

O acoplamento pleno é a mais sofisticada forma de integração entre SIG e modelos hidrológicos. Ele é baseado na incorporação dos componentes funcionais de um sistema no outro, eliminando a necessidade de transferências intermediárias entre os softwares (LIAO & TIM, 1997).

O acoplamento pode consistir tanto na incorporação do SIG ao modelo hidrológico, como do modelo hidrológico ao SIG. As Figuras 05 e 06, a seguir, esquematizam estas duas formas de trabalho.

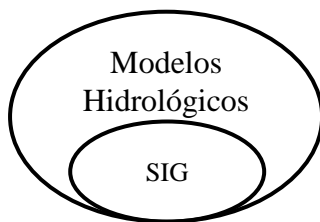


Figura 5 - SIG embutido em Modelos Hidrológicos.
(Fonte: Adaptada de Sui & Maggio, 1999 *apud* Pereira Pessoa, 2010)

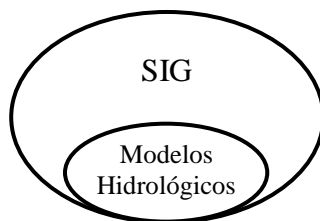


Figura 6 - Modelos Hidrológicos embutidos em SIG.
(Fonte: Adaptada de Sui & Maggio, 1999 *apud* Pereira Pessoa, 2010)

O grande inconveniente do primeiro enfoque (Figura 05) é que as funcionalidades de gerenciamento de dados e visualização dos softwares de modelagem hidrológica não são em absoluto comparáveis com os as capacidades disponíveis nos pacotes de softwares de SIG comerciais, além dos esforços de programação tenderem a ser intensos e muitas vezes redundantes (SUI & MAGGIO, 1999).

No segundo caso, ilustrado na Figura 06, o modelo hidrológico opera internamente ao software SIG, aproveitando as funcionalidades do mesmo para sobreposição de camadas de informação e gerenciamento espacial de variáveis. Devido à relativa complexidade envolvida no desenvolvimento destes sistemas, poucas tentativas desta forma de acoplamento podem ser encontradas na literatura. Comumente, os sistemas plenamente integrados utilizam equacionamentos simplificados e possuem funcionalidades limitadas em relação a operações como calibração automática (LIAO & TIM, 1997; SUI & MAGGIO, 1999; MARTIN, 2005).

2.2.2.3 SIG e Modelos Hidrológicos Atualmente

Atualmente, existe uma série de casos de sucesso de modelos hidrológicos que funcionam em diferentes níveis de acoplamento aos Sistemas de Informação Geográfica.

Um exemplo clássico de acoplamento livre é o modelo QUAL2E (USEPA, 1995), que utiliza como dados de entrada informações de um pré-processador espacial que prepara dados advindos de um SIG para a utilização na modelagem de qualidade da água.

Outro exemplo de acoplamento livre é o pré-processador HEC-PREPRO, desenvolvido pelo corpo de engenheiros do exército dos Estados Unidos da América (*US Army Corps of Engineers – USACE*, 2003), que prepara dados advindos do ARCVIEW® (ESRI) para a utilização do modelo HMS.

Como exemplo de integração plena, o modelo de vazão e transporte de sedimento desenvolvido por De Rêo (1998) na plataforma *PC Raster* pode ser citado. Ainda, os modelos SWAT (ARNOLD ET. AL., 1998) e BASINS (USEPA, 1998), funcionam em um acoplamento rígido a plataformas de SIG.

De uma forma geral pode-ser dizer que o acoplamento livre de SIG aos modelos hidrológicos não restringe a resolução ou a capacidade de processamento espacial dos dados de entrada do modelo como acontece quando se tem um acoplamento rígido ou pleno, uma vez que estes últimos têm sua qualidade diretamente proporcional às funcionalidades do SIG a que ele está vinculado.

Da mesma forma, nos acoplamentos plenos ou rígidos a proximidade lógica e física entre os subsistemas é máxima e o funcionamento das tarefas funcionais do

modelo são otimizadas, bem como a sua utilização é facilitada pela apresentação visual dos dados.

Contudo, é consenso que nos padrões atuais de modelagem hidrológica é impossível a utilização de um modelo distribuído sem que exista algum tipo de acoplamento a uma plataforma de SIG que possibilite uma descrição espacial detalhada da região de estudo.

CAPÍTULO 3: MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia de integração de modelos hidrológicos e SIG adotada neste trabalho consistiu na integração do modelo hidrológico de grandes bacias MGB-IPH (COLLISCHONN & TUCCI, 2001) com um software livre de SIG, denominado *MapWindow GIS*[®].

Foi desenvolvido um acoplamento do tipo próximo (ou rígido), descrito por Nyerges (item 2.2.2.2 deste trabalho), em que os programas computacionais do modelo hidrológico e do SIG rodam de forma independente e são integrados através da troca interna de informações por arquivos. Além disto, a execução do modelo hidrológico é realizada via interface desenvolvida dentro do SIG.

Esta forma de integração foi adotada para que as atividades de integração com o SIG não prejudicassem o desenvolvimento do próprio modelo hidrológico, que pode ser aplicado independentemente do SIG.

A seguir, são apresentados os materiais utilizados na construção desta integração.

3.1 O MGB-IPH

3.1.1. Introdução

O Modelo Hidrológico de Grandes Bacias, MGB-IPH, foi desenvolvido para simular o processo de transformação da chuva em vazão em grandes bacias hidrográficas (COLLISCHONN *et al*, 2007). O modelo foi baseado nos modelos LARSIM (Ludwig *et al.*, 2006) e VIC (LIANG ET AL., 1994), com algumas

modificações nos módulos de evapotranspiração, percolação e propagação de vazões.

A versão original do modelo adotava uma subdivisão da bacia hidrográfica em elementos regulares (células quadradas), de cerca de 10 x 10 km. Atualmente, é adotada no MGB-IPH uma discretização da bacia em unidades irregulares, definidas a partir de dados do relevo de um Modelo Digital de Elevação (MDE), e denominadas mini-bacias. A Figura 07, abaixo, apresenta um exemplo da divisão de uma bacia hidrográfica em Mini-Bacias.

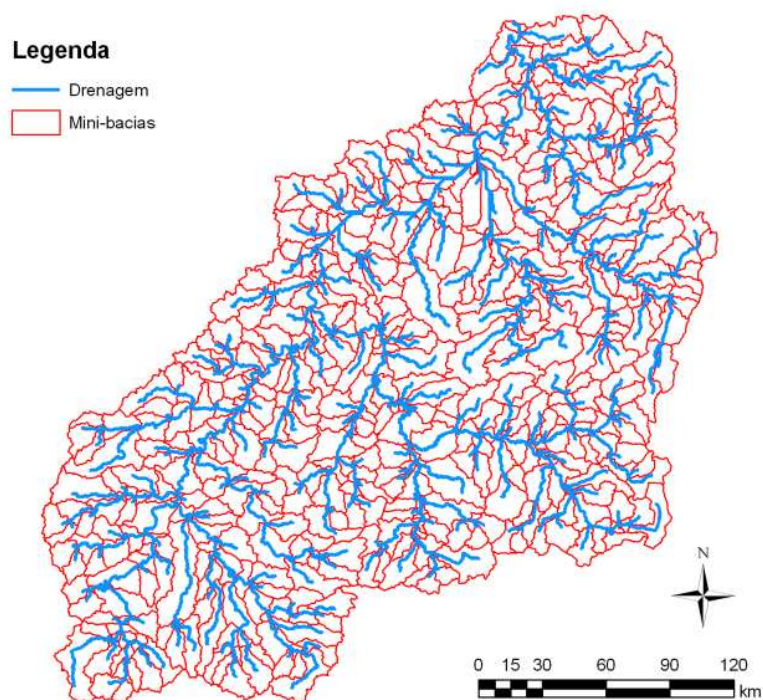


Figura 7 – Divisão em mini-bacias da bacia dos rios Almas e Maranhão.

Esta etapa de divisão da área de estudo em unidades menores, denominada discretização da bacia hidrográfica, é uma fase fundamental da aplicação de um modelo hidrológico distribuído. Existem vários métodos de discretização de bacias,

que podem subdividir a área em unidades regulares (como quadrados e retângulos) ou unidades irregulares (tipicamente bacias menores) (PAZ ET AL., 2011).

Esta subdivisão da bacia em mini-bacias, adotada nas versões mais recentes do modelo MGB-IPH é proveniente da aplicação das ferramentas disponibilizadas pelo pacote ArcHydro Tools (MAIDMENT, 2002; ESRI, 2007; PAIVA, 2009; FAN ET AL., 2010).

No modelo MGB-IPH, também, a bacia hidrográfica pode ser subdividida em sub-bacias, que são macro áreas de drenagem que abrangem várias mini-bacias e compõem a bacia hidrográfica estudada. Esta subdivisão opcional pode ser utilizada para facilitar a calibração do modelo hidrológico. O Quadro 1 apresenta um sumário do esquema de subdivisão de bacia hidrográfica que é adotado no MGB-IPH.

Quadro 1 - Esquema de subdivisão da bacia hidrográfica de estudo adotado no MGB-IPH.

Unidade	Descrição
Bacia Hidrográfica	Região hidrográfica de estudo simulada pelo modelo.
Sub-bacia Hidrográfica	Subdivisão da bacia hidrográfica de estudo em grandes áreas de drenagem.
Mini-bacia Hidrográfica	Subdivisão das sub-bacias hidrográficas em pequenas regiões. São formadas pela área de drenagem de cada trecho da hidrografia.
Trecho da hidrografia	Trecho da feição que representa a hidrografia compreendido entre duas confluências ou entre uma confluência e uma nascente.

Ainda, para a simulação hidrológica, as mini-bacias que compõem a bacia hidrográfica são subdivididas em Unidades de Resposta Hidrológicas (URH ou HRU – Hydrological Response Unit), que são áreas de comportamento hidrológico similar. Considera-se que o comportamento hidrológico das URHs possa ser explicado por características físicas relacionadas aos solos (e.g. capacidade de armazenamento

d'água, profundidade, porosidade, condutividade hidráulica) e a cobertura vegetal (e.g. índice de área foliar, interceptação, profundidade das raízes, albedo).

Desta forma, as URHs são geralmente definidas através da superposição de dois mapas distintos de uma mesma região: 1) mapa de tipos de solo; 2) mapa de uso da terra e vegetação, ou mapa de "uso do solo". Porém, adicionalmente podem ser considerados outros tipos de informação, como, por exemplo, a topografia e a litologia local. Estas informações são derivadas a partir de imagens de satélite ou de mapas digitalizados.

A Figura 08, abaixo, retirada de Paiva (2009), representa o esquema de construção das URHs (também chamadas informalmente de “blocos”). A Figura 09 apresenta um exemplo de URHs geradas para a bacia dos rios Almas-Maranhão.

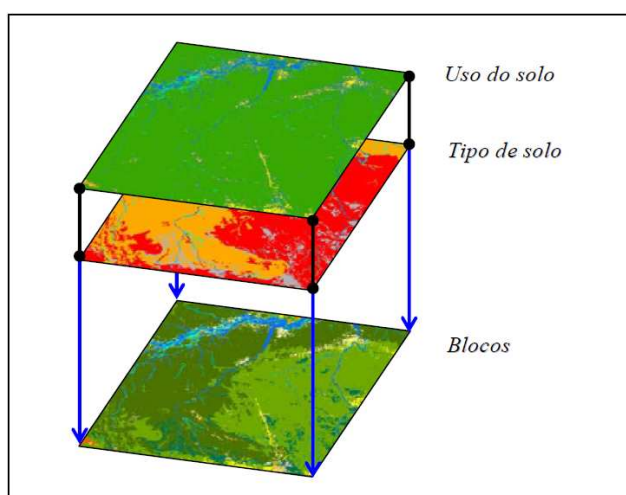


Figura 8 – Representação esquemática do procedimento de geração das HRUs.
(Fonte: Paiva, 2009).

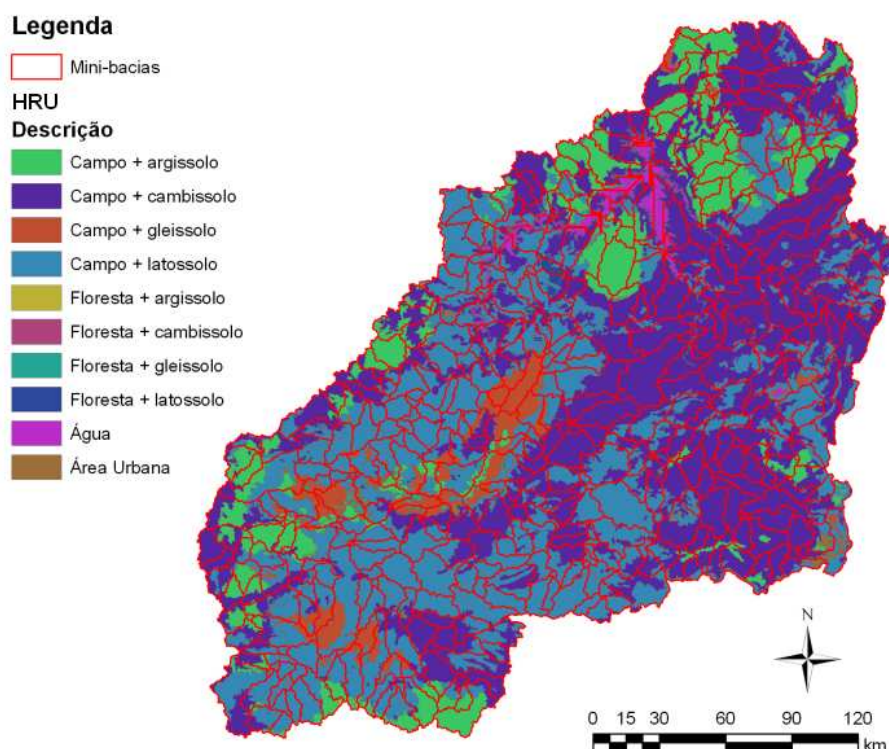


Figura 9 – Exemplo de URHs geradas para a bacia dos rios Almas e Maranhão para a aplicação do modelo MGB-IPH.

O número de URHs definidas para uma bacia hidrográfica depende da quantidade de classes de tipos e usos de solo existentes. Existindo, por exemplo, quatro tipos de solos e cinco classes de vegetação e usos da terra, a sobreposição destes dois mapas levaria a um número potencial de (4×5) 20 URHs. Entretanto, algumas destas combinações simplesmente não ocorrem, seja por acaso ou porque certos tipos de vegetação ou uso da terra são incompatíveis com certos tipos de solos.

De qualquer forma, a definição das URHs é subjetiva, deve ser criteriosa e realizada com parcimônia, pois quanto mais classes forem definidas, mais difícil será o processo de calibração e verificação do modelo por causa do grande número de graus de liberdade associado à variação dos valores dos parâmetros. Além disso,

não necessariamente há grande benefício no uso de um maior número de URHs em termos de melhoria da representação dos hidrogramas.

Portanto, a etapa de construção das URHs é uma das mais técnicas e importantes na aplicação do MGB-IPH, exigindo conhecimentos específicos sobre variáveis ambientais que compõem os diferentes compartimentos de uma bacia hidrográfica (FAN ET AL., 2010c).

Em termos de representação matemática, para simular o processo vertical de evapotranspiração em cada mini-bacia o modelo utiliza o método de Penman Monteith. A interceptação, ou retenção da água da chuva pela vegetação, é simulada através de um reservatório de volume dependente da cobertura vegetal.

A geração de escoamento é baseada em um balanço de água no solo, onde o escoamento superficial é gerado por excesso de capacidade de armazenamento, com uma relação probabilística entre a umidade do solo e a fração de área do solo saturada (onde a infiltração é nula).

O modelo também simula os processos que ocorrem em subsuperfície, de escoamento subterrâneo, percolação ao aquífero e fluxo de água do aquífero para a zona não saturada em uma situação de stress hídrico. Todos através de relações com o volume de água no solo.

O processo horizontal de propagação da água na superfície e no aquífero até a rede de drenagem é representado pela propagação da água através de reservatórios lineares. A propagação de vazões nos trechos de rio é realizada utilizando o método de Muskingum-Cunge linear.

Collischonn (2006) destaca que o modelo MGB-IPH já foi aplicado com sucesso em várias bacias brasileiras com diferentes características. A Figura 10 mostra algumas das bacias em que o modelo já foi aplicado:

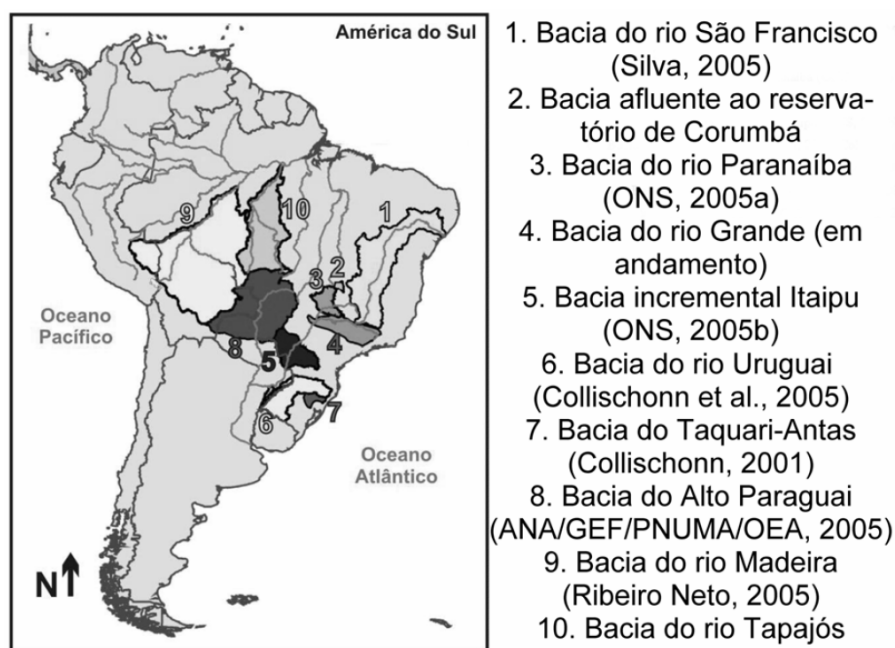


Figura 10 - Bacias sul-americanas em que o modelo MGB-IPH foi aplicado com sucesso.
Fonte: Collischonn (2006).

Informações mais detalhadas sobre as equações utilizadas pelo modelo podem ser obtidas em Collischonn (2001), Collischonn & Tucci (2001) e Paiva (2009).

3.1.2 Dados de Entrada do Modelo MGB-IPH

3.1.2.1 Dados Espaciais

O modelo MGB-IPH necessita da aplicação de geoprocessamento para a preparação dos seus dados de entrada com informações espaciais, como a discretização em mini-bacias da bacia hidrográfica modelada e definição das Unidades de Resposta Hidrológica (URHs).

Conforme citado, atualmente o modelo utiliza um esquema de discretização da bacia hidrográfica resultante da aplicação das ferramentas do pacote ArcHydro Tools (esta ferramenta é tratada de forma mais aprofundada em capítulo subsequente).

Com o programa de SIG, após uma seqüência de processamentos, são gerados vários arquivos com informações da bacia desejada e que são importantes na aplicação do MGB-IPH. O Quadro 02, a seguir, apresenta um resumo das informações que devem ser geradas com o SIG para utilização no modelo hidrológico.

Quadro 2 – Dados espaciais que devem ser gerados utilizando o SIG.

Informação	Descrição
Modelo Digital de Elevação	Topografia digital da bacia em células quadradas. Comumente utiliza-se a disponibilizada pela <i>Shuttle Radar Topography Mission</i> (SRTM).
Direções de Fluxo	Arquivo em que cada célula quadrada tem um código que indica a direção em que a água escoa naquele local.
Área Acumulada	Arquivo em que o valor de cada célula que compõe a bacia corresponde ao número de células localizadas a montante.
Rede de Drenagem	Mapa com a rede de drenagem representada por células quadradas.
Mini-bacias	Bacia hidrográfica de cada trecho de rio.
Sub-bacias	Unidades maiores do que as mini-bacias e menores do que a bacia, úteis dentro do MGB-IPH para a definição de valores de parâmetros e para os procedimentos de calibração.
Unidades de Resposta Hidrológica	Unidades de Resposta Hidrológica, definidas através do cruzamento de informações de uso do solo, solo e geologia.

3.1.2.2 Dados Hidrológicos, Climatológicos e Parâmetros

Para o uso do MGB-IPH, dados como informações fluviométricas e pluviométricas da bacia hidrográfica simulada devem ser obtidos externamente, processados, e então utilizados como entrada no modelo. Outras informações hidrológicas devem simplesmente ser preparadas pelo usuário do modelo.

Até o momento do desenvolvimento do presente trabalho, todas estas informações eram geradas de forma manual pelo usuário, onde cada arquivo possui formatos específicos (e variados conforme a bacia hidrográfica simulada) e não existiam ferramentas de apoio aos usuários para a preparação destas. Além disto, para gerar estas é necessária uma interação com informações espaciais da bacia simulada, como a localização dos postos fluviométricos, pluviométricos e meteorológicos.

O Quadro 03, seguinte, descreve sucintamente os dados hidrológicos, climatológicos e parâmetros de entrada do modelo MGB-IPH e opções de como alguns deles podem ser obtidos.

Quadro 3 – Dados hidrológicos de entrada do modelo MGB-IPH.

Informação	Descrição
Dados de Chuva	Precipitação diária em pontos da bacia hidrográfica em milímetros de chuva. Pode ser obtida através de dados de pluviômetros, como os disponibilizados pela ANA no sistema Hidroweb (http://hidroweb.ana.gov.br/).
Dados de Vazão	Informações diárias de vazão providas de estações fluviométricas na bacia hidrográfica. Também podem ser obtidas através do sistema Hidroweb (http://hidroweb.ana.gov.br/).
Dados de Clima	Médias climáticas mensais dos parâmetros Temperatura, Vento, Umidade Relativa, Insolação e Pressão da região de estudo. Adicionalmente, podem ser utilizados dados diários. Exemplos de locais onde os dados podem ser encontrados são a página do INMET, o sistema Hidroweb ou através de informações de satélite.
Parâmetros Fixos	Parâmetros fixos das URHs. Os parâmetros fixos são aqueles cujos valores podem ser medidos, ou que podem ser relacionados à vegetação, e não são alterados no processo de calibração do modelo..
Parâmetros Calibráveis	Parâmetros calibráveis, que podem estar associados as URHs, ou diretamente às mini-bacias. Os parâmetros calibráveis são alterados durante a calibração do modelo, buscando um bom ajuste entre os dados de vazão observados e calculados.

Os Quadros 04 e 05, a seguir, apresentam em maior detalhe os parâmetros fixos e calibráveis que devem ser dados pelo usuário como entrada do modelo MGB-IPH.

Quadro 4 – Parâmetros fixos do modelo MGB-IPH.

Parâmetro Fixo	Descrição
Índice de Área Foliar (IAF)	O IAF expressa a relação entre a área das folhas de todas as plantas e da área de uma parcela de solo. É um parâmetro adimensional ($m^2 \cdot m^{-2}$) e que, em geral, pode ser medido ou estimado a partir de informações na bibliografia.
Albedo	O albedo é a parcela da radiação solar que é refletida ao atingir a superfície do solo, considerando sua cobertura vegetal.
Resistência Superficial	A resistência superficial representa a resistência ao fluxo de umidade do solo, através das plantas, até a atmosfera. Esta resistência é diferente para os diversos tipos de plantas e depende de variáveis ambientais como a umidade do solo, a temperatura do ar e a radiação recebida pela planta.
Altura do Dossel	A altura média da vegetação é utilizada no modelo hidrológico para estimar a resistência aerodinâmica, que atua no controle da evapotranspiração. Quanto maior a resistência aerodinâmica, menor é o fluxo de evapotranspiração. A resistência aerodinâmica é considerada menor em florestas, onde a altura média da vegetação é maior e intensifica a turbulência do vento.

Quadro 5 – Parâmetros calibráveis do modelo MGB-IPH.

Parâmetro Calibrável	Descrição
Capacidade de Armazenamento do Solo (W_m)	Capacidade de armazenamento de água no solo.
Forma da relação entre armazenamento e saturação (b)	Parâmetro empírico relacionado que define a variabilidade da capacidade de armazenamento do solo em torno de W_m . Atua principalmente na forma dos picos dos hidrogramas calculados.
Vazão durante a estiagem (K_{bas})	Parâmetro que controla a vazão durante a estiagem. Valores mais altos implicam em maior escoamento subterrâneo.
Quantidade de água que escoa subsuperficialmente (K_{int})	Parâmetro controla a quantidade de água da camada de solo que escoa subsuperficialmente.
Forma da curva de redução da drenagem intermediária (α_1)	Controla a forma da curva de redução da drenagem intermediária ou sub-superficial do solo.
Fluxo do reservatório subterrâneo para a camada superficial (CAP)	Controla a possibilidade de retorno de água subterrânea para a camada de solo.

Parâmetro Calibrável	Descrição
Armazenamento Residual (Wc)	Limita o armazenamento residual e subterrâneo.
Calibração da propagação superficial (CI)	Parâmetro para calibração da propagação superficial nas mini bacias.
Calibração da propagação sub-superficial (CS)	Parâmetro para calibração da propagação subterrânea nas mini bacias.
Retardo do reservatório subterrâneo (CB)	Parâmetro que representa o retardo do reservatório subterrâneo.
Vazão de Base (QB)	Parâmetro que representa o fluxo de base da bacia hidrográfica.

3.1.3 Resultados Gerados Pelo Modelo

Como um modelo-chuva vazão convencional, o principal resultado gerado pelo MGB-IPH é a quantidade de água que passa ao longo do tempo nos exutórios das mini-bacias que compõem a área simulada. Contudo, outras informações sobre a região estudada também são geradas, como o balanço de água no solo, evapotranspiração diária e precipitação diária em cada mini-bacia.

3.2 O MAPWINDOW GIS®

A plataforma *MapWindow GIS*® (AMES, 2006; AMES ET AL, 2008) é um programa livre que contém um grande número de funcionalidades apresentadas de forma simples, que geralmente são suficientes para satisfazer as necessidades básicas de um usuário de SIG. Nele, todas as ferramentas fundamentais de visualização e acoplamento com bases de dados, que caracterizam um SIG, estão presentes. A Figura 11, abaixo, apresenta a janela principal de trabalho no MapWindow GIS®:

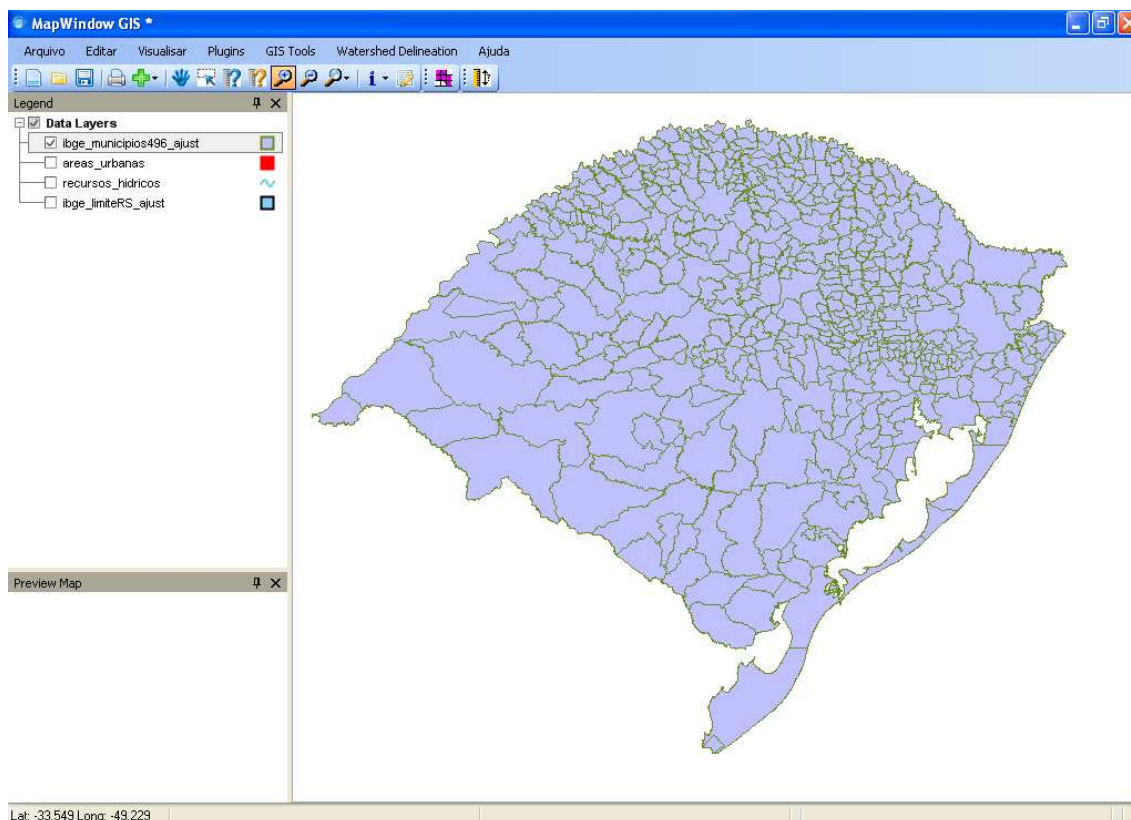


Figura 11 – Área principal de trabalho do software *MapWindow GIS*[®].

Contudo, o maior aspecto do *MapWindow GIS*[®] é que ele não é limitado puramente às funcionalidades básicas disponíveis, pois ele permite que interfaces personalizadas sejam adicionadas ao programa através de *plugins* programados em diferentes linguagens de programação (AMES, 2006; AMES ET AL, 2008).

No *MapWindow GIS*[®] é possível, portanto, o desenvolvimento de aplicações integradas, onde o usuário não necessita se preocupar com detalhes de armazenamento interno ou de implementação de rotinas de SIG, e sim customizar aplicações tendo disponível todas as funcionalidades do software, por exemplo as ferramentas de visualização, como zoom e pan, e as ferramentas de edição de legendas e alteração da simbologia.

Esta capacidade da plataforma SIG foi utilizada para o desenvolvimento deste trabalho, onde foi construída a integração entre o modelo hidrológico MGB-IPH e o *MapWindow GIS*®. A seguir, são dados maiores detalhes de como esta tarefa foi concretizada.

3.2.1 Programação de *Plugins* Dentro do *Mapwindow GIS*®

Um *plugin* pode ser definido como uma funcionalidade pré-programada que é utilizada para adicionar funções, ou ferramentas, ao programa no qual ele é instalado. No caso do *MapWindow GIS*®, os *plugins* consistem em programas compilados como bibliotecas de vínculo dinâmico, ou Dynamic-link library (DLL), que são programados em linguagem *Visual Basic .NET* ou *C#*, e são adicionados ao programa através de um procedimento simples de instalação (AMES, 2006). A Figura 12 apresenta o menu de habilitação de *plugins* do software *MapWindow GIS*®.

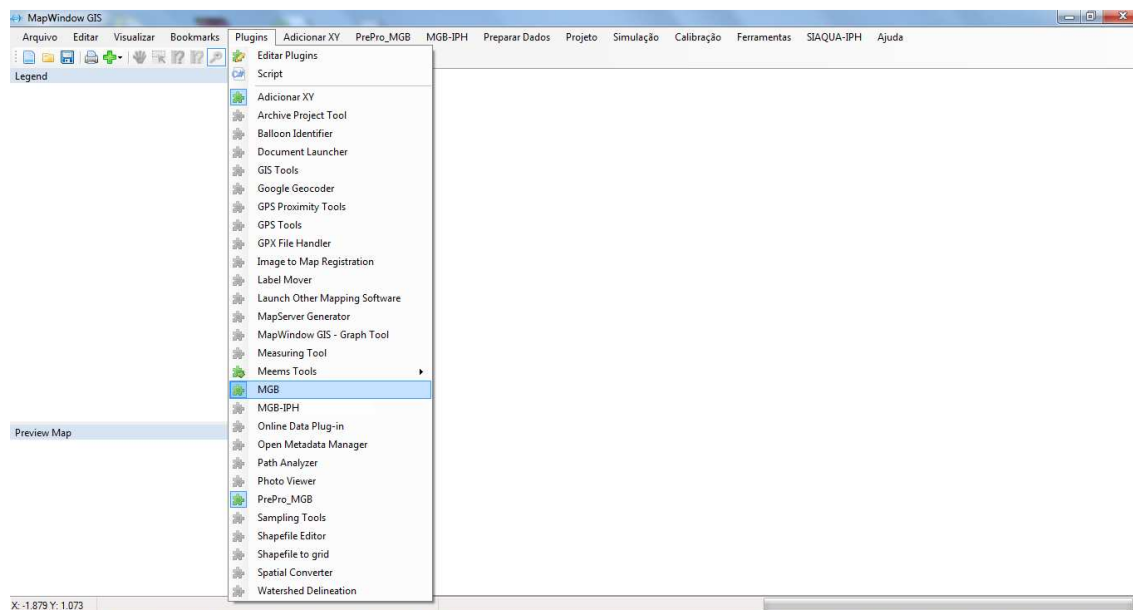


Figura 12 – Menu de habilitação de plugins do software MapWindow GIS®.

Os plugins adicionados ao software de SIG desta forma podem interagir com as propriedades, funções, e objetos geográficos do MapWindow GIS®, permitindo que funções de geoprocessamento sejam programadas de maneira dinâmica.

Desta forma, a integração desenvolvida entre o MGB-IPH e o software de SIG é realizada através da programação de um plugin com as ferramentas necessárias para a aplicação, além de outras auxiliares, do modelo hidrológico. A linguagem de programação utilizada foi a *Visual Basic .NET*.

3.3 INTEGRAÇÃO E USO DE BASES DE DADOS BRASILEIRAS

No Brasil a Agência Nacional de Águas (ANA) - autarquia federal, vinculada ao Ministério do Meio Ambiente – é o principal setor público a nível nacional responsável pela gestão e implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos (lei nº 9.433/97, também conhecida como “lei das águas”).

A Agência Nacional de Águas tem como missão implementar e coordenar a gestão compartilhada e integrada dos recursos hídricos e regular o acesso a água, promovendo o seu uso sustentável em benefício da atual e das futuras gerações, além de outras definições estratégicas centrais (ANA, 2011).

Como uma de suas atividades e visando cumprir seus objetivos, a ANA realiza o monitoramento hidrometeorológico no Brasil operando aproximadamente 4.543 estações de monitoramento das 14.822 existentes em todo o país (números que tem crescido nos últimos anos). Nestas estações são mesuradas informações hidrológicas como volume de chuvas, evaporação da água, nível e a vazão dos rios, quantidade de sedimentos e qualidade das águas, em estações respectivamente nomeadas: pluviométricas, evaporimétricas, fluviométricas, sedimentométricas e de qualidade da água (ANA, 2011).

As informações oriundas do monitoramento realizado pela ANA são disponibilizadas para o público através do Sistema de Informações Hidrológicas – HydroWeb e do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos - SNIRH

O sistema HydroWeb (Figura 13) é um portal online que oferece um banco de dados com todas as informações coletadas pela rede hidrometeorológica operada pela ANA. Trata-se de uma importante ferramenta para a sociedade, pois os dados

coletados pelas estações de monitoramento são utilizados para produzir estudos, definir políticas públicas e avaliar a disponibilidade hídrica (ANA, 2011).



Figura 13 – Página principal do portal HidroWeb.

Além das informações oriundas da rede de monitoramento da ANA, o portal HidroWeb também disponibiliza dados de outras fontes, como informações de monitoramentos de variáveis climáticas feitos pelo INMET. Todos os dados disponibilizados pelo sistema são arquivos com valores diários das variáveis monitoradas, em formato texto (".txt") ou Access (".mdb").

O portal HidroWeb pode ser considerado uma das principais fontes de dados hidrológicos sobre os recursos hídricos brasileiros e está disponível para qualquer pessoa interessada.

Por este motivo, a ferramenta desenvolvida, e apresentada neste trabalho, foi concebida para funcionar de forma integrada aos dados disponibilizados pelo portal, fazendo a leitura dos mesmos no formato em que são disponibilizados e possuindo

uma base de dados interna com a informação da localização de todas as estações de monitoramento da ANA.

3.4 A BIBLIOTECA ZEDGRAPH

O ZedGraph é um plugin, de uso livre, escrito em linguagem de programação C#. Ele é uma biblioteca de classes que permite a elaboração de gráficos de linhas 2D, gráficos de barra e gráficos de pizza. Ele pode lidar com vários objetos gráficos em uma página e permite uma sobreposição de objetos com uma imagens de fundo, além de possuir várias opções e padrões de personalização (STEINER ET AL., 2005).

O ZedGraph pode ser utilizado em programas de computador desenvolvidos em linguagens de programação VB .NET, onde toda a funcionalidade da biblioteca de classes fica contida em uma único arquivo com extensão DLL, que é adicionado ao programa. A Figura 14, abaixo, apresenta um exemplo de gráfico gerado com o ZedGraph desta forma.

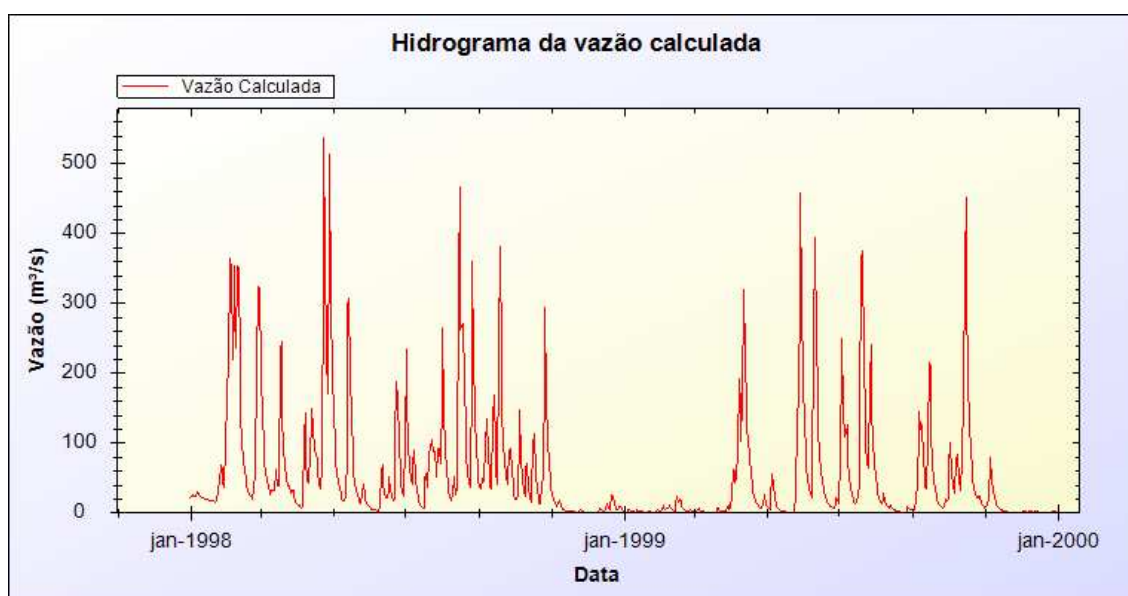


Figura 14 – Exemplo de gráfico gerado utilizando o ZedGraph.

No caso deste trabalho, o ZedGraph foi utilizado na ferramenta desenvolvida para adicionar a funcionalidade de geração de gráficos de curvas de permanência e hidrogramas. Com o ZedGraph, é possível realizar comparações visuais dos gráficos de vazões calculados pelo modelo hidrológico e os dados reais.

3.5 ARCHYDRO TOOLS

O ArcHydro Tools é um conjunto de ferramentas desenvolvido pela Universidade do Texas em parceria com a empresa ESRI (Environmental Systems Research Institute) para facilitar a integração de modelos hidrológicos e SIG (MAIDMENT, 2002; ESRI, 2007). O ArcHydro foi desenvolvido como uma ferramenta que opera internamente ao programa de SIG *ArcGIS®* para extrair informações a partir de Modelos Digitais de Elevação (MDE).

Através do ArcHydro é possível extrair informações para a modelagem de um sistema de bacias, como a delimitação das áreas de drenagem, declividades, traçado dos cursos d'água, divisão em unidades de bacia menores, entre outras. Além de representar os elementos da rede de drenagem, o pacote de ferramentas tem a capacidade de organizá-los de acordo com suas próprias características topológicas e identificar propriedades como os elementos de montante e jusante que compõem a mesma.

Conforme descrito anteriormente, a atual versão do MGB-IPH adota toda a estrutura de divisão da bacia hidrográfica em mini-bacias advinda da aplicação das ferramentas disponibilizadas pelo pacote ArcHydro Tools (PAIVA, 2009; FAN ET AL., 2010).

Desta forma, o presente trabalho não tem por objetivo alterar esta estrutura funcional e já bem estabelecida de aplicação do modelo, e o desenvolvimento aqui apresentado irá considerar a permanência da utilização do ArcHydro Tools para a preparação dos dados de entrada espaciais do MGB-IPH. O acoplamento com SIG aqui proposto diz respeito a todas as demais etapas de utilização do modelo.

Todavia, para o uso dos dados preparados com a utilização do ArcHydro Tools, se faz necessária a aplicação de um pré-processador, que reúne todas as informações contidas nos dados espaciais e gera um arquivo sintetizado de entrada para o modelo MGB-IPH. Este pré-processador é um software especialmente desenvolvido e denominado PrePro_MGB e, como parte deste trabalho, foi desenvolvida uma interface para a utilização do mesmo.

