

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOGRAFIA E TERRITÓRIO



**MODELAGEM HIDROLÓGICA APLICADA AO ESTUDO DA VAZÃO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO ARAGUARI - MG, A PARTIR DAS MUDANÇAS DO
USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL NATIVA**

MIRNA KARLA AMORIM DA SILVA

**UBERLÂNDIA
2014**

MIRNA KARLA AMORIM DA SILVA

**MODELAGEM HIDROLÓGICA APLICADA AO ESTUDO DA VAZÃO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO ARAGUARI - MG, A PARTIR DAS MUDANÇAS DO
USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL NATIVA**

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Área de concentração: Geografia e Gestão do Território.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Rosa

UBERLÂNDIA
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

S586m Silva, Mirna Karla Amorim da, 1979-
2014 Modelagem hidrológica aplicada ao estudo da vazão da bacia hidrográfica do Rio Araguari - MG, a partir das mudanças do uso da terra e cobertura vegetal nativa / Mirna Karla Amorim da Silva. - 2014.
195 f. : il.

Orientador: Roberto Rosa.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia.
Inclui bibliografia.

1. Geografia - Teses. 2. Araguari, Rio, Bacia (MG) - Teses. I. Rosa, Roberto. II. Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDU: 910.1

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Programa de Pós-Graduação em Geografia

MIRNA KARLA AMORIM DA SILVA

“MODELAGEM HIDROLÓGICA APLICADA AO ESTUDO DA VAZÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARAGUARI-MG, A PARTIR DAS MUDANÇAS DO USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL NATIVA”.

Prof. Doutor Roberto Rosa (Orientador) - UFU

Prof. Doutor Edson Eyji Sano – EMPRAPA

Professor Doutor João Donizete Lima – UFG – Campus Catalão

Professora Doutora Jussara dos Santos Rosendo - UFU - FACIP

Professor Doutor Vanderlei de Oliveira Ferreira – UFU

Data: 29/08 de 2014

Resultado: provocado

AGRADECIMENTOS

Mais uma pesquisa concretizada! E mais uma vez, muito me felicita e orgulha agradecer e eternizar esse agradecimento àqueles que, de diversas formas, contribuíram tão generosamente na elaboração desta pesquisa e auxiliaram para a sua concretização.

A jornada foi árdua, por muitas vezes, propícia a desistência. As atividades profissionais, o convívio com a família e amigos, muitas vezes não permitiram uma dedicação necessária e exclusiva ao trabalho esperado e conciliar tantas atividades, por vezes, foi exaustivo.

No final, o resultado foi compensatório, e a conquista não foi pessoal, mas de um conjunto de pessoas que estiveram comigo nesta caminhada. Por isso, deixo meus sinceros agradecimentos....

...primeiramente, a **Deus** que representou e representa grande refúgio todo o tempo e que, maravilhosamente, proporciona-me alento, calma, esperança, consolo e paz de espírito nos momentos de ansiedade, cansaço e desânimo, nesta jornada e em toda minha vida.

...a toda minha família, em especial aos meus pais **Marise** e **Luís Carlos** e meus irmãos **Léo**, **Nado**, **Luiza**, **Dudu** e **João Victor**, com os quais eu sempre posso contar, em todos os momentos.

...ao meu orientador, professor, conselheiro e exemplo de profissional e ser humano, **Roberto Rosa**, por mais esse voto de confiança, pelo aprendizado constante, pela dedicação expressa em cada diálogo, pelo incentivo, amizade e carinho ofertados em todos os momentos de doze anos de convívio no LAGEO... em todas as orientações já realizadas, de trabalho final de graduação, de mestrado e agora, de doutorado. Obrigada por tudo novamente, por não ter me deixado desistir nos momentos mais difíceis, por ter me apoiado e auxiliado para que eu pudesse crescer como profissional e como ser humano também.

...aos professores **Jorge Brito** e **Vanderlei** pelo aprendizado e atenção dedicados durante a elaboração da pesquisa e o convívio no IG... e também pelas contribuições na banca de qualificação. À professora **Jussara** também pelo aprendizado e convívio no IG e pelo aceite para compor a banca examinadora da defesa desta pesquisa. Aos demais professores **Edson Sano** e **João Donizete**, por aceitarem o convite de compor a banca de defesa desta pesquisa.

...aos amigos especiais, de perto e de longe, do Lageo, do IG, da vida, companheiros de estrada...

Ana Luiza, Tatiana, Carol, Carla, Ju, Bia, Patrícia, Eduardo, Fabrício, Alécio, Gabriel..... a cada um em especial, o meu carinhoso abraço de obrigada pelos incentivos, pela companhia, pela ajuda, pela presença, se não física, em pensamento! Sempre orientando e guiando, cuidando e compartilhando momentos, sonhos e conquistas.

...aos **Professores do Instituto de Geografia** que foram formadores e responsáveis pelo conhecimento que venho a adquirir com mais este título.

...ao **João** e a **Yara**, assim como ao coordenador atual do PPGE, o **Prof. Roosevelt**, e outrora, **Profª. Rita**, sempre prontos e gentilmente disponíveis a atender qualquer dúvida e solicitações junto a Secretaria do Programa de Pós-Graduação da Geografia.

...aos **Pesquisadores do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS**, Diogo, Paulo, Ayan e Fernando, pelo auxílio durante a fase de utilização do MGB-IPH, que foi imprescindível para a pesquisa.

...ao órgão de fomento **Fapemig**, responsável por financiar e incentivar minha pesquisa, por determinado período.

... à **Universidade Federal de Uberlândia**, pela possibilidade de uma formação gratuita e de qualidade.

A todos, faltam palavras que expressem exatamente a importância de cada gesto, cada palavra, conselho, aperto de mão, abraço, ombro amigo, “chumbitos”, apoio moral, incentivos... que me foram tão essenciais e sem os quais, mais uma vez, eu não teria chegado até aqui.

Muito obrigada... a todos!

Quando chove a cântaros num dia de verão, é possível que se deseje nunca mais ver uma gota de chuva. No entanto, quando se está no campo, num terreno ressequido, à procura de um farrapo de nuvem no céu, a água se torna o mais doce dos bens da vida. Além de ser o elemento que mata a sede, a água é muitas outras coisas mais. É a força que impulsiona célere a canoa pelo rio abaixo. É o espesso nevoeiro que cega um navio que cruza o Atlântico Norte. É o orvalho sobre um botão de rosa. Os glaciares, as nuvens no céu, a geada que se deposita em nossas janelas, tudo isso é água (LEWIS, 1964).

RESUMO

A bacia hidrográfica do rio Araguari (BHRA) - MG, apresenta área de 22.146,23 km² localizados em uma região de grande consumo de água pela agricultura, indústria e pelas pessoas, o que acarreta altos custos ambientais, incluindo danos aos sistemas hídricos naturais. As constantes alterações de uso da terra relacionadas a tais atividades são potencialmente degradantes dos recursos hídricos e devem ser conhecidas para que se possa planejar a gestão dos ambientes de forma coerente com a preservação dos cursos d'água existentes. Neste contexto, frente a necessidade de gestão dos recursos hídricos, a modelagem hidrológica é uma ferramenta importante e eficiente no sentido de auxiliar o monitoramento e gestão das águas presentes nas bacias hidrográficas. Dentre as inúmeras aplicações dos modelos hidrológicos, podemos destacar (como utilizado nesta pesquisa) que eles têm a função de suprir a demanda de dados confiáveis e contínuos em locais onde existe total ou parcial ausência de dados coletados pelas estações hidrometeorológicas e ainda de simular situações/cenários hipotéticos para verificação de alguns fenômenos, a exemplo do comportamento da vazão dos rios presentes área de estudo. Desta forma, o objetivo geral desta pesquisa é realizar uma modelagem hidrológica para o estudo da vazão da BHRA, a partir das mudanças do uso da terra e cobertura vegetal nativa. O modelo hidrológico utilizado foi o Modelo de Grandes Bacias (MGB), do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), da UFRGS. Foram avaliados os efeitos das mudanças de uso da terra e cobertura vegetal nativa (período de 1975 a 2010) na resposta da vazão na bacia. As principais mudanças de uso da terra e cobertura vegetal nativa na BHRA neste período foram a substituição da classe campestre (Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado) pelas classes de atividades agropecuárias, devido ao grande avanço destas atividades econômicas na região. Em 2010, a cobertura vegetal nativa se reduziu praticamente a metade dos valores calculados para o ano de 1975 (passou de 88,93% para 42,97%). A classe de Pastagem aumentou de 8,41% (1975) para 30,59% (2010) e a classe de Agricultura aumentou de 2% (1975) para 23,02% (2010). O MGB foi ajustado para a simulação de vazões diárias a partir dos dados de chuva, clima e vazão observadas de 8 estações fluviométricas, 54 estações pluviométricas, além de dados espaciais: Modelo Digital de Elevação (SRTM), mapa de solos, mapa de unidades geomorfológicas, mapa geológico e mapas de uso da terra e cobertura vegetal nativa (1975 e 2010) da BHRA. O processo de calibração do modelo e simulação para a BHRA permitiu verificar um bom ajuste entre as vazões observadas (ANA) e calculadas (MGB). A BHRA foi dividida em sub-bacias para melhor análise, sendo a sub-bacia Ibiá aquela que apresentou melhores resultados na calibração e simulação de vazões diárias. Além da sub-bacia Ibiá, foram analisadas as vazões das sub-bacias Fazenda São Mateus, Desemboque e Fazenda Letreiro pertencentes à BHRA. A sub-bacia Fazenda Letreiro, sub-bacia que teve mais mudanças de uso da terra e cobertura vegetal nativa no período considerado (com a substituição de 53,56% da cobertura vegetal nativa transformada em agricultura e pastagem) apresentou um aumento para as vazões máxima (em 38,8 m³/s), mínima (em 2,29 m³/s), média (em 5,78 m³/s) e lâmina escoada anual (231,35 mm/ano), no período de 1975 a 2010. Foram simulados cenários hipotéticos para a sub-bacia Ibiá e comparados os resultados com os dados de vazão calculados pelo MGB, do ano de 2010. Em relação aos dados de vazão do cenário real de 2010: a vazão média para os cenários hipotéticos propostos se manteve praticamente equiparada, o cenário 100% Cobertura vegetal nativa apresentou maior alteração em relação a vazão mínima (aumento de 2,28 m³/s) e o cenário de 100% Pastagem apresentou a maior alteração na vazão máxima (aumento de 36,18 m³/s). A utilização do modelo e as análises realizadas foram consideradas satisfatórias para cumprir os objetivos da pesquisa.