O arquivo gerado pelo PrePro_MGB (denominado por convenção de “mini.mgb”) reúne todas as informações espaciais necessárias para a realização de uma simulação com o MGB-IPH e possui formato específico de entrada para o modelo.

CAPÍTULO 4: APLICAÇÃO DA INTEGRAÇÃO MGB-IPH E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Com o objetivo de testar as ferramentas de integração do modelo MGB-IPH com o SIG MapWindow GIS®, foram realizados dois estudos de caso neste trabalho. A primeira aplicação foi realizada na bacia do rio Ijuí, no RS, e a segunda aplicação foi realizada na bacia do rio São Francisco, até a confluência deste com o rio das Velhas (bacia Três Marias), no Estado de Minas Gerais.

4.1 APLICAÇÃO NA BACIA IJUÍ

A seguir, é apresentada a aplicação do modelo MGB-IPH através do acoplamento com SIG desenvolvido neste trabalho para a bacia do rio Ijuí, afluente do rio Uruguai, inteiramente localizada no Rio Grande do Sul.

A ferramenta de integração desenvolvida é apresentada simultaneamente ao desenvolvimento do estudo de caso, onde suas funcionalidades são comentadas e demonstradas.

4.1.1 Informações Preliminares

A Bacia Hidrográfica do rio Ijuí situa-se a norte-noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 28° 00' a 29° 05' de latitude Sul e 53° 11' a 55° 21' de longitude Oeste. Ela está situada na abrangência da Província Geomorfológica Planalto Meridional. Possui área de aproximadamente 10.704 km², abrangendo municípios como Cruz Alta, Ijuí, Santo Ângelo e Tupanciretã, com população estimada em 341.569 habitantes (SEMA-RS, 2010).

Os principais cursos de água da bacia hidrográfica são os rios Caxambu, Potiribu, Conceição, Ijuizinho e o Rio Ijuí. Os principais usos da água se destinam a irrigação e ao abastecimento público. As atividades econômicas desta bacia, de maneira geral, estão ligadas ao setor primário, predominando as lavouras de soja. Alguns municípios desta bacia apresentam os setores secundários e/ ou terciários mais desenvolvidos. Esta bacia apresenta, também, potencialidade de geração de energia hidrelétrica (CEEE, 2000; SEMA-RS, 2010).

Esta bacia foi escolhida para ser o primeiro estudo de caso do presente trabalho devido aos usos múltiplos da água existentes nela (que pressupõem possibilidades de conflito), potencial hidroelétrico e importância econômica para o estado do Rio Grande do Sul, acima referidos. As Figuras 15 e 16, abaixo, apresentam a localização e a topografia digital da bacia hidrográfica.

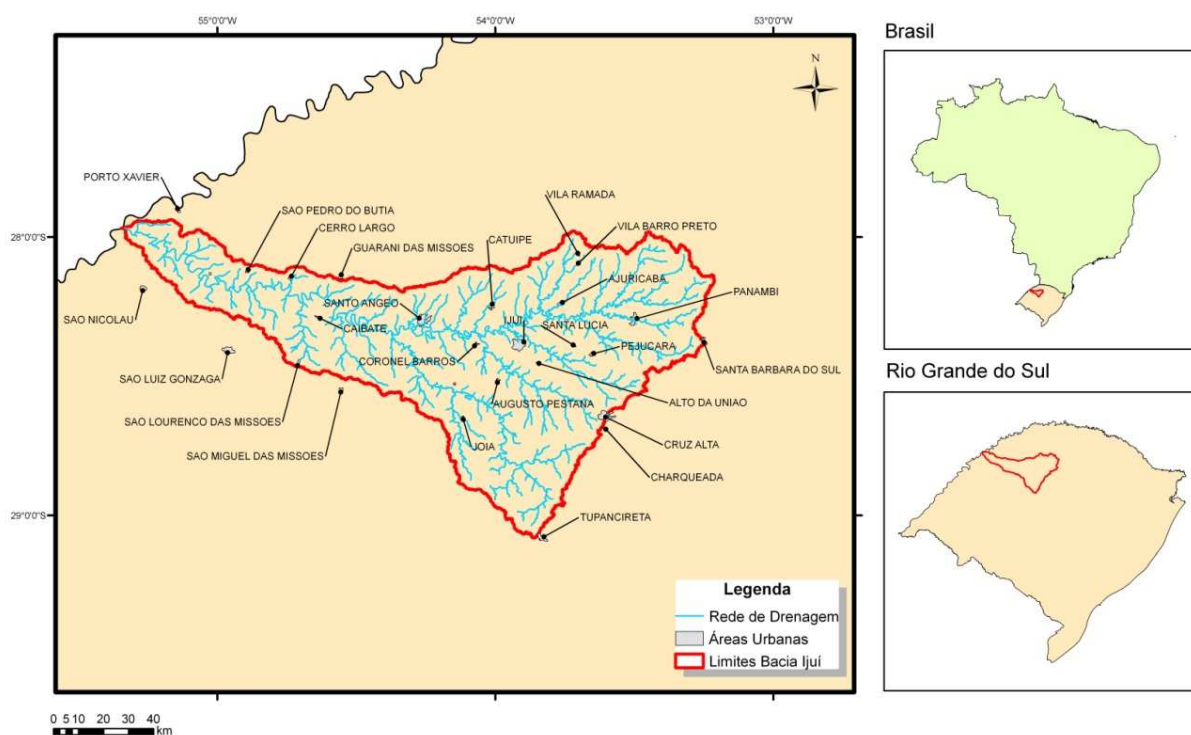


Figura 15 - Localização da bacia Ijuí, com seus principais municípios.

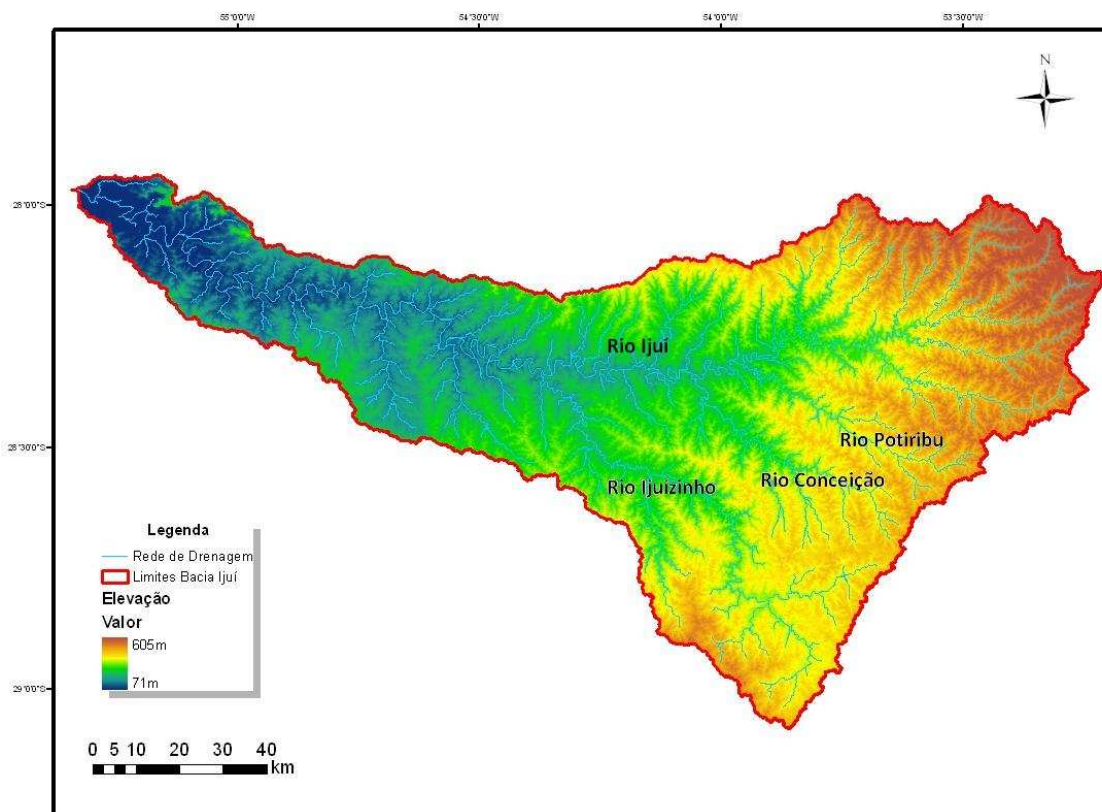


Figura 16 - Topografia e principais rios da bacia.

4.1.2 Extração de Informações Espaciais e Discretização da Bacia Hidrográfica

Conforme descrito anteriormente, a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE) é possível extrair informações físicas e topológicas da bacia hidrográfica de interesse, com o uso do conjunto de ferramentas ArcHydro Tools.

Atualmente, a principal fonte de dados de elevação do terreno em escala global é a base de dados obtida pelo projeto Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) e disponibilizada gratuitamente na Internet. Especificamente para o Brasil, uma versão pré-processada destes dados é disponibilizada pelo Centro de Ecologia da UFRGS (em formato raster e resolução da quadrícula de 90mx90m), de onde eles foram obtidos para a realização deste trabalho (Figura 17a).

A seqüência típica de utilização das ferramentas ArcHydro Tools inicia com o MDE, a partir do qual são obtidas informações como direções de escoamento; área de drenagem; rede de drenagem; definição de trechos de rios; e definição de bacias hidrográficas (FAN ET AL., 2010a). Estas etapas são apresentadas mais detalhadamente, junto aos resultados de sua aplicação para a bacia Ijuí, a seguir.

4.1.2.1 Determinação de direções de fluxo

As direções de fluxo constituem o plano de informações básico derivado de um MDE (modelo digital de elevação) em formato raster para suporte a estudos hidrológicos. O procedimento mais comum consiste em considerar uma única direção de fluxo para cada pixel do MDE, sendo essa direção atribuída para um de seus 8 vizinhos (tomando uma janela 3x3). A determinação de qual direção de fluxo atribuir é feita escolhendo a direção que proporcione a maior declividade, calculada

como sendo a diferença de elevação entre o pixel vizinho e o pixel central dividida pela distância entre eles (PAZ & COLLISCHONN, 2008).

O algoritmo de definição de direções de fluxo empregado pelo ArcHydro Tools é conhecido como D8 ou Deterministic Eight Neighbours (BUARQUE et al, 2009) Aplicando a regra da maior declividade para cada pixel do MNT, obtém-se a correspondente direção de fluxo e, ao final do processo, gera-se uma imagem raster onde a cada pixel é atribuído um valor ou código que denota para qual dos vizinhos ele drena. O resultado desta operação para a bacia Ijuí é apresentado na Figura 17b.

4.1.2.2 Determinação de área de drenagem acumulada

Com base exclusivamente nas direções de fluxo, pode-se determinar um plano de informações que representa as áreas de drenagem acumuladas. Gera-se uma nova imagem raster onde cada pixel tem como atributo o valor correspondente ao somatório das áreas superficiais de todos os pixels cujo escoamento contribui para o pixel em questão. O resultado desta operação para a bacia Ijuí é apresentado na Figura 17c.

4.1.2.3 Definição da rede de drenagem

Supondo que existe um limite mínimo de área de drenagem, A_{min} , que caracteriza o início da formação de cursos d'água, é possível gerar automaticamente um plano de informações referente à rede de drenagem, a partir do raster de áreas acumuladas. Pode-se fazer uma reclassificação da imagem de áreas acumuladas, considerando que todos os pixels cuja área de drenagem, A_i , seja inferior a A_{min} recebem valor 0 e aqueles com área superior a esse limite mínimo ficam com valor

1. Ou seja, nesta operação se obtém um raster cujos pixels pertencentes à rede de drenagem têm atributo 1 e os demais têm atributo 0.

O resultado desta operação para a bacia Ijuí é apresentado na Figura 17d.

4.1.2.4 Identificação de trechos individuais da rede de drenagem

A rede de drenagem, gerada na etapa anterior, pode apresentar locais em que dois ou mais rios se unem, e pontos em que a rede de drenagem se inicia. Um trecho individual é definido como um trecho da drenagem que une duas confluências ou um trecho que parte do início da drenagem e chega até a primeira confluência subsequente.

O produto desta etapa, denominada “Stream Segmentation” no ArcHydro Tools, é um arquivo raster em que todas as células pertencentes a um mesmo trecho tem o mesmo valor do atributo, e trechos diferentes tem valores diferentes. O resultado desta operação para a bacia Ijuí é apresentado na Figura 17e.

4.1.2.5 Definição das mini-bacias incrementais

A partir dos trechos individualizados são identificadas todas as células que drenam para um mesmo trecho, e a estas células é atribuído o mesmo valor dos trechos.

Esta etapa é chamada “Catchment Grid Delineation”, onde o produto é um arquivo raster com células identificadas pelo atributo do segmento individual para o qual drenam. Em outras palavras é um arquivo raster de mini-bacias incrementais. O resultado desta operação para a bacia Ijuí é apresentado na Figura 17f. Ao total, a bacia foi dividida em 532 mini-bacias.

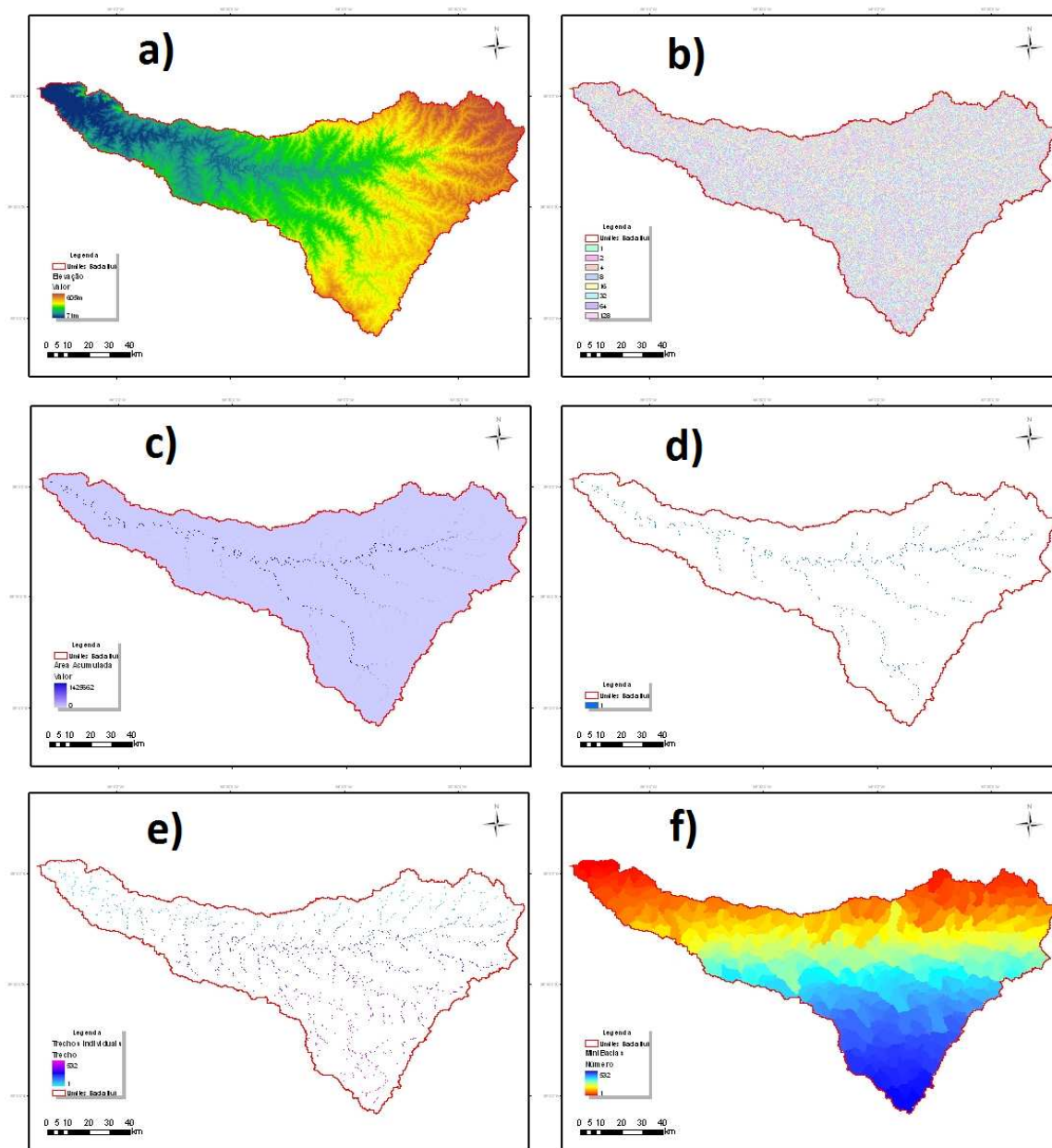


Figura 17 – Resultados das etapas de discretização da bacia do Ijuí: a) MDE; b) Determinação da direção de fluxo; c) Determinação das áreas de drenagem acumuladas; d) Definição da rede de drenagem; e) Determinação dos trechos de drenagem individuais; e) Determinação das áreas de drenagem incrementais (mini-bacias).

4.1.2.5 Definição das Unidades de Resposta Hidrológica

Conforme citado na revisão bibliográfica deste trabalho, para a aplicação do modelo MGB-IPH a variabilidade espacial das características físicas da bacia modelada precisam ser consideradas. O tratamento desta variabilidade dentro do modelo é feito através da definição de áreas com comportamento hidrológico similar, denominadas Unidades de Resposta Hidrológica (URHs).

Para a aplicação do modelo na bacia Ijuí foram utilizados dois mapas de solo distintos de forma complementar, o mapa digital de solos oriundo do projeto RADAMBrasil (Publicado em 2001 na Escala 1:5.000.000) e o mapa de solos digitalizado pela EROS Data Center/USGS (publicado em 1981 na escala 1:5.000.000) oriundo de mapeamentos de solos realizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). O mapa de vegetação utilizado também tem origem nas cartas-imagens de radar produzidas pelo Projeto RADAMBRASIL e foi digitalizado e distribuído pela U.S. Geological Survey's EROS Data Center (publicado em 1992 na escala 1:5.000.000).

A classificação tradicional de mapas de solos e vegetação tem objetivos que vão bem além da questão hidrológica. Portanto, foi necessário reclassificar os mapas digitais utilizados em um número menor de classes, considerando o potencial de geração de escoamento superficial e de base, de armazenamento de água, de evapotranspiração, entre outros.

Na bacia do Ijuí, os solos foram classificados em rasos (na maioria, solos litólicos) e solos profundos (na maioria, latossolos). A vegetação foi classificada em vegetação densa (florestas), campos e pastagens, e zonas de contato (onde ocorrem os dois tipos de vegetação de forma mista). Os mapas finais de solo e

vegetação construídos para a bacia hidrográfica podem ser conferidos nas Figuras 18 e 19, abaixo.

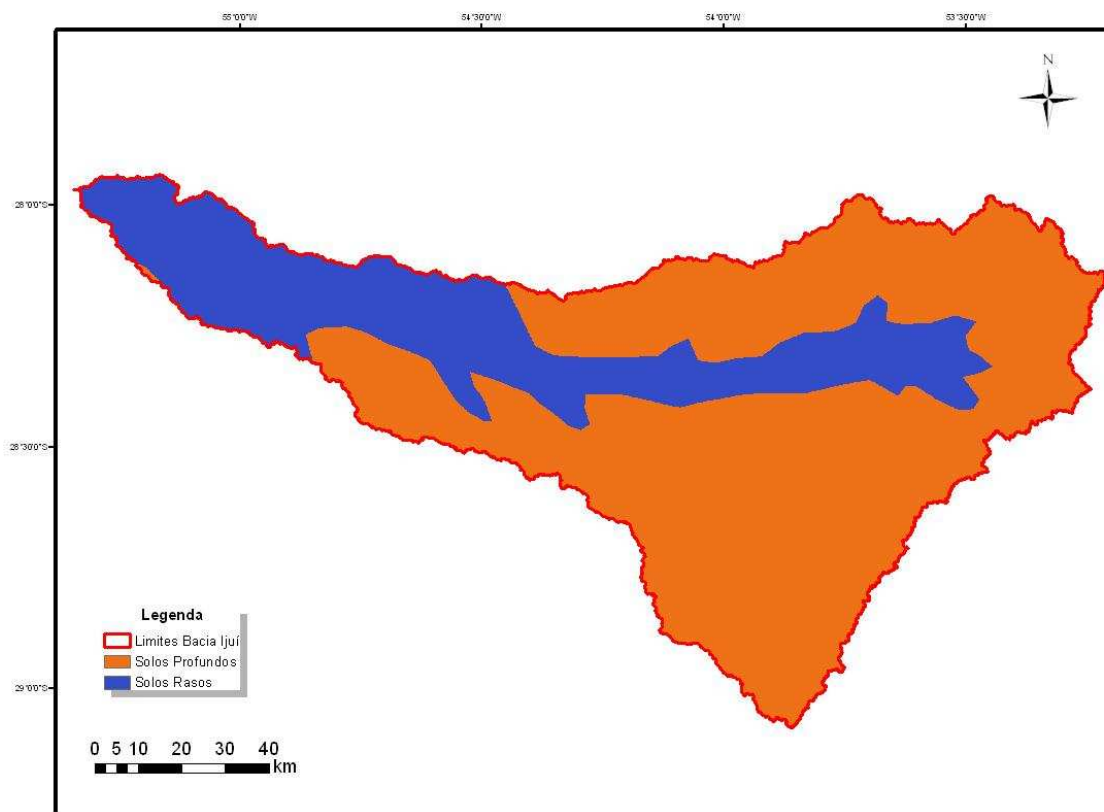


Figura 18 – Mapa de solos da bacia Ijuí.

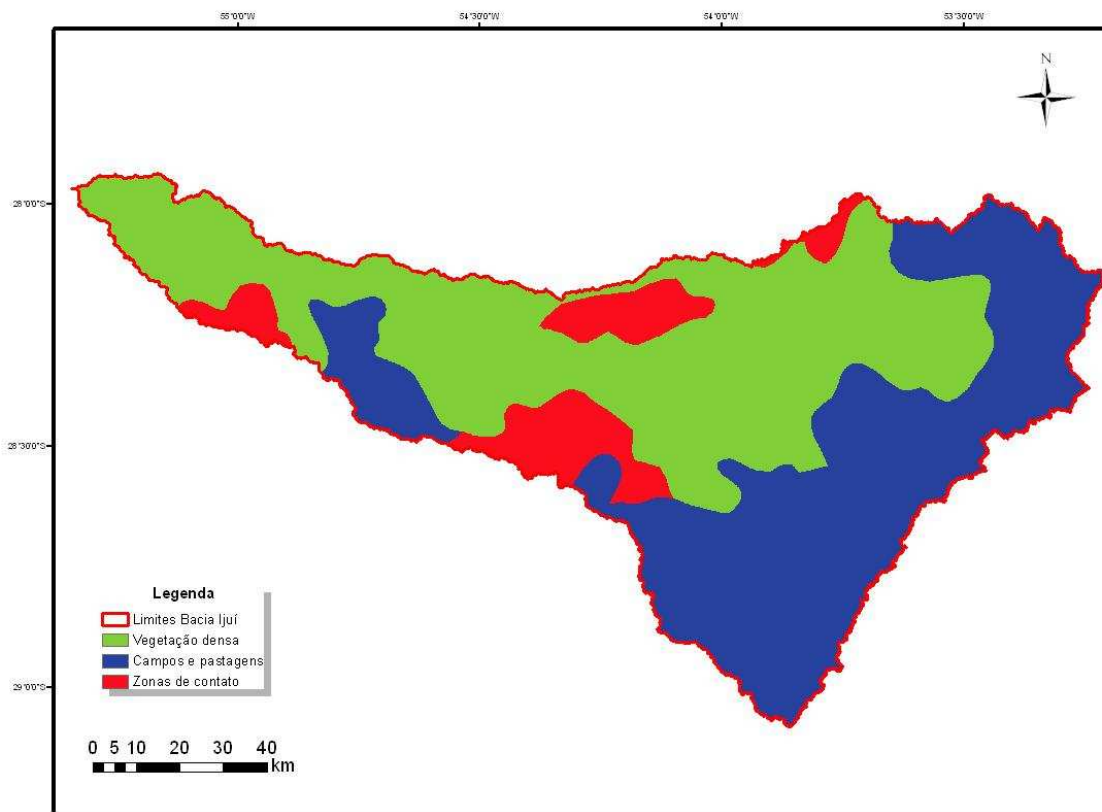


Figura 19 – Mapa de vegetação e uso do solo da bacia Ijuí.

Através da combinação dos planos de informação de tipo de solo e vegetação, foram construídas as URHs da bacia Ijuí, que podem ser conferidas na Figura 20, abaixo. O Procedimento resultou em um total de 07 Unidades de Resposta Hidrológica.

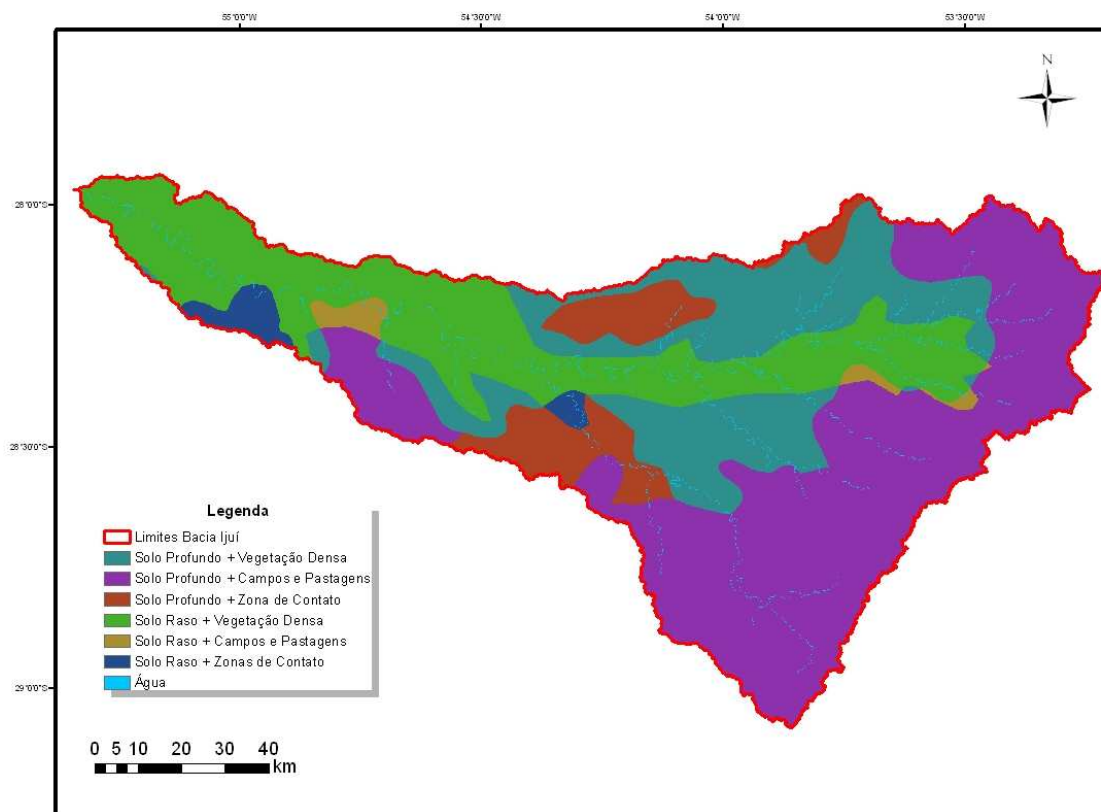


Figura 20 – Unidades de Resposta Hidrológica construídas para a bacia Ijuí.

4.1.2.6 Aplicação do PrePro_MGB

Para que o MGB-IPH possa utilizar os dados espaciais produzidos através da série de processamentos acima descritos, é necessário que os arquivos sejam sumarizados e compilados em um único arquivo de entrada do modelo, através do programa PrePro_MGB (FAN ET AL, 2010b).

Como parte deste trabalho, uma interface para o PrePro_MGB (desenvolvido em linguagem FORTRAN) foi criada. A Figura 21 apresenta a interface do PrePro_MGB, ela permite que os arquivos de entrada sejam carregados de forma organizada, bem como que algumas opções internas de processamento do programa sejam ativadas.

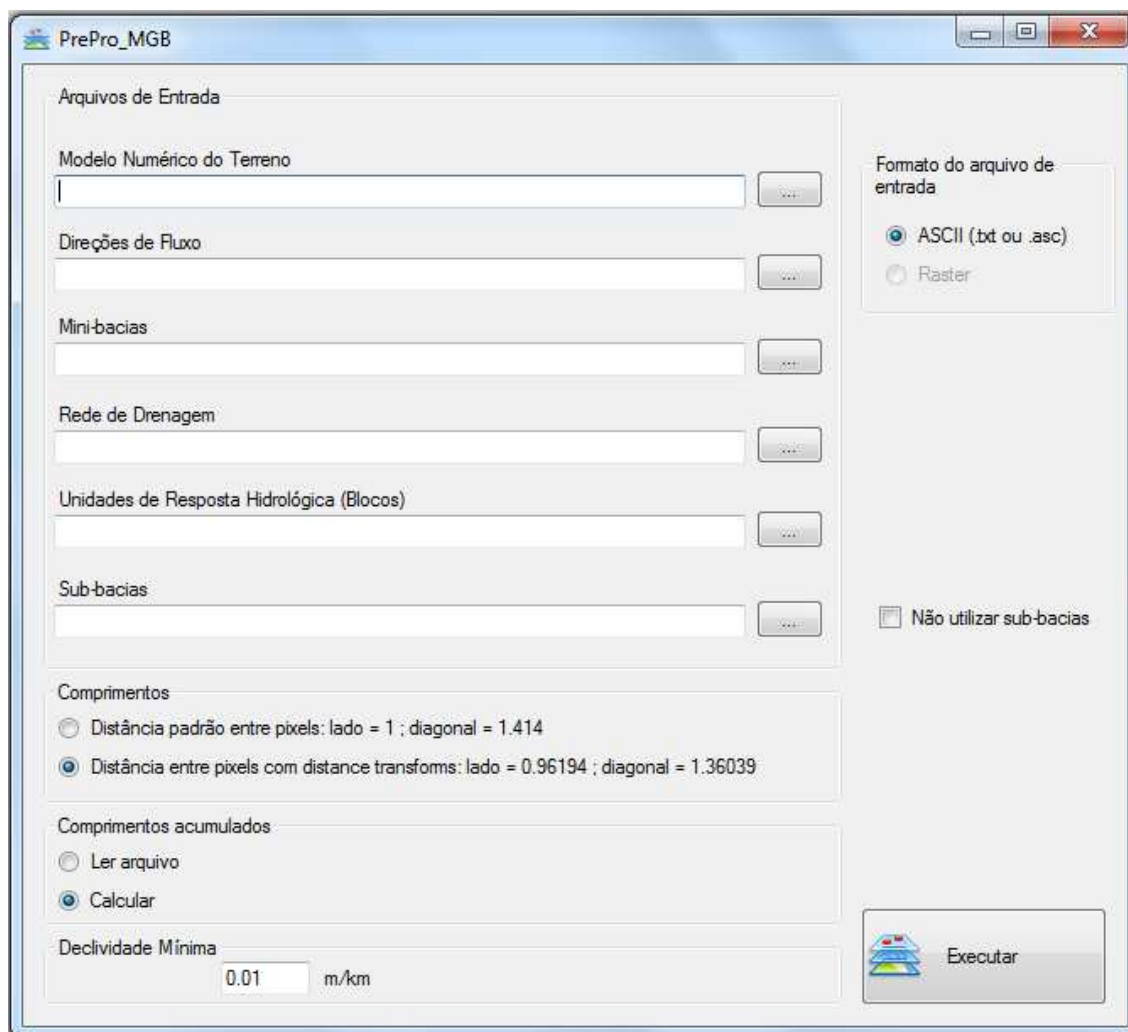


Figura 21 – Interface do PrePro_MGB.

No caso da bacia Ijuí, o PrePro_MGB foi executado com sucesso e gerou o arquivo de saída denominado MINI.MGB, que contém as informações espaciais de entrada para o MGB-IPH.

4.1.3 Simulação Usando MGB-IPH Interface MapWindow GIS®

Conforme descrito no Capítulo 3 do presente trabalho, a interface do MGB-IPH foi desenvolvida na forma de um plugin da plataforma MapWindow GIS®, que é habilitado e aparece como um menu de ferramentas dentro do SIG. A Figura 22 apresenta esta estrutura.

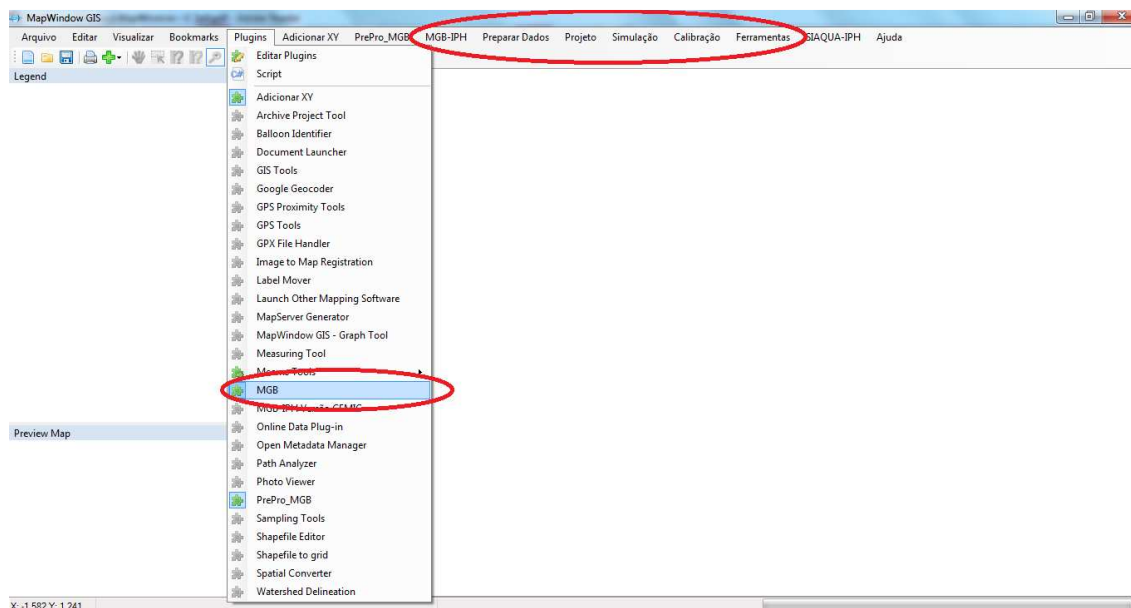


Figura 22 – Interface do MGB-IPH habilitada dentro do MapWindow GIS® .

Após a habilitação da interface MapWindow GIS® do MGB-IPH, a primeira etapa para a realização de uma simulação é a inclusão de alguns dados espaciais gerados nas etapas anteriores no MapWindow GIS® e a criação de um projeto de trabalho.

Para a bacia Ijuí foram adicionados os layers da rede de drenagem, das mini-bacias e dos contornos da bacia hidrográfica. No MapWindow GIS® estes dados podem ser carregados normalmente como shapefiles (formato padrão do ArcGIS®). A Figura 23 mostra a bacia do Ijuí, com o layer de rede de drenagem.

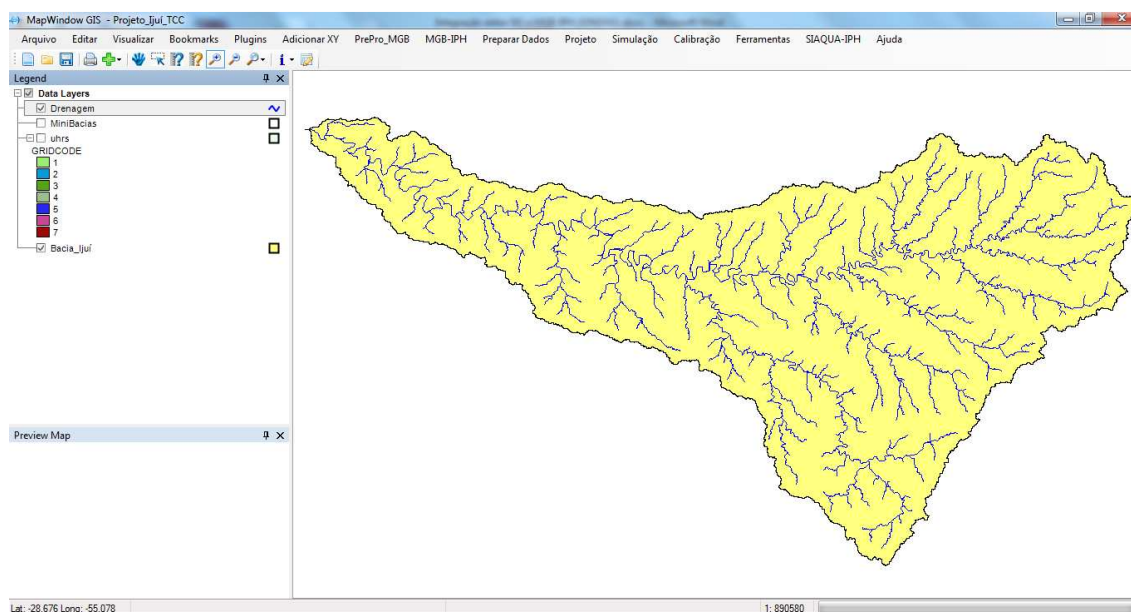


Figura 23 – Planos de Informação da Bacia Ijuí no MapWindow GIS® .

4.1.3.1 Geração de *shapefile* dos centróides das mini-bacias

Dentro do Prepro_MGB as coordenadas do centróide de cada mini-bacia que compõem a bacia hidrográfica de interesse são calculadas através de um processo de cálculo de centro de massa para figuras planas (FAN ET AL., 2010b). Estas informações são gravadas no arquivo de saída do pré-processador (MINI.MGB).

Para o uso do MGB-IPH é necessário adicionar um layer contendo os centróides das mini-bacias ao projeto de trabalho. Esta camada de informação é necessária para a aplicação de ferramentas de geração de dados de entrada e visualização de informações no mapa. Além disso, a localização dos centróides é utilizada no processo de interpolação de dados de chuva e de variáveis climáticas, que ocorrem posteriormente na aplicação do modelo MGB-IPH, e é uma informação importante de projeto.

Este layer com os centróides das mini-bacias é criado na própria interface desenvolvida, usando a ferramenta "Gerar shapefile com MINI.MGB", no menu "Preparar Dados". A ferramenta executa a leitura das coordenadas (latitude e longitude) de cada centróide das mini-bacias e transforma os mesmos em um shapefile de pontos, que deve ser adicionado ao projeto no MapWindow GIS®.

No caso da bacia do rio Ijuí, o arquivo texto MINI.MGB, criado pelo PrePro_MGB, foi transformado no arquivo "mini.shp", e adicionado ao projeto do MapWindow GIS®, para visualização dos centróides das mini-bacias. A visualização do projeto do rio Ijuí com as mini bacias e os centróides pode ser visto na Figura 24.

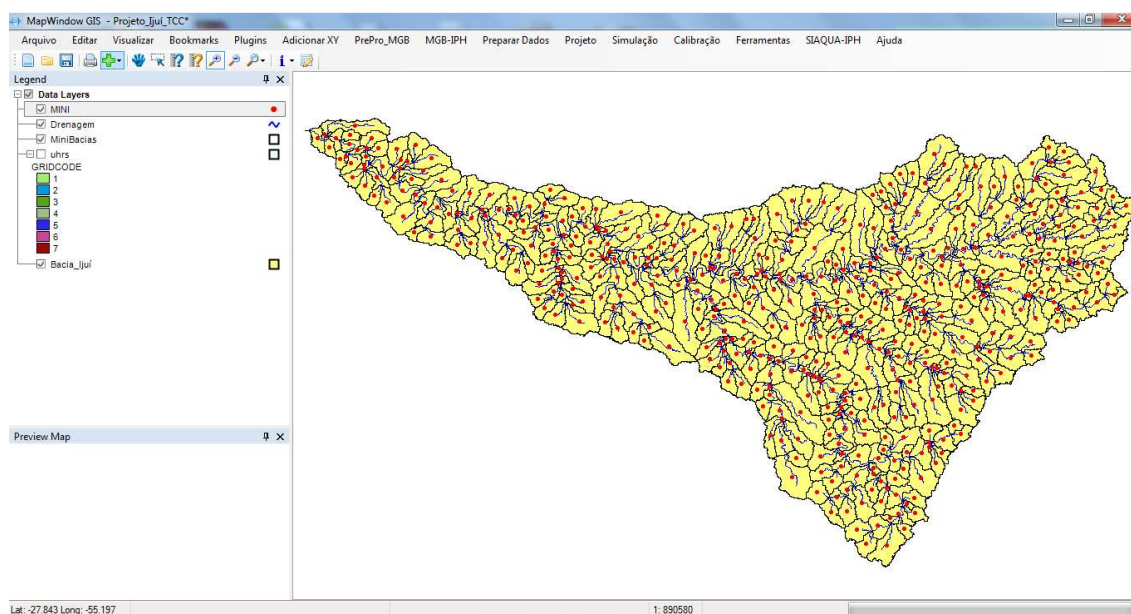


Figura 24 - Bacia do rio Ijuí na interface MapWindow GIS® do MGB-IPH, com os centróides das mini-bacias.

4.1.3.2 Obtenção e Análise de dados de vazão na Interface MapWindow GIS®

Todos os dados de vazão utilizados para a modelagem do Rio Ijuí foram obtidos no sistema Hidroweb da ANA. Conforme comentado no Capítulo 3 deste trabalho, a interface desenvolvida para o MGB-IPH pode trabalhar diretamente com estes dados no formato texto. Na bacia do rio Ijuí, foram obtidos os dados de vazão de quatorze postos fluviométricos, de acordo com o Quadro 06.

Quadro 6 – Postos fluviométricos obtidos no sistema Hidroweb.

Posto Fluviométrico	Latitude	Longitude	Nome do Posto
75155000	-28.289	-53.78	PASSO FAXINAL
75185000	-28.377	-53.8756	PONTE NOVA DO POTIRIBU
75186000	-28.377	-53.8756	PONTE NOVA DO POTIRIBU – JUSANTE
75200000	-28.455	-53.9708	CONCEIÇÃO
75205000	-28.384	-54.0317	PONTE NOVA DO CONCEIÇÃO
75230000	-28.355	-54.2683	SANTO ANGELO
75240000	-28.85	-53.7833	ESTÂNCIA DO ESPINILHO
75270000	-28.783	-53.9833	PONTE QUEIMADA
75275000	-29.086	-53.8225	TUPANCIRETA
75285000	-28.45	-54.2667	USINA VELHA
75295000	-28.389	-54.3319	COLÔNIA MOUSQUER
75300000	-28.217	-54.6	PASSO VIOLA
75320000	-28.181	-54.7383	PONTE MÍSTICA
75350000	-28.133	-55.1167	PASSO FLORIDA

Estes dados de vazão obtidos no sistema Hidroweb foram analisados na interface desenvolvida utilizando a ferramenta "Vazão" no menu "Preparar dados". A ferramenta "Vazão" desenvolvida permite verificar a disponibilidade de dados de cada posto fluviométrico através de um gráfico de Gantt. Um gráfico de Gantt de um posto fluviométrico apresenta linhas ou barras coloridas ao longo do tempo, em que

as cores representam disponibilidade de dados ou ausência de dados. O gráfico gerado com os dados da bacia Ijuí é apresentado abaixo (Figura 25).

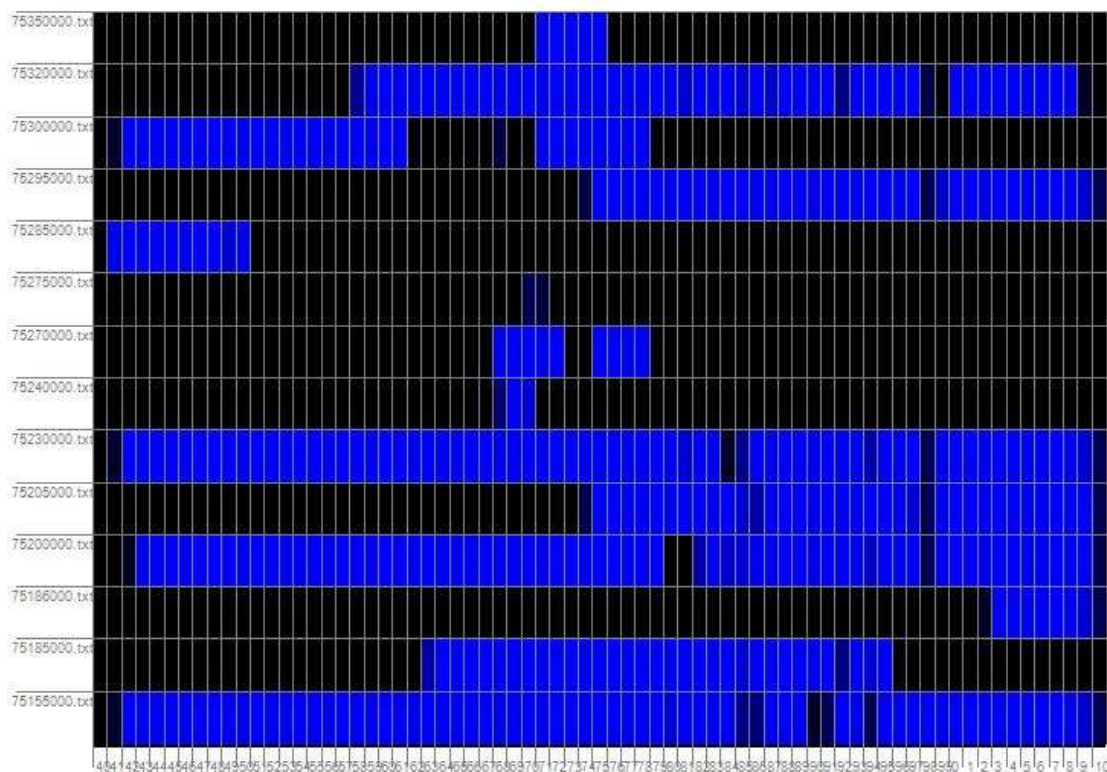


Figura 25 – Gráfico de disponibilidade temporal de dados de vazão na bacia do rio Ijuí.. Cores mais claras indicam boa disponibilidade de dados. A cor preta indica que não existem dados disponíveis no período. Cores intermediárias indicam disponibilidade parcial.

Os gráficos de disponibilidade temporal demonstram que os postos fluviométricos 752300000, 75205000 e 75155000 têm boa disponibilidade de dados de vazão no período de 1942 a 2009, com apenas poucas falhas neste período. Os postos 75320000, 75295000 e 75185000 também possuem uma disponibilidade relativamente boa em períodos de tempo mais recentes (a partir de 1972). Já os demais postos fluviométricos possuem pouca disponibilidade de dados, muitas falhas, ou dados muito antigos.

4.1.3.3 Geração de shapefile dos postos fluviométricos

Ainda na ferramenta "Vazão" do menu "Preparar dados", foi gerado um shapefile com as coordenadas dos postos fluviométricos selecionados para serem utilizados na simulação. A Figura 26 mostra a interface do MGB-IPH com o layer de postos fluviométricos adicionado ao projeto.

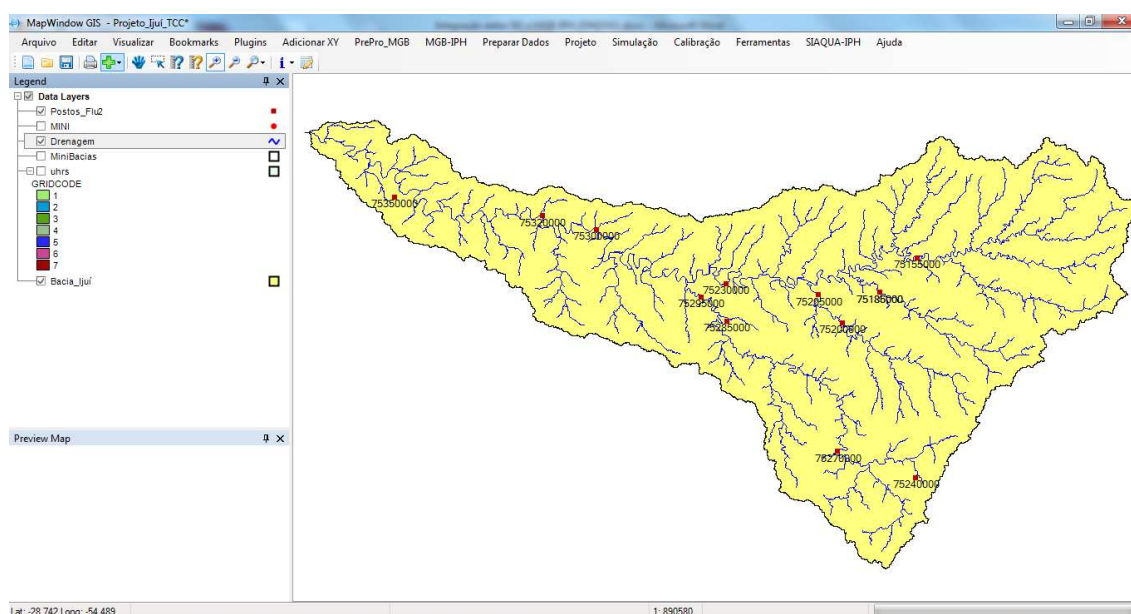


Figura 26 - Interface do MGB-IPH com o layer de postos fluviométricos adicionado ao projeto.

4.1.3.4 Obtenção e Análise de dados de chuva na interface MapWindow

Assim como os dados de vazão, todos os dados de chuva utilizados para a modelagem do Rio Ijuí foram obtidos no sistema Hidroweb da ANA. Ao total, 36 postos pluviométricos foram obtidos, de acordo com o Quadro 07.

Quadro 7 – Postos pluviométricos obtidos no sistema Hidroweb.

Posto Pluviométrico	Latitude	Longitude	Nome do Posto
2850019	-28.7	-54.924	BOSSOROCA
2853001	-28.23	-53.767	AJURICABA
2853002	-28.48	-53.45	BELISÁRIO
2853003	-28.46	-53.971	CONCEIÇÃO
2853006	-28.37	-53.917	IJUI
2853028	-28.66	-53.605	ANDERSON CLAYTON
2853033	-28.39	-53.264	SANTA BARBARA DO SUL
2853034	-28.35	-53.547	PANAMBI
2853035	-28.07	-53.683	NOVA RAMADA
2854001	-28.11	-53.993	BOA VISTA
2854002	-28.13	-54.733	CERRO LARGO
2854005	-28.73	-54.648	PASSO MAJOR ZEFERINO
2854006	-28.21	-54.602	PASSO VIOLA
2854007	-28.3	-54.267	SANTO ANGELO
2854011	-28.4	-54.967	SÃO LUIZ GONZAGA
2854012	-28.79	-54.452	COIMBRA
2854014	-28.3	-54.263	SANTO ANGELO – IPAGRO
2854015	-28.18	-54.738	PONTE MÍSTICA
2854018	-28.65	-54.119	JÓIA
2854019	-28.3	-54.134	MAUÁ
2855001	-28.18	-55.643	GARRUCHOS
2855002	-28.21	-55.32	PASSO DO SARMENTO
2855004	-28.68	-55.581	PASSO DO NOVO
2855005	-29	-55.68	FAZENDA SANTA CECÍLIA DO BUTUI
2855006	-28.88	-55.65	FAZENDA SÃO RAFAEL
2855007	-28.51	-55.235	SANTO ANTÔNIO DAS MISSÕES
2855008	-28.77	-55.257	ITACUMBI
2855012	-28.68	-55.602	SAMBURÁ
2856002	-28.62	-56.033	PASSO SÃO BORJA
2856003	-28.65	-56	SÃO BORJA
2856006	-28.63	-56.039	PASSO SÃO BORJA
2856007	-28.95	-56.317	CUNHA
2953030	-29.09	-53.822	TUPANCIRETA
2954031	-29.08	-54.509	ESQUINA DOS LIMA (STA. BARBARA)
2956004	-29.12	-56.55	ITAQUI
2956005	-29.12	-56.558	ITAQUI

O gráfico de disponibilidade temporal dos dados, gerado com o uso da interface desenvolvida, pode ser conferido na Figura 27.

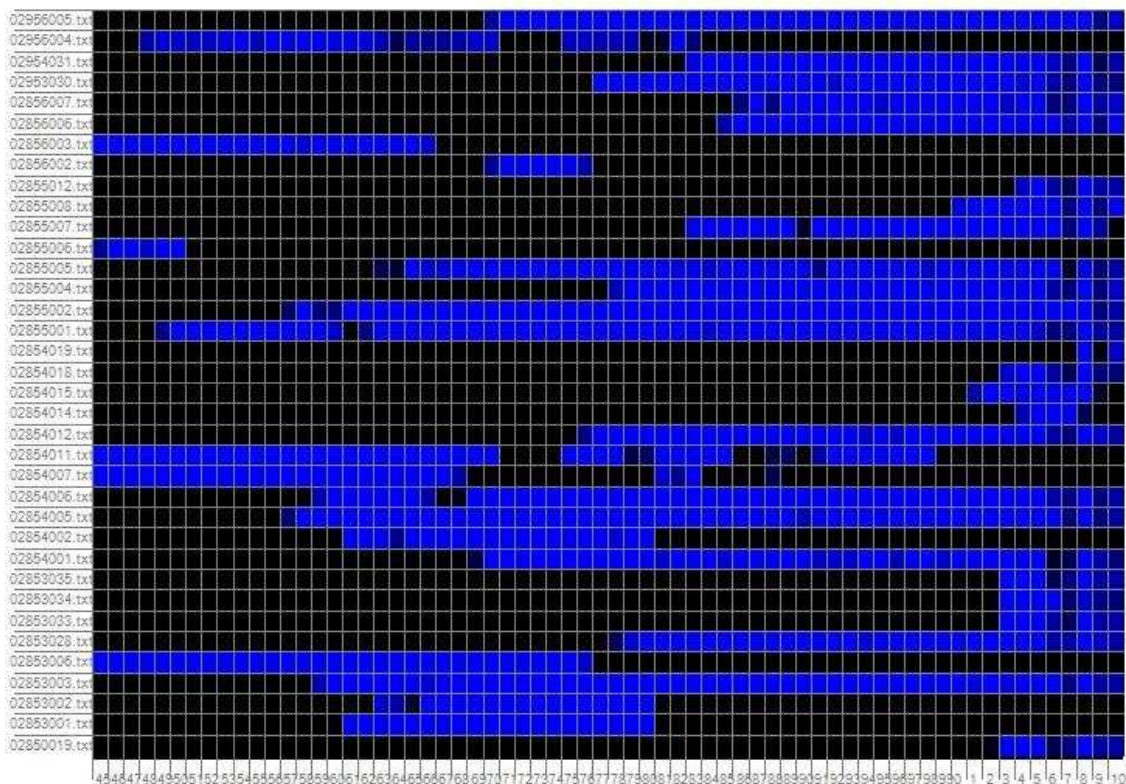


Figura 27 - Gráfico de disponibilidade temporal de dados de chuva na bacia do rio Ijuí. Cores mais claras indicam boa disponibilidade de dados. A cor preta indica que não existem dados disponíveis no período. Cores intermediárias indicam disponibilidade parcial.

O gráfico da Figura 27 mostra uma grande variação na disponibilidade dos dados de chuva. De maneira geral, pode-se afirmar que o período com mais informações disponíveis corresponde ao intervalo entre 1980 e 2010.

4.1.3.5 Geração de shapefile dos postos pluviométricos

Assim como para os dados de vazão, através da ferramenta "Precipitação" do menu "Preparar dados" da interface desenvolvida, foi gerado um shapefile com as coordenadas dos postos pluviométricos obtidos. A Figura 28 mostra a interface do MGB-IPH com o layer de postos pluviométricos adicionado ao projeto.

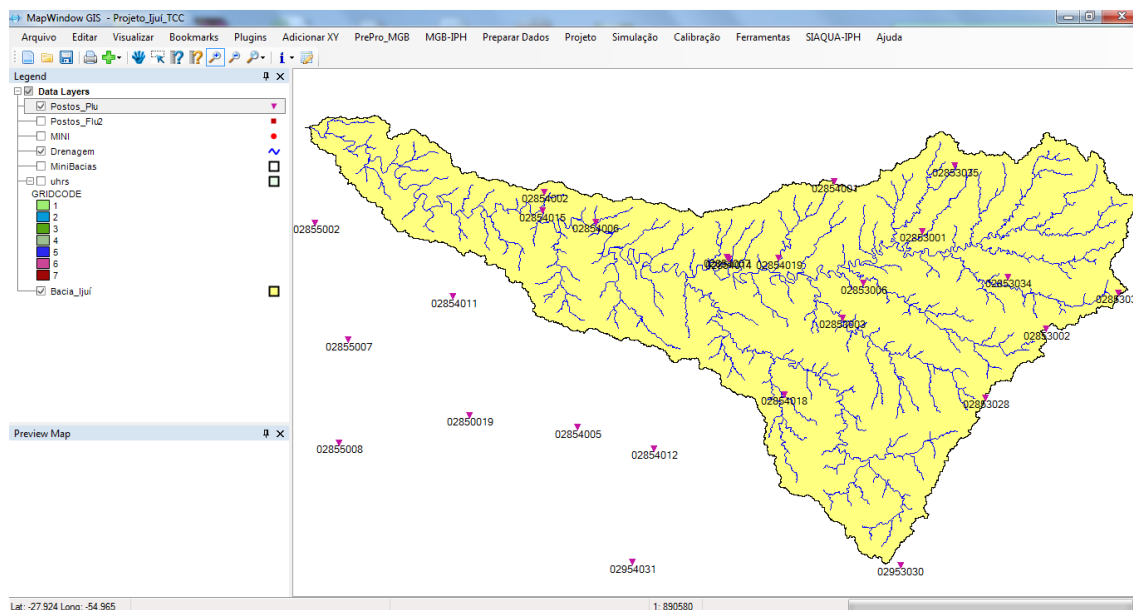


Figura 28 - Interface do MGB-IPH com o layer de postos pluviométricos adicionado ao projeto.

4.1.3.6 Definição do período a simular

Com base nos gráficos de disponibilidade de dados de chuva e vazão o período escolhido para a simulação foi entre os anos de 1980 a 2009. Neste período, existem dados de chuva e de vazão em diversos postos.

4.1.3.7 Interpolação de dados de chuva

Para rodar o modelo MGB-IPH é necessário gerar um arquivo de dados diários de chuva interpolada para o centróide de cada uma das mini-bacias do projeto. Esta etapa é realizada com a ferramenta "Precipitação" da interface desenvolvida. A ferramenta é apresentada na Figura 29.

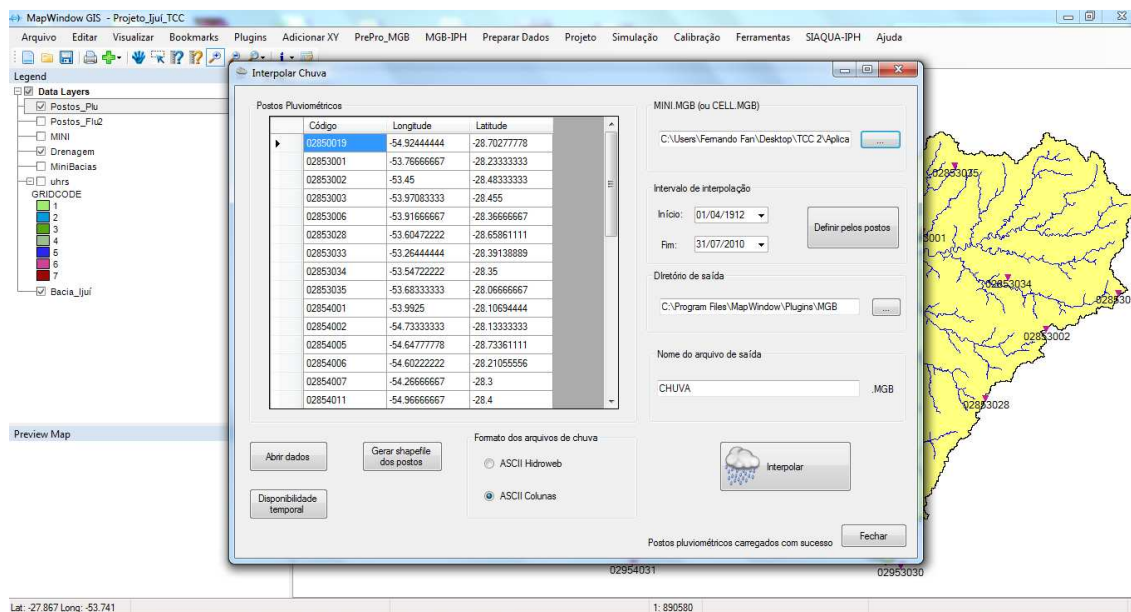


Figura 29 – Ferramenta “Precipitação” da interface MapWindow do MGB-IPH. Desenvolvida neste trabalho.

Para realizar a interpolação através da interface, primeiramente todos os dados de chuva devem ser carregados. Após, todos os dados dos postos pluviométricos aparecem em uma tabela central. A latitude e a longitude de cada posto pluviométrico, caso o mesmo pertença à rede de monitoramento da ANA, é carregada automaticamente a partir da base de dados interna da interface.

Depois, devem ser especificadas algumas outras informações, como a localização do arquivo de mini-bacias gerado pelo Prepro_MGB, o período para a interpolação e o nome do arquivo de saída. Após todas as informações necessárias serem inseridas, basta o usuário executar o interpolador de dados.

Na bacia do Ijuí foi gerado um arquivo com o nome "chuva.mgb" e intervalo de interpolação de 01/01/1980 à 31/12/2009, conforme período estipulado.

4.1.3.8 Geração de arquivo de vazões observadas

Para a calibração do MGB-IPH, os dados de vazão calculados devem ser comparados com dados de vazão observados em postos fluviométricos. Para isto, é necessário gerar um arquivo de entrada do modelo com dados de vazão observada. Isto é feito através da interface desenvolvida utilizando a ferramenta "Vazão" do menu "Preparar dados".

Na ferramenta de dados de vazão o usuário deve informar quais dos postos fluviométricos disponíveis ele deseja utilizar e qual é o número da mini-bacia correspondente a cada posto fluviométrico selecionado. A ferramenta é apresentada na Figura 30.

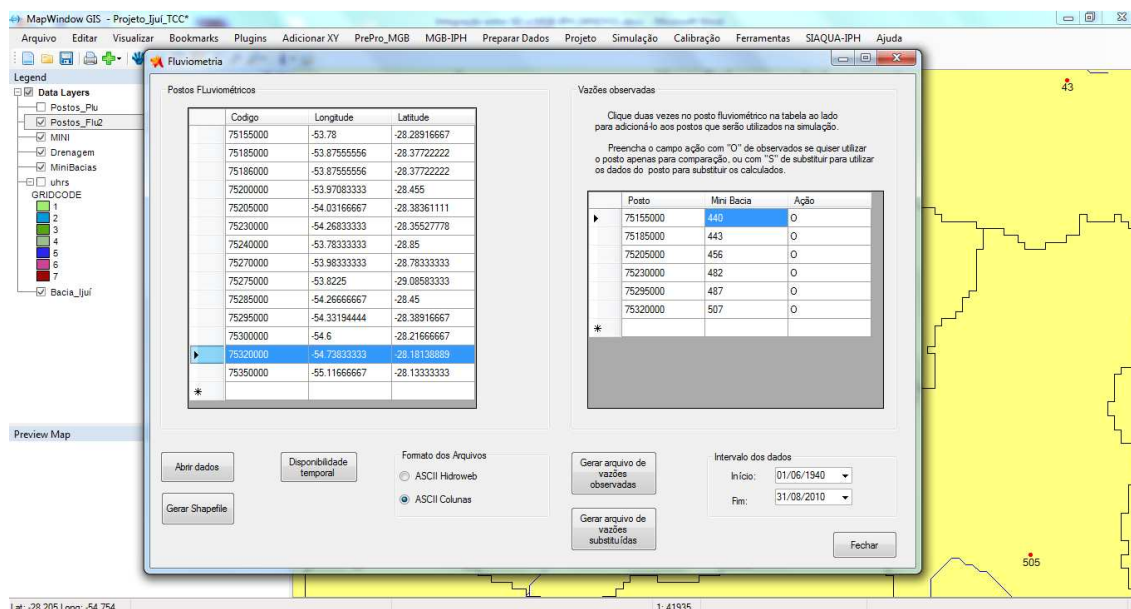


Figura 30 – Ferramenta “Vazão” da interface MapWindow GIS® do MGB-IPH. Desenvolvida neste trabalho.

Como a interface foi desenvolvida acoplada a um SIG, o processo de identificação da mini-bacia correspondente ao posto fluviométrico é realizada de forma interativa com o MapWindow GIS® .

Para a bacia do Ijuí, através do layer dos centróides das mini-bacias e do layer de postos fluviométricos (ambos gerados pela interface), e usando as ferramentas de zoom e pan do SIG, foi realizada a identificação posto/mini-bacia

Os arquivos dos postos fluviométricos escolhidos para serem utilizados na simulação da bacia do rio Ijuí e a mini-bacia a que os mesmos correspondem podem ser conferidos no Quadro 08. Os postos foram escolhidos por apresentarem mais dados no período definido para a simulação.

Quadro 8 – Postos Fluviométricos escolhidos e Mini-Bacia a qual o mesmo corresponde.

Posto	Mini-bacia
75155000	440
75185000	443
75205000	456
75230000	482
75295000	487
75320000	507

O arquivo “qobs.mgb”, que contém os dados de vazões diárias observadas no período de 01/01/1980 à 31/12/2009, foi gerado com a aplicação da ferramenta.

4.1.3.9 Manejo de dados de clima

Para o cálculo da 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). No caso específico para o uso de dados da ANA, estas informações estão disponíveis em dados de estações climatológicas.

Para a manipulação e verificação da disponibilidade de dados de clima é utilizada a ferramenta "Clima" da interface desenvolvida. Os dados dos arquivos são lidos e uma tabela aparece com o número de anos em que existem dados de cada variável em cada mês do ano. A partir disto, o usuário pode gerar shapefiles das estações de clima e selecionar quais delas deseja utilizar. A ferramenta é apresentada na Figura 31.

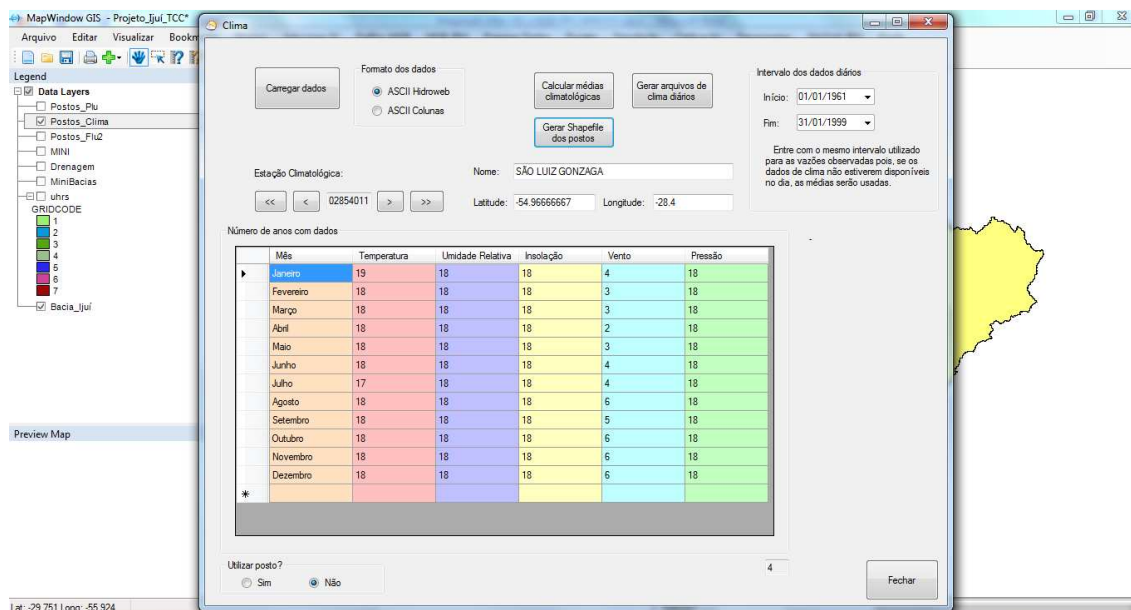


Figura 31 – Ferramenta “Clima” da interface MapWindow do MGB-IPH, mostrando o número de anos em que existem dados de temperatura e das outras variáveis em cada mês do ano.

No caso da bacia Ijuí foi selecionada a estação São Luiz Gonzaga como fonte de dados de clima. Nenhuma outra estação próxima com informações climáticas possuía dados suficientes para ser utilizada. A estação selecionada não está localizada no interior da bacia, mas ela está relativamente próxima, não gerando grandes prejuízos para a aplicação do modelo. A Figura 32 apresenta as estações climatológicas encontradas na região de estudo.

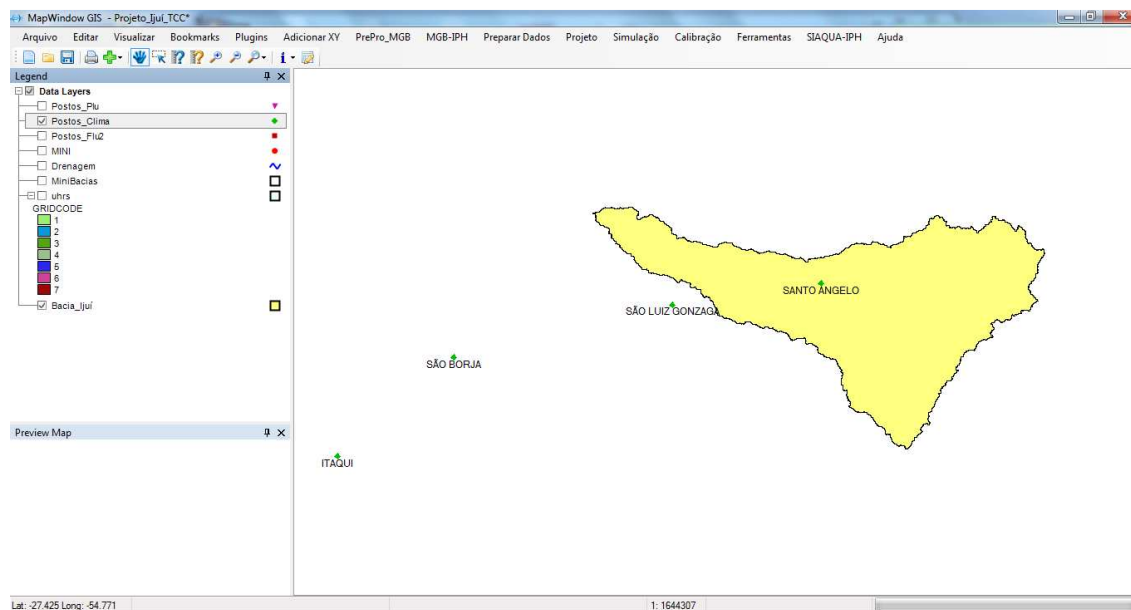


Figura 32 – Estações climatológicas disponíveis na base da ANA próximas a bacia Ijuí.

Após a definição dos postos de clima utilizados, foram criados os arquivos de entrada do modelo MGB-IPH “medias_cli.mgb”, que contém os valores médios das variáveis (semelhantes às normais climatológicas), e o arquivo “02854011.cli” com dados diários do posto selecionado.

4.1.3.10 Definição das Unidades de Resposta Hidrológica

Os parâmetros do modelo MGB-IPH estão relacionados às unidades de resposta hidrológica. Por este motivo, um dos passos na aplicação do MGB-IPH em uma bacia é gerar um arquivo de entrada do modelo com a descrição das URHs adotadas no pré-processamento (capítulo 3).

Para definir as URHs, é utilizada a ferramenta "Blocos" no menu "Preparar dados" da interface desenvolvida. A definição dos blocos é realizada através do preenchimento de uma tabela, onde são definidas as siglas (nomes abreviados) de cada URH. A ferramenta “Blocos” é apresentada na Figura 33.

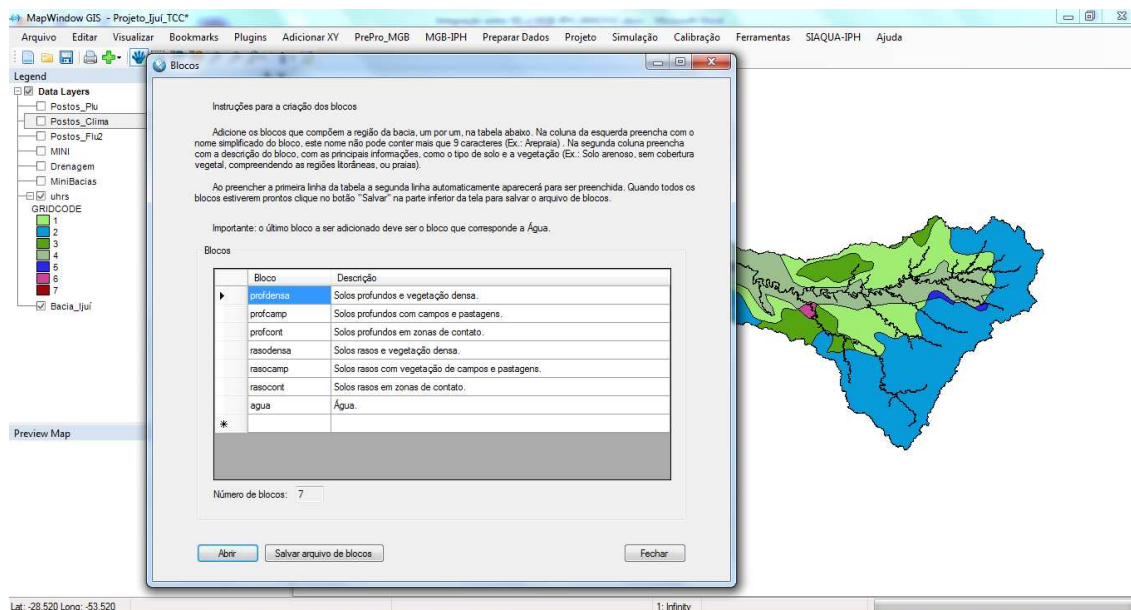


Figura 33 – Ferramenta “Blocos” da interface MapWindow do MGB-IPH.

Para a bacia Ijuí, a estrutura de arquivo de blocos gerada é apresentada no Quadro 09, a seguir.

Quadro 9 – Sumário do arquivo de blocos (UHRs) gerado para a bacia Ijuí. A coluna da direita corresponde ao nome do bloco e a da esquerda apresenta uma breve descrição.

Sigla da UHR	Descrição
Profdensa	Solos profundos e vegetação densa.
Profcamp	Solos profundos com campos e pastagens.
Profcont	Solos profundos em zonas de contato.
Rasodensa	Solos rasos e vegetação densa.
Rasocamp	Solos rasos com vegetação de campos e pastagens.
Rasocont	Solos rasos em zonas de contato.
Água	Água.

4.1.3.11 Definição dos valores dos parâmetros fixos

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

Os parâmetros fixos 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 fixos é utilizada a

ferramenta "Parâmetros Fixos" (Figura 34) do menu "Preparar Dados" da interface desenvolvida.

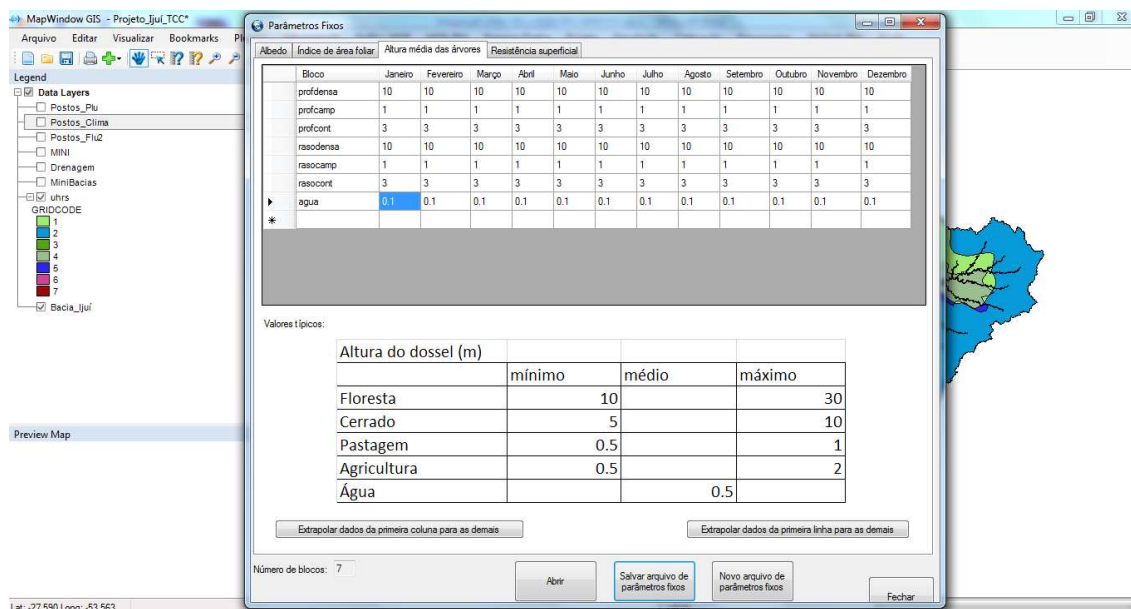


Figura 34 - Ferramenta "Parâmetros Fixos".

Algumas sugestões de valores que devem ser adotados aparecem na própria janela de edição dos parâmetros fixos. Os valores dos parâmetros para a bacia Ijuí foram definidos com base nestas sugestões e com base nos conhecimentos hidrológicos sobre cada classe de vegetação. Os quadros que seguem apresentam os valores adotados para os parâmetros fixos para a aplicação na bacia Ijuí.

Quadro 12 - Valores da altura média das árvores adotados na bacia Ijuí.

Bloco	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Profdensa	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
profcamp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
profcont	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
rasodensa	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
rasocamp	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
rasocont	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Água	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Quadro 13 - Valores de resistência superficial em boas condições de umidade do solo adotados na bacia Ijuí.

Bloco	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
profdensa	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
profcamp	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
profcont	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
rasodensa	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
rasocamp	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
rasocont	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Água	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ao final da definição dos valores, foi criado o arquivo de entrada do modelo MGB-IPH, ele foi denominado "parfix.mgb".

4.1.3.12 Definição dos valores dos parâmetros calibráveis

Os parâmetros calibráveis também estão associados às URHs e são aqueles a que o modelo é mais sensível e que podem ser alterados no processo de calibração. Para definir os parâmetros calibráveis é utilizada a ferramenta "Parâmetros Calibráveis" do menu "Preparar Dados" da interface. A Figura 35 apresenta a ferramenta desenvolvida. Na margem direita da janela da ferramenta foram incorporadas sugestões de valores iniciais para os parâmetros calibráveis.

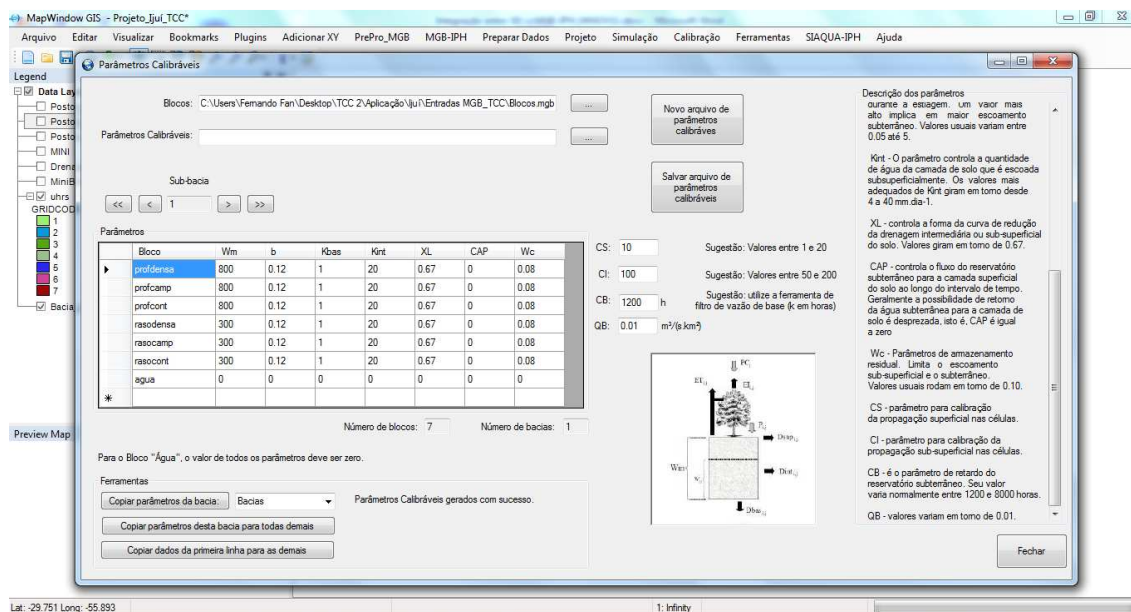


Figura 35 - Ferramenta "Parâmetros Calibráveis".

No caso da bacia Ijuí, uma primeira simulação foi realizada utilizando os valores de parâmetros calibráveis apresentados nos Quadros 14 e 15.

Quadro 14 - Valores dos parâmetros calibráveis adotados na simulação preliminar na bacia Ijuí.

Bloco	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
profdensa	800	0.1	1	20	0.7	0	0.1
profcamp	800	0.1	1	20	0.7	0	0.1
profcont	800	0.1	1	20	0.7	0	0.1
rasodensa	300	0.1	1	20	0.7	0	0.1
rasocamp	300	0.1	1	20	0.7	0	0.1
rasocont	300	0.1	1	20	0.7	0	0.1
agua	0	0	0	0	0	0	0

Quadro 15 - Valores dos parâmetros calibráveis CS, CI e CB adotados na simulação preliminar da bacia Ijuí.

Parâmetro	Valor
CS	15
CI	100
CB	1000

Ao final da definição dos valores, foi criado o arquivo de entrada do modelo MGB-IPH, ele foi denominado "parcal.mgb".

4.1.3.13 Criação de um projeto de simulação

Dentro da interface desenvolvida, a simulação hidrológica de uma bacia hidrográfica é realizada especificando um projeto de simulação, que é uma combinação dos diversos arquivos com dados definidos nos passos anteriores. O processo é realizado na ferramenta “Criar projeto” (Figura 36) e consiste na especificação dos arquivos de entrada que serão utilizados na simulação.