Palavras-chave: Modelagem hidrológica. Mudança de uso da terra. Simulação de vazão.

ABSTRACT

The Araguari river hydrographic basin (BHRA) presents an area of 22,146.23 km² and is located in a region of Minas Gerais State with high water demand by agriculture, industry and humans, which leads to high environmental costs, including damage of natural water resources systems. The frequent land use changes related to such activities often degrade water resources and therefore should be monitored in order to provide effective environmental management strategies, consistent with conservation activities of existing water streams. In this context, considering the need of efficient water resources management programs, the hydrological modeling becomes an important tool to help monitoring and management activities of water resources found in the watershed. Among numerous hydrological models, we can highlight (as used in this research) the ones having functions to overcome the demand for reliable and continuous data sets. In other words, these models can overcome situations where there is total or partial lack of data collected by hydrometeorological stations and even simulate situations/hypothetical scenarios for verification of some phenomena, for example, the behavior of stream flows. Thus, the objective of this research is to use a hydrological modeling to study the stream flow of BHRA, considering changes in land use and natural vegetation. The selected hydrological model was the Modelo de Grandes Bacias (MGB), developed by Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) from the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS). The effects of land use and land cover (LULC) changes (time period of 1975-2010) in the stream flow regime were evaluated. The main LULC changes in the study area in this time period was the replacement of natural grasslands (Campo limpo, Campo sujo and Campo Cerrado) by croplands and cultivated pasturelands, as result of great increase of economic activities in this region. In 2010, the natural vegetation was reduced to nearly half of found in 1975 (88,93% and 42,97% of basin covered by natural vegetation in 1975 and 2010, respectively). Cultivated pasturelands increased from 8,41% in 1975 to 30,59% in 2010. Croplands increased from 2% in 1975 to 23,02% in 2010. The MGB was adjusted to simulate daily stream flows of the BHRA based on rainfall, climate and stream flow data gathered by eight rain gauged stations, 54 rainfall stations, besides the following spatial data: digital elevation models derived from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM); soil, geomorphology, geology and two-year LULC map (1975 and 2010). The calibration and simulation of MGB for BHRA showed good fit between observed (ANA) and calculated stream flow (MGB). The BHRA was then divided into sub-basins for further analysis. The Ibiá sub-basin showed better results of calibration and simulation of daily stream flows. The stream flows of Fazenda São Mateus, Desemboque and Fazenda Letreiro sub-basins were also analyzed. The Fazenda Letreiro sub-basin, the one that presented highest levels of LULC changes in the time period considered (conversion of 53,56% of natural vegetation into croplands and cultivated pasturelands) showed an increase of maximum (38,8 m³/s), minimum (2,29 m³/s) and average (5,78 m³/s) stream flow and for annual laminar flow (231,35 mm/year) as well. Hypothetical scenarios were simulated for the Ibiá sub-basin and compared with the stream flow results estimated by MGB for the year 2010. For actual LULC conditions, the measured and the estimated mean stream flows were quite similar. In a scenario of 100% of natural vegetation cover, the minimum stream flow increased 2,28 m³/s. In a scenario of 100% of cultivated pasture, the maximum stream flow presented highest increase of 36,18 m³/s. The use of the model and the analyses conducted in this study were considered satisfactory to meet the proposed research objectives.

Keywords: Hydrologic modeling. Land use change. Stream flow simulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 -	Diagrama de barras da distribuição de água na Terra.....	23
Figura 02 -	Diagrama do ciclo da água ou ciclo hidrológico.....	26
Figura 03 -	Ciclo hidrológico em ambiente natural (a) e ambiente urbano (b).....	27
Figura 04 -	Bacia hidrográfica.....	35
Figura 05 -	Balanço hídrico em uma bacia hidrográfica.....	37
Figura 06 -	Esquema do processo básico de funcionamento do Sensoriamento Remoto.....	41
Figura 07 -	Esquema básico de um SIG.....	42
Figura 08 -	Representação do MNT para uma bacia hidrográfica.....	43
Figura 09 -	Estrutura organizacional de modelos e SIG: união (a), combinação (b) e integração (c).....	45
Figura 10 -	Diagrama esquemático de uma simulação em modelagem hidrológica...	47
Figura 11 -	Diagrama esquemático da necessidade do processo de calibração de modelos matemáticos.....	49
Figura 12 -	Discretização de bacia hidrográfica em sub-bacias e diagrama esquemático mostrando os percursos da água até a saída da bacia.....	50
Figura 13 -	Diagrama esquemático de aplicação do MGB.....	60
Figura 14 -	URH's: áreas de comportamento hidrológico similar.....	61
Figura 15 -	Exemplo de hidrograma.....	62
Figura 16 -	Exemplo de curva de permanência.....	62
Figura 17 -	Gráfico de disponibilidade temporal de dados de vazão da BHRA (1975-2010).....	72
Figura 18 -	Gráfico de disponibilidade temporal de dados de chuva da BHRA (1975-2010).....	74
Figura 19 -	Fluxograma de desenvolvimento metodológico da pesquisa.....	77
Figura 20 -	Arquivos <i>raster</i> gerados para a discretização da BHRA + área de segurança (<i>buffer</i>).....	84
Figura 21 -	Arquivos raster gerados para a discretização da BHRA.....	86
Figura 22 -	Centróides das mini-bacias da BHRA.....	93
Foto 01 -	Exemplo ilustrativo da classe de Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento.....	104

Foto 02 -	Exemplo ilustrativo da classe de Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado.....	105
Foto 03 -	Exemplo ilustrativo da classe de Pastagem.....	105
Foto 04 -	Exemplo ilustrativo da classe de Agricultura.....	105
Foto 05 -	Exemplo ilustrativo da classe de Área urbana.....	105
Foto 06 -	Exemplo ilustrativo da classe de Água.....	105
Figura 23 -	Gráfico comparativo de valores percentuais das classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa da BHRA (1975 e 2010).....	106
Figura 24 -	Hidrogramas da vazão diária (observada e calculada), do rio Misericórdia, sub-bacia Ibiá, para simulação de vazão diária da BHRA (1975 a 2010) – antes e após calibração.....	117
Figura 25 -	Hidrograma e curva de permanência da vazão diária (observada e calculada) do rio Misericórdia, sub-bacia Ibiá (1975 a 2010).....	119
Figura 26 -	Hidrograma da vazão diária (observada e calculada) do rio Misericórdia, sub-bacia Ibiá - 1975 a 1984 (a) e 2001 a 2010 (b).....	123
Figura 27 -	Hidrograma e curva de permanência da vazão diária (observada e calculada) do rio Quebra-Anzol, sub-bacia Fazenda São Mateus (1975 a 2010).....	128
Figura 28 -	Hidrograma da vazão diária (observada e calculada) do rio Quebra-anzol, sub-bacia Fazenda São Mateus - 1975 a 1984 (a) e 2001 a 2010 (b).....	132
Figura 29 -	Hidrograma e curva de permanência da vazão diária (observada e calculada) do rio Araguari, sub-bacia Desemboque (1975 a 2010).....	136
Figura 30 -	Hidrograma da vazão diária (observada e calculada) do rio Araguari, sub-bacia Desemboque - 1975 a 1984 (a) e 2001 a 2010 (b).....	140
Figura 31 -	Hidrograma e curva de permanência da vazão diária (observada e calculada) do rio Uberabinha, sub-bacia Fazenda Letreiro (1975 a 2010).....	144
Figura 32 -	Hidrograma da vazão diária (observada e calculada) do rio Uberabinha, sub-bacia Fazenda Letreiro - 1975 a 1984 (a) e 2001 a 2010 (b).....	148

LISTA DE MAPAS

Mapa 01 -	Localização geográfica da área de estudo.....	68
Mapa 02 -	Principais UHE's da BHRA.....	69
Mapa 03 -	Distribuição espacial das estações climatológicas, pluviométricas e fluviométricas (ANA) na BHRA.....	75
Mapa 04 -	Solos da BHRA.....	79
Mapa 05 -	Unidades de relevo da BHRA.....	81
Mapa 06 -	Geologia da BHRA.....	81
Mapa 07 -	Sub-bacias da BHRA.....	87
Mapa 08 -	Mini-bacias discretizadas da BHRA.....	88
Mapa 09 -	Potencial de geração de escoamento superficial da BHRA.....	101
Mapa 10 -	Uso da terra e cobertura vegetal nativa – 1975.....	102
Mapa 11 -	Uso da terra e cobertura vegetal nativa – 2010.....	103
Mapa 12 -	URH's 1975 (potencial de geração de escoamento x uso da terra e cobertura vegetal nativa de 1975).....	112
Mapa 13 -	URH's 2010 (potencial de geração de escoamento x uso da terra e cobertura vegetal nativa de 2010)	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 -	Valores típicos de albedo para diferentes tipos de cobertura da superfície.....	55
Tabela 02 -	Valores típicos de IAF para diferentes tipos de cobertura da superfície.....	56
Tabela 03 -	Valores típicos de resistência superficial para diferentes tipos de cobertura da superfície.....	57
Tabela 04 -	Altura dos tipos de cobertura vegetal.....	57
Tabela 05 -	Estações fluviométricas (dados de vazão).....	72
Tabela 06 -	Estações pluviométricas (dados de chuva).....	73
Tabela 07 -	Estações climatológicas (dados de clima).....	75
Tabela 08 -	Banco de dados espaciais para a BHRA.....	76
Tabela 09 -	Classes do mapa de solos da BHRA.....	79
Tabela 10 -	Características dos principais grupos de solos presentes na BHRA.....	80
Tabela 11 -	Características das classes de potencial de geração de escoamento superficial presentes na BHRA.....	82
Tabela 12 -	Sub-bacias consideradas na simulação da BHRA.....	88
Tabela 13 -	URH's da BHRA.....	89
Tabela 14 -	Arquivos de entrada do PrePro-MGB.....	90
Tabela 15 -	Informações que compõem a tabela de atributos do arquivo Mini.mgb...	91
Tabela 16 -	Arquivos de entrada de dados provindos de SIG.....	92
Tabela 17 -	Arquivos de entrada de dados hidrológicos e meteorológicos.....	92
Tabela 18 -	Blocos (URH's) de entrada do MGB para a BHRA.....	94
Tabela 19 -	Arquivos utilizados para criar o projeto de simulação da BHRA.....	96
Tabela 20 -	Cenários hipotéticos simulados para a sub-bacia Ibiá (1975 a 2010).....	100
Tabela 21 -	Área das classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa (1975 e 2010).....	106
Tabela 22 -	Área das classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa da sub-bacia Ibiá (1975 e 2010).....	108
Tabela 23 -	Área das classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa da sub-bacia Fazenda São Mateus (1975 e 2010).....	108