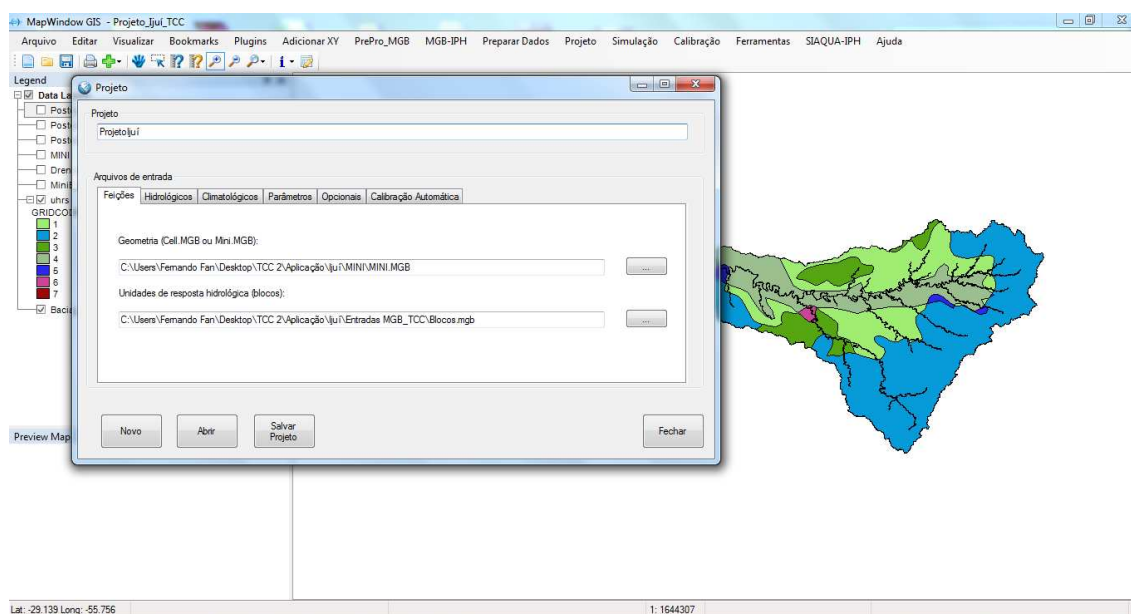


Figura 36 - Ferramenta de criação de projeto de simulação do MGB-IPH.

Para a simulação da bacia Ijuí, o projeto recebeu o nome "Projeto Ijuí", e foi construído com os arquivos definidos no Quadro 16, abaixo.

Quadro 16 - Descrição dos arquivos gerados via interface e utilizados para criar o projeto de simulação da bacia Ijuí.

Descrição	Nome do arquivo
Minibacias	Mini.mgb
URHs	Blocos.mgb
Chuva interpolada	Chuva.mgb
Vazões observadas	Qobs.mgb
Normais climatológicas	Medias_cli.mgb
Clima diário	02854011.cli
Parâmetros fixos	Parfix.mgb
Parâmetros calibráveis	Parcal.mgb

4.1.3.14 Simulação

A simulação do MGB-IPH é realizada dentro da interface desenvolvida através da ferramenta “Simulação”. Ao especificar o projeto que se deseja simular, o programa identifica automaticamente o período a ser simulado, bem como as minibacias com dados de vazão e onde os resultados devem ser gravados para a realização das comparações de dados calculados e observados.

Após a especificação do projeto, a interface executa o modelo MGB-IPH, transferindo os arquivos de entrada para o mesmo. No caso da bacia Ijuí, estes passos foram executados e a simulação foi realizada com êxito. A Figura 37 apresenta o processo de simulação.

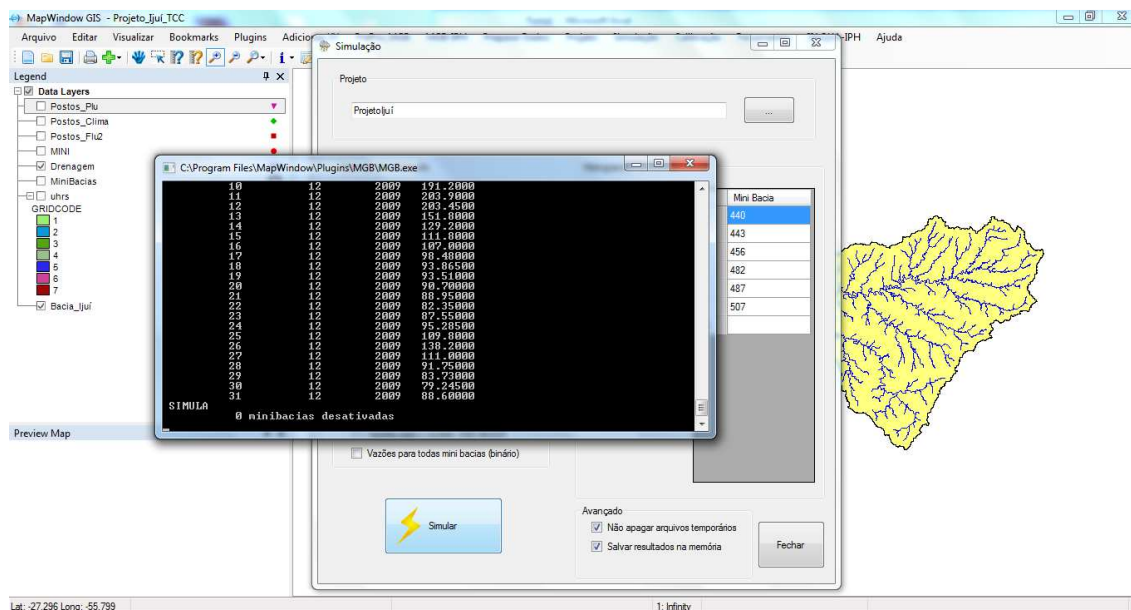


Figura 37 - Simulação da bacia Ijuí através da interface desenvolvida.

4.1.3.15 Visualização de resultados

Como a interface desenvolvida é acoplada ao MapWindow GIS®, os resultados da simulação podem ser visualizados de maneira rápida no mapa, clicando sobre o centróide das mini-bacias simuladas, com a ativação da ferramenta "Comparar hidrogramas". A Figura 38 apresenta um gráfico com o primeiro resultado da simulação na mini-bacia 456 (comparado ao posto fluviométrico observado 75205000) na bacia Ijuí.

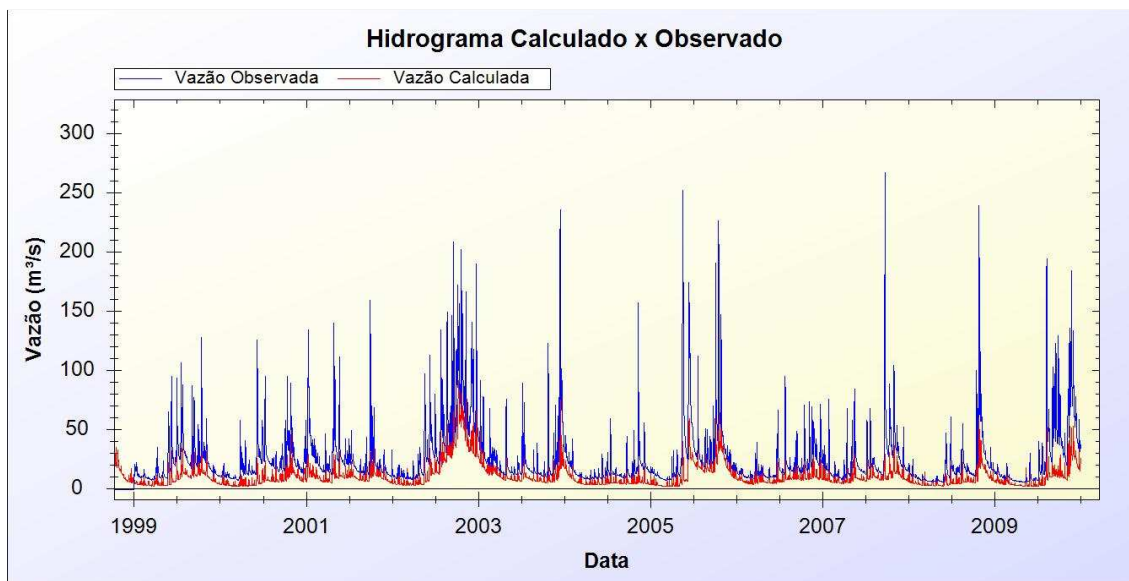


Figura 38 - Resultado da simulação na mini-bacia 456 (comparado ao posto fluviométrico observado 75205000) na bacia Ijuí.

Estes gráficos são gerados com a utilização da biblioteca zedgraph (apresentada no capítulo 3), e podem ser modificados com ferramentas de zoom, entre outras opções de visualização, gravação e impressão. Ampliando a capacidade de acesso e análise dos resultados do modelo. A Figura 39 apresenta um zoom em uma parte dos resultados da simulação na mini-bacia 456 (comparado ao posto fluviométrico observado 75205000) na bacia Ijuí.

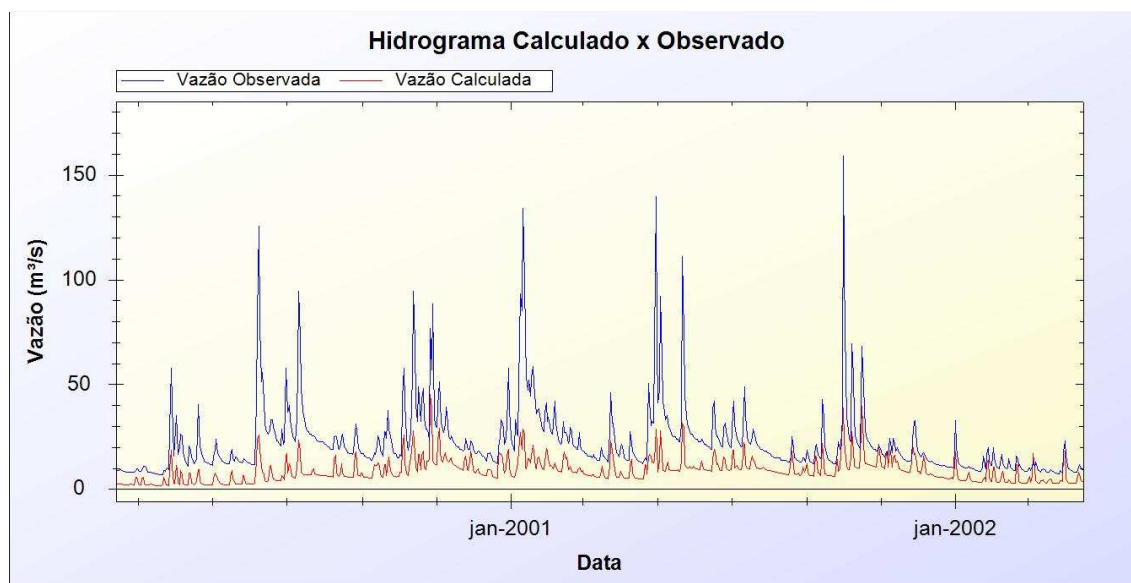


Figura 39 - Zoom em uma parte dos resultados da simulação na mini-bacia 456 (comparado ao posto fluviométrico observado 75205000) na bacia Ijuí.

Através da interface desenvolvida também é possível gerar gráficos de curvas de permanência nas mini-bacias calculadas, através da ferramenta "Comparar curvas de permanência". Ao fazer isto, a interface calcula automaticamente as curvas de permanência dos resultados do MGB-IPH. A Figura 40 mostra um exemplo de curvas de permanência geradas no posto fluviométrico 75205000 (mini-bacia 436).

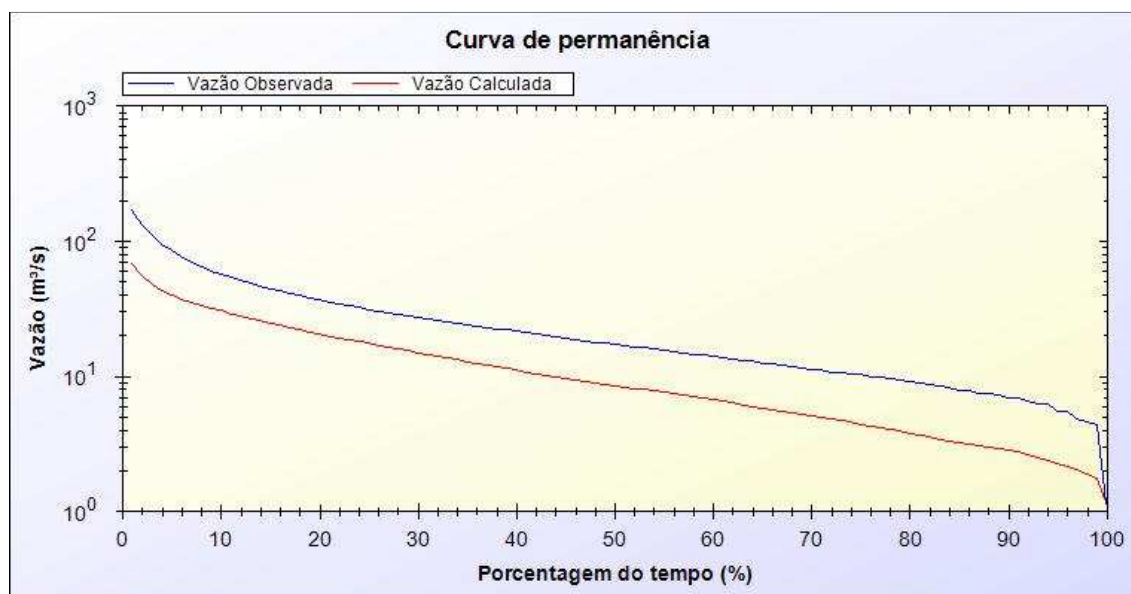


Figura 40 – Comparação entre as curvas de permanência na mini-bacia 456 (comparado ao posto fluviométrico observado 75205000) na bacia Ijuí.

4.1.3.16 Calibração manual

Conforme pode ser observado nas Figuras 38 a 40, as vazões inicialmente calculadas pelo MGB-IPH não são iguais as vazões reais observadas nos postos fluviométricos. Ou seja, os parâmetros do modelo precisam ser calibrados.

A calibração manual consiste na alteração dos valores dos parâmetros calibráveis, procurando fazer com que os hidrogramas calculados coincidam com os hidrogramas observados, em um processo de tentativa e erro. Este procedimento de calibração exige, portanto, sensibilidade e conhecimento do usuário do modelo hidrológico.

Os principais aspectos que devem ser verificados na calibração são a forma geral do hidrograma, a recessão das vazões durante as estiagens, o 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 indica que a calibração não está boa.

Além disso, o modelo MGB-IPH gera como resultado de saída os valores do coeficiente de Nash (R^2), do coeficiente de Nash para os logaritmos das vazões (R_{\log}) e da relação entre volumes medidos e calculados (ΔV) para as mini-bacias com dados observados. Estes dados também podem ser considerados na avaliação.

Observa-se nos resultados iniciais da aplicação na bacia Ijuí que a forma dos hidrogramas observados é relativamente mantida pelos hidrogramas calculados, contudo, as vazões calculadas são em geral menores que as observadas. Portanto, inicialmente optou-se pela variação manual dos parâmetros W_m (capacidade de armazenamento de água no solo), k_{bas} (taxa de percolação de água para o aquífero) e k_{int} (escoamento subsuperficial).

Dado que as vazões calculadas estão subestimadas, uma das causas para isto pode ser que a capacidade de armazenamento de água, dada pelo parâmetro W_m , esteja muito alta. Por este motivo os valores de W_m foram diminuídos. Os valores adotados depois de alguns testes variaram entre $W_m = 50\text{mm}$ a $W_m = 80\text{mm}$ em URHs de solo raso e $W_m = 100\text{mm}$ a $W_m = 120\text{mm}$ em URHs de solo profundo.

Ainda, a capacidade de armazenamento do solo foi considerada maior nas áreas de vegetação densa do que nas áreas de campos e pastagens. Isto foi assumido uma vez que a vegetação de floresta geralmente tem raízes mais profundas e pode retirar água de maiores profundidades do solo. Ainda, geralmente o solo com este tipo de uso é menos compactado, devido à menor ação humana e à presença de raízes profundas.

Para fazer com que o MGB-IPH gere vazões mais altas durante as estiagens o parâmetro k_{bas} foi aumentado. Os valores adotados foram de 5,0 mm/dia para UHRs de solo profundo e entre 3 mm/dia e 1,5 mm/dia para UHRs de solo raso.

De mesma forma, os valores do parâmetro k_{int} , que controla a quantidade de água da camada de solo que é escoada subsuperficialmente, foram também aumentados. Valores mais altos foram adotados para solos mais profundos (20 mm.dia-1 à 30 mm.dia-1), e valores mais baixos foram considerados para os solos mais rasos (8 mm.dia-1 à 15 mm.dia-1).

Após alguns testes, os valores do parâmetro b (forma da relação entre armazenamento e saturação) também foram levemente ajustados. Os Quadros 17 e 18, abaixo, apresentam os valores finais de parâmetros ajustados através do processo de calibração manual.

Quadro 17 - Valores finais de parâmetros ajustados através do processo de calibração manual.

Bloco	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
profdensa	120	0.6	5	30	0.7	0	0.1
profcamp	100	0.6	5	20	0.7	0	0.1
profcont	110	0.6	5	25	0.7	0	0.1
rasodensa	80	0.4	3	15	0.7	0	0
rasocamp	50	0.4	2	8	0.7	0	0
rasocont	60	0.4	1.5	12	0.7	0	0
Água	0	0	0	0	0	0	0

Quadro 18- valores finais de CS, CB e CI ajustados através do processo de calibração manual.

Parâmetro	Valor
CS	15
CI	100
CB	1000

As Figuras 41 a 46, a seguir, apresentam alguns resultados obtidos após o processo de calibração manual.

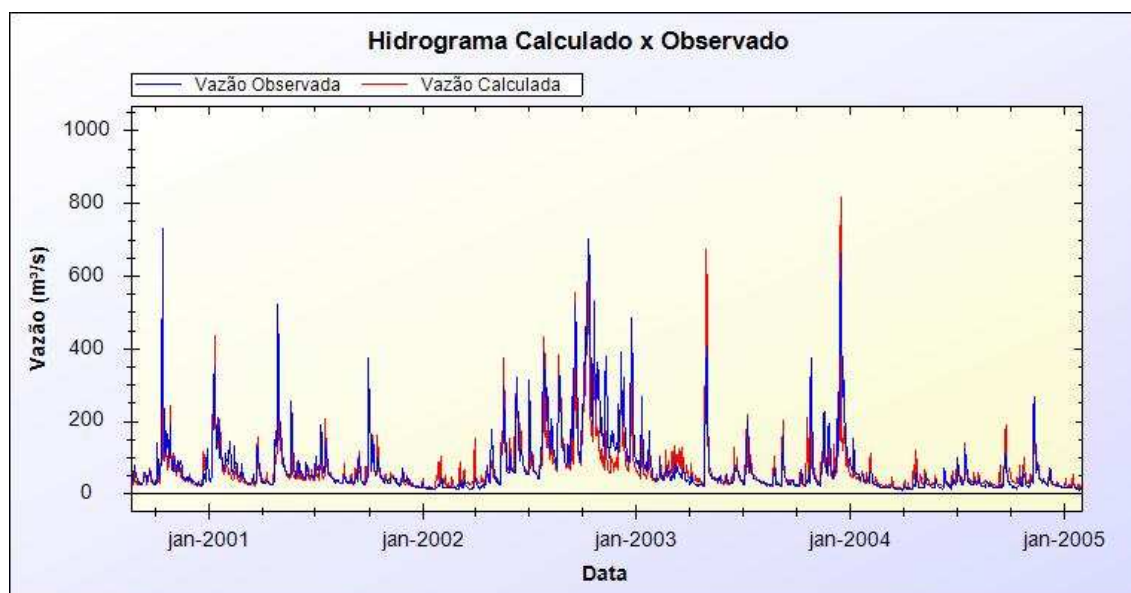


Figura 41 - Resultado da simulação na mini-bacia 487 (comparado ao posto fluviométrico observado 75295000) na bacia Ijuí.

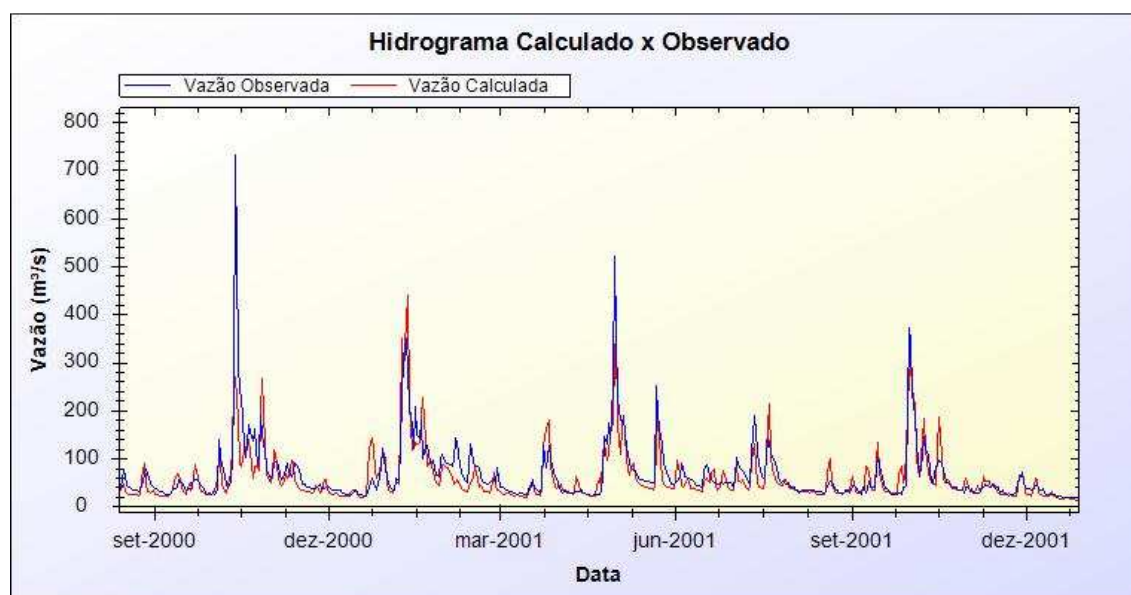


Figura 42 – Zoom em resultado da simulação na mini-bacia 487 (comparado ao posto fluviométrico observado 75295000) na bacia Ijuí.

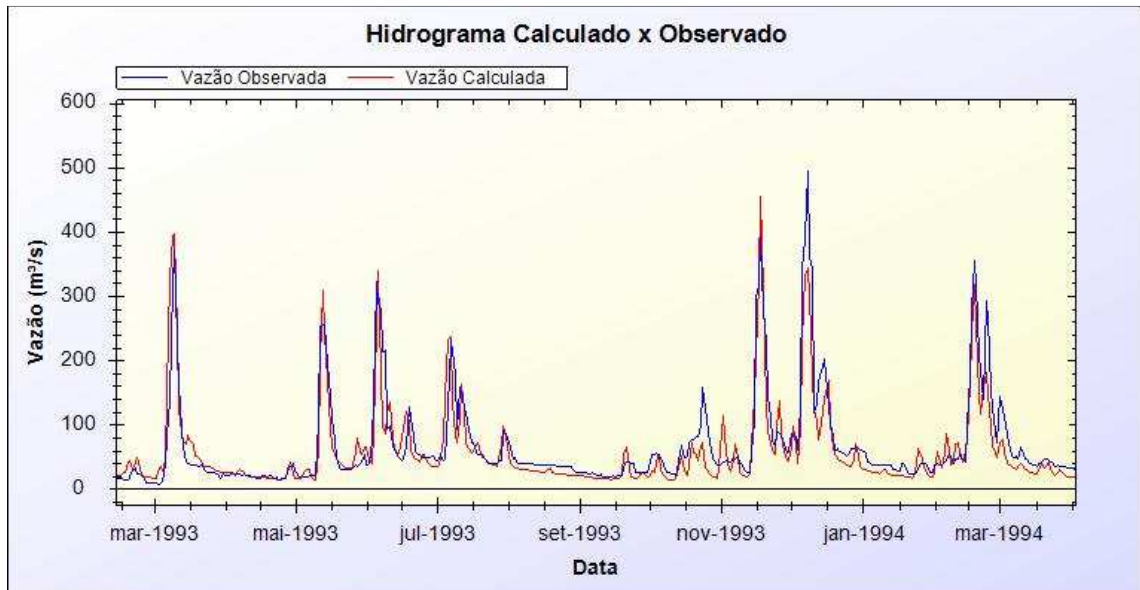


Figura 43 – Zoom em resultado da simulação na mini-bacia 487 (comparado ao posto fluviométrico observado 75295000) na bacia Ijuí.

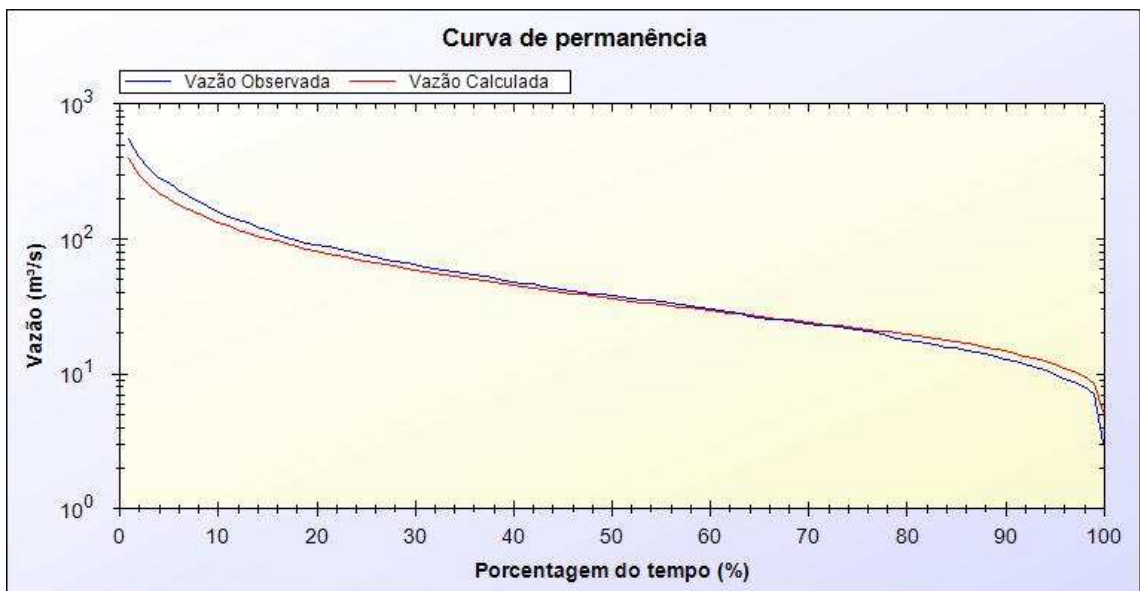


Figura 44 – Curva de permanência resultado da simulação na mini-bacia 487 (comparado ao posto fluviométrico observado 75295000) na bacia Ijuí.

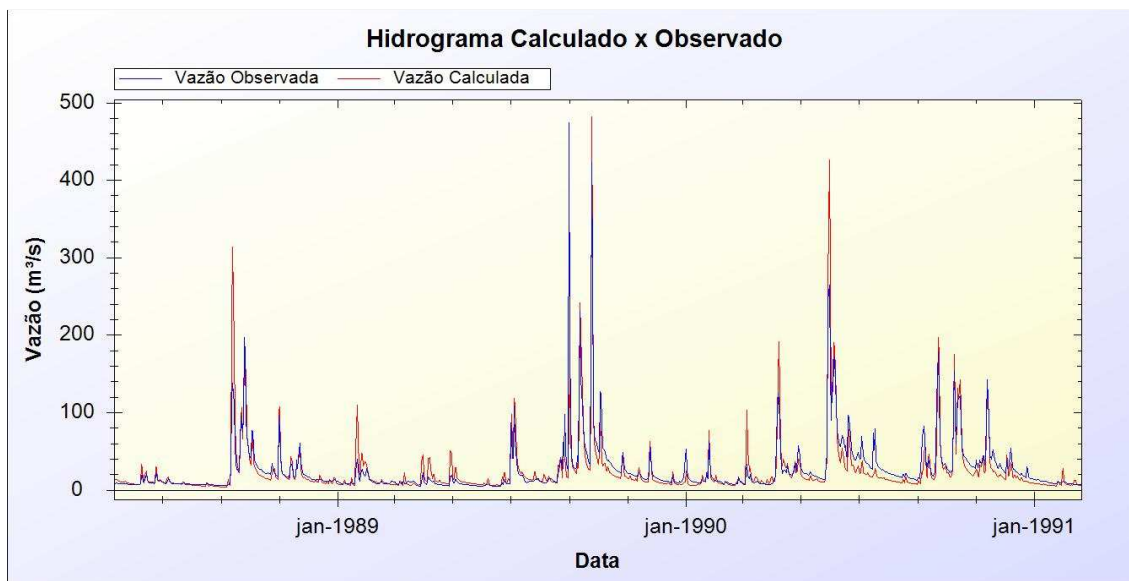


Figura 45 - Resultado da simulação na mini-bacia 456 (comparado ao posto fluviométrico observado 75205000) na bacia Ijuí.

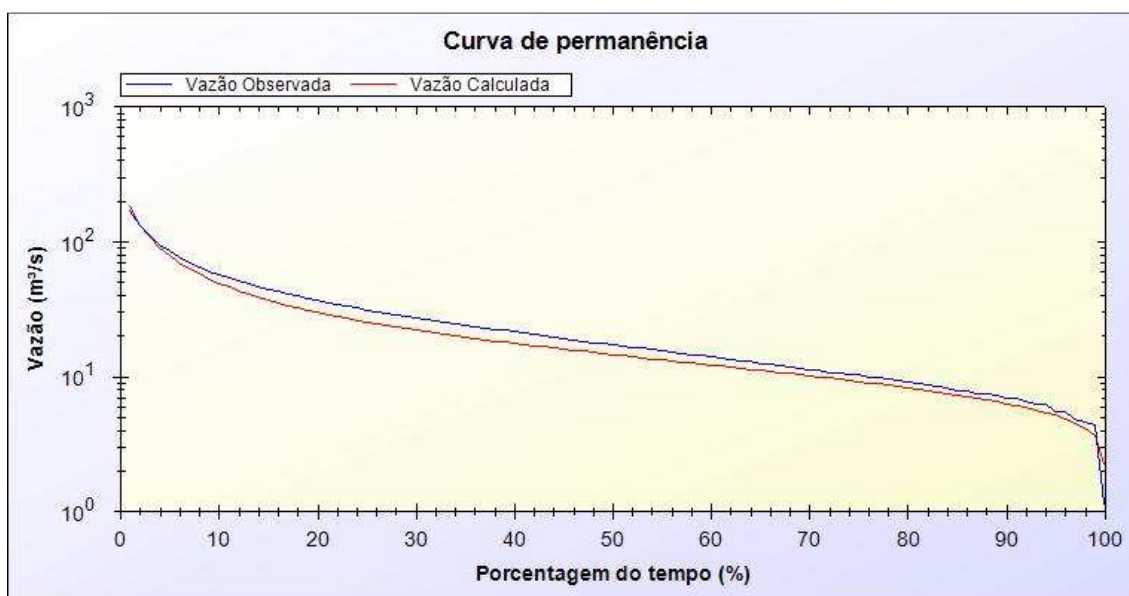


Figura 46 - Curva de permanência resultado da simulação na mini-bacia 456 (comparado ao posto fluviométrico observado 75205000) na bacia Ijuí.

4.1.3.14 Calibração automática

O modelo MGB-IPH possui a função de calibração automática multiobjetivo, baseado no algoritmo genético MOCOM-UA (Yapo et al., 1998). Para a calibração automática, o modelo permite o uso de 3 entre 4 funções objetivo disponíveis: coeficiente de Nash Sutcliffe das vazões (R2), o coeficiente de Nash Sutcliffe dos logaritmos das vazões (Rlog), o erro de volume (ΔV) e o erro da Q90 (ΔQ_{90}).

Conforme Collischonn (2001), a definição destas estatísticas, ou funções objetivo, é dada pelas equações a seguir:

$$R2 = 1 - \frac{\sum(Q_{obs}(t) - Q_{calc}(t))^2}{\sum(Q_{obs}(t) - \bar{Q}_{obs})^2} \text{ (coeficiente de Nash)}$$

$$Rlog = 1 - \frac{\sum(\ln(Q_{obs}(t)) - \ln(Q_{calc}(t)))^2}{\sum(\ln(Q_{obs}(t)) - \ln(\bar{Q}_{obs}))^2} \text{ (coeficiente de Nash para os logaritmos}$$

das vazões)

$$\Delta V = \frac{\sum Q_{calc}(t) - \sum Q_{obs}(t)}{\sum Q_{obs}(t)} \text{ (erro dos volumes)}$$

$$\Delta Q_{90} = |Q_{90calc}(t) - Q_{90obs}(t)| \text{ (erro da Q90)}$$

Onde:

Q_{calc} = Vazão calculada pelo modelo.

Q_{obs} = Vazão observada no posto fluviométrico.

O coeficiente de Nash (R2) e o coeficiente de Nash para o logaritmo das vazões (Rlog) possuem um valor máximo igual a 1, que corresponde a um ajuste perfeito entre vazões calculadas e observadas. O valor de R2 é fortemente

influenciado por erros nas vazões máximas, por isto, quando R^2 é próximo de 1, o modelo está obtendo um bom ajuste para as cheias. Já o coeficiente R_{log} é mais influenciado pelas vazões mínimas, onde valores próximos da unidade significam que o modelo está simulando adequadamente os períodos de recessão do hidrograma e as estiagens (COLLISCHONN, 2001).

O erro no volume e o erro da Q_{90} não têm valor máximo nem mínimo. O valor de ΔV apenas expressa a diferença relativa entre a soma de todas as vazões, calculadas e observadas, e o erro da Q_{90} expressa a diferença entre as vazões de referência calculadas e observadas. Quanto mais próximos de zero os valores destes parâmetros, melhores podem ser considerados os resultados do modelo.

Mais detalhes sobre o funcionamento do algoritmo de calibração e das funções objetivo podem ser encontrados em Collischonn (2001).

Dentro da interface desenvolvida, a calibração automática do MGB-IPH é preparada através da ferramenta “Parâmetros para Calibração Automática”, apresentada na Figura 47. Nesta ferramenta o usuário deve definir quais funções objetivo deseja utilizar, quais parâmetros deseja calibrar, qual o intervalo de variação dos parâmetros que serão calibrados e quais postos de vazão observada serão usados como comparação.

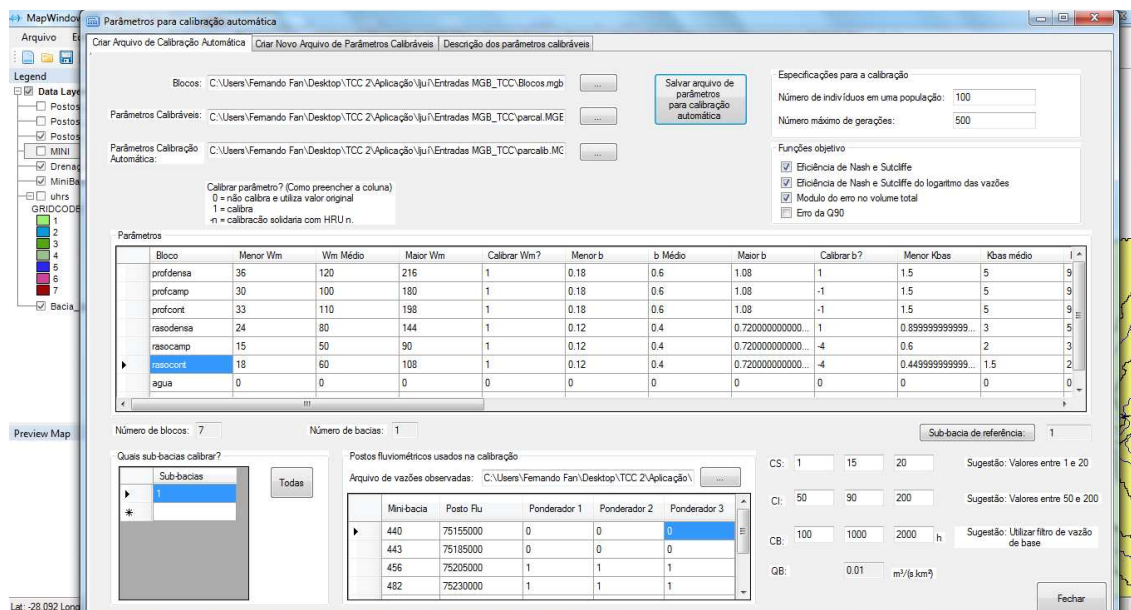


Figura 47 – Ferramenta de definição de parâmetros para calibração automática.

Para a bacia Ijuí, foi definido que os parâmetros Wm, b, Kbas, Kint, CI, CS e CB de todas as UHRs (exceto água) deveriam ser calibrados considerando os postos 75205000, 75230000, 75950000 e 75320000.

A ferramenta de calibração automática gerou um arquivo de entrada do MGB-IPH que foi incorporado ao projeto “Simulação Ijuí”. O modelo foi, então, acionado em modo calibração automática e gerou um arquivo de saída denominado “Evolution.txt”. Este arquivo foi processado pela mesma ferramenta de “Parâmetros de Calibração Automática” da interface desenvolvida, onde foi gerado o novo arquivo de parâmetros calibráveis para o MGB-IPH.

Os Quadros 19 e 20, abaixo, apresentam o novo conjunto de parâmetros calibráveis do MGB-IPH, definidos no processo de calibração automática.

Quadro 19 - Novo conjunto de parâmetros calibráveis do MGB-IPH, definidos no processo de calibração automática.

Bloco	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
profdensa	62	0.9	6.22	42	0.7	0	0.1
profcamp	85	0.9	4.65	29	0.7	0	0.1
profcont	135	0.9	5.91	28	0.7	0	0.1
rasodensa	27	0.3	4.83	17	0.7	0	0
rasocamp	49	0.3	1.9	9.4	0.7	0	0
rasocont	96	0.3	1.9	7.3	0.7	0	0
Água	0	0	0	0	0	0	0

Quadro 20 - Novo conjunto de CB, CI, CS do MGB-IPH, definidos no processo de calibração automática.

Parâmetro	Valor
CS	17
CI	149
CB	1150

De maneira geral, pode-se afirmar que o procedimento de calibração automática resultou em uma redistribuição dos valores de kbas, em uma elevação nos valores de b e kint e em uma diminuição nos valores de Wm. Estes ajustes sugerem uma capacidade de armazenamento menor e um escoamento subsuperficial maior que os inicialmente estipulados.

As Figuras 48 a 53 apresentam os resultados da simulação do MGB-IPH para a bacia Ijuí com a utilização do novo conjunto de parâmetros calibráveis.

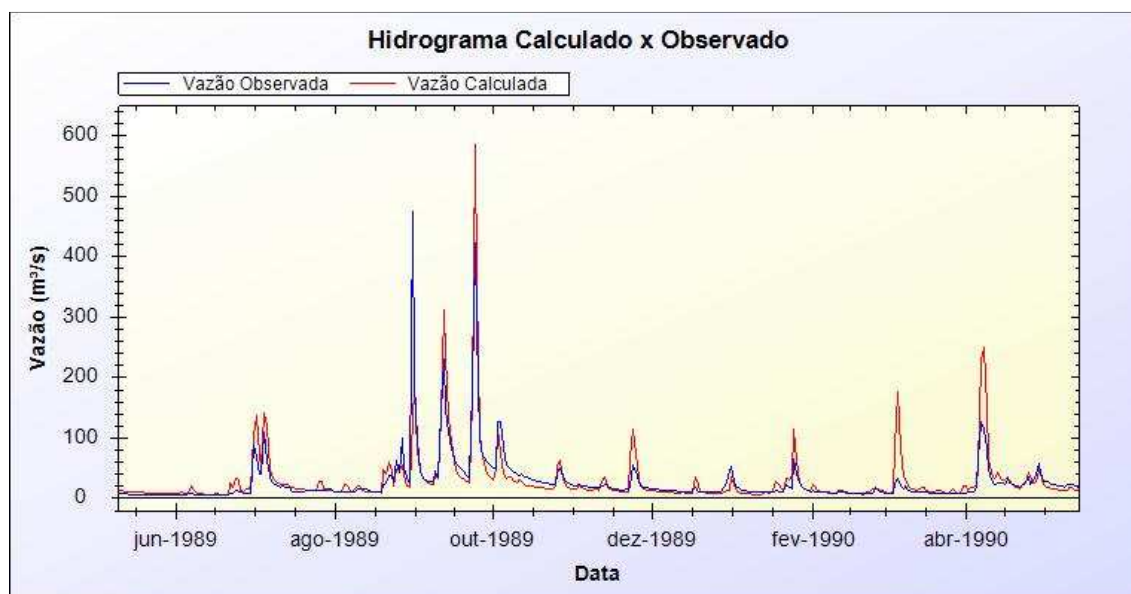


Figura 48 – Resultado da simulação na mini-bacia 456 (comparado ao posto fluviométrico observado 75205000), após procedimento de calibração automática na bacia Ijuí.

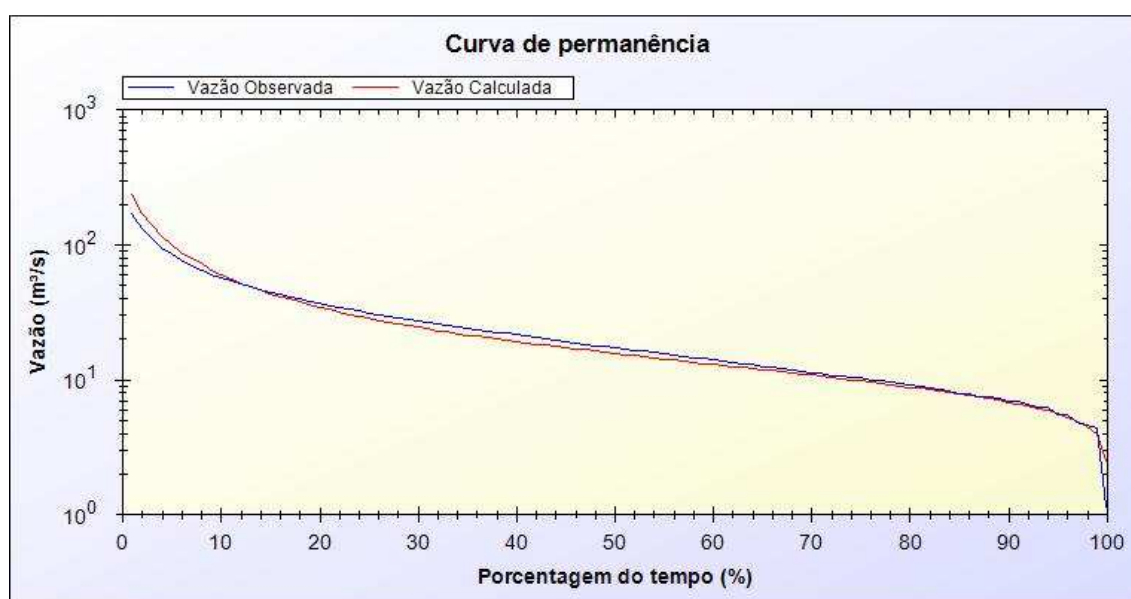


Figura 49 – Curva de permanência resultado da simulação na mini-bacia 456 (comparado ao posto fluviométrico observado 75205000), após procedimento de calibração automática na bacia Ijuí.

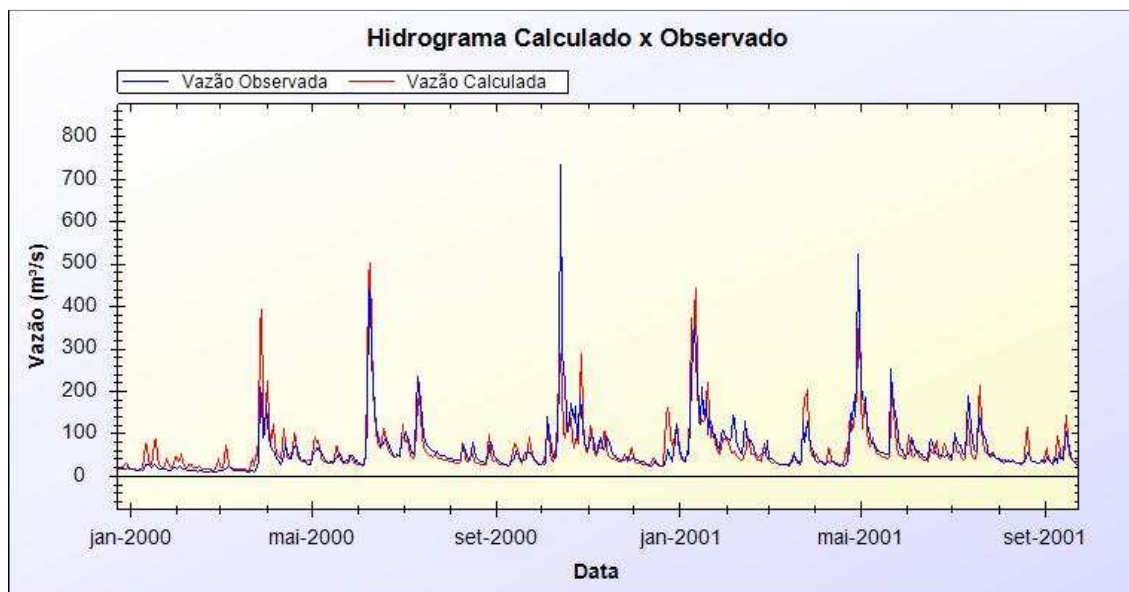


Figura 50 – Resultado da simulação na mini-bacia 487 (comparado ao posto fluviométrico observado 75295000), após procedimento de calibração automática na bacia Ijuí.

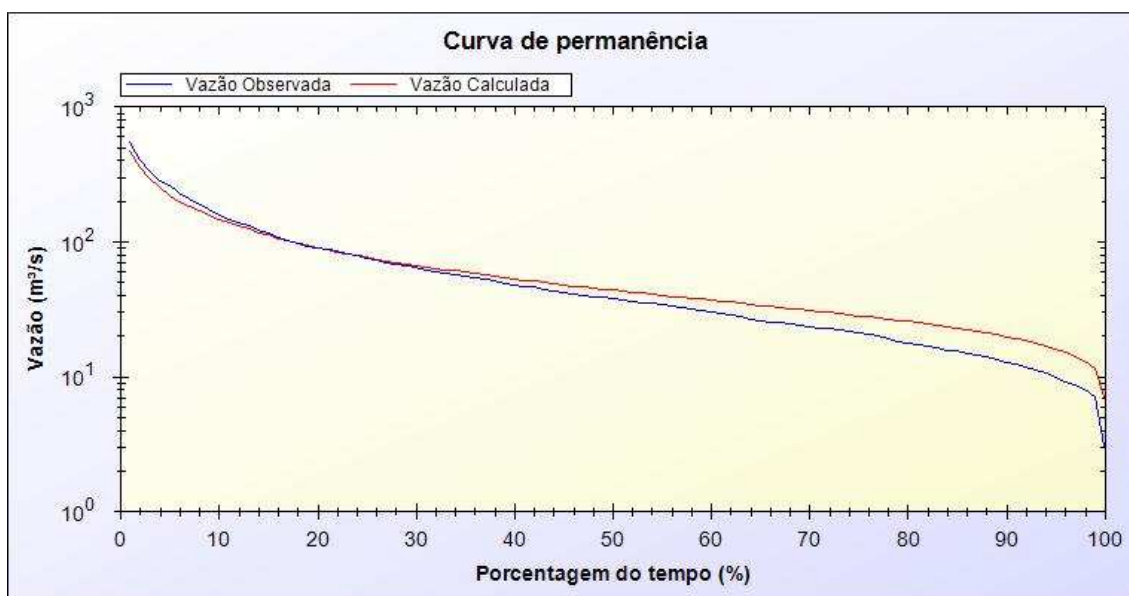


Figura 51 – Curva de permanência resultado da simulação na mini-bacia 487 (comparado ao posto fluviométrico observado 75295000), após procedimento de calibração automática na bacia Ijuí.

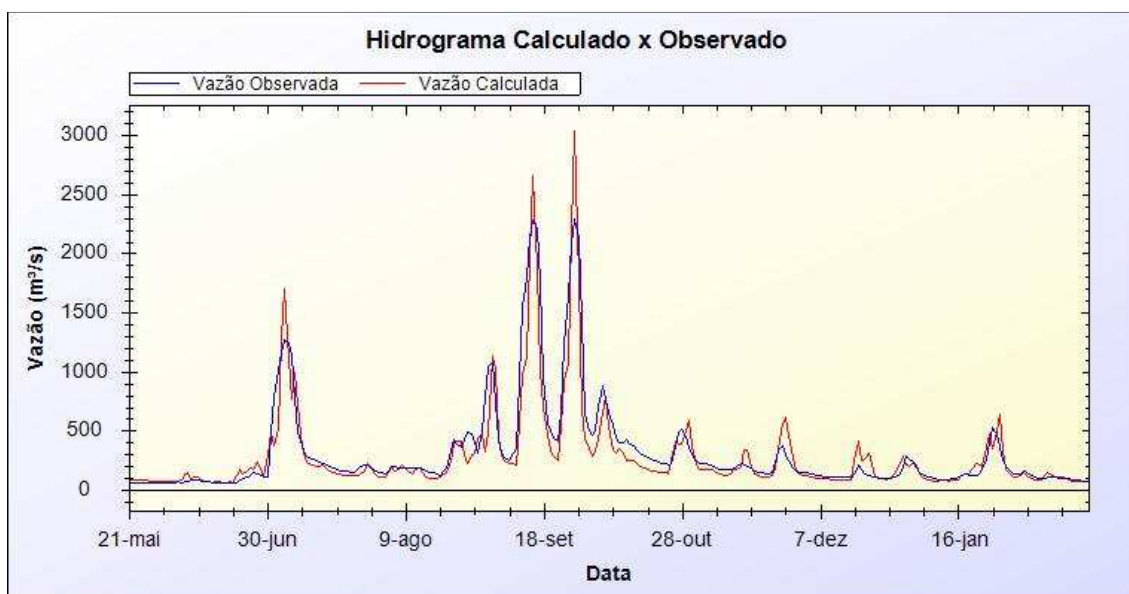


Figura 52 – Resultado da simulação na mini-bacia 507 (comparado ao posto fluviométrico observado 75320000), após procedimento de calibração automática na bacia Ijuí.

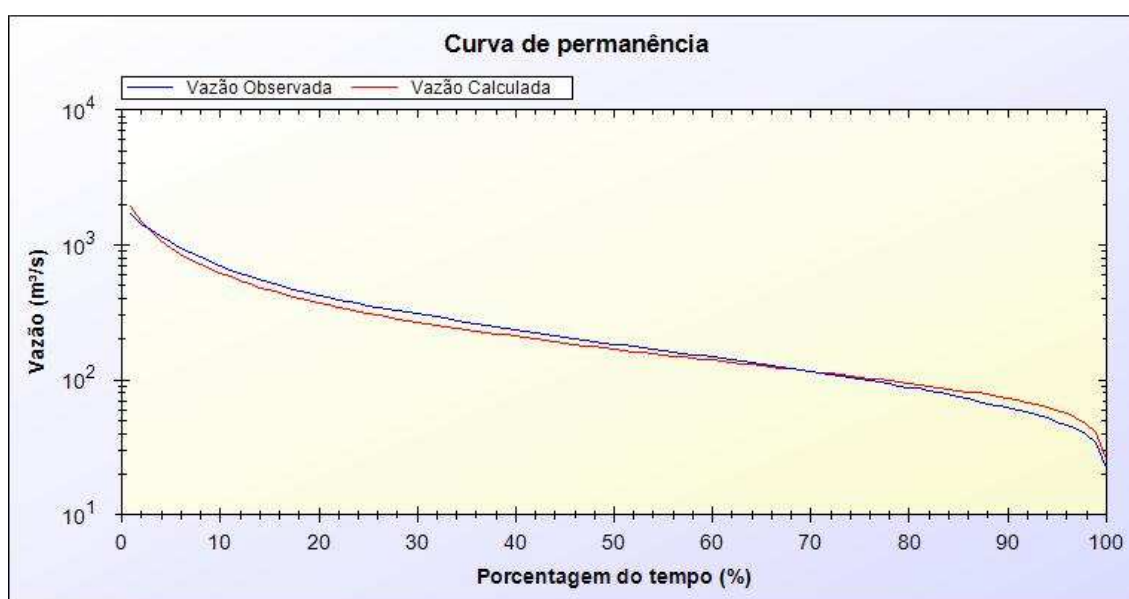


Figura 53 – Curva de permanência resultado da simulação na mini-bacia 507 (comparado ao posto fluviométrico observado 75320000), após procedimento de calibração automática na bacia Ijuí.

De uma forma geral, pode-se afirmar que os resultados obtidos através da calibração foram satisfatórios na comparação entre os dados calculados e

observados e que o modelo está ajustado para representar de forma adequada o comportamento da bacia hidrográfica.

Portanto, o MGB-IPH foi aplicado com sucesso para a bacia Ijuí através do uso da ferramenta desenvolvida.

4.2 APLICAÇÃO NA BACIA TRÊS MARIAS

A seguir, é apresentada a aplicação do modelo MGB-IPH, através do acoplamento com SIG desenvolvido neste trabalho, para a bacia tratada como “Três Marias”, denominada desta forma a fim de facilitar as explicações e referências feitas à área de estudo.

Ao contrário do apresentado na aplicação para a bacia Ijuí, onde os passos do uso da interface desenvolvida foram descritos de forma mais detalhada, para a bacia Três Marias o desenvolvimento é apresentado de maneira mais sucinta. O objetivo deste exemplo de aplicação é seguir apresentando o uso, a aplicabilidade e o potencial do trabalho desenvolvido.

4.2.1 Informações Preliminares

A Bacia Hidrográfica Três Marias constitui-se de uma sub-bacia da bacia do rio São Francisco e se situa no centro do Estado de Minas Gerais, entre as coordenadas geográficas 17° 19' a 21° 93' de latitude Sul e 43° 63' a 46° 67' de longitude Oeste. Ela possui área de drenagem de aproximadamente 50.000 km², abrangendo municípios como Pirapora, Três Marias, Bambuí, Itaúna, Paraopeba e Iguatama.

Os principais cursos de água da bacia hidrográfica são os rios São Francisco, Borrachudo, Paraopeba, Abaeté e Rio Indaiá. Os principais usos da água se destinam a irrigação, ao abastecimento público e a geração de energia hidroelétrica. No coração desta bacia está situada a Usina Hidrelétrica de Três Marias, cuja barragem tem aproximadamente 1040km² de área alagada e forma um reservatório de 15 bilhões de metros cúbicos de água. A usina atualmente é administrada pela Companhia Energética de Minas Gerais S.A. (CEMIG), e é considerada de grande importância para o Brasil (CEMIG, 2011).

Esta bacia foi escolhida como segundo estudo de caso do presente trabalho devido à sua importância na geração de energia hidroelétrica. As Figuras 54 e 55, abaixo, apresentam a localização, a topografia digital e os principais cursos d'água da bacia hidrográfica.

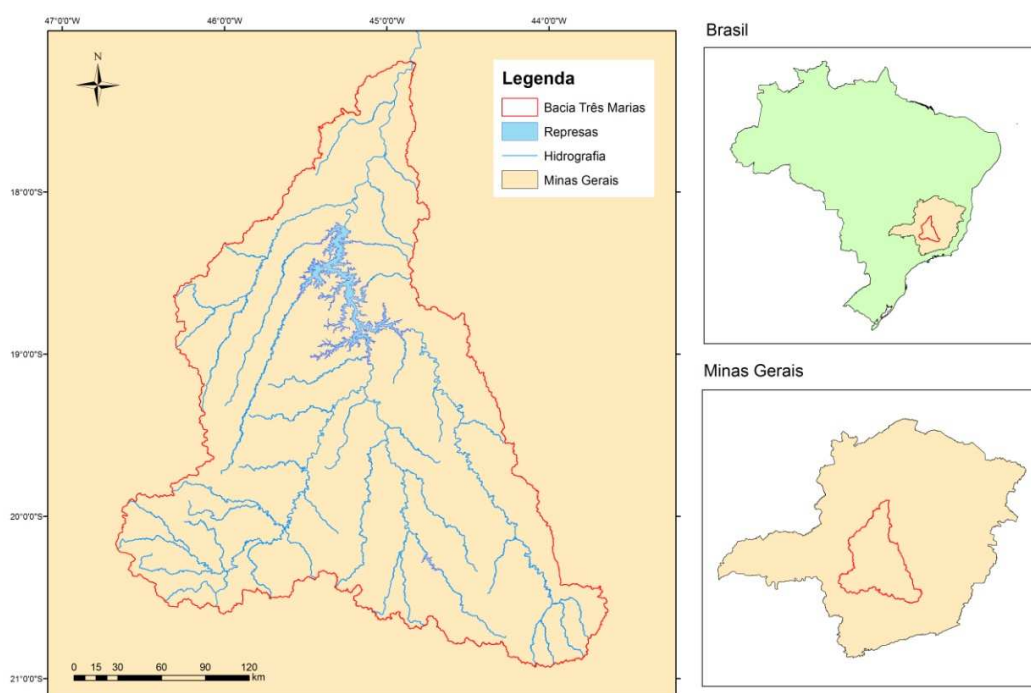


Figura 54 - Localização da bacia Três Marias.

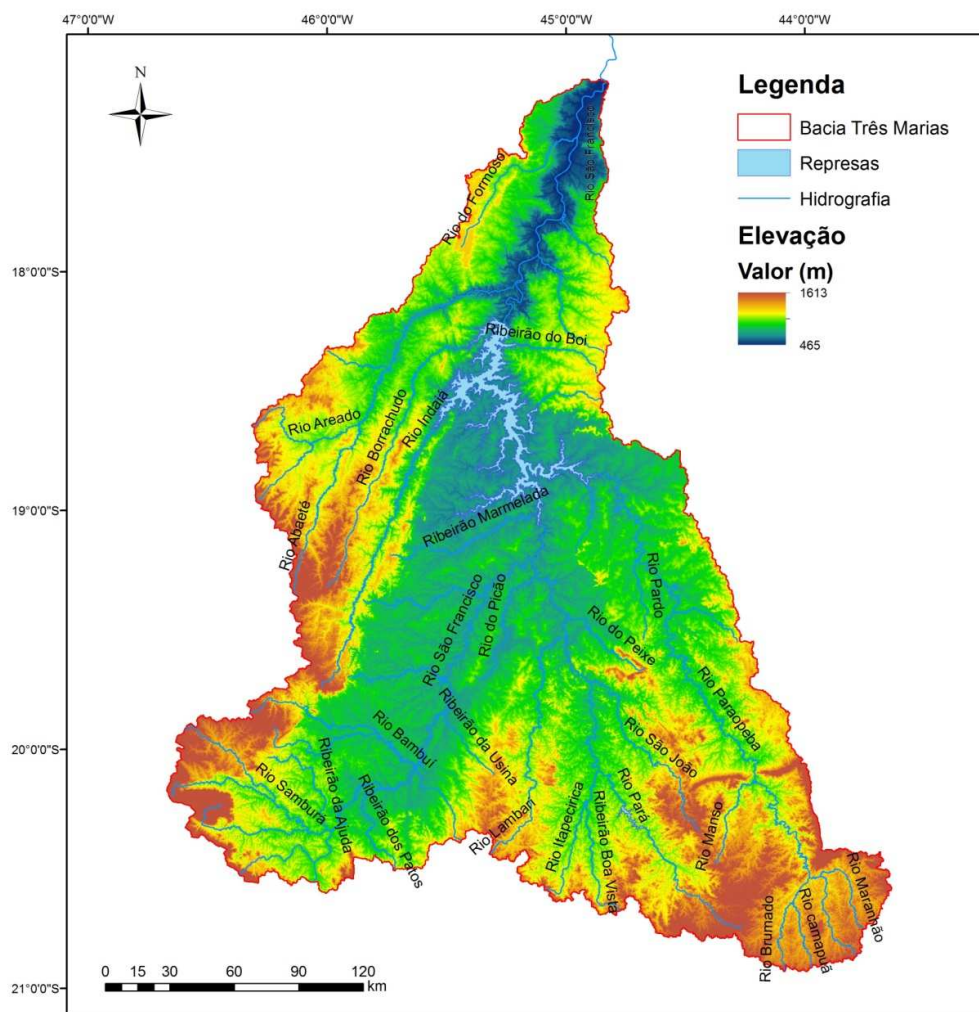


Figura 55 - Topografia e principais rios da bacia.

4.2.2 Extração de Informações Espaciais e Discretização da Bacia Hidrográfica

4.1.2.1 Aplicação do ArcHydro Tools

Para a extração de informações espaciais e discretização da bacia Três Marias foi aplicada a mesma seqüência de passos realizada para a bacia Ijuí (detalhada no capítulo 4.1). Como resultado, a bacia foi dividida em 246 mini-bacias, apresentadas na Figura 56, abaixo.

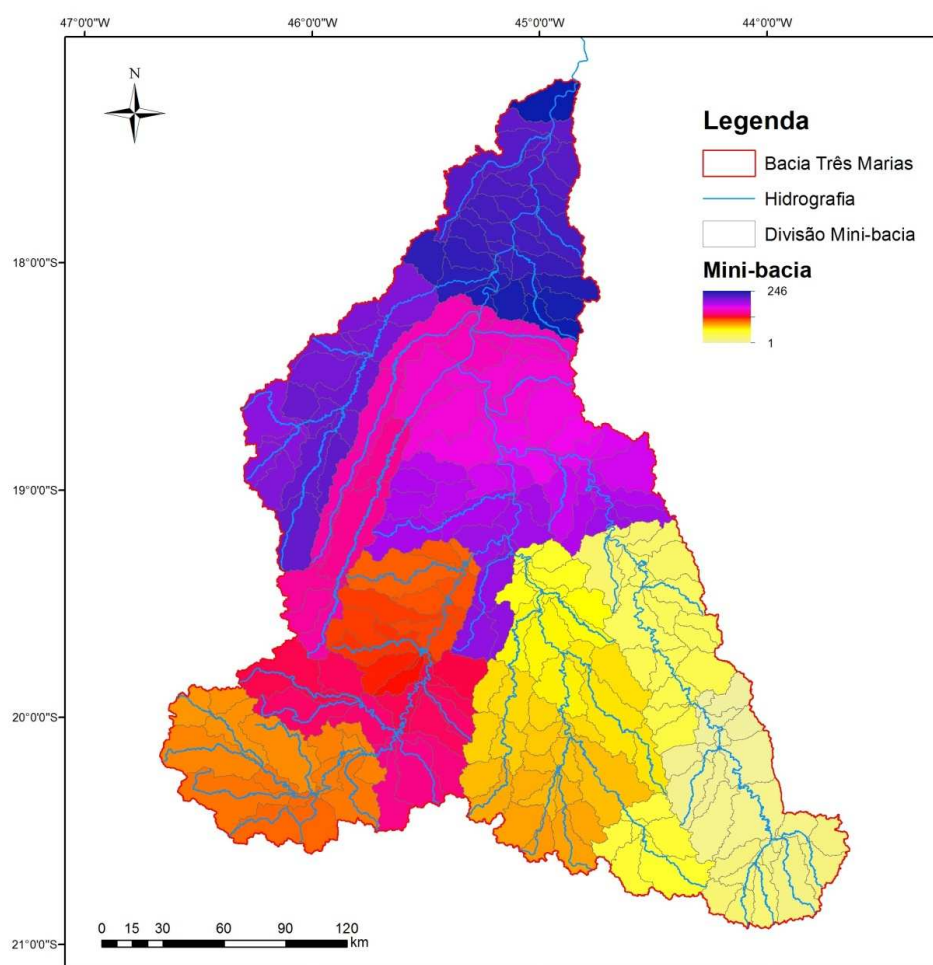


Figura 56 – Resultado das etapas de discretização da bacia Três Marias.

4.1.2.5 Definição das Unidades de Resposta Hidrológica

Para a definição das UHRs na bacia Três Marias foi utilizado um mapa de tipos de solos da bacia hidrográfica obtido a partir da base de dados disponibilizada pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), através do portal IDE-GeoMINAS. O mapa fonte das informações digitais foi originalmente concebido na escala 1:1.000.000 em estudo realizado por Amaral (1993).

A Figura 57 apresenta o mapa de tipos de solos. É possível observar que uma expressiva parte da bacia apresenta solos do tipo cambissolo, especialmente

na parte oeste da bacia. Este tipo de solo está normalmente associado com relevo relativamente acidentado, e com áreas de comportamento hidrológico em que predomina o escoamento superficial.

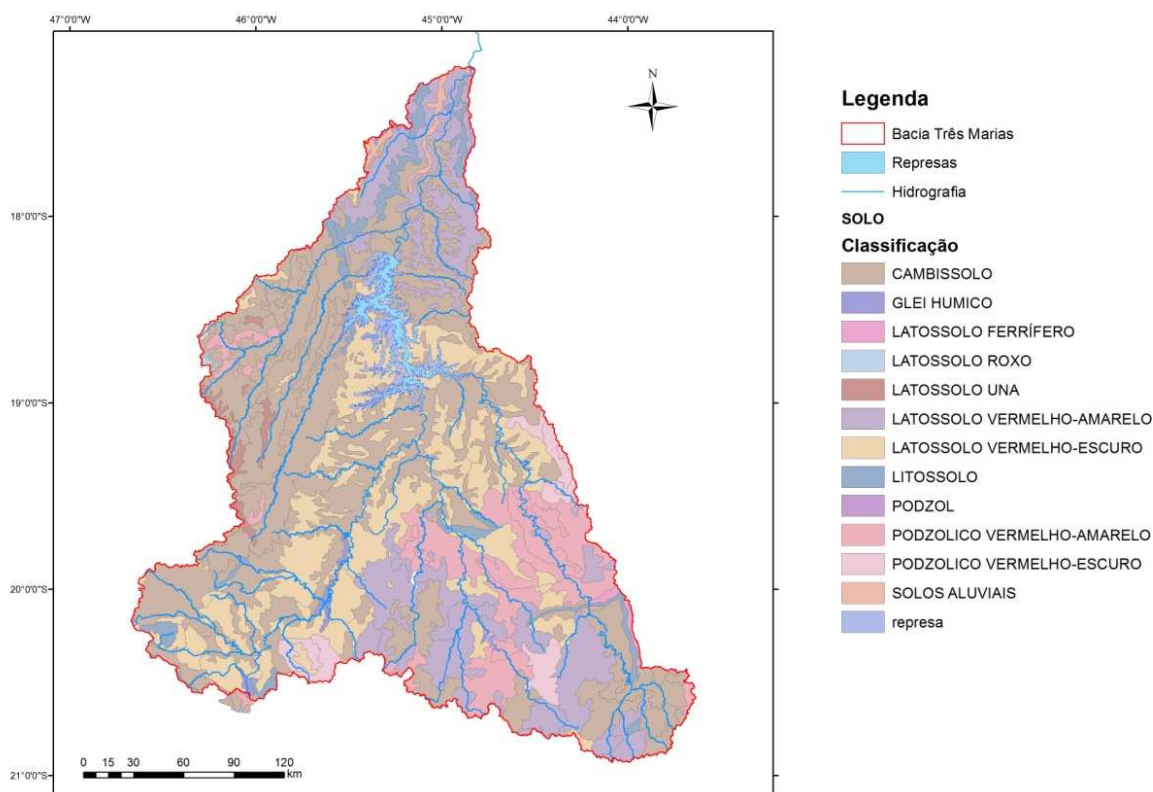


Figura 57 - Mapa de tipos de solos na bacia.

O mapa de tipos de vegetação e classes de uso da terra foi obtido do Mapa de Vegetação de América do Sul (“A Vegetation Map of South America”), desenvolvido por Eva et al (2002). Este mapa possui resolução espacial de aproximadamente 1 km e foi desenvolvido a partir de revisões de levantamentos de cobertura vegetal e de múltiplas imagens de satélite de diferentes resoluções e finalidades.

A Figura 58 apresenta o mapa de classes de vegetação. Observa-se que na bacia predominam a agricultura intensiva e a cobertura por campos fechados (Estepes).

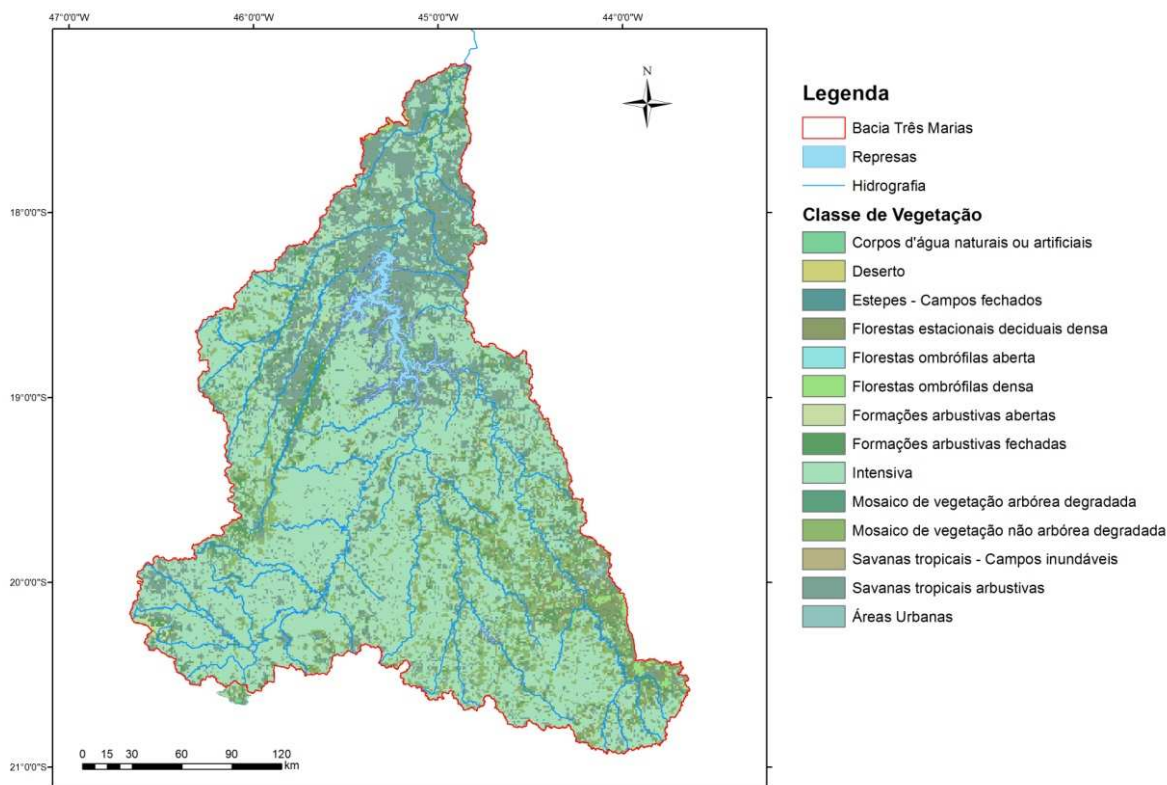


Figura 58 - Mapa de vegetação na bacia.

Através do agrupamento das diferentes classes de solo e vegetação e cruzamento das informações, foram obtidas as Unidades de Resposta Hidrológica da bacia hidrográfica. Ao total foram definidas 7 UHRs, apresentadas na Figura 59.

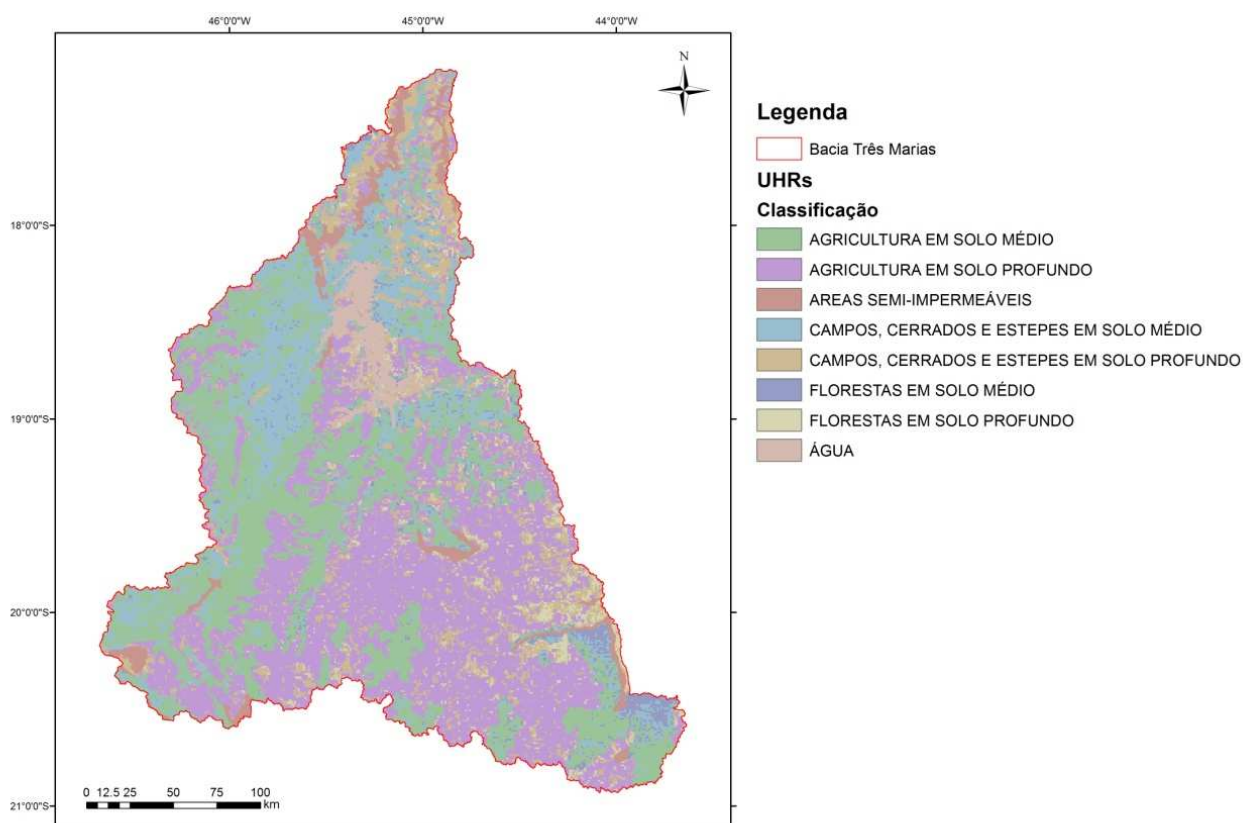


Figura 59 - UHRs montadas para a bacia Três Marias.

4.2.2.3 Aplicação do PrePro_MGB

Assim como para a bacia Ijuí, o PrePro_MGB foi executado com sucesso através da interface desenvolvida para a bacia Três Marias e gerou o arquivo de saída denominado “MINI.MGB”, que contém as informações espaciais de entrada para o MGB-IPH.

4.2.3 Simulação Usando MGB-IPH Interface Mapwindow

Antes do início do procedimento de geração de dados de entrada do modelo, para a bacia Três Marias foram adicionados os layers da rede de drenagem, represas, mini-bacias e dos contornos da bacia hidrográfica ao MapWindow GIS® .

A Figura 60 apresenta a bacia Três Marais, com os layers de rede de drenagem e represas.

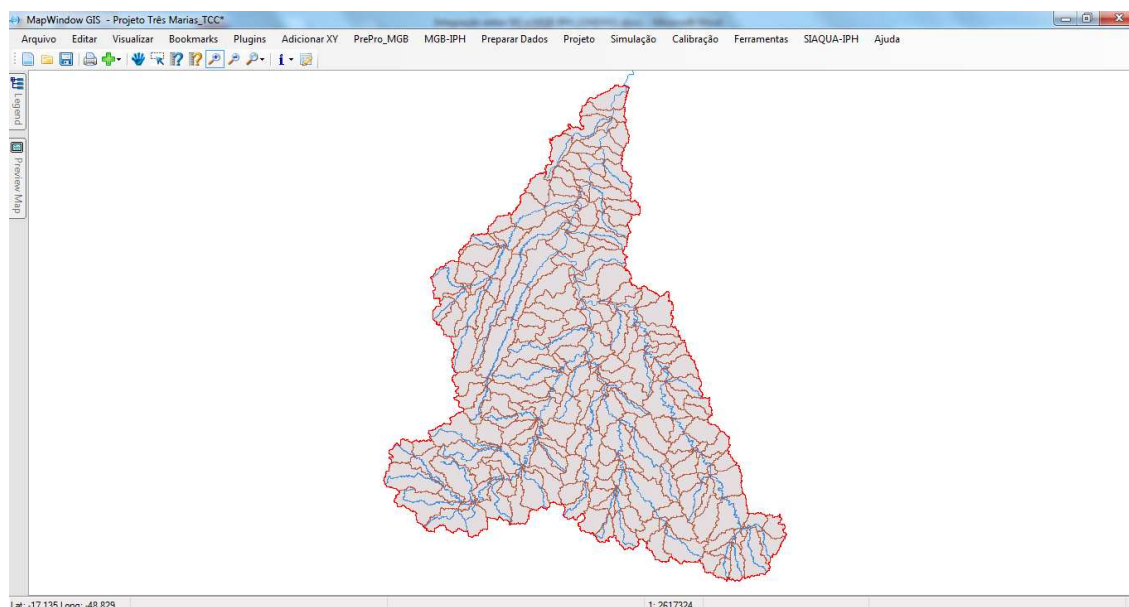


Figura 60 – Planos de Informação da bacia no MapWindow GIS® .

4.2.3.1 Geração de shapefile dos centróides das mini-bacias

Através da interface desenvolvida, o arquivo “MINI.MGB”, criado pelo PrePro_MGB, foi transformado no arquivo “mini.shp”, e adicionado ao projeto do MapWindow GIS® para visualização dos centróides das mini-bacias. A visualização do projeto da Bacia Três Marias com as mini-bacias e os centróides pode ser visto na Figura 61.

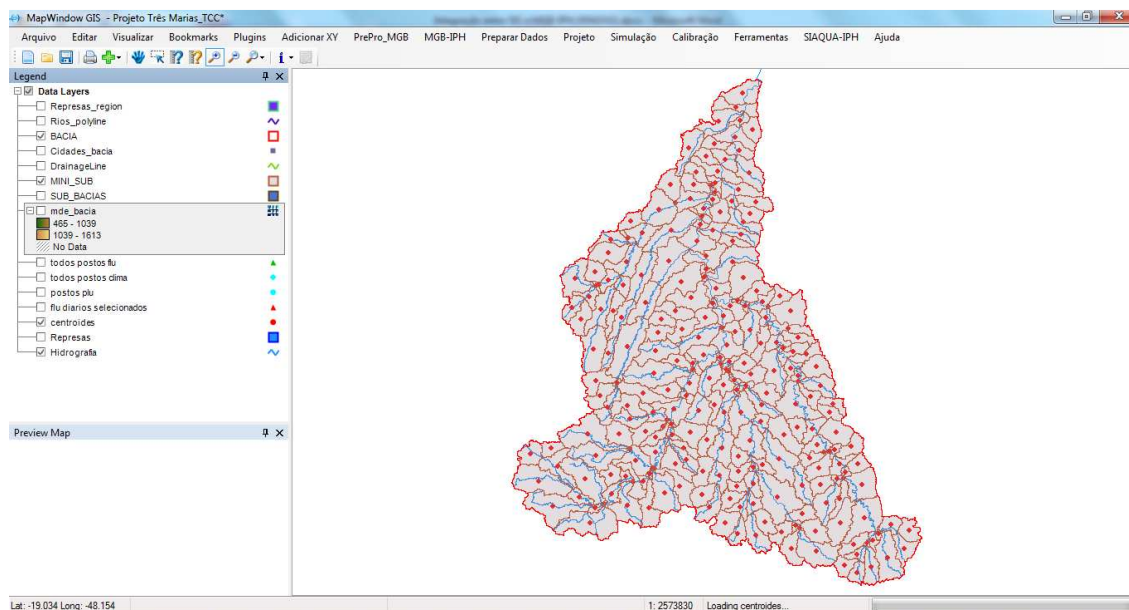


Figura 61 - Bacia Três Marias na interface MapWindow GIS® do MGB-IPH, com os centróides das mini-bacias.

4.2.3.2 Obtenção e Análise de dados de vazão na Interface MapWindow

Todos os dados de vazão utilizados para a modelagem da bacia Três Marias foram obtidos no sistema Hidroweb da ANA. Ao total foram obtidos os dados de vazão de 104 postos fluviométricos.

A lista com as informações dos postos fluviométricos e os gráficos estilo “gantt” (gerados através da interface), com as informações de disponibilidade temporal dos dados, é apresentada no Anexo A deste trabalho.

A partir dos gráficos de disponibilidade temporal de dados de vazão para a bacia Três Marias é possível observar que existe uma boa quantidade de postos fluviométricos com dados disponíveis entre os anos de 1960 e 2009. Contudo, também existem alguns postos com períodos muito curtos de dados disponíveis.

A Figura 62 apresenta a localização dos postos fluviométricos obtidos na base de dados da ANA. O shapefile com a localização espacial dos postos foi gerado através da interface desenvolvida no MapWindow GIS® .

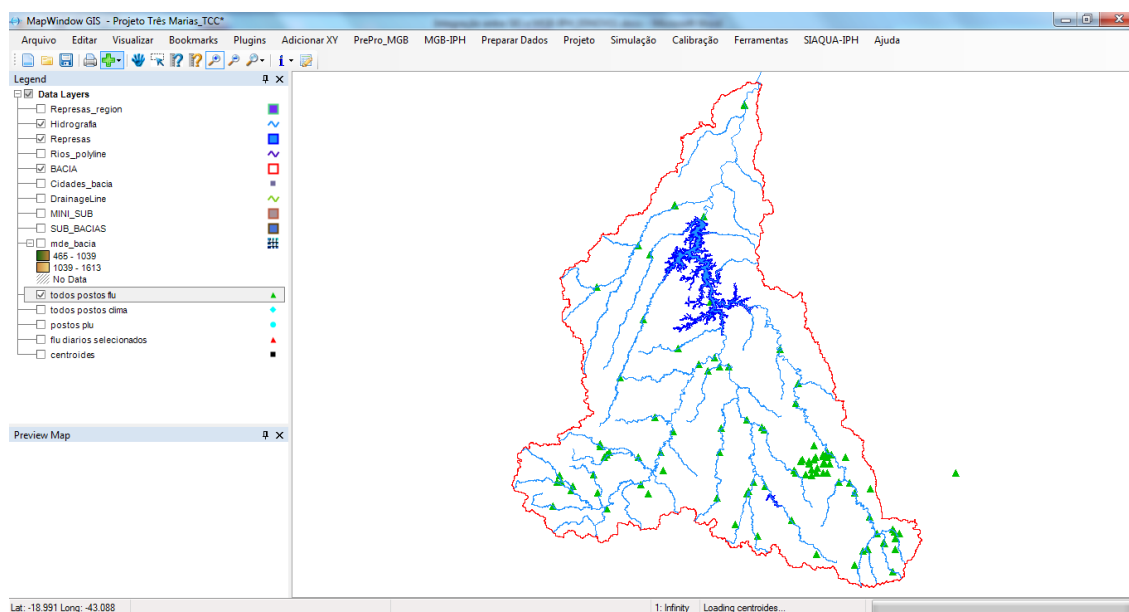


Figura 62 - Interface do MGB-IPH com o layer de postos fluviométricos adicionado ao projeto no MapWindow GIS® .