Tabela 24 -	Área das classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa da sub-bacia Desemboque (1975 e 2010).....	108
Tabela 25 -	Área das classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa da sub-bacia Ponte da Antinha (1975 e 2010).....	109
Tabela 26 -	Área das classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa da sub-bacia Ponte João Cândido (1975 e 2010).....	109
Tabela 27 -	Área das classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa da sub-bacia Ponte Santa Juliana (1975 e 2010).....	109
Tabela 28 -	Área das classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa da sub-bacia Porto Saracura (1975 e 2010).....	110
Tabela 29 -	Área das classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa da sub-bacia Fazenda Letreiro (1975 e 2010).....	110
Tabela 30 -	Área das classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa da sub-bacia Exutório (1975 e 2010).....	110
Tabela 31 -	Área das URH's da BHRA.....	114
Tabela 32 -	Valores das funções objetivo para simulação de vazão diária da BHRA (1975 a 2010).....	116
Tabela 33 -	Vazão máxima, mínima e média, lâmina escoada, precipitação anual e diferença de escoamento, para a sub-bacia Ibiá (1975 a 2010) - Dados da ANA.....	120
Tabela 34 -	Vazão máxima, mínima e média, lâmina escoada e diferença de escoamento, para a sub-bacia Ibiá (1975 a 2010) – Dados do MGB.....	121
Tabela 35 -	Vazão diária máxima, mínima e média, total de precipitação anual, lâmina escoada e diferença de escoamento, para períodos distintos na sub-bacia Ibiá – Dados da ANA e MGB.....	124
Tabela 36 -	Vazão máxima, mínima e média, lâmina escoada, precipitação anual e diferença de escoamento, para a sub-bacia Fazenda São Mateus, (1975 a 2010) - Dados da ANA.....	129
Tabela 37 -	Vazão máxima, mínima e média, lâmina escoada e diferença de escoamento, para a sub-bacia Fazenda São Mateus (1975 a 2010) – Dados do MGB.....	130

Tabela 38 -	Vazão diária máxima, mínima e média, total de precipitação anual, lâmina escoada e diferença de escoamento, para períodos distintos na sub-bacia Fazenda São Mateus – Dados da ANA e MGB.....	133
Tabela 39 -	Vazão máxima, mínima e média, lâmina escoada, precipitação anual e diferença de escoamento, para a sub-bacia Desemboque, (1975 a 2010) - Dados da ANA.....	137
Tabela 40 -	Vazão máxima, mínima e média, lâmina escoada e diferença de escoamento, para a sub-bacia Desemboque (1975 a 2010) – Dados do MGB.....	138
Tabela 41 -	Vazão diária máxima, mínima e média, total de precipitação anual, lâmina escoada e diferença de escoamento, para períodos distintos na sub-bacia Desemboque – Dados da ANA e MGB.....	141
Tabela 42 -	Vazão máxima, mínima e média, lâmina escoada, precipitação anual e diferença de escoamento, para a sub-bacia Fazenda Letreiro, (1975 a 2010) - Dados da ANA.....	145
Tabela 43 -	Vazão máxima, mínima e média, lâmina escoada e diferença de escoamento, para a sub-bacia Fazenda Letreiro (1975 a 2010) – Dados do MGB.....	146
Tabela 44 -	Vazão diária máxima, mínima e média, total de precipitação anual, lâmina escoada e diferença de escoamento, para períodos distintos na sub-bacia Fazenda Letreiro – Dados da ANA e MGB.....	149
Tabela 45 -	Vazão diária máxima, mínima e média, lâmina escoada e total de precipitação anual para a BHRA, no período de 1975 a 2010 – Dados do MGB.....	152
Tabela 46 -	Síntese das diferenças das áreas (%) da mudança de uso da terra e cobertura vegetal nativa, para as sub-bacias da BHRA, do ano de 1975 para o ano de 2010.....	153
Tabela 47 -	Vazão diária máxima, mínima e média, lâmina escoada e diferença de escoamento, ano de 2010, para diferentes cenários hipotéticos em relação a situação real mais recente (2010), na sub-bacia Ibiá – Dados do MGB.....	158

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAI	Avaliação Ambiental Integrada
ANA	Agência Nacional de Águas
BHRP	Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba
CBH	Comitê da Bacia Hidrográfica
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
DNOCS	Departamento Nacional de Obras contra as Secas
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
IAF	Índice de Área Foliar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão de Água
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPH	Instituto de Pesquisas Hidráulicas
IQA	Índice de Qualidade da Água
KINEROS	<i>Kinematic Runoff Erosion Model</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
MGB	Modelo de Grandes Bacias
MNT	Modelo Numérico de Terreno
MSS	<i>Multi Spectral Scanner Subsystem</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
PCD	Plataforma de Coleta de Dados
SCD	Satélite de Coleta de Dados
SHE	<i>Système Hydrologique Européen</i>
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SWAT	<i>Soil and Water Assessment Tool</i>
SLURP	<i>Semi-distributed Land Use-based Runoff Processes</i>
TM	<i>Tematic Mapper</i>
TOPMODEL	<i>Topography based Hydrological Model</i>
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UHE	Usina Hidrelétrica
URH	Unidade de Resposta Hidrológica
URL	<i>Uniform Resource Location</i>
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>
WEPP	<i>Water Erosion Prediction Project</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

b [-]	Parâmetro do modelo que define a forma da relação empírica entre fração de área saturada e armazenamento médio de umidade no solo
CAP [mm/dia]	Parâmetro que controla o fluxo do reservatório subterrâneo para a camada superficial do solo ao longo do intervalo de tempo
CB [h]	Parâmetro de retardo do reservatório subterrâneo
CS [-]	Parâmetro para calibração da propagação superficial nas células
CI [-]	Parâmetro para calibração da propagação sub-superficial nas células
E [mm/d]	Evaporação
ET [mm/dia]	Evapotranspiração
f [mm/h]	Taxa de infiltração
i [mm/h]	Intensidade de chuva
Kbas [mm/dia]	Parâmetro de escoamento subterrâneo
Kint [mm/dia]	Parâmetro de escoamento sub-superficial
P [mm]	Precipitação
Q [m ³ /s]	Vazão
q [g/kg]	Umidade específica do ar
ra [s/m]	Resistência aerodinâmica
rs [s/m]	Resistência superficial
R2	Coeficiente de Nash
Rlog	Coeficiente de Nash para os logaritmos das vazões
Wc [mm]	Limite de armazenamento para haver fluxo ascendente ou descendente
Wm [mm]	Armazenamento máximo na camada superficial do solo
XL [-]	Parâmetro que controla a forma da curva de redução da drenagem intermediária ou sub-superficial do solo
α [mm]	Parâmetro de lâmina de interceptação
ΔV	Relação entre volumes medidos e calculados

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO E CONCEITUAL BÁSICO.....	23
2.1	A água: conceito, dados e processos.....	23
2.2	Estudos hidrológicos em bacias hidrográficas.....	35
2.3	Geotecnologias.....	40
2.3.1	Aplicações à hidrologia.....	40
2.3.2	Monitoramento de mudanças de uso da terra.....	46
2.4	Modelagem hidrológica.....	47
2.4.1	Modelo de Grandes Bacias do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (MGB-IPH)..	54
3	LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	65
4	MATERIAIS E PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS.....	70
4.1	Material.....	70
4.1.1	Fonte de dados.....	70
4.1.2	Softwares de aplicação.....	76
4.2	Procedimentos operacionais.....	76
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	101
5.1	Elaboração de dados de entrada e preparação para o MGB.....	101
5.1.1	Elaboração do mapa de potencial de geração de escoamento superficial da BHRA.....	101
5.1.2	Uso da terra e cobertura vegetal nativa da BHRA (1975 e 2010).....	101
5.1.3	Unidades de Resposta Hidrológica da BHRA.....	111
5.1.4	Estimativa dos parâmetros e calibração do MGB.....	114
5.2	Vazão diária para sub-bacias da BHRA – Dados ANA e MGB (1975 a 2010).....	118
5.2.1	Vazão diária da sub-bacia Ibiá (1975 a 2010).....	119
5.2.2	Vazão diária da sub-bacia Fazenda São Mateus (1975 a 2010).....	128
5.2.3	Vazão diária da sub-bacia Desemboque (1975 a 2010).....	136
5.2.4	Vazão diária da sub-bacia Fazenda Letreiro (1975 a 2010).....	144
5.3	Vazão diária para a BHRA (1975 a 2010).....	152

5.3.1	Análise das mudanças do uso da terra e cobertura vegetal nativa no comportamento hidrológico da BHRA	153
5.4	Cenários hipotéticos de mudança de uso da terra e cobertura vegetal nativa.....	157
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	161
	REFERÊNCIAS.....	163
	APÊNDICES.....	173
	APÊNDICE A - Parâmetros do arquivo Mini.mgb (URH's de 2010) usado na simulação da BHRA com o MGB.....	174
	APÊNDICE B - Parâmetros climáticos usados na simulação da BHRA com o MGB.....	187
	APÊNDICE C - Parâmetros fixos usados na simulação da BHRA com o MGB.....	188
	APÊNDICE D - Parâmetros calibráveis usados na simulação da BHRA com o MGB.....	190

1 INTRODUÇÃO

A água como um elemento básico da vida, deve ser cuidada e preservada para a atual e futuras gerações. É indiscutível que seu uso sustentável e gestão devam ser realizados de forma a cuidar desse recurso essencial a vida e a todos os processos ligados a sua manutenção.

Verifica-se um grande consumo de água pela agricultura, indústria e pelas pessoas, o que acarreta altos custos ambientais, incluindo a perda de biodiversidade e danos aos sistemas hídricos naturais (rios e aquíferos). “Metade das regiões alagadas do mundo desapareceu ao longo do último século, e muitos rios não chegam até o mar” (ANA, 2009, p. 21). E esta preocupação não é atual.

Desde 1977, com a primeira conferência sobre o tema água, organizada pela ONU, a Conferência de Mar Del Plata, foi discutido e proclamado que deveriam ser criadas entidades para a administração das bacias hidrográficas e gestão dos recursos hídricos, com vistas a preservação desse recurso finito, vulnerável e essencial para a manutenção da vida.

E, em 1992, na segunda grande Conferência Internacional sobre Água e o Meio ambiente, também organizada pela ONU, em Dublin, na Irlanda, a declaração ora constituída previu e reforçou que “a escassez e o desperdício da água doce representam séria e crescente ameaça ao desenvolvimento sustentável e à proteção do meio ambiente” (DECLARAÇÃO, 1992).