4.2.3.3 Obtenção e Análise de dados de chuva na interface

Assim como os dados de vazão, todos os dados de chuva utilizados para a modelagem da Bacia Três Marias foram obtidos no sistema Hidroweb da ANA. Ao total, 370 postos pluviométricos foram obtidos.

A lista com as informações dos postos pluviométricos e os gráficos estilo Gantt (gerados através da interface), com as informações de disponibilidade temporal, é apresentada no Anexo B deste trabalho.

Os gráficos de disponibilidade temporal mostram uma boa disponibilidade de dados no período de 1960 a 2010. Isto pode ser atribuído, em parte, ao fato de existirem muitos postos pluviométricos na região de estudo.

Assim como para os dados de vazão, através da ferramenta "Precipitação" do menu "Preparar dados" da interface desenvolvida, foi gerado um shapefile com as coordenadas dos postos pluviométricos obtidos, apresentado na Figura 63, abaixo.

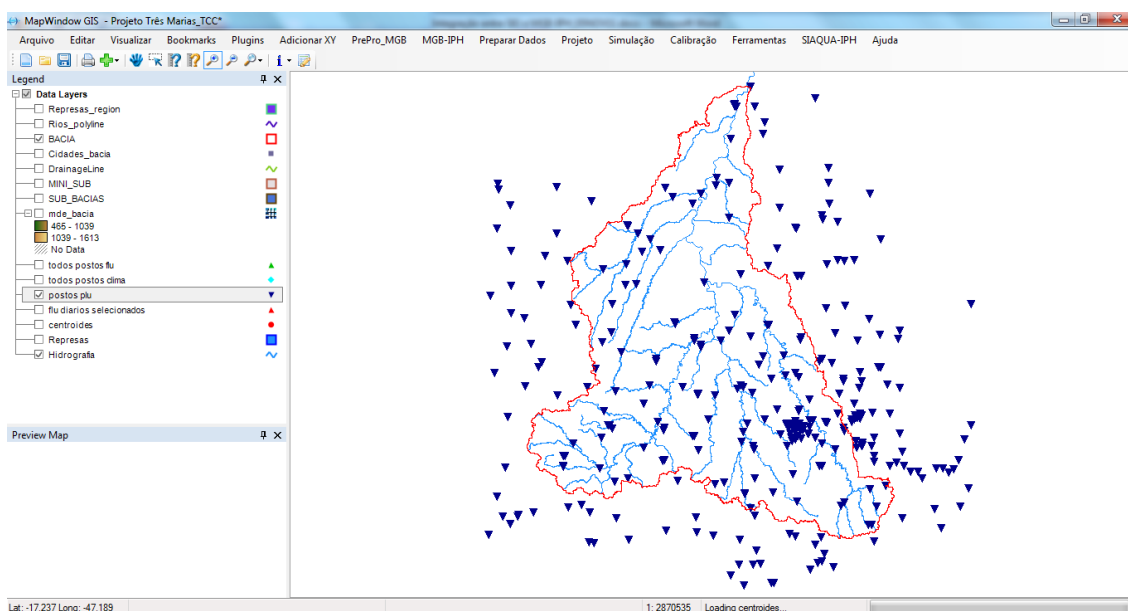


Figura 63 - Interface do MGB-IPH com o layer de postos pluviométricos adicionado ao projeto.

4.2.3.4 Definição do período a simular

Como existe uma boa disponibilidade de dados de chuva e vazão na bacia Três Marias, o período escolhido para a simulação foi entre os anos de 1975 a 2006.

4.2.3.5 Interpolação de dados de chuva

Os dados de chuva diária foram interpolados para os centróides das mini-bacias da bacia Três Marias através da ferramenta “Precipitação” na interface. Foi gerado um arquivo com o nome "chuva.mgb" e intervalo de interpolação de 01/01/1975 à 31/12/2006, conforme período estipulado.

4.2.3.6 Geração de arquivo de vazões observadas

Para a bacia Três Marias, através do layer dos centróides das mini-bacias e do layer de postos fluviométricos (ambos gerados pela interface), e usando as ferramentas de zoom do MapWindow GIS® , a identificação de qual posto fluviométrico pertence a qual mini-bacia foi realizada.

Os arquivos dos postos fluviométricos escolhidos para serem utilizados na simulação e a mini-bacia a que os mesmos correspondem podem ser conferidos no Quadro 21. Os postos foram escolhidos por estarem em pontos considerados representativos da bacia hidrográfica e por apresentarem boa disponibilidade de dados no período definido para a simulação.

Quadro 21 – Postos Fluviométricos escolhidos e Mini-Bacia a qual o mesmo corresponde para a simulação da bacia Três Marias.

Posto	Mini-bacia
40050000	180
40070000	201
40100000	218
40130000	158
40150000	166
40330000	183
40400000	159
40450000	200
40710000	165
40740000	170
40800001	186

Posto	Mini-bacia
40850000	202
40865002	210
40930000	130
40960000	151
40975000	152
41050000	154
41075001	177
41090002	181
41135000	245

A Figura 64, a seguir, apresenta os postos selecionados para a realização da simulação.

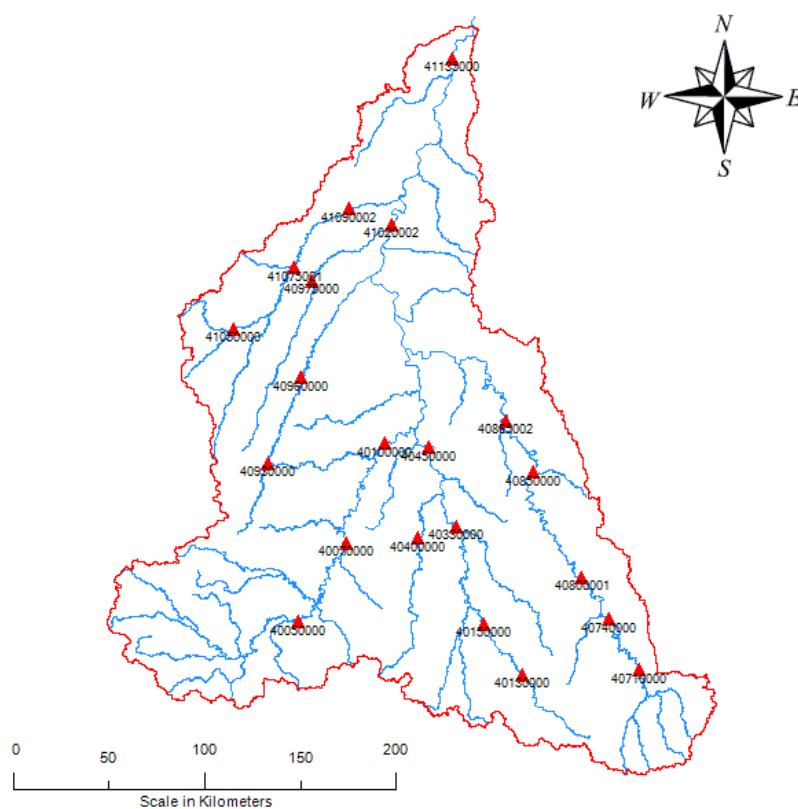


Figura 64 - Localização dos postos selecionados para a realização da simulação da bacia Três Marias.

O arquivo “Qobs.mgb”, que contém os dados de vazões diárias observadas no período de 01/01/1975 à 31/12/2006, foi gerado com a aplicação da ferramenta “Vazão” da interface.

4.2.3.7 Preparação de dados de clima

Nem sempre existem dados de clima disponíveis para as bacias hidrográficas em que se deseja realizar uma aplicação do MGB-IPH. Para estes casos, dentro da interface desenvolvida foi criada a ferramenta “Preparar dados de clima utilizando base de dados interna”.

Assim, dentro da interface do MGB-IPH foram incorporadas normais meteorológicas calculadas e disponibilizadas pelo INMET para diversos pontos no Brasil. Para a utilização destas informações, basta que sejam selecionados os pontos com dados desejados que a interface cria automaticamente os dados de clima de entrada do MGB-IPH, utilizando estas informações das normais meteorológicas. A ferramenta é apresentada na Figura 65.

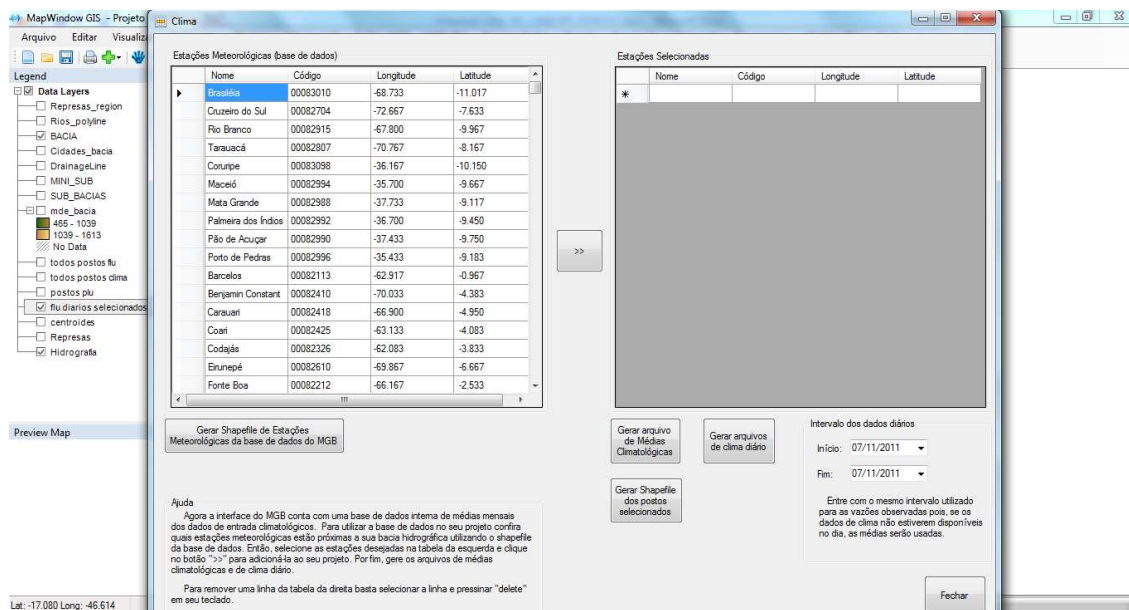


Figura 65 – Ferramenta “Preparar dados de clima utilizando base de dados interna” da interface MapWindow GIS® desenvolvida para o MGB-IPH.

No caso da bacia Três Marias, esta opção de utilização de base de dados interna foi aplicada. Foram selecionadas 22 estações com normais climatológicas, que são apresentadas na Figura 66.

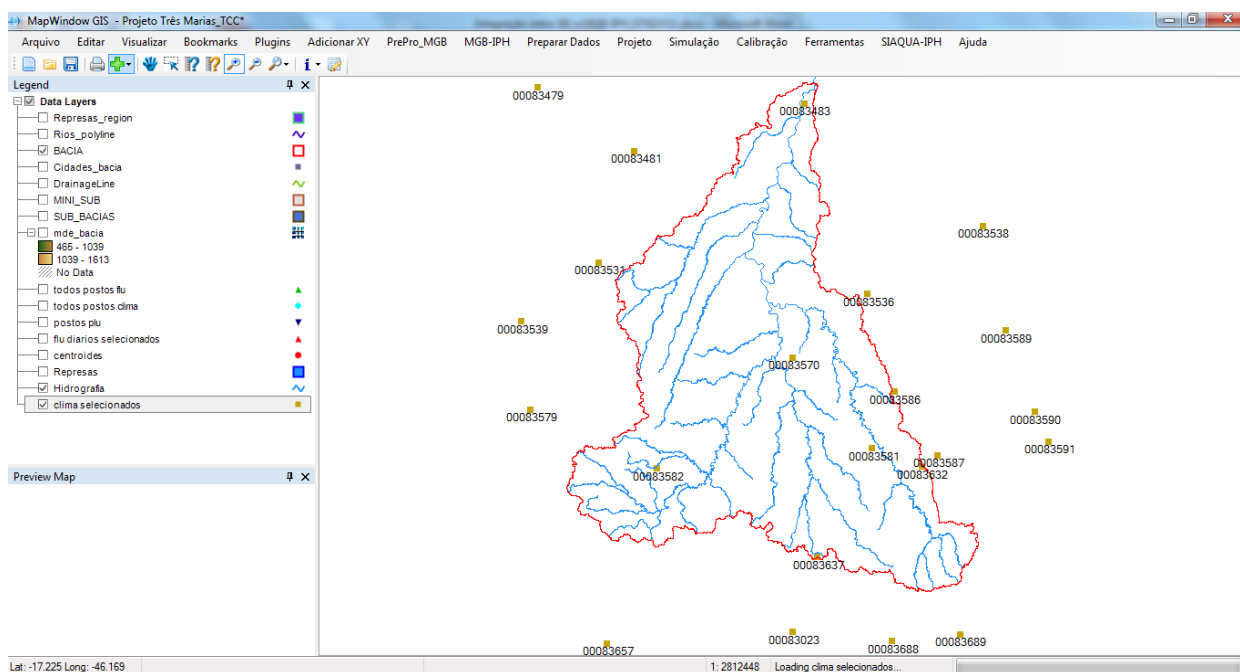


Figura 66 – Estações climatológicas, disponíveis na base de dados interna da interface do MGB-IPH, selecionadas para aplicação.

Após a definição dos pontos utilizados, foi criado o arquivos de entrada do modelo MGB-IPH “medias_cli.mgb”, que contém os valores das normais climatológicas.

4.2.3.8 Definição das Unidades de Resposta Hidrológica

A estrutura do arquivo de blocos gerado através da interface para a bacia Três Marias é apresentada no Quadro 22, a seguir.

4.2.3.10 Definição dos valores dos parâmetros calibráveis

Como a bacia Três Marias possui uma grande área de drenagem, ela foi sub-dividida em sub-bacias para a definição de seus parâmetros (e posterior calibração). Este procedimento é usual uma vez que um único conjunto de parâmetros muitas vezes não é suficiente para a calibração de uma bacia hidrográfica de grande porte, dada a grande variabilidade espacial existente, mesmo em unidades de resposta hidrológica que teoricamente possuem as mesmas características. A Figura 67, abaixo, apresenta a divisão em sub-bacias assumida.

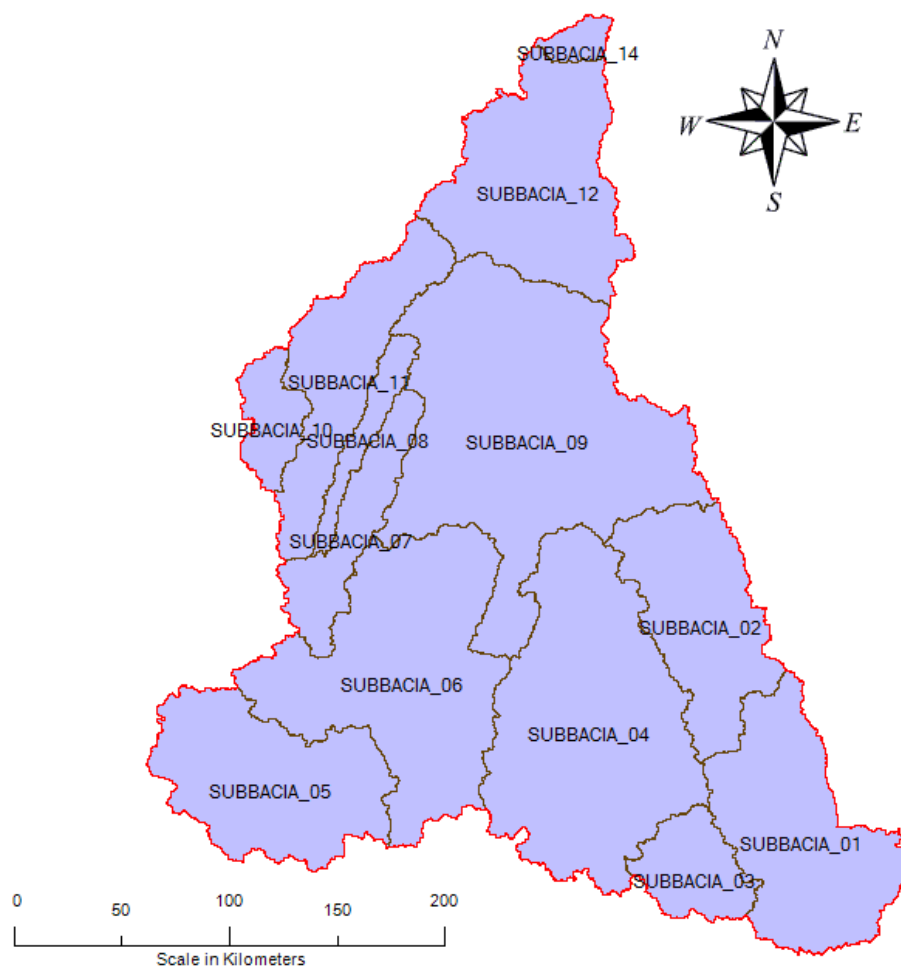


Figura 67 - Divisão em sub-bacias assumida para a bacia de Três Marias.

Os valores de parâmetros calibráveis utilizados como uma estimativa inicial para a primeira simulação na bacia Três Marias são apresentados nos Quadros 27 e 28. Nesta primeira simulação os parâmetros de todas as sub-bacias foram considerados iguais. Ao final da definição dos valores via interface, foi criado o arquivo de entrada do modelo MGB-IPH, ele foi denominado "parcal.mgb".

Quadro 27 - Valores dos parâmetros calibráveis adotados na simulação preliminar da bacia Três Marias.

Bloco	Wm	B	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Agr_Prof	600	0.1	1	5	0.6	0	0
Cer_Prof	600	0.1	1	5	0.6	0	0
Flo_Prof	600	0.1	1	5	0.6	0	0
Agr_Med	300	0.1	1	5	0.6	0	0
Cer_Med	300	0.1	1	5	0.6	0	0
Flo_Med	300	0.1	1	5	0.6	0	0
Semi_Imp	100	0.1	1	5	0.6	0	0
Agua	0	0	0	0	0	0	0

Quadro 28 - Valores dos de CB, CI e CS adotados na simulação preliminar da bacia Três Marias.

Parâmetro	Valor
CS	10
CI	100
CB	1200

4.2.3.11 Criação do projeto e simulação

Para a simulação da bacia Três Marias foi construído o projeto de simulação com o nome "Projeto Três Marias", montado através da especificação dos arquivos preparados nos processos anteriores, com a ferramenta "Projeto" da interface.

Após a especificação do projeto, o modelo MGB-IPH foi executado através da ferramenta “Simulação” da interface desenvolvida. A simulação foi realizada com êxito para a bacia Três Marias.

4.2.3.12 Visualização de resultados

Os resultados da simulação da bacia Três Marias foram acessados através das ferramentas "Comparar hidrogramas" e “Comparar Curvas de Permanência” da interface desenvolvida. As Figuras 68 a 71 apresentam alguns gráficos com os resultados da primeira simulação realizada.

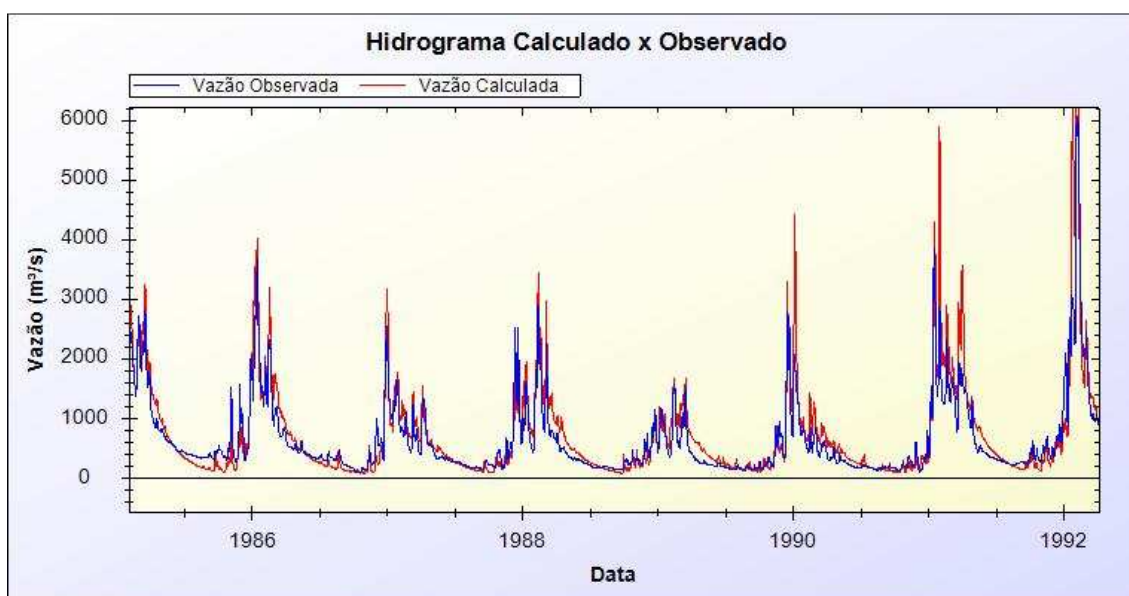


Figura 68- Resultado da simulação na mini-bacia 234 (comparado ao posto fluviométrico observado 4102002) na bacia Três Marias.

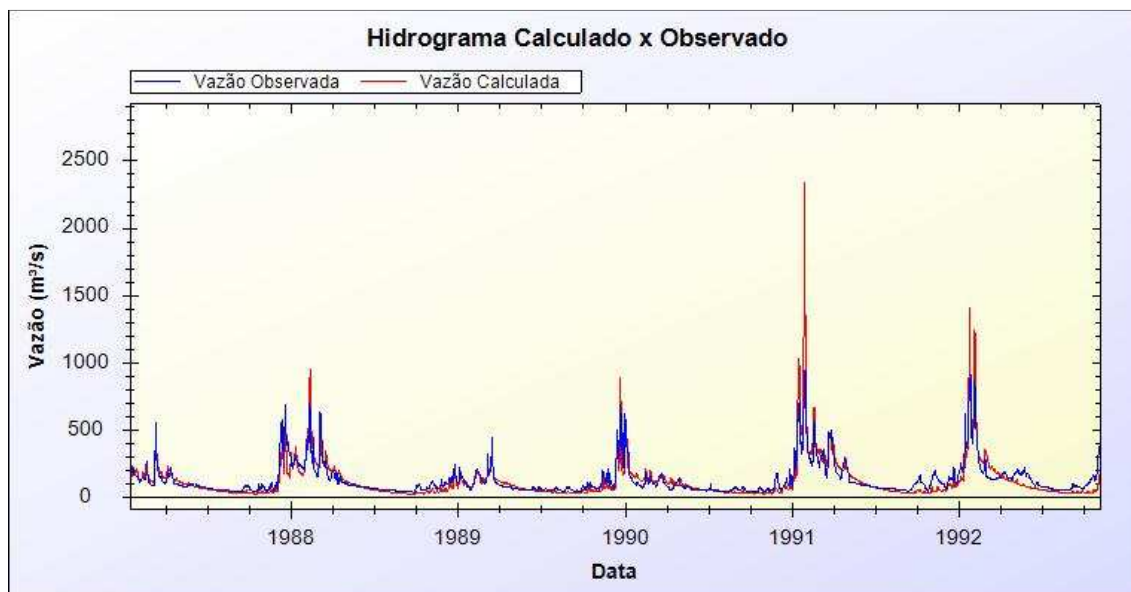


Figura 69 - Resultado da simulação na mini-bacia 202 (comparado ao posto fluviométrico observado 40850000) na bacia Três Marias.

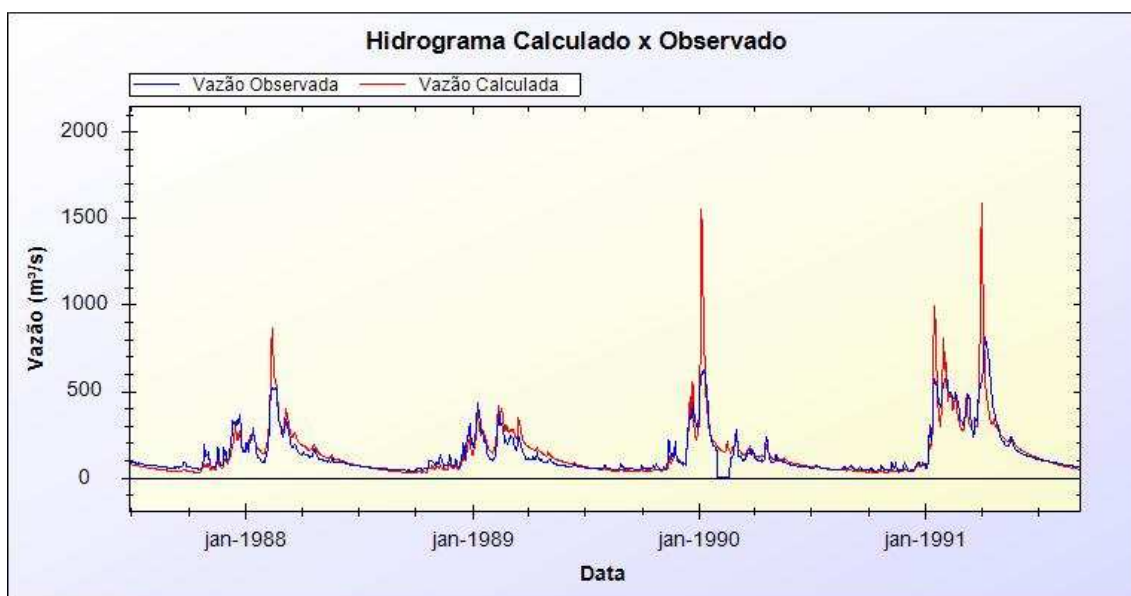


Figura 70 - Resultado da simulação na mini-bacia 201 (comparado ao posto fluviométrico observado 40070000) na bacia Três Marias.

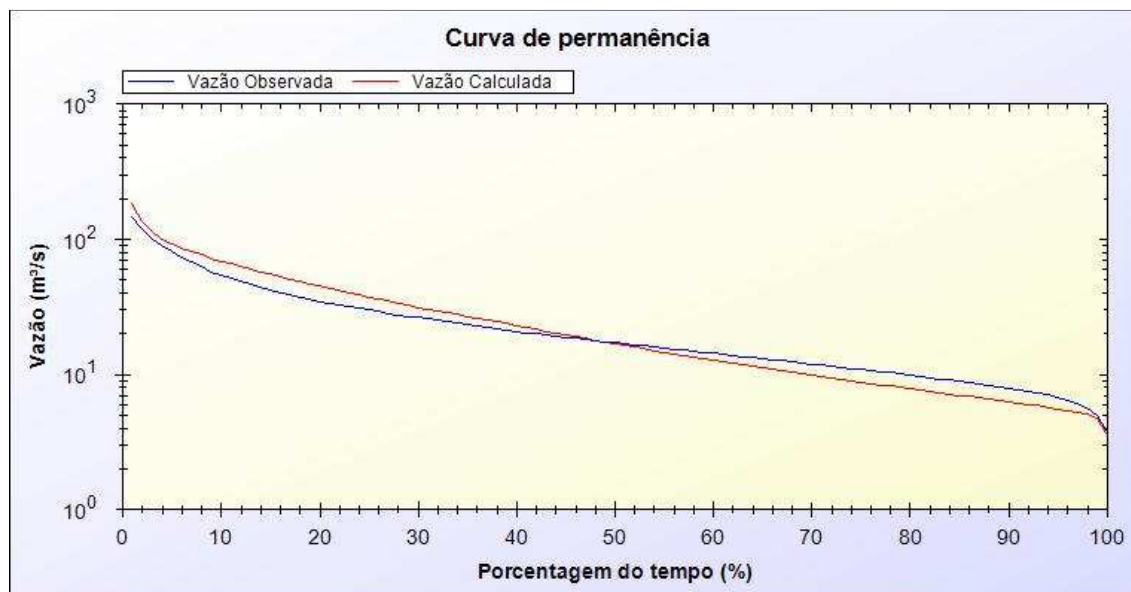


Figura 71 – Curva de permanência resultado da simulação na mini-bacia 159 (comparado ao posto fluviométrico observado 40400000) na bacia Três Marias.

4.2.3.14 Calibração

Como os resultados da primeira simulação para a bacia Três Marias, realizada com os parâmetros inicialmente arbitrados, apresentaram-se próximos aos observados, optou-se pela aplicação direta do procedimento de calibração automática do MGB-IPH, com o objetivo de obtenção dos parâmetros que correspondam à melhor representação possível da bacia hidrográfica.

Através da interface, inicialmente foi definido que os parâmetros W_m , b , K_{bas} , K_{int} , Cl , CS e CB de todas as UHRs (exceto água) deveriam ser calibrados considerando todos os postos fluviométricos selecionados. Em uma segunda rodada de calibração, apenas algumas sub-bacias foram calibradas, visando refinar os resultados obtidos para a região oeste da bacia.

A pós a execução do modelo em modo de calibração automática, os novos parâmetros calibráveis do modelo foram gerados via interface. Os Quadros 29 a 32, abaixo, apresentam os novos conjunto de parâmetros calibráveis do MGB-IPH para a bacia Três Marias, definidos no processo de calibração automática.

Quadro 29 - Novo conjunto de parâmetros calibráveis do MGB-IPH, definidos no processo de calibração automática para as sub-bacias 1 a 6, 12 e 13 da bacia Três Marias.

Bloco	W_m	b	K_{bas}	K_{int}	XL	CAP	W_c
Agr_Prof	1063.2	0.08	1.06	2	0.6	0	0
Cer_Prof	917.4	0.06	1.71	6.61	0.6	0	0
Flo_Prof	703.2	0.13	1.71	6.09	0.6	0	0
Agr_Med	397.8	0.18	0.99	6.29	0.6	0	0
Cer_Med	124.2	0.17	0.76	4.32	0.6	0	0
Flo_Med	233.7	0.13	1.14	4.36	0.6	0	0
Semi_Imp	69.8	0.09	1.01	7.52	0.6	0	0
Água	0	0	0	0	0	0	0

Quadro 30 - Novo conjunto de parâmetros calibráveis do MGB-IPH, definidos no processo de calibração automática para as sub-bacias 1 a 6, 12 e 13 da bacia Três Marias.

Parâmetro	Valor
CS	12.77
CI	146.6
CB	9469.2

Quadro 31 - Novo conjunto de parâmetros calibráveis do MGB-IPH, definidos no processo de calibração automática para as sub-bacias 7 a 11 da bacia Três Marias.

Bloco	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Agr_Prof	1151.4	0.11	1.62	2.09	0.6	0	0
Cer_Prof	668.8	0.02	2.59	5.05	0.6	0	0
Flo_Prof	682.1	0.19	1.85	9.1	0.6	0	0
Agr_Med	506	0.26	0.7	6.96	0.6	0	0
Cer_Med	116.3	0.23	0.61	6.77	0.6	0	0
Flo_Med	240	0.15	1.27	2.49	0.6	0	0
Semi_Imp	55.9	0.1	0.74	8.08	0.6	0	0
Agua	0	0	0	0	0	0	0

Quadro 32 - Novo conjunto de parâmetros calibráveis do MGB-IPH, definidos no processo de calibração automática para as sub-bacias 7 a 11 da bacia Três Marias.

Parâmetro	Valor
CS	7.61
CI	91.33
CB	2547.21

As Figuras 72 a 83, a seguir, apresentam os resultados obtidos após o procedimento de calibração automática para a bacia Três Marias.

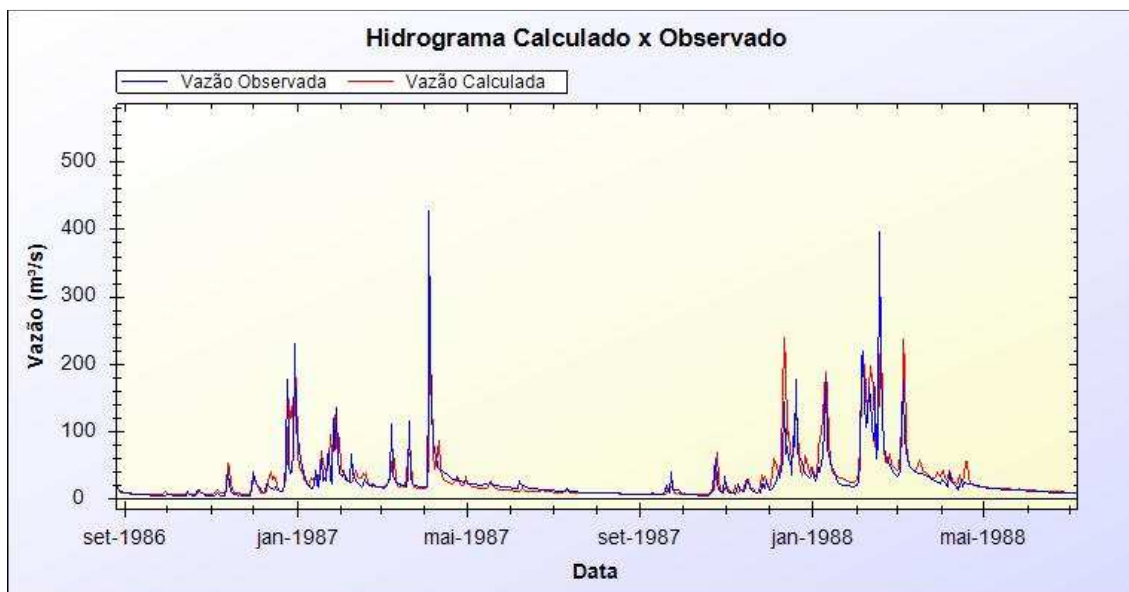


Figura 72 - Resultado da simulação na mini-bacia 151 (comparado ao posto fluviométrico observado 40960000) na bacia Três Marias.

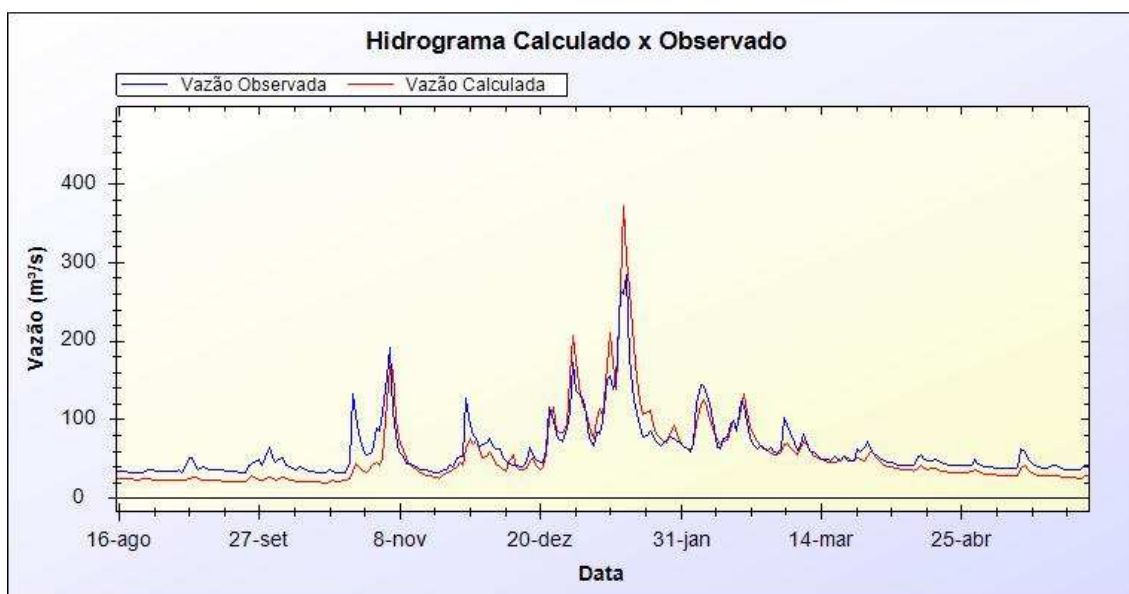


Figura 73 - Resultado da simulação na mini-bacia 165 (comparado ao posto fluviométrico observado 40710000) na bacia Três Marias.

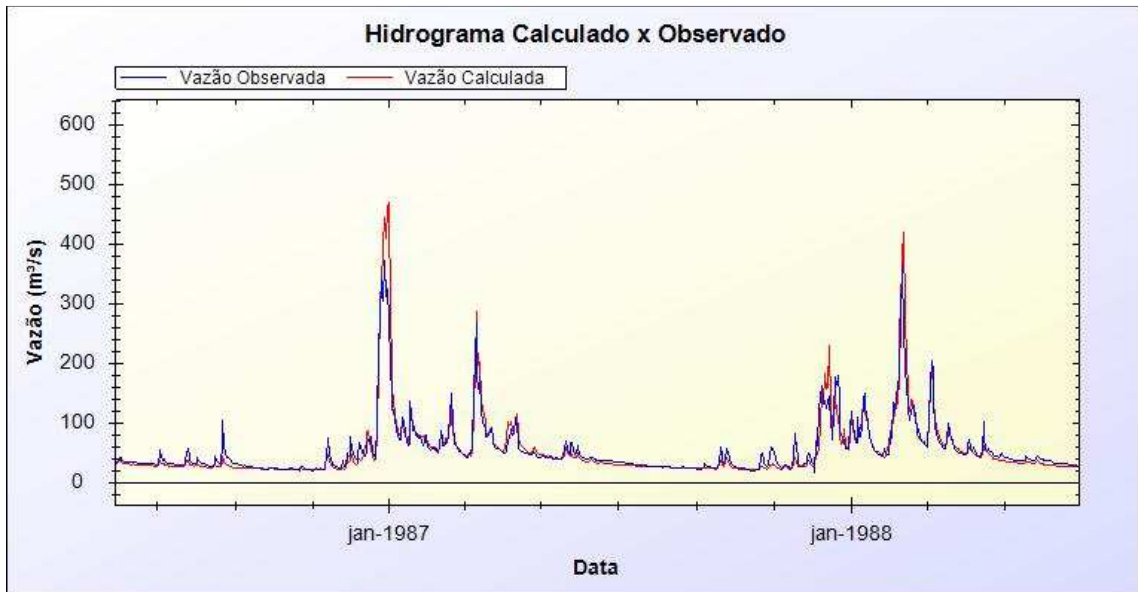


Figura 74 Figura 74 - Resultado da simulação na mini-bacia 170 (comparado ao posto fluviométrico observado 40740000) na bacia Três Marias.

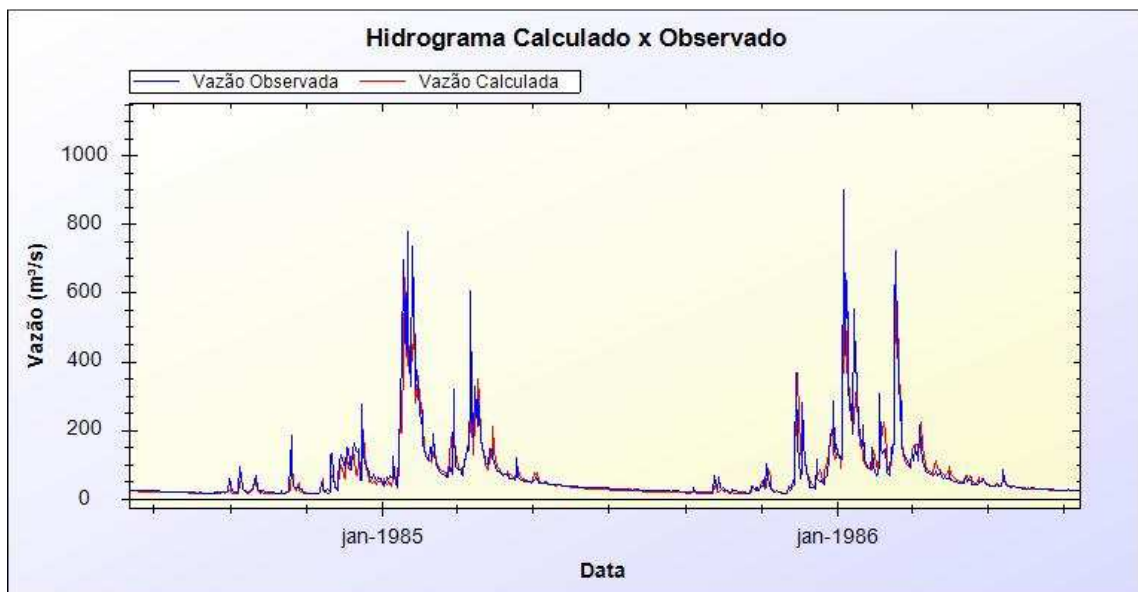


Figura 75 - Resultado da simulação na mini-bacia 177 (comparado ao posto fluviométrico observado 41075001) na bacia Três Marias.

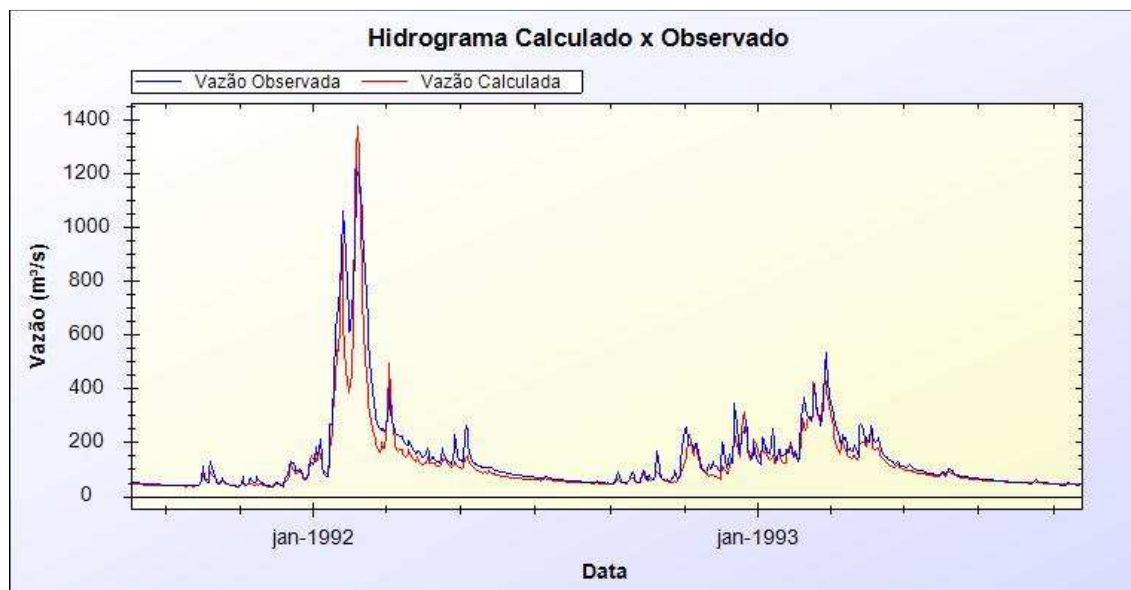


Figura 76 - Resultado da simulação na mini-bacia 180 (comparado ao posto fluviométrico observado 40050000) na bacia Três Marias.

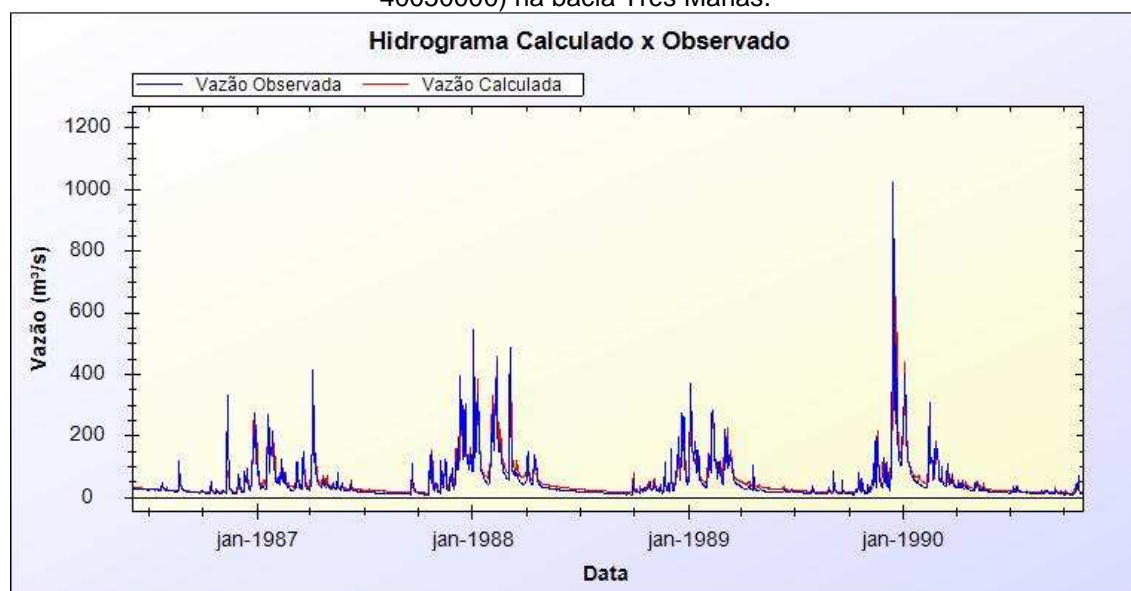


Figura 77 - Resultado da simulação na mini-bacia 181 (comparado ao posto fluviométrico observado 40850000) na bacia Três Marias.

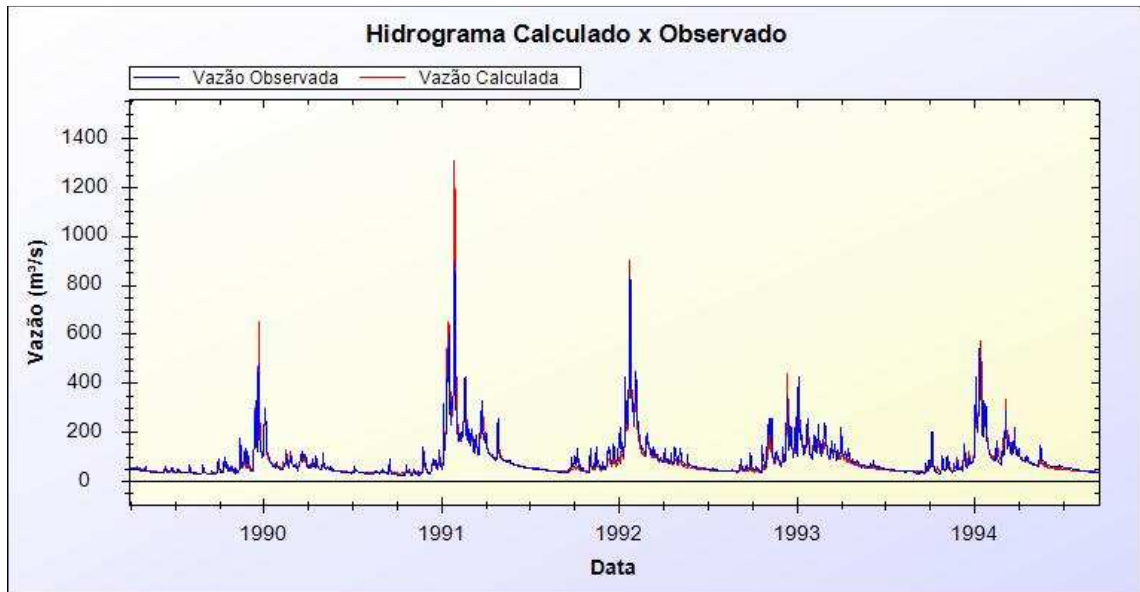


Figura 78 - Resultado da simulação na mini-bacia 186 (comparado ao posto fluviométrico observado 40800001) na bacia Três Marias.

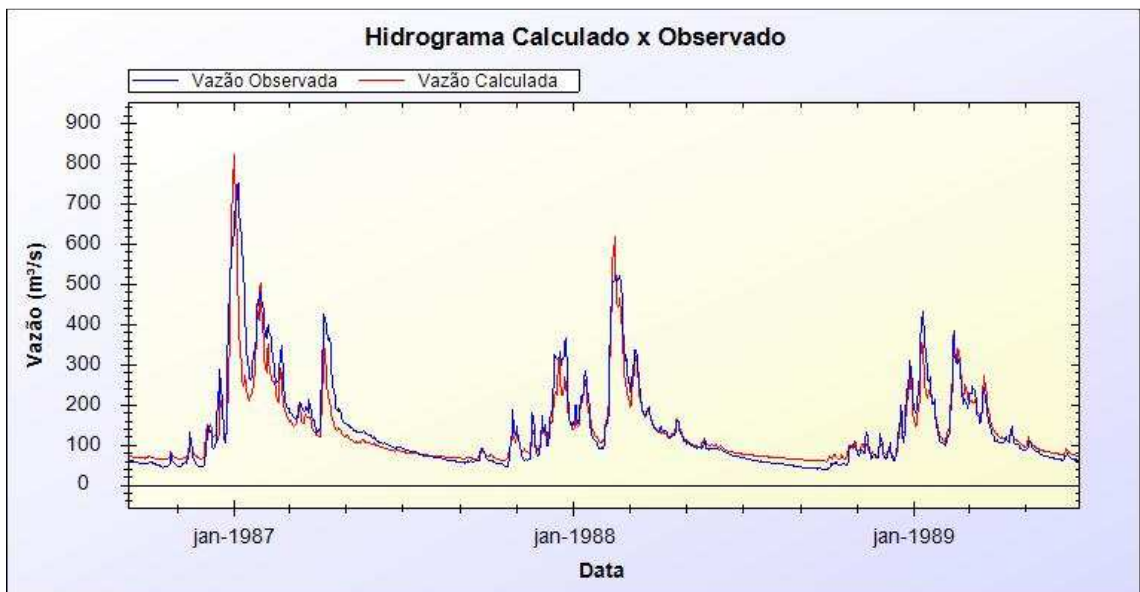


Figura 79 - Resultado da simulação na mini-bacia 201 (comparado ao posto fluviométrico observado 40070000) na bacia Três Marias.

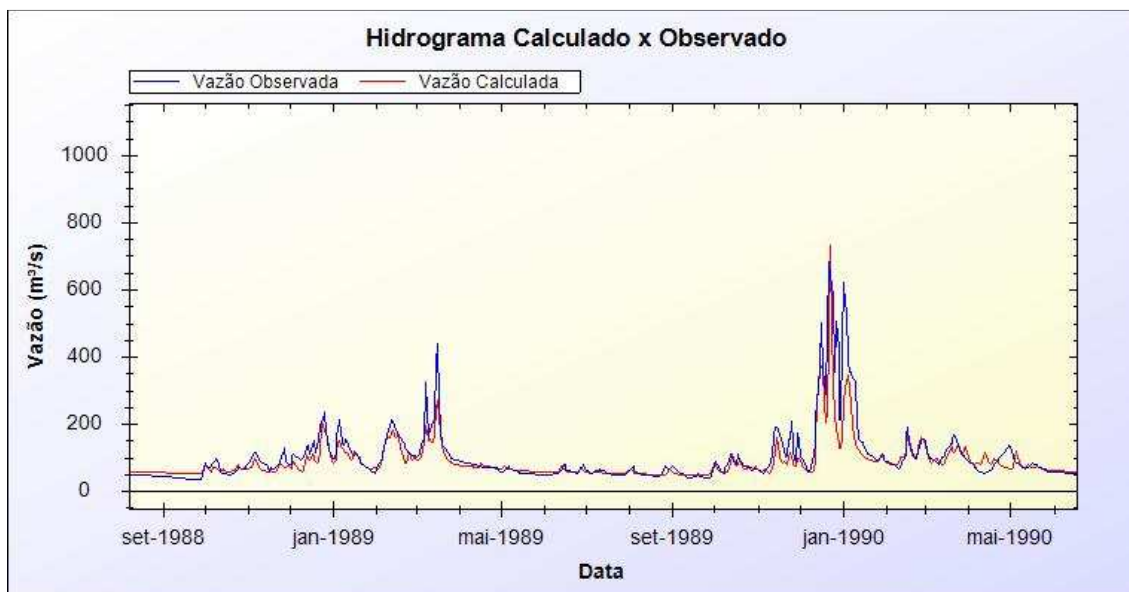


Figura 80 - Resultado da simulação na mini-bacia 202 (comparado ao posto fluviométrico observado 40850000) na bacia Três Marias.

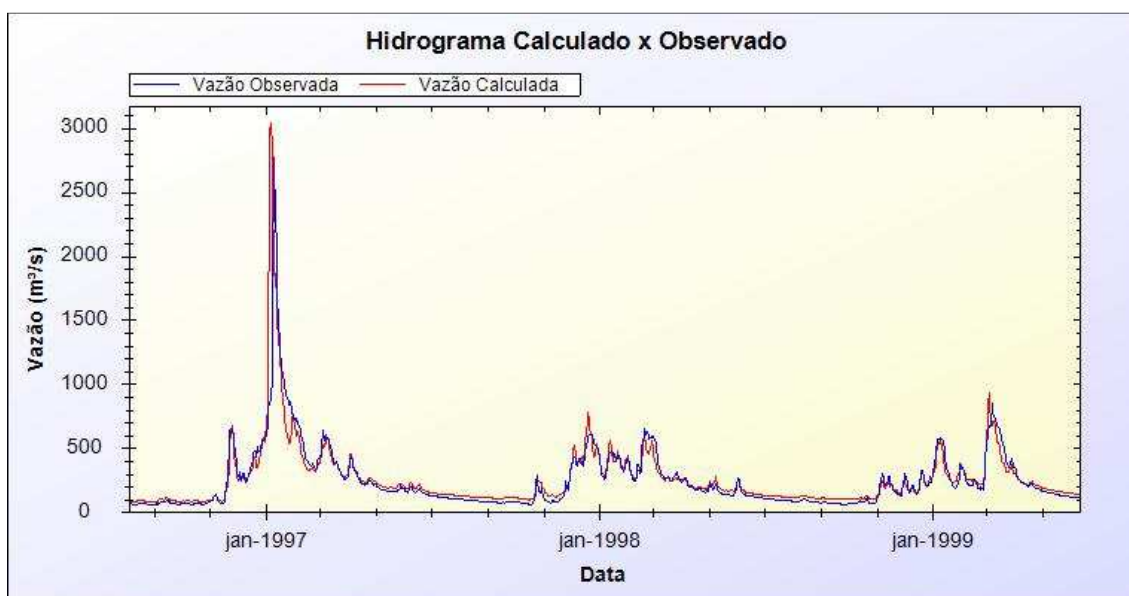


Figura 81 - Resultado da simulação na mini-bacia 218 (comparado ao posto fluviométrico observado 40100000) na bacia Três Marias.

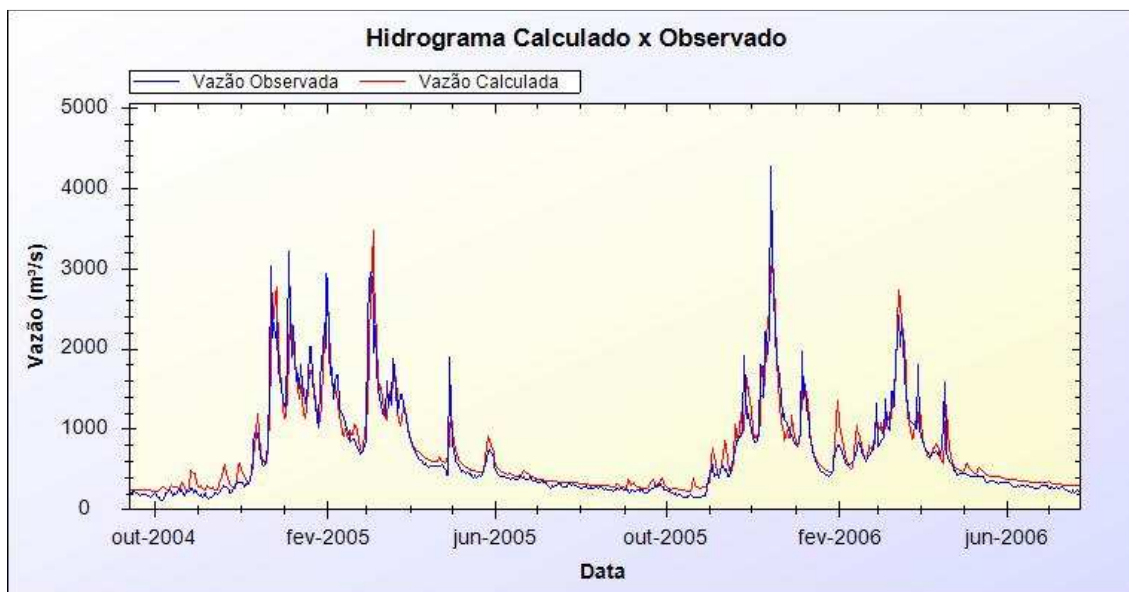


Figura 82 - Resultado da simulação na mini-bacia 234 (comparado ao posto fluviométrico observado Reservat) na bacia Três Marias.

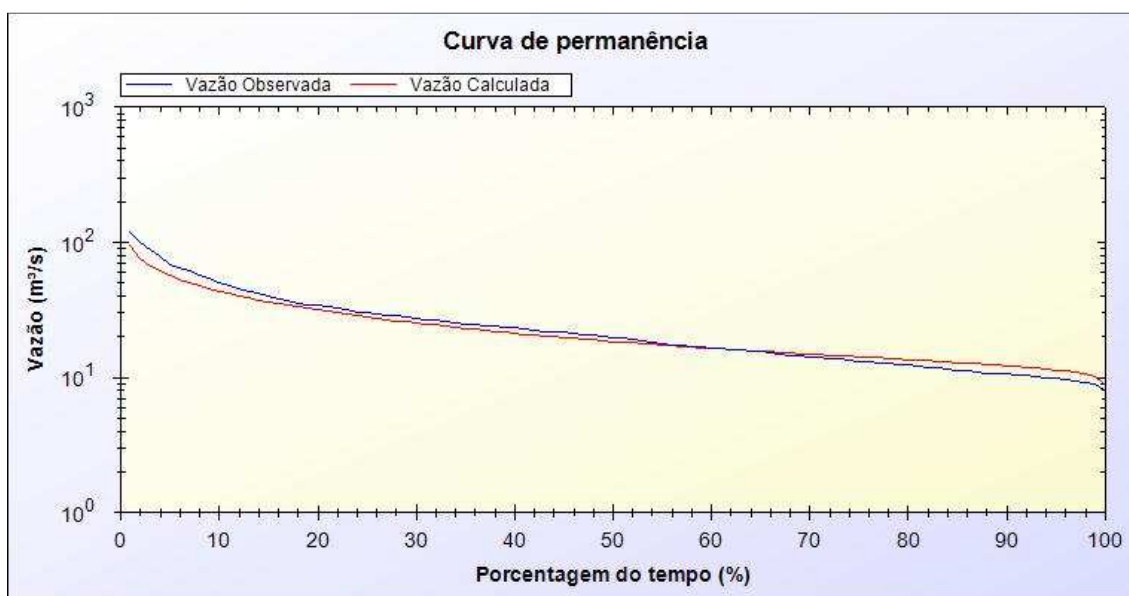


Figura 83 - Resultado da simulação na mini-bacia 158 (comparado ao posto fluviométrico observado 40130000) na bacia Três Marias.

A análise dos gráficos comparativos de vazão observada e vazão calculada permite afirmar que os resultados da modelagem foram muito satisfatórios, e que o MGB-IPH foi aplicado com sucesso para a bacia Três Marias através do uso da ferramenta desenvolvida.

CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES

Questões relacionadas a problemas de falta de água e uso correto dos recursos hídricos estão entre os grandes desafios a serem vencidos pela humanidade nas próximas décadas. Para que estas demandas sejam sobrepujadas, a modelagem hidrológica se apresenta como uma das principais ferramentas a serem utilizadas, uma vez que é eficaz para a realização de previsões, estudos sobre efeitos de mudanças climáticas e de uso do solo, análises de disponibilidade de água e apoio à tomada de decisão, entre outras aplicações.

Dentre os tipos de modelos hidrológicos existentes, os modelos hidrológicos distribuídos podem ser considerados os mais complexos, por necessitarem de um grande volume de informação para o seu funcionamento. Em contrapartida, estes modelos são capazes de representar o comportamento de uma bacia hidrográfica de forma complexa, permitindo análises e estudos detalhados a partir de seus resultados.

Um dos requisitos básicos para o uso de modelos distribuídos é a descrição fisiográfica detalhada da bacia estudada. Esta informação pode ser obtida através do uso de plataformas de SIG. Muitos estudos sobre a aplicação desta ciência aos trabalhos de modelagem hidrológica foram realizados nas últimas décadas, onde diferentes formas de integração entre as tecnologias foram determinadas. Independentemente da forma de utilização dos SIG, é consenso que nos padrões atuais de modelagem hidrológica é impossível a utilização de um modelo distribuído sem que exista algum tipo de acoplamento a uma plataforma deste gênero.

Desta forma, visando potencializar o uso da simulação hidrológica, aprimorar a integração entre modelagem e as tecnologias SIG e promover desenvolvimento neste campo de estudo, o presente trabalho apresentou a concepção de um acoplamento entre a plataforma de SIG MapWindow GIS® e o modelo hidrológico MGB-IPH.

A integração desenvolvida entre os dois programas pode ser considerada do tipo *acoplamento próximo (ou rígido)*, uma vez que, após a preparação dos dados de entrada do modelo hidrológico, ele é acionado automaticamente pela interface concebida, através de uma transferência interna de dados. Logo após, com o término da simulação, os resultados do modelo hidrológico são acessados pela ferramenta construída na plataforma SIG e disponibilizadas ao usuário de forma interativa, via mapas e gráficos.

A ferramenta concebida foi testada na modelagem de duas bacias hidrográficas brasileiras, uma da região sul (bacia Ijuí), e outra da região Sudeste (bacia Três Marias). Os testes resultaram em simulações bem sucedidas das bacias hidrográficas, onde todos os dados de entrada e saída do modelo foram gerados e acessados de forma correta, simplificada e rápida através da interface, e o comportamento hidrológico de cada bacia foi representado com sucesso.

As aplicações demonstraram que um grau elevado de integração entre o modelo hidrológico e o SIG foi obtido. Foram criadas ferramentas úteis para manipulação e representação simplificada dos dados de entrada no ambiente SIG, e para pós-processamento e análise dos resultados do modelo hidrológico.

De uma forma geral, pode-se afirmar que os grandes avanços trazidos pelo trabalho desenvolvido são:

1. A criação dos dados de entrada do MGB-IPH é mais rápida, simples e mais intuitiva através da interface, uma vez que ela apresenta a informação ao usuário do modelo de forma organizada, dispõe de base de dados interna (para definição da localização dos postos com dados, por exemplo), gera arquivos já com a estrutura de entrada do modelo MGB-IPH (não deixa margem para erros na hora de criação dos arquivos de entrada) e é integrada à opção de visualização em mapas.
2. A interface possui opção de uso direto de dados provenientes do sistema HydroWeb da ANA, uma das principais fontes de dados hidrológicos sobre bacias brasileiras.
3. A interface possui ferramentas de análise de dados, como os gráficos de Gantt para a avaliação da disponibilidade temporal dos dados de chuva e vazão e o cálculo do número de anos com dados em cada mês para cada variável climática de interesse.
4. A interface possui uma base interna de dados de clima, que podem ser consideradas as informações mais difíceis de serem obtidas para a aplicação do modelo (existem poucos postos meteorológicos no sistema HydroWeb, por exemplo). Esta base interna elimina dificuldades na realização de uma simulação em locais com falta destas informações.
5. Todos os resultados da simulação hidrológica são apresentados via mapas e gráficos na tela do MapWindow GIS® . Ainda, os gráficos gerados pela

interface podem ser trabalhados de forma interativa (zoom, impressão, exportação e outras funções). Isto facilita o entendimento, a análise e a interpretação dos resultados do modelo.

6. O MapWindow GIS® passou a ser a forma como o usuário interage com o modelo MGB-IPH.

Logo, dado que o uso do programa desenvolvido neste trabalho apresenta uma série de vantagens para a aplicação do modelo MGB-IPH, espera-se que o mesmo seja utilizado para a expansão da aplicação desta ferramenta de trabalho, apoiando a busca pela solução dos diversos problemas relacionados aos recursos hídricos da atualidade.

Como desenvolvimentos futuros, a serem conduzidos a partir das contribuições trazidas por este trabalho, sugerem-se:

- 1- Integração de todo o procedimento de aplicação do MGB-IPH ao *MapWindow GIS®*, tornando-o independente do conjunto de ferramentas *ArcHydro Tools*, com o desenvolvimento/aplicação de ferramentas dentro do software livre. Isto proporcionará uma maior abrangência da utilização do modelo hidrológico, tornando-o integralmente aplicável via software livre e acessível a entidades que não possuem os recursos necessários para a obtenção de licenças do software ArcGIS®.

- 2- Criação de mais ferramentas de pós-processamento dos resultados do modelo hidrológico MGB-IPH, como funções de geração de mapas de vazão, precipitação e evaporação nas mini-bacias hidrográficas.

3- Desenvolvimento de uma ligação mais direta da interface do MGB-IPH com bancos de dados na internet, possibilitando o download de dados de maneira mais rápida, direta e simplificada.

4- Adotar a mesma abordagem bem sucedida apresentada no presente trabalho para outros modelos hidrológicos que não possuem interface ou integração com sistemas de informação geográfica, visando simplificar e ampliar a utilização dos mesmos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, F. C. S. **Aptidão Agrícola das Terras do Estado de Minas Gerais: Avaliação e Adequação**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1993. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo.
- AMES, D. P. **Getting Started with the MapWinGIS ActiveX Control**. EUA, 2006.
- AMES, D. P., C. MICHAELIS, A. ANSELMO, L. CHEN, AND H. DUNSFORD, 2008. **MapWindow GIS. Encyclopedia of GIS**. New York, Sashi Shekhar and Hui Xiong (eds). Springer, 633-634.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Sobre a ANA**. Disponível em <<http://www2.ana.gov.br>> acesso em 01 de Novembro de 2011.
- ARNOLD, J. G.; SRINIVASIN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS, J. R. **Large Area Hydrologic Modeling and Assessment Part I: Model Development**. JAWRA Journal of the American Water Resources Association. Volume 34, Issue 1, pages 73–89, February 1998.
- BERRY, J. K. e SAILOR, J. K. 1987. **Use of a Geographic Information System for storm runoff prediction from small urban watershed**. *Environmental Management*, 11: 21- 27.
- BEVEN, M.; KIRKBY, M.J. **A physically based, variable contributing and model of basin hydrology**. *Hydrological Sciences Bulletin*, 24: 43-69, 1979.
- BREMICKER, M. (1998). **Aufbau eines Wasserhaushaltsmodells für das Weser- und das Ostsee-Einzugsgebiet als Baustein eines Atmosphären-Hydrologie-Modells**. Dissertation am Institut für Hydrologie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- BUARQUE, D. C.; FAN, F. M.; PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W., 2009. **Comparação de métodos para definir direções de escoamento a partir de modelos digitais de elevação**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, RS Vol. 14, n. 2 (abr./jun. 2009), p. 91-103.
- BURROUGH, P.H.A. (1990) **Methods of spatial analysis in GIS**, International Journal of Geographical Information Systems, 4(3), 221-223.
- CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica. **Inventário Hidrelétrico da sub-bacia 75**. 2000.
- CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais S.A. **Usina Três Marias**. Disponível em <<http://www.cemig.com.br/NossosNegocios/Paginas/usinas.aspx>> acesso em 01 de Novembro de 2011.

CIRILO, J. A.; SAMPAIO Jr, R. A.; AGRA, M. C. M.; CUNHA, F. A. G. C.; TORRES FILHO, C. O. **Sistema de Informações de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco: Subsistema de Informações ao Usuário**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 2(1), p. 29-43, 1997

COELHO, G. B., **Análise e simulação do processo de transformação de chuva em vazão com suporte de Sistema de Informações Geográficas (SIG)**; 2006; 81f. Dissertação de mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Universidade Federal de Pernambuco Centro de Tecnologia e Geociências. Recife, 2006.

COLLISCHONN, B. 2006. **Uso da precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído**. Dissertação de Mestrado, UFRGS, IPH.

COLLISCHONN, W. **Simulação Hidrológica de Grandes Bacias**. Porto Alegre: 2001. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

COLLISCHONN, W., TUCCI, C. E. M. **Previsão Sazonal de vazão na bacia do rio Uruguai 1: Ajuste e verificação do modelo hidrológico distribuído**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 10, n. 4, p. 43-59, 2005.

COLLISCHONN, W., TUCCI, C. E. M. **Simulação hidrológica de grandes bacias**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 6, n. 2, 2001

COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D.G.; SILVA, B.C.; TUCCI, C.E.M. 2007. **The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modeling**. Hydrological Sciences Journal, 52, 878-895 pp.

DAVIS, C. e CÂMARA, G. 2001. **Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica**, pg. 3-1 a 3-3, em Introdução à Ciência da Geoinformação, de Câmara, G., Davis C., e Monteiro, A. M. V. Divisão de Processamento de Imagens (DPI), da Coordenação Geral de Observação da Terra (OBT), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Brasil.

DE ROO, A. P. **Modelling runoff and sediment transport in catchments using GIS**. Hydrological Processes 12, p. 905–922, 1998.

ESRI, 2007. **Arc Hydro Tools version 1.2 for ArcGIS 9.2 Tutorial**. California. 110 p.

EVA, H.D. et al., 2002. **A vegetation map of South America**. EUR 20159 EN, European Commission, Joint Research Centre, Luxembourg.

FAN, F. M.; COLLISCHONN W.; BUARQUE, D. C.; PAIVA, R. C. D. Projeto Amazônia. IPH – UFRGS. **Manual Arc-HYDRO para aplicação do modelo MGB-IPH**. Versão 1.2. Agosto de 2010a. 65p.

FAN, F.M.; BUARQUE, D.C.; COLLISCHONN, W.; PAIVA, R.C.D.; KAYSER, R. B. 2010b. **Manual do PrePro-MGB para aplicação do modelo MGB-IPH**. Projeto Integrado de Cooperação Amazônica e de Modernização do Monitoramento Hidrológico, FINEP/ANA/IPH-UFRGS, Porto Alegre (RS), 17 p.

FAN, F.M.; BUARQUE, D.C.; COLLISCHONN, W.; PAIVA, R.C.D.; KAYSER, R. B. 2010c. **Manual de definição de unidades de resposta hidrológica (blocos) do modelo MGB-IPH**. Projeto Integrado de Cooperação Amazônica e de Modernização do Monitoramento Hidrológico, FINEP/ANA/IPH-UFRGS, Porto Alegre (RS), 23 p.

FERRAZ, F.F.B.; MILDE, L.C.E.; MORTATTI, J. **Modelos Hidrológicos Acoplados a Sistemas de Informações Geográficas: um Estudo de Caso**. Revista de Ciência & Tecnologia. 14 – pp.45-56. Novembro, 1999.

GOODCHILD, M. F.; HAINING, R.; WISE, S. **Integrating GIS and spatial data analysis: Problems and possibilities**. International Journal of Geographical Information Systems, 6, p. 407- 423, 1992.

GOODCHILD, M.F. (1993). **The state of GIS for environmental problem-solving**. In Goodchild, M.F., Parks, B.O. and Steyaert, L.T. (ed.), Environmental Modeling with GIS. Oxford University Press, Oxford, 8-15.

HESSION, C.W. e V.O. SHANHOLTZ, 1988. **A Geographic Information System for Targeting Nonpoint Source Agricultural Pollution**. Journal of Soil and Water Conservation 43:264-266.

JOHNSON, L. E. 2009. Geographic information systems in water resources engineering. CRC Press. 298pp.

KITE, G.W., 1995: **The SLURP model**. Chapter 15 in: *Computer models of watershed hydrology* by V.P. Singh (ed.), Water Resources Publications, Colorado, USA, 521-562.

LIANG, X.; LETTENMAIER, D.; WOOD, E. F.; BURGE, S. J.1994 **A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models**. Journal of Geophysical Research, Vol. 99, No. D7 pp. 14.415-14.428, July.

LIAO, H. e U.S. TIM, 1997. **An Interactive Modeling Environment for Nonpoint Source Pollution Control**. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA) 33(3):591-603.

LOHMANN, D., RASCHKE, E., NIJSSEN, B. & LETTENMAIER, D. P. (1998) **Regional scale hydrology: I. Formulation of the VIC-2L model coupled to a routing model**. *Hydrol. Sci. J.* 43(1), 131-142.

LUDWIG, KARL.; BREMICKER, M. 2006. **The Water Balance Model LARSIM - Design, Content and Applications**. Freiburger Schrifften zur Hydrologie, Band 22, Institut fur Hydrologie der Universität Freiburg.

MACHADO, R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. Tese de doutorado de agronomia. Área de concentração: irrigação e drenagem. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, São Paulo, 2002.

MAGUIRE, D.J., GOODCHILD, M.F., AND RHIND, D.W. (eds.) (1991) **Geographical information systems: Principles and applications**. London: Longman.

MAIDMENT, D. (editor), 2002. **Arc Hydro - GIS for Water Resources**, ESRI Press, Redlands, CA.

MARTIN, P. H.; LEBOEUF, E. J.; DOBBINS, J. P.; DANIEL, E. B.; ABKOWITZ, M. D. 2005. **Interfacing GIS with water resource models: A state-of-the-art review**. Journal of the American Water Resources Association. December pp. 1471-1487.

MELO, H. A., CUNHA, J. B. L., NÓBREGA, R. L. B., RUFINO, I. A. A. e Galvão, C. O. **Modelos Hidrológicos e Sistemas de Informação Geográfica (SIG): Integração possível**. IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2008a.

MELO, H. A., NÓBREGA, R. L. B. e RUFINO, I. A. A. **Interfaces de Integração entre Modelos Hidrológicos e Sistemas de Informação Geográfica (SIG): Avanços e Desafios**. Geonordeste, 2008b. IV Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto.

MOORE, I. D. (1996). **Hydrologic modeling and GIS**. In M. F. Goodchild, B. O. Parks, & L. T. Steyaert (Eds.), GIS and environmental modeling: Progress and research issues (pp. 143-148). Fort Collins, CO: GIS World Books.

MOORE, I.D., R.B. GRAYSON, e G.J. BRURSCH, 1988. **A Contour- Based Topographic Model for Hydrological and Ecological Applications**. Earth Surface Processes and Landforms 13:305-320.

NYERGES, T. **Geographic Information Abstractions: Conceptual Clarity for Geographic Modeling**. Environment and Planning A, vol. 23: p. 1483-1499, 1991.

OLIVIERI, L.J., G.M. SCHAAL, T.J. LOGAN, W.J. ELLIOT, e B. MOTCH, 1991. **Generating AGNPS Input Using Remote Sensing and GIS**. Paper 91-2622, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan.

PAIVA, Rodrigo Cauduro Dias de. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de grandes bacias: Estudo de caso na bacia do rio Solimões**. 2009. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Financiadora de Estudos e Projetos. Orientador: Walter Collischonn. Pg. 182.

PAZ, A. R.; BUARQUE, D C.; COLLISCHONN, W.; VICTORIA, D. C.; ANDRADE, R. G.; **Discretização de Modelos Hidrológicos de Grandes Bacias: grade regular x mini-bacias**. 2011. XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Pg. 18.

PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W. 2008 **Derivação de Rede de Drenagem a Partir de Dados do SRTM**. Rev. Geogr. Acadêmica v.2 n.2 (viii.2008) 84-95 ISSN 1678-7226.

PEREIRÁ PESSOA, Margarita Maria Elisa. **Integração de Modelos Hidrológicos e Sistemas de Informação Geográfica na análise de processos de Outorga Quantitativa de uso da água: Aplicação na Bacia do Rio dos Sinos – RS**. 2010. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) -

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Financiadora de Estudos e Projetos.
Orientador: Walter Collischonn. Pg. 91.

PETTS, G. E. (1995). **Changing river channels: the geographical tradition**. Em Gurnell, A.M. and Petts, G. E. (eds) *Changing River Channels*. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 1-23.

PINA, M. F.; SANTOS, S. M. **Conceitos básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia aplicados à saúde**. Brasília: OPAS, 2000. 122 p.

SANTOS, Ivairton. M. e ZEILHOFER, P. **Modelagem Hidrológica Integrada em Sistemas de Informação Geográfica**. *Geodesia online*, Florianópolis, v. 4, p. 1-16, 2005.

SEMA-RS: Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Rio Grande do Sul. **Relatório Anual sobre a Situação dos Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande do Sul**. 2010.

SMITH, T.R.; PEUQUET, D.J.; MENON, S.; AGARWAL, P. **KBGIS-II: a knowledge-based geographic information system**. *International Journal of Geographic Information Systems*, v. 1, n. 2, p. 149-172, 1987.

STEINER JEAN L., CHEN JIN-SONG E SADLER JOHN. **STEWARDS: An Integrated Data System for ARS Watershed Research**. Proceedings of Oklahoma Water 2005, Tulsa, OK, September 27 and 28, Paper # 11 Oklahoma Water Resources Research Institute, Stillwater, OK, 10 pgs.

SUI D. Z.; MAGGIO R. C. **Integrating GIS with hydrological modeling: practices, problems, and prospects**. *Computers, Environment and Urban Systems*. p. 35-51, 1999.

TIM, U.S., S. MOSTAGHIMI, e V.O. SHANHOLTZ, 1992. **Identification of Critical Nonpoint Pollution Source Areas Using Geographic Information Systems and Water Quality Modeling**. *Water Resources Bulletin* 28:877-887.

TSOU, M. S.; WHITTEMOREZ, D. O. **User interface for ground-water modeling: ArcView Extension**. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 6, n. 3, p. 251-257, 2001.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Ed. Universidade/ UFRGS, Porto Alegre, p. 669, 1998.

USACE. **Geospatial hydrologic modeling extension: HEC-GeoHMS user's manual**. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Report CPD-77, 2003.

USEPA (1995). **QUAL2E Windows Interface User's Guide**. United States Environmental Protection Agency, Office of Water, Athens, EPA/823/B/95/003, Athens GA.

USEPA. **Better Assessment Science integrating Point and Nonpoint Sources – BASINS user's manual**. EPA-823-B-98-006, Washington, 1998.

WHITEAKER, T.; MAIDMENT D. R. **Geographically Integrated Hydrologic Modeling Systems**. Dissertation. The University of Texas at Austin, 2004. CRWR Online Report 04-04. <<http://www.cwr.utexas.edu/reports/2004/rpt04-4.shtml>>.

YAPO, P. O.; GUPTA, H. V.; SOROOSHIAN, S., 1998. **Multi-objective global optimization for hydrologic models**. Journal of Hydrology Vol. 204 pp. 83-97.

ZEILHOFER, P. et al. **Um ambiente SIG para modelagem integrada da qualidade da água utilizando QUAL2E**. *Caminhos da Geografia* – Revista on line, 8(10) 107-125, setembro. Instituto de Geografia UFU, 2003.

ANEXOS

ANEXO A - Relação de postos fluviométricos e gráficos de disponibilidade temporal da bacia Três Marias

Quadro – Postos fluviométricos obtidos no sistema Hidroweb para a bacia Três Marias.