Sabe-se que o bioma Cerrado apresenta imensa riqueza de recursos hídricos. O Cerrado é cortado por três das maiores bacias hidrográficas da América do Sul: bacia do rio Tocantins, bacia do rio São Francisco e bacia do rio da Prata. Assim, o Cerrado é considerado uma verdadeira “caixa d’água” do continente sul-americano, captando águas pluviais que abastecem as nascentes que formam alguns rios das bacias do Amazonas, Tocantins, Paranaíba, São Francisco, Paraná e Paraguai, além de abrigar ainda imensos aquíferos, entre eles o Aquífero Guarani (SILVA, 2006). Porém, mesmo com toda sua riqueza em água, somada a sua grande biodiversidade e solos, o Cerrado é considerado como um dos ambientes mais ameaçados do mundo.

A bacia hidrográfica do rio Araguari (BHRA) situa-se nessa área potencialmente ameaçada. A bacia abrange, em sua maior parte, áreas recobertas pelo bioma Cerrado e uma pequena porção da bacia, próxima a foz do rio Araguari, recoberta por áreas de transição para o bioma Mata Atlântica, área também sujeita a potencial degradação, como uma das florestas tropicais mais ameaçadas do planeta.

A BHRA se destaca pelo seu potencial econômico de grande diversidade. O setor agropastoril tem importante destaque na região, seja pelas atividades de criação (bovinos, suínos, aves, etc.) ou de monoculturas (cana-de-açúcar, soja, milho, café, etc.). No setor energético, a bacia contribui com a matriz energética do país, contando com várias usinas hidrelétricas em sua área de abrangência. Outro setor relevante no desenvolvimento econômico da região se refere ao setor de mineração, turismo e lazer que também se colocam como fatores de possível degradação deste ambiente.

Assim, visto que é tamanha a produtividade na região, estas atividades econômicas devem ser realizadas de forma que o impacto causado ao meio ambiente seja o menor possível. As constantes alterações de uso da terra relacionadas a tais atividades são potencialmente degradantes dos recursos hídricos e devem ser conhecidas para que se possa planejar a gestão dos ambientes de forma coerente com a preservação dos cursos d'água existentes.

Percebe-se, ainda, na localidade da BHRA, a existência de conflitos resultantes do uso da água, entre eles: a insuficiência hídrica para o abastecimento de grandes centros urbanos; a deterioração da qualidade das águas pelo lançamento de esgotos domésticos sem tratamento adequado e o uso indiscriminado para irrigação sem considerar-se os usos múltiplos das águas.

Muitos estudos têm sido realizados nessa área e apontam a situação dos recursos hídricos presentes na BHRA. O projeto ‘Água de Minas’, por exemplo, monitora e informa sobre a qualidade das águas superficiais e subterrâneas das principais bacias hidrográficas do Estado de Minas Gerais. Este estudo divulga, trimestralmente, relatórios anuais sobre a situação das águas monitoradas nos rios mineiros pertencentes à bacia do rio Paranaíba, suas sub-bacias e outras mais. E, assim como esse projeto, outros têm sido realizados, tanto em âmbito estadual, quanto em âmbito dos comitês de bacias hidrográficas, a fim de serem monitorados e avaliados os recursos naturais existentes.

Outro estudo realizado na região se refere à Avaliação Ambiental Integrada (AAI) de aproveitamentos hidrelétricos situados na bacia hidrográfica do rio Paranaíba, como aqueles localizados na BHRA, com o objetivo principal de avaliar a situação ambiental destes locais com os seus empreendimentos hidrelétricos implantados e os potenciais barramentos, considerando seus efeitos sobre os recursos naturais e as populações presentes, assim como os usos atuais e potenciais dos recursos hídricos existentes (BRASIL, 2006).

Neste contexto, frente a necessidade de gestão dos recursos hídricos, a modelagem hidrológica se coloca como uma ferramenta adicional, importante e eficiente no sentido de auxiliar o

monitoramento e gestão das águas presentes nas bacias hidrográficas, a exemplo da BHRA. A utilização dessa ferramenta e a análise dos resultados obtidos são de fundamental importância na gestão de bacias hidrográficas e no conhecimento dos processos hidrológicos pertencentes aos cursos d'água para a preservação deste recurso finito e a manutenção da qualidade de vida de todas as populações locais pertencentes a este ambiente.

A realização desta pesquisa justifica-se pelo fato de que a temática sobre modelagem ambiental, a exemplo da modelagem hidrológica, vem sendo amplamente estudada e requer grande quantidade e diversidade de pesquisas para seu melhor entendimento e contribuição a respeito da preservação do meio ambiente. A BHRA foi escolhida pelo motivo de apresentar diversidade de usos da terra e intensa modificação dos mesmos ao longo do período de estudo, com quantidade e qualidade dos dados disponíveis, consideradas satisfatórias para a pesquisa.

Desta forma, este estudo foi conduzido a partir da seguinte hipótese: Em um cenário de diversas mudanças do uso da terra e cobertura vegetal nativa (especialmente marcadas pela implementação de barragens, pela intensificação do uso da água para irrigação agrícola e intensa mudança de manejo de uso das terras) é possível modelar e estimar as transformações hidrológicas ocorridas em bacias hidrográficas a partir de dados espaciais e geotecnologias disponíveis.

O objetivo geral desta pesquisa é realizar uma modelagem hidrológica para o estudo da vazão da bacia hidrográfica do rio Araguari-MG, a partir das mudanças do uso da terra e cobertura vegetal nativa.

Os objetivos específicos se dividem em:

- Elaborar os mapas da BHRA: Uso da terra e cobertura vegetal nativa (anos de 1975 e 2010); Potencial de geração de escoamento superficial (PGES); e Unidades de resposta hidrológica (URH's - anos de 1975 e 2010);
- Comparar os dados de vazão obtidos pelo MGB com os dados das estações fluviométricas da ANA;
- Simular a vazão na BHRA no período de 1975 a 2010, utilizando o modelo hidrológico MGB;

- Gerar dados de vazão a partir do MGB, em datas que as séries históricas da ANA apresentaram ausência de dados disponíveis, dentro do período estudado;
- Simular cenários hipotéticos de mudança de uso da terra e cobertura vegetal nativa e averiguar mudanças na vazão a partir desta simulação;
- Analisar as mudanças do uso da terra e os impactos destas mudanças no estudo da vazão da BHRA, no período estudado;
- Demonstrar a metodologia e procedimentos utilizados, com vistas para a aplicabilidade dos mesmos em estudos voltados à mesma temática em outras localidades.

A pesquisa realizada foi estruturada em: **Introdução** - faz uma breve abordagem sobre a temática da pesquisa, indica a hipótese da pesquisa, os objetivos (geral e específicos) e a estruturação da tese; **Referencial teórico conceitual básico** - contempla a revisão bibliográfica realizada sobre a temática abordada na pesquisa com vistas a dar suporte a fundamentação conceitual e a discussão dos resultados apresentados; **Localização geográfica e caracterização da área de estudo** - descreve a área escolhida para análise sob diversos aspectos espaciais, ambientais e socioeconômicos; **Materiais e procedimentos operacionais** - descreve a fase de coleta de dados, os softwares utilizados e os procedimentos necessários para o desenvolvimento da pesquisa; **Resultados e Discussões** - apresenta e descreve os principais resultados da pesquisa, assim como as análises elaboradas sobre os mesmos; **Considerações finais** - relatam algumas impressões consolidadas acerca de toda a pesquisa realizada; **Referências** - contemplam as referências bibliográficas, órgãos institucionais, documentos eletrônicos, entre outras, que foram consultadas e/ou citadas na realização da pesquisa como um todo; **Apêndices** - representam o material (listas, tabelas, etc.) que foi elaborado durante a fase de execução da pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO E CONCEITUAL BÁSICO

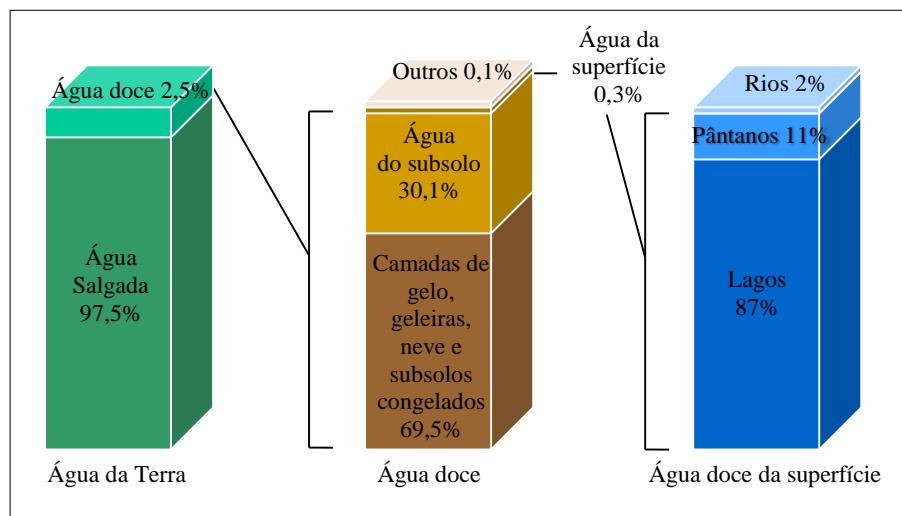
2.1 A água: conceito, dados e processos

A água é um elemento básico da vida e, ao contrário de outros recursos, como as florestas e os solos que podem ser destruídos e revitalizados, a água é um recurso finito (CLARKE; KING, 2005).

Embora seja um recurso em abundância, cerca de 97,5% do total da água existente no planeta é salgada e indisponível para uso (oceanos, mares, lagos salgados e aquíferos salinos). Dos 2,5% restantes, que compreendem a água doce existente, mais de dois terços também se encontram indisponíveis (geleiras, neve, gelos e subsolos congelados). Sendo assim, somente se encontram disponíveis para uso 30,5% da água doce do planeta. Deste total, 0,4% compreendem os lagos, umidade do solo, umidade do ar, zonas úmidas, rios, plantas e animais (135.000 km³) e 30,1% correspondem às águas do subsolo (10,5 milhões de km³) (CLARKE; KING, 2005).

A distribuição de água no planeta pode ser verificada a partir do diagrama da **Figura 01**.

Figura 01 – Diagrama de barras da distribuição de água na Terra



Adaptado de: USGS (2011).

As primeiras cidades da Antiguidade surgiram às margens de grandes rios e, deste recurso natural, dependiam os homens para a sua subsistência. Mas, apesar da dependência direta da água para a sobrevivência humana, o homem desconheceu alguns de seus aspectos e comportamentos fundamentais durante um longo tempo. Naquela época, a ausência de estudos

com bases científicas reais permitiu a formação de mitos e suposições a respeito da água e a dinâmica do ciclo hidrológico no planeta. Assim, com o advento das técnicas de medições e compreensão dos fenômenos observados, os mitos foram dando espaço a estudos empíricos cada vez mais aprofundados sobre a água e o ciclo hidrológico.

A cronologia do estudo dos fenômenos hidrológicos, segundo Tucci (1993), remonta a 100 a.C., quando filósofos gregos tentaram, erroneamente, explicar o ciclo hidrológico, e quando Marcus Vitruvius Pollio apresentou conceitos próximos do entendimento atual deste ciclo como parte integrante da dinâmica dos elementos naturais do planeta. Mesmo não conhecendo a real origem da água e o funcionamento dos fenômenos naturais a ela relacionados, as civilizações antigas exploraram os recursos hídricos através de projetos de barragem no rio Nilo, projetos de irrigação no Egito e Mesopotâmia, aquedutos para abastecimento de água na Roma, Grécia e China, entre outros.

A partir do século XV, com Leonardo da Vinci e Bernard Palissy, e ainda, Pierre Perrault, no século XVII, o ciclo hidrológico e os componentes de precipitação, vazão, evaporação, etc., passaram a serem mais bem compreendidos. No século XIX foram iniciadas as medições sistemáticas de precipitação e vazão, assim como o desenvolvimento teórico e experimental da hidráulica destacando-se que, no Brasil, os postos mais antigos de precipitação datam do final do século XIX, enquanto que a coleta de dados de níveis e vazão data do início do século XX (TUCCI, 1993).

A Hidrologia, até 1930, tinha, como base, elementos descritivos do funcionamento dos fenômenos naturais e fórmulas empíricas de processos específicos. Mas, apesar da grande quantidade de dados coletados diariamente, os métodos utilizados em Hidrologia até 1950, praticamente se limitavam a indicadores estatísticos dos processos envolvidos. Com o advento da computação e aprimoramento das técnicas numéricas e estatísticas houve um aumento acelerado e desenvolvimento da Hidrologia como um todo, especialmente, de algumas das subáreas que tratam da análise de processos físicos que ocorrem nas bacias hidrográficas.

A Hidrologia surge como

uma ciência interdisciplinar que tem tido evolução significativa em face aos problemas crescentes, resultados da ocupação das bacias, do incremento significativo da utilização da água e do resultante impacto sobre o meio ambiente do globo. A hidrologia evoluiu de uma ciência preponderantemente descritiva e qualitativa, para uma área de conhecimento onde os métodos quantitativos têm sido explorados através de metodologias matemáticas e estatísticas, melhorando de um lado os resultados e de outro explorando melhor as informações existentes (TUCCI, 1993, p.25).

Netto (1995) concordou com Tucci (1993) sobre a ideia de que a Hidrologia, e os estudos a ela relacionados, são de natureza interdisciplinar e, assim, despertam o interesse de diversos profissionais de áreas como a Agronomia, Biologia, Geografia, Geologia, Geomorfologia, Engenharias Civil e Florestal, entre outras, visando à busca ao impedimento ou de soluções para problemas ambientais.

Esta ciência, a Hidrologia, voltada para a representação dos processos físicos que ocorrem na bacia hidrográfica, permite, com base no registro das variáveis hidrológicas envolvidas, observar e compreender melhor o comportamento dos fenômenos e procurar representá-los matematicamente, para seu melhor estudo e gestão.

Naghettini (2007), por sua vez, caracterizou a Hidrologia como uma geociênciça que pesquisa os fenômenos que determinam o comportamento espaço-temporal da água do ponto de vista de quantidade, qualidade e interação com as sociedades humanas. Reforçou ainda que, a intensidade com que esses fenômenos acontecem varia consideravelmente ao longo do tempo e espaço, em decorrência de variações regulares ou irregulares dos climas global e regional, assim como de diversas outras particularidades regionais ou locais decorrentes de fatores meteorológicos, geomorfológicos, de propriedades e uso do solo, entre outros.

Assim, o estudo e a análise dos cursos d'água só podem ser realizados em função da perspectiva global do sistema hidrográfico, sendo que, cada curso d'água sofre influência direta das condições climáticas, cobertura vegetal, litologia, entre outros fatores condicionantes da área onde estão situados (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Apesar de não se saber, com certeza, quando e como a água foi criada no nosso planeta, obviamente muito antes do aparecimento do homem ou qualquer outra forma de vida na terra, a sua incessante atividade iniciou e mantém-se em constante movimento, a qual é denominada de ciclo da água ou ciclo hidrológico (LEWIS, 1964).

Righetto (1998, p. 4) denominou “ciclo hidrológico como o processo natural de evaporação, condensação, precipitação, detenção e escoamento superficiais, infiltração, percolação da água no solo e nos aquíferos, escoamentos fluviais e interações entre esses componentes”.

Neste contexto, Pinto et al. (1976) consideraram que toda a água utilizável pelo homem provém da atmosfera e que talvez, este seja apenas um conceito que define um ponto inicial para o ciclo da água que, exatamente por se tratar de um ciclo, é fechado na realidade, sem começo e sem final.

O ciclo transcorre, de acordo com Lewis (1964), desde o momento em que

o calor do Sol está constantemente evaporando a água da superfície da Terra, fazendo-a subir para o ar na forma de vapor. Este, alcançando as camadas mais frias do ar, condensa-se e se precipita sob a forma de chuva, geada ou neve. Uma parte desta água infiltra-se no solo e o resto vai para os rios, lagos e para o mar. Por fim, quase toda ela se eleva de novo para a atmosfera para iniciar um outro ciclo.

Assim, o ciclo da água (**Figura 02**) não tem fim e o seu conhecimento é essencial para o gerenciamento do uso deste recurso, já que toda a interferência em cada fase do ciclo afeta as reservas de água no planeta.

Figura 02 – Diagrama do ciclo da água ou ciclo hidrológico



Fonte: USGS (2010).

De maneira geral, o ciclo da água é considerado complexo e a história de cada gota de água componente desse sistema varia consideravelmente de acordo com as condições particulares enfrentadas em todo o percurso por ela enfrentado. Assim, a contínua circulação da água em seu ciclo infinito, que se processa a partir da energia solar, mantém o balanço entre o volume de água na terra e a umidade atmosférica (PINTO et al., 1976).

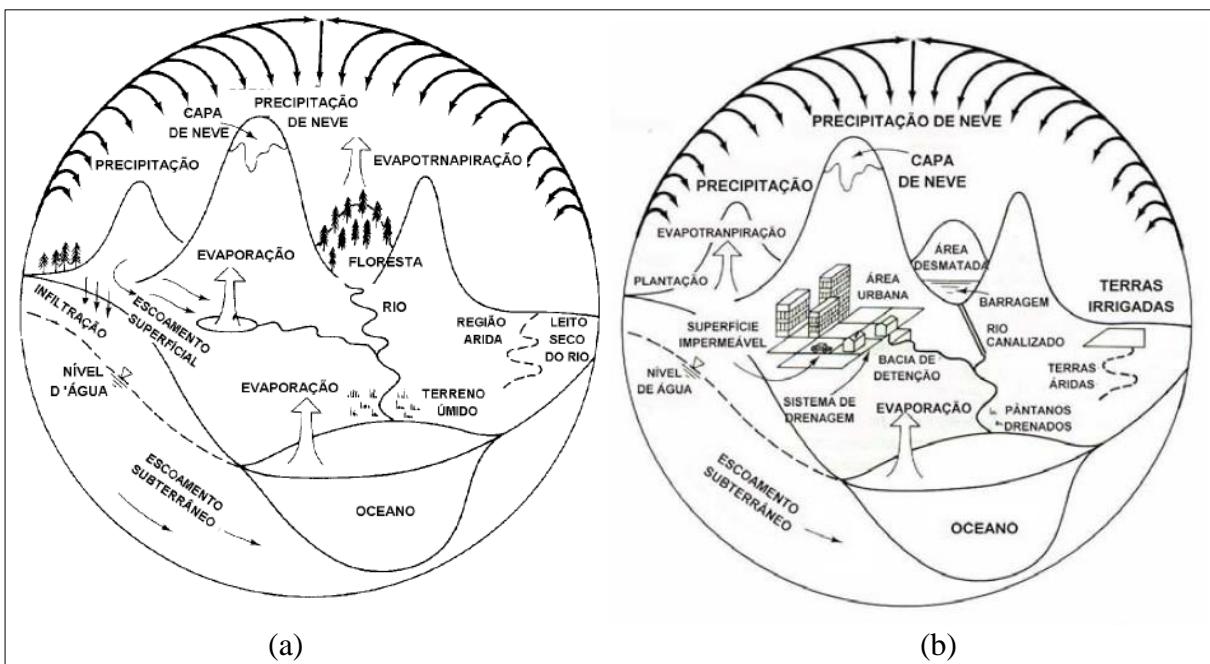
Tundisi (2003, p. 31) acrescentou que

os fatores que impulsionam o ciclo hidrológico são a energia térmica solar, a força dos ventos, que transportam vapor d'água para os continentes, a força da gravidade responsável pelos fenômenos da precipitação, da infiltração e deslocamento das massas de água. Os principais componentes do ciclo hidrológico são a evaporação, a precipitação, a transpiração das plantas e a percolação, infiltração e a drenagem.

Dessa forma, o ciclo hidrológico assume papel relevante no conhecimento e quantificação do volume armazenado e quantidade transportada de água no globo terrestre.

Porém, deve-se levar em conta que as alterações ao meio ambiente causam mudanças às características de escoamento das bacias hidrográficas, seja pela retirada da cobertura vegetal natural e, especialmente, pela interferência da urbanização nos processos do ciclo hidrológico. O esquema, a seguir, ilustra a representação das etapas do ciclo hidrológico em ambiente natural e ambiente urbano (**Figura 03**).

Figura 03 – Ciclo hidrológico em ambiente natural (a) e ambiente urbano (b)



Fonte: Departamento de Hidráulica e Saneamento/UFBA (2010).