Código	Latitude	Longitude	Nome
40025000	- 20.3272	-46.3661	VARGEM BONITA
40030000	-20.1	-46.3167	FAZENDA DA BARCA
40032000	- 20.1508	-46.3033	FAZENDA SAMBURÁ
40034000	- 20.1833	-46.2167	FAZENDA DA BARRA
40035000	-20.15	-46.3333	FAZENDA SAMBURA
40037000	- 20.2156	-46.2322	FAZENDA DA BARRA
40040000	- 20.0958	-46.0642	FAZENDA AJUDAS
40043001	- 20.2333	-46.0333	FAZENDA CAJANGA
40046000	-20.35	-45.9667	PORTO SABINO
40050000	-20.17	-45.7158	IGUATAMA
40053000	- 20.2369	-45.6606	CALCIOLÂNDIA
40056002	- 19.9333	-45.95	FAZENDA CAPOEIRÃO
40056200	-19.95	-45.9667	MONTANTE DO BOM SUCESSO
40056500	- 19.9667	-45.9833	PONTE CAPOEIRÃO
40060000	- 19.8667	-46.0167	TAPIRAÍ
40060001	- 19.8881	-46.0181	TAPIRAÍ – JUSANTE
40063000	- 19.9667	-45.7333	ESTEIOS
40066000	- 20.0667	-45.55	PONTE SANTANA
40067000	- 19.9333	-45.5667	PONTE OLEGÁRIO MACIEL
40070000	- 19.7761	-45.4792	PONTE DO CHUMBO
40080000	- 19.6706	-45.61	TAQUARAL
40100000	- 19.2786	-45.2858	PORTO DAS ANDORINHAS
40102000	- 19.2333	-45.1667	PORTO DA BARRA
40105000	-	-44.4167	FAZENDA CAMPO GRANDE

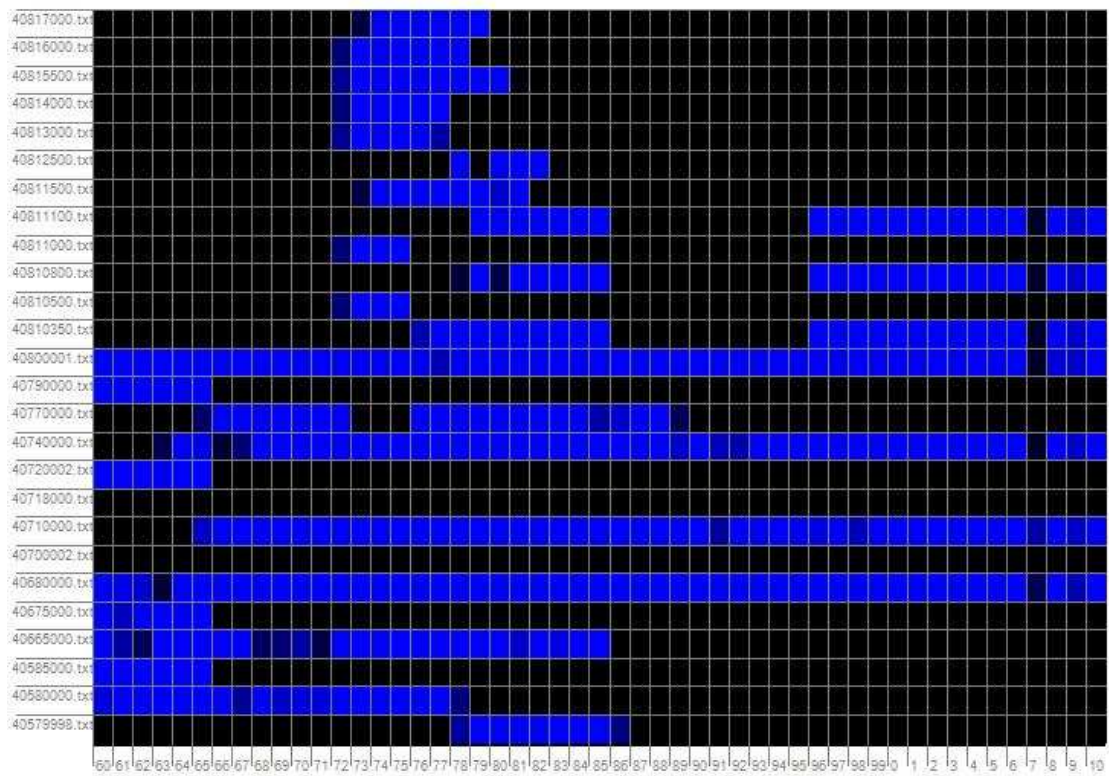
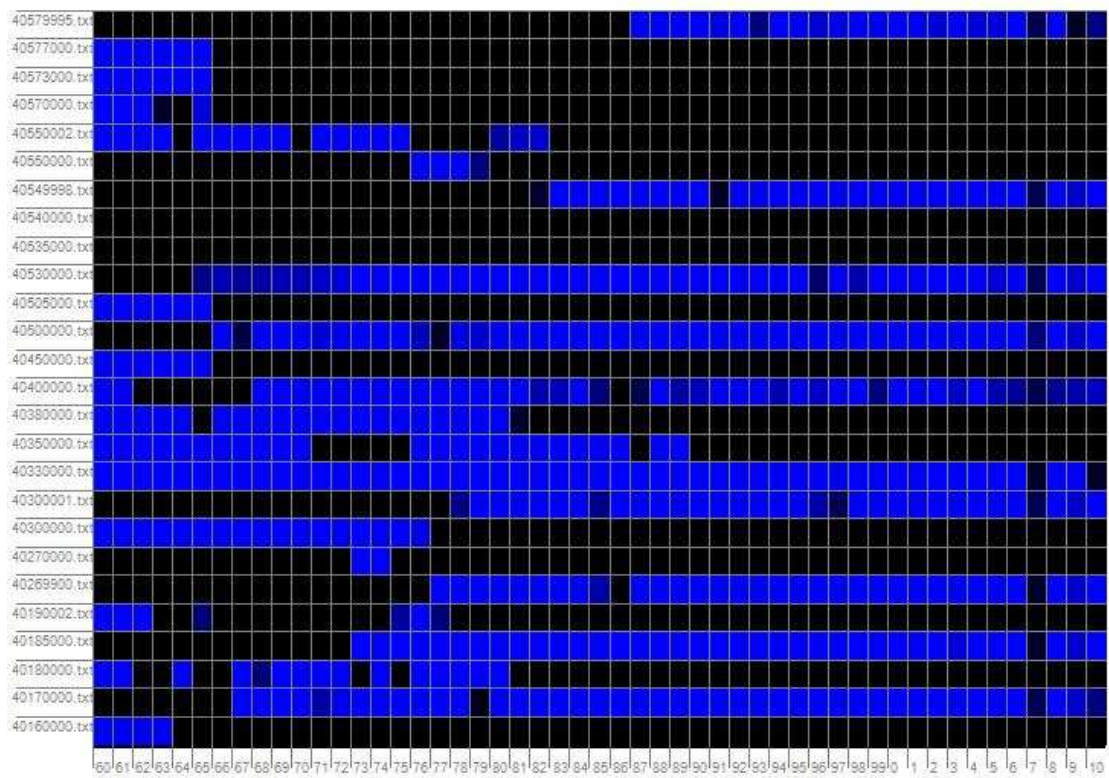
Código	Latitude	Longitude	Nome
	20.6833		
40130000	- 20.4333	-44.6	PONTE DO VILELA
40150000	- 20.1811	-44.7939	CARMO DO CAJURU
40160000	- 20.4667	-45.0167	LAMOUNIER
40170000	- 20.2161	-44.9183	MARILÂNDIA (PONTE BR-494)
40180000	-20.55	-44.85	CARMO DA MATA
40185000	- 20.2358	-44.9275	PARI
40190002	-20.15	-44.8833	DIVINÓPOLIS
40269900	- 20.0664	-44.5814	ITAÚNA – MONTANTE
40270000	- 20.0833	-44.5667	ITAÚNA
40300000	- 19.7667	-44.8	JAGUARUNA
40300001	- 19.7436	-44.8183	JAGUARUNA - JUSANTE
40330000	- 19.6939	-44.9308	VELHO DA TAIPA
40350000	- 20.2667	-45.15	USINA CAMARÃO
40380000	- 19.9333	-45.1333	ARAÚJOS
40400000	- 19.7531	-45.1175	ESTAÇÃO ALVARO DA SILVEIRA
40450000	-19.3	-45.0667	PORTO PARÁ
40500000	- 19.3317	-45.2214	MARTINHO CAMPOS
40505000	-19.3	-45.1333	ABAIXO USINA PARI
40530000	- 19.1628	-45.4419	ABAETÉ
40535000	- 18.8167	-45.2	BARRA DO PARAOPEBA
40540000	- 20.8167	-43.85	JUREMA
40549998	- 20.6039	-43.9086	SÃO BRÁS DO SUAÇUÍ – MONTANTE
40550000	-20.6	-43.9167	SÃO BRÁS DO SUAÇUÍ
40550002	-20.6	-43.9167	SÃO BRÁS DO SUAÇUÍ – JUSANTE
40570000	-20.65	-43.8333	CONSELHEIRO LAFAIETE
40573000	- 20.5667	-43.8333	JOAQUIM MURTINHO
40577000	-	-43.8	PONTE JUBILEU

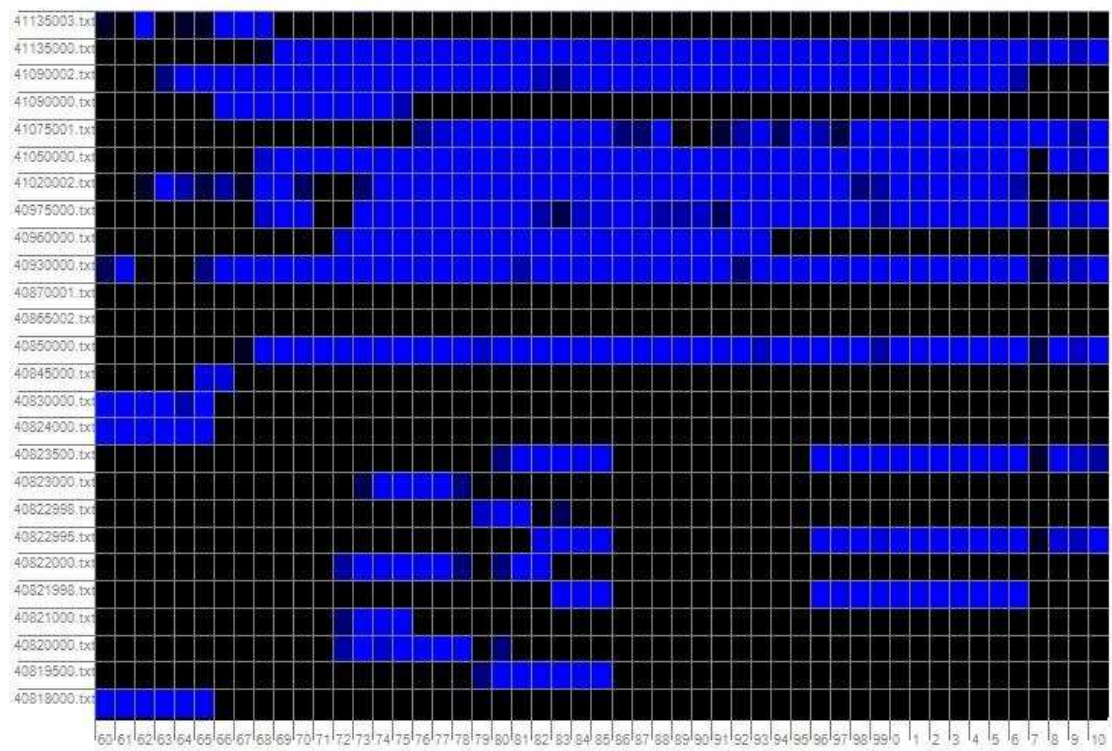
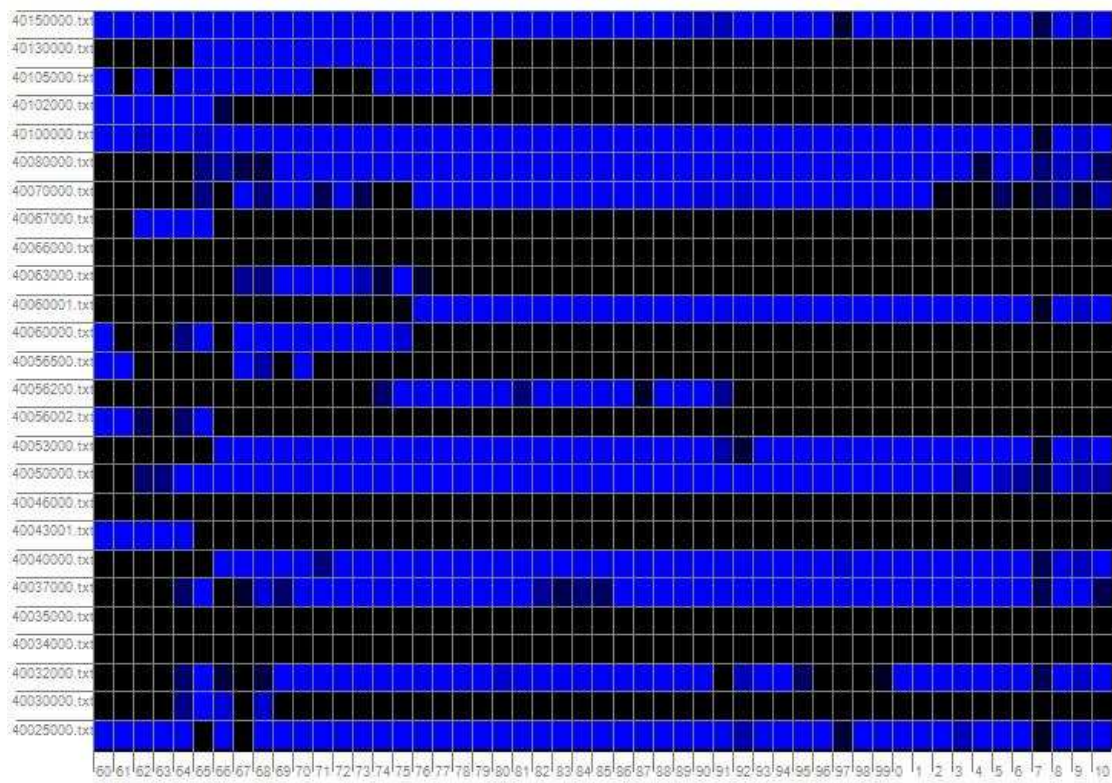
Código	Latitude	Longitude	Nome
	20.5333		
	-		
40579995	20.5186	-43.8356	CONGONHAS – LINIGRAFO
40579998	-20.5	-43.85	CONGONHAS – MONTANTE
40580000	-20.5	-43.85	CONGONHAS
	-		
40585000	20.0833	-43.3833	CACHOEIRA SANTO ANTÔNIO
40665000	-20.65	-44.0333	USINA JOÃO RIBEIRO
	-		
40675000	20.7667	-44.1333	CACHOEIRA DO GORDO
	-		
40680000	20.6603	-44.0719	ENTRE RIOS DE MINAS
	-		
40700002	20.5333	-43.9667	JECEABA
	-		
40710000	20.4081	-44.0211	BELO VALE
	-		
40718000	20.2333	-44.1333	TOCA
40720002	-20.2	-44.0167	MELO FRANCO
	-		
40740000	20.1569	-44.1667	ALBERTO FLORES
40770000	-20.15	-44.25	CONCEIÇÃO DO ITAGUA
	-		
40790000	19.9667	-44.2	BETIM
	-		
40800001	19.9489	-44.3053	PONTE NOVA DO PARAÓPEBA
	-		
40810350	20.0942	-44.4936	FAZENDA LARANJEIRAS
40810500	-20.1	-44.45	JUSANTE CARRAPATO
	-		
40810800	20.0606	-44.4522	FAZENDA PASTO GRANDE
	-		
40811000	20.0833	-44.4167	SERRA AZUL
	-		
40811100	20.0475	-44.4089	JARDIM
	-		
40811500	20.0167	-44.3667	FAZENDA SOBRADINHO
	-		
40812500	20.0833	-44.3667	VARGINHA
	-		
40813000	20.0833	-44.3667	FAZENDA DO ROQUE
	-		
40814000	20.0833	-44.3333	FAZENDA DO MOSQUITO
	-		
40815500	20.0167	-44.35	VARGEM GRANDE
	-		
40816000	20.0167	-44.3167	FAZENDA CURRALINHO

Código	Latitude	Longitude	Nome
40817000	19.9667	-44.3333	CÂNDIDOS
40818000	19.9333	-44.3333	JUATUBA
40819500	20.0167	-44.4667	AZURITA (CACHOEIRA)
40820000	-20	-44.4667	AZURITA (SOLEDADE)
40821000	19.9833	-44.5167	FAZENDA SESMARIA
40821998	19.9953	-44.5306	BOM JARDIM
40822000	-20	-44.4667	AZURITA (SESMARIA)
40822995	19.9694	-44.4219	MATEUS LEME – ALDEIA
40822998	19.9833	-44.4333	MATEUS LEME – MONTANTE
40823000	19.9833	-44.4333	MATEUS LEME
40823500	19.9614	-44.3661	SUZANA
40824000	-19.95	-44.3667	JUATUBA
40830000	19.8833	-44.4333	FAZENDA ESCOLA FLORESTAL
40845000	19.5667	-44.5667	SANTA CRUZ
40850000	19.4231	-44.5478	PONTE DA TAQUARA
40865002	19.1667	-44.6833	PORTO DO MESQUITA
40870001	18.8167	-45.2	JUSANTE BARRA DO PARAPEBA
40930000	19.3789	-45.8694	BARRA DO FUNCHAL
40960000	-18.95	-45.7	FAZENDA BOM JARDIM
40975000	18.4672	-45.6458	FAZENDA SÃO FÉLIX
41020002	18.1883	-45.2506	UHE TRÊS MARIAS – JUSANTE
41050000	18.7064	-46.0397	MAJOR PORTO
41075001	18.4031	-45.7344	PORTO DO PASSARINHO
41090000	-18.1	-45.4667	CANOEIROS
41090002	18.1086	-45.4614	PONTE DA BR-040
41135000	17.3594	-44.9478	PIRAPORA – BARREIRO
41135003	-	-44.95	BURITIZEIRO

Código	Latitude	Longitude	Nome
	17.3667		

Figuras - Gráficos de disponibilidade temporal de dados de vazão na bacia Três Marias. Cores mais claras indicam boa disponibilidade de dados. A cor preta indica que não existem dados disponíveis no período. Cores intermediárias indicam disponibilidade parcial.





ANEXO B - Relação de postos pluviométricos e gráficos de disponibilidade temporal da bacia Três Marias

Tabela– Postos pluviométricos obtidos no sistema Hidroweb para a bacia Três Marias.

Código	Latitude	Longitude	Nome
837052	-8.083333333	-37.85	BOQUEIRÃO FAZENDA
839047	-8.283333333	-39.65	BOM JESUS
936116	-9.916666667	-36.8	GORDILHO DE CASTRO
938028	-9.383333333	-38.25	PAULO AFONSO
1143023	-11.866666667	-43.35	GRANDE
1145021	-11.033333333	45.533333333	BOM JARDIM
1145022	-11.916666667	45.416666667	ACABA VIDA
1643040	-16.716666667	43.866666667	MONTES CLAROS
1744000	-17.2	44.816666667	GUAICUI
1744005	-17.366666667	44.933333333	PIRAPORA
1744006	-17.36388889	44.948333333	PIRAPORA – BARREIRO
1744007	-17.366666667	44.783333333	FAZENDA GUAICUI
1744009	-17.59361111	44.71611111	VÁRZEA DA PALMA
1744010	-17.89	44.576666667	LASSANCE
1744011	-17.366666667	-44.95	PIRAPORA
1744012	-17.87416667	44.17694444	BUENÓPOLIS
1744014	-17.35222222	44.95944444	BURITIZEIRO
1744025	-17.35	-44.95	PIRAPORA
1744026	-17.366666667	44.933333333	PIRAPORA
1744027	-17.5	-44.7	FAZENDA MÃE D'ÁGUA
1744030	-17.99527778	44.176666667	ESTAÇÃO DE CURIMATAI
1744032	-17.3	44.283333333	FAZENDA ROMPEDIA
1744044	-17.633333333	44.983333333	PEDRA DE SANTANA
1745000	-17.145833333	45.88027778	CAATINGA
1745001	-17.11111111	-	CACHOEIRA DO PAREDÃO

Código	Latitude	Longitude	Nome
		45.43777778	
1745007	-17.02694444	45.54055556	PORTO DO CAVALO
1746000	-17.2	46.88333333	PARACATU
1746001	-17.03083333	46.01361111	PORTO DA EXTREMA
1746002	-17.25527778	46.47388889	SANTA ROSA
1746004	-17.26666667	-46.2	FAZENDA RIO VERDE
1746006	-17.66361111	-46.355	PONTE DA BR-040 – PRATA
1746007	-17.50277778	46.57166667	PONTE DA BR-040 – PARACATU
1746008	-17.21666667	46.86666667	PARACATU
1746009	-17	46.06666667	COLÔNIA DO PARACATÚ
1843000	-18.63555556	43.96583333	USINA PARAUNA
1843002	-18.46555556	43.74305556	GOUVEIA
1843020	-18.08333333	43.83333333	SÃO JOÃO DA CHAPADA
1844000	-18.76611111	44.42611111	CURVELO
1844001	-18.3	44.22277778	SANTO HIPÓLITO
1844002	-18.36666667	-44.45	CORINTO
1844003	-18.68194444	44.67611111	PONTE DO LICÍNIO
1844004	-18.76166667	44.40361111	GRANJA SANTA BRANCA
1844005	-18.31666667	-44.1	RODEADOR
1844009	-18.64388889	44.04805556	PRESIDENTE JUSCELINO – JUSANTE
1844010	-18.67138889	44.19138889	PONTE DO LICÍNIO – JUSANTE
1844011	-18.16666667	44.16666667	PORTO DO PONTAL
1844013	-18.26666667	44.23333333	SANTO HIPÓLITO
1844015	-18.76666667	44.43333333	CURVELO
1844016	-18.63333333	-44.1	PONTE DA MG-140
1844017	-18.37222222	44.44361111	CORINTO
1844018	-18.20111111	44.57722222	PONTE DO BICUDO

Código	Latitude	Longitude	Nome
1844019	-18.54166667	44.59888889	MORRO DA GARÇA
1844024	-18.75	-44.9	FELIXLÂNDIA
1845000	-18.81666667	-45.2	BARRA DO PARAOPEBA
1845001	-18.08333333	45.23333333	BARRAGEM TRÊS MARIAS
1845002	-18.46444444	45.64666667	FAZENDA SÃO FELIX
1845003	-18.11305556	45.46583333	CANOEIROS
1845004	-18.84138889	45.85138889	LAGOA DO GOUVÉIA
1845005	-18	-45	PORTO DO PASSARINHO
1845008	-18.66666667	-45.85	MORADA NOVA DE MINAS
1845009	-18.16666667	-45.3	UHE TRÊS MARIAS
1845010	-18.56666667	45.71666667	VILA CANASTRÃO
1845011	-18.35	45.83333333	SÃO GONÇALO DO ABAETÉ
1845012	-18.28333333	-45	ANDREQUICE
1845013	-18.34361111	45.83666667	SÃO GONÇALO DO ABAETÉ
1845014	-18.99972222	45.96611111	TIROS
1845015	-18.83333333	45.76666667	FAZENDA DA MATINHA
1845017	-18.55	45.56666667	PORTO INDÁIA
1845021	-18.03833333	45.52361111	CANOEIROS
1845024	-18.41666667	-45.75	SÃO GONÇALO DO ABAETÉ
1845026	-18.01666667	45.10583333	FAZENDA DAS PEDRAS
1845027	-17.95805556	45.10222222	BARRA DO RIO DE JANEIRO
1845032	-18.28333333	-45	ANDREQUICE - TRÊS MARIAS)
1846000	-18.6	46.51666667	PATOS DE MINAS (INMET)
1846002	-18.93	46.96666667	CHARQUEADA DO PATROCÍNIO
1846003	-18.70694444	46.03694444	MAJOR PORTO
1846004	-18.84972222	46.80083333	GUIMARANIA
1846005	-18.4125	46.42222222	PRESIDENTE OLEGÁRIO
1846006	-18.55944444	-	PANTANO

Código	Latitude	Longitude	Nome
		46.80027778	
1846007	-18.84111111	46.55083333	SANTANA DE PATOS
1846015	-18.005	46.91111111	VAZANTE
1846016	-18.03388889	46.41944444	PONTE FIRME
1846017	-18.64111111	46.33444444	LEAL DE PATOS
1846018	-18.6	46.51666667	PATOS DE MINAS
1846019	-18.37361111	-46.915	ROCINHA
1846020	-18.05	-46.9	VAZANTE
1846023	-18.18277778	46.80416667	LAGAMAR
1846031	-18.15	46.13333333	ANDREQUICE - (PRESIDENTE OLEGÁRIO)
1943004	-19.52055556	43.74444444	JABOTICATUBAS
1943006	-19.89305556	-43.815	SABARÁ
1943009	-19.68722222	43.92083333	VESPASIANO
1943010	-19.90055556	-43.6675	CAETÉ
1943011	-19.91666667	-43.9	INSTITUTO AGRONÔMICO
1943012	-19.63333333	-43.9	LAGOA SANTA
1943013	-19.91194444	43.95777778	CARLOS PRATES
1943014	-19.51666667	-43.75	FABRICA SÃO VICENTE
1943016	-19.95	43.96666667	MUTUCA
1943018	-19.81666667	43.96666667	VENDA NOVA
1943019	-19.28333333	-43.6	USINA PACÍFICO MASCARENHAS
1943020	-19.93333333	-43.95	ESTAÇÃO EXPERIMENTAL
1943021	-19.91666667	-43.9	INSTITUTO AGRONÔMICO
1943022	-19.945	-43.9125	CAIXA DE AREIA
1943023	-19.66388889	43.68805556	TAQUARAÇU
1943024	-19.68972222	43.58555556	JOSÉ DE MELO
1943028	-19.93333333	-43.95	INSTITUTO AGRONÔMICO
1943029	-19.91666667	-43.9	INSTITUTO AGRONÔMICO
1943030	-19.91666667	-43.9	INSTITUTO AGRONÔMICO
1943031	-19.91666667	-43.9	INSTITUTO AGRONÔMICO
1943032	-19.91666667	-43.9	INSTITUTO AGRONÔMICO

Código	Latitude	Longitude	Nome
1943033	-19.91666667	-43.9	INSTITUTO AGRONÔMICO
1943034	-19.91666667	-43.9	INSTITUTO AGRONÔMICO
1943035	-19.21888889	43.58805556	VAU DA LAGOA
1943036	-19.3	43.93333333	SÃO VICENTE (USINA)
1943037	-19.25	-43.75	FAZENDA DO CIPÓ
1943038	-19.51666667	43.76666667	USINA PARAUNINHA
1943039	-19.96666667	43.98333333	MAGNESITA
1943041	-19.95	43.98333333	RUA SIDERAL
1943042	-19.11972222	-43.8375	FAZENDA CARAIBAS
1943049	-19.56138889	43.91777778	PONTE RAUL SOARES
1943053	-19.93333333	43.93333333	AVENIDA DO CONTORNO
1943054	-19.93333333	43.93333333	BELO HORIZONTE (LOURDES)
1943055	-19.9	43.91666667	BELO HORIZONTE (HORTO)
1943064	-19	-43	RUA SÃO PAULO
1943066	-19.93333333	43.93333333	MINA DE ÁGUAS CLARAS
1944000	-19.48333333	-44.15	PRUDENTE DE MORAIS – A
1944001	-19.86666667	-44.6	PARÁ DE MINAS
1944002	-19.95	-44.7	IGARATINGA
1944003	-19.98333333	44.41666667	MATEUS LEME
1944004	-19.95555556	44.30666667	PONTE NOVA DO PARAOPEBA
1944005	-19.97138889	44.20166667	BETIM
1944006	-19.98333333	-44.85	SÃO GONÇALO DO PARÁ
1944007	-19.87972222	44.42166667	FAZENDA ESCOLA FLORESTAL
1944008	-19.61666667	-44.65	PORTO SANTA CRUZ
1944009	-19.63444444	44.05333333	PEDRO LEOPOLDO
1944010	-19.26805556	44.40166667	HORTO FLORESTAL
1944011	-19.72805556	44.80666667	JAGUARUNA - JUSANTE
1944013	-19.16666667	44.68333333	PORTO DO MESQUITA
1944014	-19.48333333	-44.15	PRUDENTE DE MORAIS – B

Código	Latitude	Longitude	Nome
1944015	-19.48333333	-44.15	PRUDENTE DE MORAIS – C
1944016	-19.46666667	-44.25	SETE LAGOAS
1944017	-19.73333333	44.08333333	USINA SANTO ANDRÉ
1944018	-19.2925	44.41111111	CAETANÓPOLIS
1944019	-19.46666667	-44.25	FABRICA DE TECIDOS SANTO ANTÔNIO
1944020	-19.01305556	44.03666667	PIRAPAMA
1944021	-19.69611111	44.92944444	VELHO DA TAIPA
1944022	-19.59777778	44.41944444	FAZENDA DA MATA
1944023	-19.61666667	-44.05	COMPANHIA IND. BELO HORIZONTE
1944024	-19.23722222	44.12305556	FAZENDA VARGEM BONITA
1944025	-19.98333333	44.51666667	PARADA DA BAHIA
1944026	-19.96416667	44.45194444	BARRO PRETO
1944027	-19.95555556	44.33444444	JUATUBA
1944029	-19.45	44.23333333	SETE LAGOAS
1944030	-19.99166667	44.52555556	FAZENDA SESMARIA
1944031	-19.42333333	44.54833333	PONTE DA TAQUARA
1944032	-19.68444444	44.87888889	SE PITANGUI
1944033	-19.66666667	-44.9	PITANGUI
1944040	-19.26666667	44.81666667	POMPÉU VELHO
1944041	-19.58333333	44.53333333	PONTE DA TAQUARA
1944043	-19.5	-44.75	PAPAGAIOS
1944048	-19.99166667	44.42388889	MATEUS LEME
1944049	-19.42833333	44.71972222	PAPAGAIOS
1944051	-19.86666667	44.41666667	FLORESTAL (ESC.AGRON.)
1944052	-19.46666667	-44.25	SETE LAGOAS
1944053	-19.9	-44.1	CONTAGEM
1944055	-19.97333333	44.18805556	BETIM – COPASA

Código	Latitude	Longitude	Nome
1944057	-19.78333333	44.33333333	CANA DO REINO
1944059	-19.56305556	44.44694444	FORTUNA DE MINAS
1944060	-19.16666667	44.66666667	PORTO DO MESQUITA
1944062	-19.98277778	44.49222222	FAZENDA SANTA RITA
1944063	-19.08722222	44.94722222	SILVA CAMPOS
1944068	-19.02888889	44.19388889	FAZENDA CAPÃO DO GADO
1945000	-19.94833333	45.16694444	ARAÚJOS
1945001	-19.35	45.23333333	MARTINHO CAMPOS
1945002	-19.39472222	45.88444444	BARRA DO FUNCHAL
1945003	-19.45	-45.6	DORES DO INDÁIA
1945004	-19.75166667	45.11694444	ESTAÇÃO ALVARO DA SILVEIRA
1945005	-19.15	-45.45	ABAETÉ
1945008	-19.7425	-45.255	BOM DESPACHO
1945012	-19.81666667	-45.7	LUZ
1945013	-19.23333333	45.96666667	MATUTINA
1945014	-19.68333333	45.38333333	ENGENHO RIBEIRO
1945015	-19.71666667	45.93333333	FAZENDA NOVO HORIZONTE
1945016	-19.96666667	45.58333333	FAZENDA DA CURVA
1945018	-19.15	-45.45	ABAETÉ
1945019	-19.46861111	45.60166667	DORES DO INDÁIA (CVSF)
1945020	-19.3	45.06666667	PORTO PARÁ
1945021	-19.3	45.28333333	PORTO DAS ANDORINHAS
1945022	-19.21666667	-45	POMPÉU
1945035	-19.16305556	-45.4425	ABAETÉ
1945037	-19.66555556	45.65222222	TAQUARAL
1945038	-19.27861111	45.28583333	PORTO DAS ANDORINHAS
1945039	-19.33222222	45.22805556	MARTINHO CAMPOS

Código	Latitude	Longitude	Nome
1945040	-19.73333333	-45.25	BOM DESPACHO
1946000	-19.87944444	46.03277778	TAPIRAÍ – JUSANTE
1946003	-19.68333333	46.16666667	CAMPOS ALTOS
1946004	-19.475	46.54194444	IBIÁ
1946005	-19.07055556	46.79583333	SALITRE
1946006	-19.16666667	46.26666667	FAZENDA BOM JARDIM
1946007	-19.51666667	46.57111111	FAZENDA SÃO MATEUS
1946008	-19.11277778	46.68833333	SERRA DO SALITRE
1946009	-19.31527778	46.04444444	SÃO GOTARDO
1946010	-19.75138889	46.41194444	PRATINHA
1946011	-19.92694444	46.82527778	TAPIRA
1946015	-19.56666667	46.93333333	ARAXÁ
1946017	-19.34916667	46.83333333	PONTE BR-146
1946018	-19.32333333	46.63722222	PONTE DO RIO SÃO JOÃO
1946019	-19.675	46.68277778	ARGENITA
1946020	-19.53083333	46.10027778	SÃO JOSÉ DA BELA VISTA
1946022	-19.00333333	46.30611111	CARMO DO PARANAIBA
2043000	-20.81666667	43.81666667	CRISTIANO OTONI
2043001	-20.81666667	-43.85	JUREMA
2043002	-20.17916667	43.94277778	LAGOA GRANDE (MMV)
2043003	-20.38333333	43.43333333	PASSAGEM DE MARIANA
2043004	-20.13777778	-43.8925	RIO DO PEIXE (MMV)
2043005	-20.665	43.77777778	CONSELHEIRO LAFAIETE
2043006	-20.38333333	-43.5	FAZENDA DO MANSO
2043007	-20.33333333	-43.55	VARGEM DO TEJUCAL
2043008	-20.35	43.28333333	MONSENHOR HORTA
2043009	-20.3625	-	ACAIACA – JUSANTE

Código	Latitude	Longitude	Nome
		43.14388889	
2043010	-20.69055556	43.29944444	PIRANGA
2043011	-20.39	43.18027778	FAZENDA PARAÍSO
2043012	-20.43333333	-43.4	SALTO
2043013	-20.52194444	-43.83	CONGONHAS – LINIGRAFO
2043014	-20.67027778	43.08805556	PORTO FIRME
2043015	-20.16666667	43.81666667	AGUIAR MOREIRA
2043016	-20.1	-43.8	RIO ACIMA
2043017	-20.76666667	43.56666667	PONTE SÃO LOURENÇO
2043018	-20.95583333	43.80083333	CARANDAÍ
2043019	-20.33333333	43.66666667	CACHOEIRA DO CAMPO
2043020	-20.25	-43.8	ITABIRITO
2043021	-20.11666667	-43.05	ALVINÓPOLIS
2043022	-20.21666667	43.56666667	COLÉGIO CARAÇA
2043023	-20.06666667	43.58333333	CONCEIÇÃO DO RIO ACIMA
2043024	-20.38333333	-43.5	OURO PRETO
2043025	-20.51666667	43.01666667	USINA DA BRECHA
2043026	-20.8475	43.24194444	BRAZ PIRES
2043027	-20.28555556	43.09888889	FAZENDA OCIDENTE
2043028	-20.35	43.23333333	BICAS
2043031	-20	-43	CASA DA PEDRA
2043042	-20.16472222	43.89194444	REPRESA DAS CODORNAS (MMV)
2043043	-20.12611111	43.95027778	REPRESA DO MIGUELÃO (MMV)
2043052	-20.5	-43.7	OURO BRANCO (ACOMINAS)
2043056	-20.30527778	43.61638889	FAZENDA ÁGUA LIMPA – JUSANTE
2043057	-20.16666667	-43.9	CODORNA
2043058	-20.16666667	-43.9	MIGUELÃO
2043060	-20.30111111	43.79805556	ITABIRITO – LINIGRAFO
2044000	-20.91666667	-44.45	PONTE DO RIO DO PEIXE
2044001	-20.68333333	-	OLIVEIRA

Código	Latitude	Longitude	Nome
		44.81666667	
2044002	-20.07138889	44.57027778	ITAÚNA – MONTANTE
2044003	-20.19222222	44.79361111	CARMO DO CAJURU
2044004	-20.98333333	44.28333333	PENEDO
2044005	-20.55777778	-44.8675	CARMO DA MATA
2044006	-20.13694444	44.89194444	DIVINÓPOLIS
2044007	-20.66111111	44.07055556	ENTRE RIOS DE MINAS
2044008	-20.19777778	44.12083333	MELO FRANCO
2044009	-20.62527778	44.43333333	FAZENDA CAMPO GRANDE
2044010	-20.33333333	44.23333333	BONFIM
2044011	-20.55	44.63333333	CARMÓPOLIS DE MINAS
2044012	-20.04277778	44.04333333	IBIRITÉ
2044013	-20.15	44.23333333	FECHO DO FUNIL
2044014	-20.05	44.88333333	UHE DO GAFANHOTO
2044015	-20.16666667	-44.8	BARRAGEM DO CAJURU
2044016	-20.16916667	-44.515	FAZENDA BENEDITO CHAVES
2044017	-20.01833333	44.50416667	FAZENDA ÁGUA LIMPA
2044018	-20.03555556	44.38666667	PEDREIRA
2044019	-20.05138889	44.45166667	FAZENDA VISTA ALEGRE
2044020	-20.06833333	44.49222222	CALAMBAU
2044021	-20.10555556	44.40111111	ALTO DA BOA VISTA
2044022	-20.08666667	44.42722222	SERRA AZUL
2044023	-20.06666667	44.34055556	FAZENDA DO MOSQUITO
2044024	-20.0075	44.33111111	FAZENDA CURRALINHO
2044025	-20.1	44.28333333	JUSANTE CARRAPATO
2044026	-20.12972222	44.47444444	FAZENDA COQUEIROS

Código	Latitude	Longitude	Nome
2044027	-20.74083333	44.78333333	PONTE FERNÃO DIAS
2044036	-20.4	44.46666667	ITAGUARA
2044037	-20.94416667	-44.9075	SANTO ANTÔNIO DO AMPARO
2044038	-20.92361111	44.23833333	RESENDE COSTA
2044039	-20.01666667	-44.05	IBIRITÉ
2044040	-20.63527778	44.04888889	USINA JOÃO RIBEIRO
2044041	-20.10222222	44.48472222	FAZENDA LARANJEIRAS
2044042	-20.5625	-44.8675	CARMO DA MATA (ETA - COPASA)
2044043	-20.00027778	44.46166667	ESTIVA
2044044	-20.115	44.44638889	BOCAINA
2044045	-20.00055556	44.37861111	TIJUCO
2044046	-20.33333333	-44.25	BONFIM
2044047	-20.02388889	44.46805556	SERRA DA SAUDADE
2044049	-20.03055556	44.41277778	QUEIROZ
2044050	-20.89722222	44.50027778	SÃO TIAGO
2044052	-20.045	44.40777778	JARDIM
2044053	-20.06861111	-44.345	ESCOLA DE VETERINÁRIA
2044054	-20.08666667	44.42722222	SERRA AZUL
2044055	-20.43333333	44.78333333	SE CLÁUDIO
2045000	-20.88333333	45.26666667	CAMPO BELO
2045001	-20.02111111	45.96611111	BAMBUI
2045002	-20.17888889	45.70027778	IGUATAMA
2045003	-20.86666667	45.51666667	CRISTAIS
2045004	-20.905	-45.125	SANTANA DO JACARÉ
2045005	-20.47222222	45.03611111	LAMOUNIER
2045006	-20.48333333	45.11666667	ITAPECERICA
2045007	-20.08333333	-	SANTO ANTÔNIO DO MONTE

Código	Latitude	Longitude	Nome
		45.28333333	
2045008	-20.01666667	45.53333333	LAGOA DA PRATA
2045009	-20.28333333	45.53333333	ARCOS
2045010	-20.29472222	45.54277778	ARCOS (COPASA)
2045011	-20.03666667	45.53527778	LAGOA DA PRATA
2045012	-20.46194444	-45.945	PIUM-I
2045013	-20.08444444	45.29666667	SANTO ANTÔNIO DO MONTE
2045015	-20.43333333	45.83333333	FAZENDA OLHOS D'ÁGUA
2045020	-20.76	45.27416667	CANDÉIAS
2045021	-20.45722222	45.41916667	FORMIGA
2045023	-20	45.98333333	BAMBUI
2045026	-20.94527778	45.82361111	ILICÍNEA
2045027	-20.2	-45.25	SE PEDRA DO INDÁIA
2045028	-20.76527778	45.92583333	GUAPÉ
2046000	-20.71666667	46.61666667	PASSOS
2046001	-20.73916667	46.73527778	ITAÚ DE MINAS
2046002	-20.75	46.86666667	USINA MARAMBAIA
2046003	-20.33333333	46.36666667	VARGEM BONITA
2046004	-20.71666667	-46.15	SÃO JOSÉ DA BARRA
2046005	-20.96666667	46.11666667	PORTO CARRITO
2046006	-20.25	-46.35	FAZENDA SAMBURA
2046007	-20.10166667	-46.055	FAZENDA AJUDAS
2046008	-20.58333333	46.91666667	CÁSSIA
2046009	-20.34777778	46.84583333	DELFINÓPOLIS
2046010	-20.35	46.06666667	PORTO SABINO
2046011	-20.81166667	46.80805556	USINA SANTANA
2046012	-20.25	-46.35	SÃO ROQUE DE MINAS

Código	Latitude	Longitude	Nome
2046013	-20.33	46.36611111	VARGEM BONITA
2046015	-20.34	-46.37	VARGEM BONITA
2046018	-20	-46	FURNAS
2046020	-20.9	46.98333333	SÃO SEBASTIÃO DO PARAÍSO
2046021	-20	-46	FAZENDA JOAQUIM DOMINGOS
2046025	-20.1475	46.28472222	FAZENDA SAMBURÁ
2046026	-20.25	46.36666667	SÃO ROQUE DE MINAS
2046027	-20.67583333	46.32361111	UHE FURNAS – MET
2046028	-20.965	46.15222222	CARMO DO RIO CLARO
2046030	-20.65388889	46.21638889	PONTE DO TURVO
2046031	-20.75	46.74333333	ITAÚ DE MINAS
2144000	-21.03388889	44.77194444	BOM SUCESSO
2144001	-21.94722222	44.19388889	BOM JARDIM DE MINAS
2144002	-21.1225	-44.2325	PORTO TIRADENTES
2144003	-21.98972222	44.93861111	CAXAMBU
2144004	-21.95111111	44.87611111	BAEPENDI
2144005	-21.32083333	44.87277778	ITUMIRIM
2144006	-21.50694444	44.91555556	LUMINARIAS
2144007	-21.49222222	44.32611111	MADRE DE DEUS DE MINAS
2144008	-21.15	-44.8	FAZENDA BOM JARDIM
2144009	-21.165	44.13555556	PORTO DO ELVAS
2144010	-21.69916667	44.43888889	SÃO VICENTE DE MINAS
2144011	-21.91666667	44.81666667	CRUZÍLIA
2144012	-21.85	-44.5	SERRANOS
2144013	-21.3	-44.65	ITUTINGA
2144014	-21.23333333	44.98333333	LAVRAS (INMET)
2144015	-21.6	-44.1	SANTANA DO GARAMBEU

Código	Latitude	Longitude	Nome
2144016	-21.98722222	44.03222222	TABUÃO
2144017	-21.68333333	-44.6	MINDURI
2144018	-21.97722222	44.60333333	AIURUOCA
2144019	-21.73472222	44.31222222	ANDRELÂNDIA
2144020	-21.05555556	44.20888889	USINA SÃO JOÃO DEL REI
2144021	-21.67472222	44.34055556	FAZENDA LARANJEIRAS
2144022	-21.74583333	44.35472222	FAZENDA PARAÍBA
2144023	-21.14305556	44.73777778	IBITURUNA
2144024	-21.18944444	44.32888889	VILA RIO DAS MORTES
2144025	-21.99805556	44.46361111	CARVALHOS
2144026	-21.145	44.91361111	MACAIA
2144028	-21.98333333	-44.2	RUTILO
2144032	-21.13333333	44.26666667	SÃO JOÃO DEL REI
2144036	-21.98333333	-44.95	CAXAMBU
2144037	-21.83527778	44.80083333	CRUZÍLIA
2144038	-21.48416667	44.64333333	CARRANCAS
2144039	-21.29777778	44.62944444	SE ITUTINGA

Figuras: Gráficos de disponibilidade temporal de dados de chuva na bacia Três Marias. Cores mais claras indicam boa disponibilidade de dados. A cor preta indica que não existem dados disponíveis no período. Cores intermediárias indicam disponibilidade parcial.