Entre as principais variáveis hidrológicas consideradas no ciclo hidrológico, tem-se: E : evaporação (mm/d); q : umidade específica do ar (g/kg); P : precipitação (mm); i : intensidade de chuva (mm/h); Q : vazão (m^3/s); f : taxa de infiltração (mm/h); ET : evapotranspiração (mm/d), cada um com sua importância específica para cálculos de balanço hídrico, estudos de drenagem, entre outros (RIGHETTO, 1998).

Dentre os parâmetros utilizados para estudos hidrológicos destacam-se, de acordo com Tucci (1993):

- a) **Climáticos:** precipitação, evapotranspiração e parâmetros secundários ligados aos primeiros (radiações solares, temperaturas, umidade do ar, vento, etc.);
- b) **Escoamento:** descargas líquidas e sólidas e parâmetros secundários aos primeiros (nível de água, características da rede de drenagem, área da bacia delimitada pela rede de drenagem, velocidade, qualidade da água e dos sedimentos transportados, reservatórios naturais e artificiais);
- c) **Meio receptor:** geologia, topografia, solos, vegetação, urbanização, etc.

Todas as variáveis hidrológicas e suas flutuações, ao longo do tempo e espaço, são quantificadas por meio de observações e medições executadas de acordo com padrões nacionais e internacionais. Estas observações e medições são realizadas através de amostragem, geralmente limitada por variável, indicando com que probabilidade a mesma irá igualar ou superar certo valor de referência. Entendendo-se que a observação de amostras aleatórias não abrange todas as possíveis observações de uma variável qualquer, julga-se que esta seja representativa por estar contida na população que reúne a infinidade de todas as possíveis realizações do processo hidrológico em questão, servindo como referência para estudo dos fenômenos observados (NAGHETTINI, 2007).

De acordo com Pinto et al. (1976), a aleatoriedade é intrínseca aos fenômenos hidrológicos, já que a sua ocorrência é incerta, ou seja, apesar do prévio conhecimento do conjunto de todos os resultados possíveis de ocorrência, há uma probabilidade ou tendência que o fenômeno se repita sob condições inalteradas, mas não necessariamente deve ocorrer de fato. A regularidade ou tendência de ocorrência dos fenômenos hidrológicos permite assim, a formulação de modelos matemáticos de previsão de resultados utilizados em diversos estudos hidrológicos.

Neste contexto, Naghettini (2007) ainda acrescentou que as variáveis aleatórias podem ser classificadas em qualitativas ou quantitativas. São consideradas qualitativas quando não podem ser expressas por números e, sim, por atributos ou qualidades. Podem ser ainda expressas em: nominais, quando seu resultado não é passível de ordenação, ou ordinais, quando se trata de resultado passível de ordenação. As variáveis consideradas quantitativas, por sua vez, são aquelas que podem ser expressas por números inteiros ou reais. Podem ser ainda expressas em: discretas, quando seus valores estão compreendidos integralmente no subconjunto dos números inteiros, ou contínuas, quando seus valores estão compreendidos no subconjunto dos números reais não negativos. Outra classificação das variáveis quantitativas se refere ao fato de serem

consideradas limitadas, quando existem condicionantes físicos, de medições, ou outra natureza, que interferem na sua observação e definem limites inferior e superior para a sua medição, ou ainda ilimitadas, quando não possuem limites inferior e superior para a sua medição.

No que se refere aos processos hidrológicos, Naghettini (2007) ainda esclareceu que, de maneira geral, os processos associados ao ciclo hidrológico podem ser classificados em determinísticos ou estocásticos embora sejam, comumente, uma combinação de ambos. Ou seja, em Hidrologia, são raras as ocorrências de regularidades inerentes a processos puramente determinísticos em que as variações espaço-temporais podem ser completamente explicadas por um número limitado de variáveis e suas relações. Na maioria das vezes, os processos hidrológicos são considerados estocásticos por conterem componentes aleatórios que são governados por leis de probabilidade de ocorrência. Apesar de conhecidos os processos atuantes na hidrologia, tratá-los de forma puramente determinística esbarra em alguns

fatores causais, bem como nos limites do conhecimento humano sobre os processos hidrológicos, muito embora sejam inegáveis os avanços continuados da pesquisa científica e do desenvolvimento tecnológico em tais direções. Ao longo do futuro, esses avanços certamente irão reduzir o grau de aleatoriedade presente nos processos hidrológicos, mas não o farão a ponto de torná-los puramente determinísticos. Estas constatações conduzem ao emprego simultâneo das abordagens determinística e estocástica para a melhor explicitação e para o correto entendimento das regularidades e também das variabilidades inerentes aos processos hidrológicos, de modo a agregá-las em sólido arcabouço científico e tecnológico capaz de proporcionar elementos para a formulação de propostas racionais para questões relativas ao desenvolvimento dos recursos hídricos (NAGHETTINI, 2007).

Levando-se em conta a constatação da predominância de uma variabilidade espaço-temporal relacionada aos fenômenos hidrológicos, é necessária uma abordagem a respeito do estudo dos processos estocásticos na identificação e interpretação da aleatoriedade presente nesses processos, geralmente, por meio de modelos matemáticos que buscam possíveis conexões sequenciais no tempo e no espaço de suas ocorrências.

As variáveis hidrológicas verificadas nos estudos de processos/fenômenos hidrológicos, comumente, são registradas por meio de séries temporais que se caracterizam por reunir observações ou medições de determinada variável de modo seqüencial ao longo de sua ocorrência no tempo e/ou espaço. Apesar de apresentarem variações contínuas ao longo do tempo ou espaço, usualmente, esses registros são separados por determinados intervalos de tempo ou espaço, fato que ocorre por limitações nos processos de medição ou observação. De forma geral, esse intervalo de tempo e/ou espaço entre as observações de uma série temporal é

eqüidistante, embora existam séries temporais com registro de informações tomadas em intervalos irregulares.

Quando as séries hidrológicas incluem todas as observações disponíveis que foram coletadas em intervalos de tempo regulares ao longo de vários anos de registro, são consideradas completas. Caso algum registro for desprezado e forem consideradas apenas algumas observações ou um resumo das mesmas por meio de valores médios anuais ou mensais, as séries hidrológicas são consideradas reduzidas. Para eventos hidrológicos extremos, tais como máximos e mínimos, as séries reduzidas podem ainda ser classificadas em: anuais, quando os registros consecutivos são realizados com equidistância de tempo, ou parciais, quando não ocorre esse registro nas mesmas condições de equidistância temporal (NAGHETTINI, 2007).

Outra característica relevante das séries hidrológicas é evidenciada pelo fato de apresentarem uma tendência, periodicidade ou um ‘salto’ ao longo do tempo devido a fatores como variações naturais do clima ou alterações antrópicas. Assim, as séries hidrológicas se classificam em: não estacionárias, quando as mesmas resultam de alterações ocorridas ao longo do tempo; estacionárias, quando suas propriedades estatísticas não se alteram ao longo do tempo; homogêneas, quando o padrão de variabilidade dos valores observados gira em torno do seu valor médio, de forma única e idêntica, ao longo do tempo. Ao tratar-se de dados ou séries hidrológicas, a análise destes deve ser realizada a partir do registro de coleta suficientemente longo e preciso para uma correta e confiável resposta aos problemas analisados.

Tucci e Braga (2003) discutiram que alguns profissionais questionam o uso de séries históricas longas devido a diferentes efeitos antrópicos ou inconsistência de dados devido a diversos fatores como, por exemplo, alterações do uso do solo, construção de reservatórios, mudanças climáticas, retirada de água para usos consuntivos, etc., já que todos esses fatores devem ser analisados como condicionantes que podem alterar as séries hidrológicas. No entanto, o desenvolvimento de modelos hidrológicos permite analisar o efeito da maioria destes fatores apontados, dentro de alguns limites de precisão.

Conhecidas algumas das diversas classificações das variáveis/processos hidrológicos, verifica-se a necessidade de acesso às informações de maneira confiável e precisa. No ano de 2000, foi afirmado pela ‘*World Water Commission for Water in the 21st Century*’ que existia uma urgente necessidade de dados de estoque e fluxo de água no mundo, além de ter constatado que estas não eram apenas necessidades acadêmicas, mas sim necessidades vitais.

Pinto et al. (1976) salientaram a importância da fase de coleta de dados hidrológicos e meteorológicos, essencialmente constituídos por elementos observados e medidos no campo a partir de postos pluviométricos ou fluviométricos e sua manutenção ininterrupta ao longo do tempo para estudos no campo da hidrologia e em diversas áreas do conhecimento.

Os dados climatológicos, pluviométricos, fluviométricos, evaporimétricos, etc., de pontos específicos de uma região, em intervalos de tempo conhecidos e sistema de coleta padronizados, são registrados em postos ou estações que são integrantes de redes hidrométricas e/ou hidrometeorológicas (NAGHETTINI, 2007).

Tucci (1993, p. 520) descreveu a importância da água e sua gestão através do conhecimento dos recursos hídricos ao longo do tempo a partir de uma rede hidrológica composta por postos de observação (estações) que podem ser:

- a) os postos de hidrometria geral que permitem ter um conhecimento contínuo dos cursos de água em todas as condições de descarga; b) os postos de alerta e de gestão, instalados para um objetivo específico; c) os postos temporários instalados para um estudo especial e uma duração limitada. A densidade, a distribuição, o equipamento, as grandezas observadas (precipitações, descargas, qualidade da água, concentração em sedimentos, etc.) dependem de vários parâmetros entre os quais os seguintes: a) da função do órgão operador (coordenador, agricultura, energia, pesquisa, instituição de desenvolvimento regional, etc.); b) das particularidades locais (clima, relevo, poluição, tipo de uso, etc.) e c) das verbas e do pessoal disponível.

Garcez e Alvarez (1988) reforçaram a importância da coleta e transmissão de dados hidrometeorológicos para o processo de desenvolvimento das regiões a partir do conhecimento de seus recursos naturais, através de redes de coleta ou estações com a função de registrar e transmitir os dados coletados a centros de recepção e informação, numa periodicidade e velocidade específica e compatível com as diversas localidades.

No Brasil, uma das principais referências em coleta de dados hidrológicos é a Agência Nacional de Águas (ANA), operada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Os dados disponibilizados por essa instituição estão disponíveis para *download* gratuito, a qualquer usuário, por meio do Sistema de Informações Hidrológicas da ANA, denominado ‘Hidroweb’, com acesso a partir da URL: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>.

A ANA é responsável ainda pela implantação e gestão do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), disponível a partir da URL <http://www2.snirh.gov.br/home/>. Este sistema, de acordo com BRASIL (1997) é encarregado de

coletar, organizar, criticar e difundir o banco de dados relativo aos recursos hídricos, seus usos, o balanço hídrico de cada manancial e de cada bacia, provendo os gestores, os usuários, a sociedade civil e outros usuários (Lei 9.433/97).

Outra instituição de acesso a coleta de dados hidrológicos é o Agritempo, um Sistema de Monitoramento Agrometeorológico que permite aos usuários o acesso, via internet, às informações meteorológicas e agrometeorológicas de diversos municípios e estados brasileiros. É um sistema desenvolvido pela Embrapa Informática Agropecuária e pela Cepagri – Unicamp, além de contar com a parceria de diversas outras instituições colaboradoras. Os dados recebidos provêm de 912 estações meteorológicas que podem ser acessados a partir da URL: <<http://www.agritempo.gov.br/index.php>>.

Outro órgão operacional de meteorologia que mantém uma rede de observação nacional é o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), operado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, além do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) do Comando da Aeronáutica e a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) do Comando da Marinha, ambos do Ministério da Defesa, e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), do Ministério da Ciência e Tecnologia. Os dados meteorológicos disponíveis podem ser acessados a partir da URL: <<http://www.inmet.gov.br>>.

Diversas redes de menor extensão são ainda mantidas por companhias energéticas ou de saneamento básico, entre outras, para a coleta de dados de natureza hidrológica.

Porém, embora sejam coletados por instituições confiáveis e segundo normas de padronização nacional ou internacional, os dados hidrológicos contêm uma margem de erros oriundos de diversos fatores inerentes aos processos de observação/coleta/processamento. Os erros podem ser classificados em: aleatórios, quando se referem a imprecisões de leitura ou medições, resultando em flutuações em torno de seu verdadeiro valor; podem ainda ser sistemáticos, quando se referem a alterações de mudança na técnica de coleta de dados utilizada, calibrações incorretas, transmissão de dados, processamento, etc.; e, por fim, podem ainda ser classificados em grosseiros, quando se referem a falhas humanas na realização da observação e medição dos dados hidrológicos (NAGHETTINI, 2007).

Nesse contexto, motivado pelo crescente avanço tecnológico, o monitoramento da água no país tem avançado continuamente em todas as etapas de coleta, transmissão e tratamento de dados, em escala global, especialmente, impulsionados pelo advento da informática e das técnicas de geoprocessamento de dados (MAGALHÃES JUNIOR, 2007).

Os levantamentos hidrológicos no Brasil tiveram início há mais de cem anos, quando foram instaladas as primeiras estações pluviométricas com medições regulares. Posteriormente, foram instaladas estações com medição de níveis d'água e de vazões líquidas, objetivando fazer face, já naquela época, às necessidades de aproveitamento das forças hidráulicas, e, a partir do início do século passado, a hidrometria passou a ser realizada de maneira mais estruturada, evoluindo em aspectos relativos à

metodologia operacional, aos equipamentos de medição e observação, assim como ao número de seções a serem monitoradas (ANA, 2007).

Magalhães Júnior (2007) destacou ainda que o monitoramento da água no país teve sua origem no início do século XX, a partir da instalação das estações do DNOCS (Departamento Nacional de Obras contra as Secas) e do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), além de algumas instalações ligadas a empreendimentos privados. Em 1920, o Serviço Geológico e Mineralógico do Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio, a partir da Comissão de Estudos de Forças Hidráulicas, começou a atuar e colaborar na geração de dados pluviométricos e energia hidroelétrica.

Inicialmente, a coleta de dados era realizada a partir de aparelhos mecânicos. Com a informatização e desenvolvimento das técnicas computacionais e estatísticas, a exemplo das técnicas de geoprocessamento, Sensoriamento Remoto e Sistemas de Posicionamento Global, entre outras, as técnicas de medição e coletas de dados também evoluíram, passando a contar ainda com equipamentos eletrônicos cada vez mais modernos e precisos. Os avanços tecnológicos permitiram uma melhor precisão, maior alcance e maior rapidez no acesso aos dados hidrometeorológicos, seja a nível orbital (via satélites) ou para medições *in situ* (aparelhos digitais portáteis).

Em 1972, o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) inovou com a informatização e a implantação de um sistema de informações que refletiu na operação de uma rede hidrogeoquímica especialmente voltada para o monitoramento de parâmetros de águas e de fluxo de sedimentos (MAGALHÃES JUNIOR, 2007).

A forma de transmissão dos dados coletados também evoluiu no decorrer do tempo. Até a década de 1940, a transmissão dos dados a partir das estações de coleta até os usuários era realizada de forma manual. A partir de então, os dados começaram a ser transmitidos via telégrafo aos seus usuários finais e, somente por volta dos anos 1970 e 1980, foram implantadas redes de transmissão de dados utilizando o telefone como meio para tal fim, assim como o uso de sensores automáticos com transmissão de dados via telefone/rádio. Porém, devido a falhas de comunicação em condições climáticas adversas, elevado custo de manutenção e indisponibilidade de peças para reparo no mercado, esse processo também foi substituído por outros mais modernos e eficientes.

Em 1982, as Centrais Elétricas do Norte (ELETRO NORTE), começaram a utilizar uma rede de teletransmissão de dados hidropluviométricos por meio dos satélites Argos (Tiros e Noaa). A

partir de então, a telemetria evoluiu no país. A partir de 1990, a telemetria via satélite consolidou-se no Brasil, especialmente com a utilização de Plataformas de Coleta de Dados (PCD's), e vem sendo continuamente aumentada ao longo dos anos. As PCD's atuam munidas com sensores hidrometeorológicos e transmissores nas freqüências do satélite brasileiro SCD1 (Satélite de Coleta de Dados 1) e do sistema Argos. O SCD1 foi o primeiro satélite brasileiro colocado em órbita, em 1993. Em 1998, entrou em operação o SCD2 com o intuito de aumentar a freqüência das informações recebidas (MAGALHÃES JUNIOR, 2007).

O tratamento dos dados coletados também passou por um processo de desenvolvimento, especialmente com o surgimento da internet que permitiu acesso mais rápido e fácil de informações e dados aos usuários. Desde o início de 1970, com a informatização do DNAEE e a criação do primeiro Sistema de Informação Hidrológica no país, a evolução da informática permitiu o desenvolvimento de técnicas de tratamento de dados georreferenciados. Um conjunto de técnicas digitais representadas por sistemas automatizados de referência, codificação e representação territorial deram subsídio para o desenvolvimento e dinamização das informações hidrológicas no país.

No contexto desse desenvolvimento tecnológico, o geoprocessamento de dados tomou força a partir de 1990, destacando os seguintes eixos na área de coleta e tratamento de dados: Cartografia digital; Sensoriamento remoto; Sistema de Informação Geográfica (SIG); Sistemas de modelagem digital do terreno; Sistemas de conversão e modelagem de dados; Sistema de Posicionamento Global (GPS).

A partir de então, o sistema de coleta e transmissão de dados hidrometeorológicos se difundiu e tornou-se cada vez mais essencial em estudos e gestão de recursos hídricos. Porém, é necessário mais do que quantidade de estações e equipamentos, o planejamento das redes e da eficiência do sistema, é necessário que o monitoramento e gestão da água sejam adequados.

Em nível Federal, cada vez mais está se sedimentando o conceito da importância de se manter uma rede hidrometeorológica bem planejada e operada, para que se possa fazer o gerenciamento adequado dos potenciais hídricos disponíveis no país, atendendo às demandas de vários setores, tanto públicos quanto da iniciativa privada, que necessitam de informações para desenvolvimento de projetos de infraestrutura, como os de abastecimento público, transporte, saúde, lazer e turismo, agropecuária e energia (ANA, 2007).

É necessário ainda conhecer e ter acesso aos dados hidrometeorológicos de forma confiável e precisa para que seja possível seu uso adequado a favor do conhecimento e da preservação dos recursos e do ambiente.

2.2 Estudos hidrológicos em bacias hidrográficas

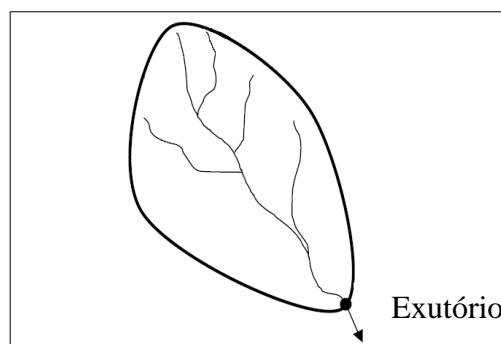
De forma geral, a Hidrologia aplicada, na atualidade, está voltada para os diferentes problemas que envolvem a utilização dos recursos hídricos, preservação do meio ambiente e ocupação das bacias hidrográficas. Neste sentido, a bacia hidrográfica é considerada como referência espacial e elemento fundamental de análise do estudo dos processos hidrodinâmicos e os problemas relacionados à modificação de suas características naturais assumem importância socioeconômica cada vez maior (CHAUDHRY et al., 2004).

Righetto (1998) reforçou a teoria que a unidade hidrológica principal de uma região é a bacia hidrográfica, sendo esta delimitada pelos divisores de água que definem a área de drenagem de um sistema fluvial que pode ser dividido em um conjunto pequeno ou grande de ramificações de canais de drenagem, dependendo da escala de trabalho adotada.

A bacia hidrográfica é o objeto de estudos da maioria dos modelos hidrológicos, reunindo as superfícies que captam e despejam água sobre um ou mais canais de escoamento que desembocam em uma única saída. A bacia pode constituir a unidade espacial para modelos agregados que consideram as propriedades médias para toda a bacia, ou então, pode ser subdividida segundo diversas abordagens a fim de considerar suas características espacialmente distribuídas (RENNÓ; SOARES, 2007, p. 531).

Conceitualmente, Silveira (1993) destacou que a bacia hidrográfica é o elemento fundamental de análise da dinâmica hidrológica, sendo esta “uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório” (**Figura 04**). O mesmo autor salienta, ainda, que a bacia hidrográfica pode ser considerada como um sistema físico cuja entrada compreende o volume de água precipitado e, a saída, que reflete o volume de água escoado pelo exutório, considerando algumas perdas intermediárias como, por exemplo, os volumes de água evaporados, transpirados e infiltrados.

Figura 04 – Bacia hidrográfica



Fonte: SILVA (2009).

Garcez e Alvarez (1988), por sua vez, definiram bacia hidrográfica como “sendo uma área definida e fechada topograficamente num ponto do curso de água, de forma que toda a vazão afluente possa ser medida ou descarregada através desse ponto”. Segundo os mesmos autores, os números e informações referentes à quantidade, disponibilidade, qualidade, uso e conservação dos recursos hídricos constituem dados básicos para o estudo integrado de uma bacia hidrográfica.

Em outras palavras, Santos e Del Frette (2005) apontaram que a bacia hidrográfica

é vista como o conjunto de terras drenadas por um corpo d’água principal e seus afluentes e representa a unidade mais apropriada para o estudo qualitativo e quantitativo do recurso água e dos fluxos de sedimentos e nutrientes.

De maneira geral, as bacias hidrográficas, conforme apontado por Rocha (1991), são consideradas “palcos” das deteriorações ambientais. Neste sentido, o monitoramento de bacias hidrográficas e o conhecimento de suas características físicas são importantes para o gerenciamento adequado dos recursos naturais e a preservação dos ecossistemas.

Netto (1995) reforçou que a bacia hidrográfica é uma unidade conveniente ao entendimento da ação dos processos hidrológicos e das ligações espaciais diversas entre áreas distintas que podem afetar tanto o planejamento local como o planejamento regional.

Neste contexto, há um consenso entre diversos estudiosos e pesquisadores de que a utilização da bacia hidrográfica como unidade básica de planejamento e gerenciamento ambiental, não é recente. Porém, não houve um consenso em relação à definição do termo e a sua dimensão. Diversos estudos têm utilizado a denominação de sub-bacias ou micro-bacias hidrográficas. A forma mais utilizada para diferenciar bacia, sub-bacia ou micro-bacia hidrográfica é o tamanho ou intervalo de área das mesmas. No entanto, também ainda não existe um consenso. Nesta pesquisa, foi também utilizado o termo mini-bacia, seguindo a nomenclatura da metodologia de aplicação do modelo hidrológico escolhido.

Desta forma, uma série de metodologias de análise dos recursos naturais e planejamento da paisagem têm sido usadas para a conservação de bacias hidrográficas. Diversas instituições utilizam a bacia hidrográfica como unidade espacial para o desenvolvimento de estudos interdisciplinares, gerenciamento dos usos múltiplos e conservação dos elementos naturais (TUNDISI, 2005), entre elas: ANA, IBGE, IGAM, DNAEE/ANEEL, CNRH, entre outras.

Os processos hidrológicos atuantes na bacia hidrográfica possuem duas direções predominantes de fluxo na bacia: vertical, representado pelos processos de precipitação, evapotranspiração,

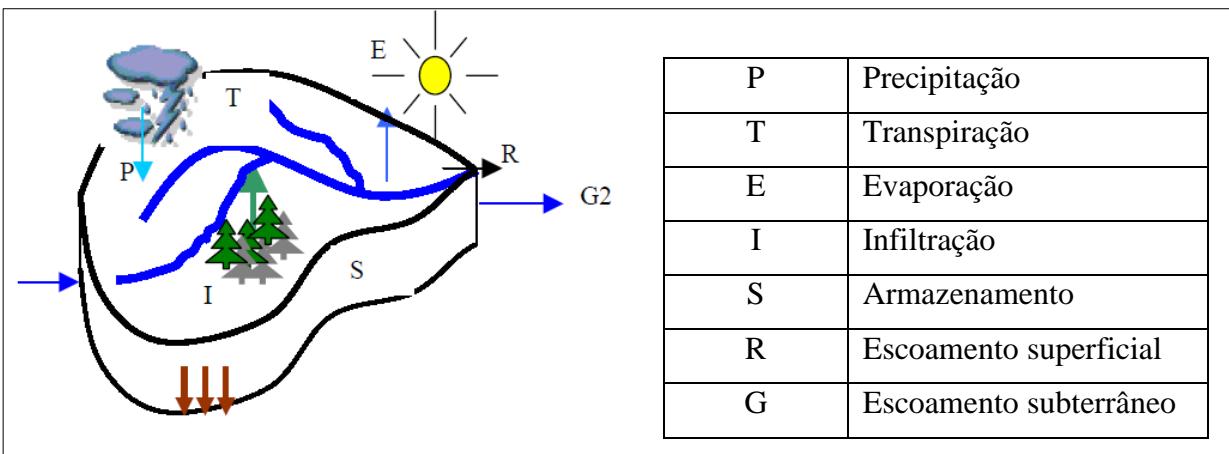
umidade e fluxo no solo; e longitudinal, representado pelo escoamento na direção dos gradientes da superfície (escoamento superficial e rios) e do subsolo (escoamento subterrâneo) (TUCCI; BRAGA, 2003).

O ciclo hidrológico em uma bacia pode ser representado pela **Equação 1**, equação do balanço hídrico, conforme esquema representado pela **Figura 05**.

$$\Delta S = P - R - G - E - T \quad (1)$$

Onde, S = armazenamento; P = precipitação; R = escoamento superficial; G = escoamento subterrâneo ou de base; E = evaporação; T = transpiração.

Figura 05 – Balanço hídrico em uma bacia hidrográfica



Adaptado de: Departamento de Hidráulica e Saneamento/UFBA (2010).

Em geral, a fisiografia das bacias hidrográficas permite uma série de informações relevantes sobre a mesma, no contexto hidrológico.

Rennó (2005, p. 2543) considerou que “a importância de se adotar a bacia hidrográfica como unidade hidrológica está ligada ao fato de que suas características estão intimamente relacionadas com a produção de água”. Ou seja, os elementos como a área, a forma, o relevo, etc., da bacia hidrográfica têm influência, por exemplo, sobre a quantidade de água produzida e outras características a ela relacionadas.

Silveira (1993) considerou, como dados fisiográficos de uma bacia hidrográfica, os dados que podem ser extraídos de mapas, fotografias aéreas, imagens de satélite, entre outros, destacando-se: áreas, comprimentos, declividades, cobertura de solos, etc.

Christofoletti (1980), Silveira (1993), Tucci (1993) e outros, destacaram, entre eles: a) Características geométricas: Perímetro total da bacia, Área total da bacia, Fator de forma, Coeficiente de compacidade, Índice de circularidade; b) Características da rede de drenagem: Hierarquia fluvial, Comprimento do rio principal, Comprimento dos canais, Densidade de drenagem, Padrão de drenagem; e c) Características do relevo: Orientação, Hipsometria, Declividade.

A análise morfométrica de bacias hidrográficas ainda se mostra como uma metodologia pouco difundida e aplicada. Entretanto, devido a crescente preocupação com os problemas ambientais e, em especial, a situação dos recursos hídricos, é relevante considerar a aplicação desta metodologia. Apesar de ter uma base matemática e estatística, ela não se restringe somente a uma análise quantitativa de dados e procura subsidiar a gestão dos elementos que compõem a paisagem complexa das bacias hidrográficas.

Outras características relevantes ainda podem ser destacadas quanto ao estudo das bacias hidrográficas:

- a) **Classificação do solo e cobertura vegetal:** Os tipos de solos de uma bacia hidrográfica influenciam na taxa de infiltração, na capacidade de retenção, no coeficiente de escoamento superficial da água e no grau de umidade do solo, que é considerado como um dos principais fatores que determinam o tempo de concentração da água na bacia. A classificação e densidade de cobertura vegetal presentes na bacia hidrográfica, por sua vez, determinam diretamente a quantidade de água interceptada e retida pelo solo, a exemplo das florestas e algumas culturas que retêm certa parte da precipitação através das copas das árvores. A vegetação regulariza o escoamento em condições meteorológicas normais, porém, em condições extremas (seca e enchentes), sua influência torna-se relativamente reduzida. Em caso de solo exposto, a capacidade de retenção de água é reduzida, produzindo uma elevação significativa no escoamento superficial e a ocorrência de erosões. A presença de urbanização, por sua vez, denota áreas com pouca infiltração e alto índice de velocidade do escoamento superficial, ocasionando grandes picos de cheias (GARCEZ e ALVAREZ, 1988).
- b) **Geologia:** A geologia do substrato de uma bacia hidrográfica influencia tanto o escoamento superficial quanto o fluxo de água subterrânea. Para o escoamento, a principal característica geológica é a permeabilidade do substrato do solo, que intervém na rapidez e no volume das enchentes, assim como na parcela levada às vazões de estiagem pelos lençóis subterrâneos (GARCEZ e ALVAREZ, 1988). No caso de

precipitação, uma bacia que tem um substrato quase ou totalmente impermeável, apresenta um rápido aumento de escoamento em comparação a uma bacia com um substrato permeável. Uma bacia com um substrato permeável retarda o escoamento devido à infiltração e poderá prover uma base de escoamento durante longos períodos de seca.

- c) **Características térmicas:** O balanço térmico das bacias hidrográficas deve ser medido avaliando-se o calor recebido pela radiação solar, assim como as trocas de calor entre solo, atmosfera, lençóis de água, etc. Garcez e Alvarez (1988), no entanto, lembraram que, na realidade, os dados disponíveis raramente permitem avaliar o balanço térmico, pois as medidas são, geralmente, efetuadas em condições não apropriadas para tal fim, como por exemplo, sob abrigos ou em proximidade com o solo.

De modo geral, a gestão dos recursos hídricos, baseada no recorte territorial das bacias hidrográficas e suas características intrínsecas, granjeou força ao longo do desenvolvimento de reuniões e conferências voltadas para a questão ambiental e, especificamente, direcionadas ao tema água. Em 1977, por exemplo, na Conferência das Nações Unidas sobre água, em Mar Del Plata, foi recomendado aos Estados-membros que fossem criadas entidades para administrar as bacias hidrográficas, a fim de permitir melhor planejamento integrado dos recursos hídricos.

A Lei nº 9.433/1997, que estabelece a Política Nacional dos Recursos hídricos, surgiu no sentido de organizar o sistema de gestão e consolidar a gestão dos recursos hídricos por bacias hidrográficas. O artigo 1º, inciso V, dispõe que bacia hidrográfica

é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, posicionamento adotado nas leis estaduais sobre política e gerenciamento de recursos hídricos.

Atualmente, no Brasil, os recursos hídricos têm sua gestão organizada por bacias hidrográficas em todo o território nacional, tanto em corpos hídricos federais como estaduais. Em outras palavras, a bacia hidrográfica se tornou a unidade de gestão da Política Nacional de Recursos Hídricos.

2.3 Geotecnologias

2.3.1 Aplicações à hidrologia

As geotecnologias são consideradas o conjunto de tecnologias voltadas para coleta, processamento, análise e oferta de informações geográficas, compostas por soluções em um conjunto de *hardware, software e personnel*, com vistas ao auxílio na tomada de decisões (ROSA, 2005).

O uso das geotecnologias para o monitoramento e planejamento do uso sustentável dos recursos naturais tem se difundido cada vez mais e facilitado o desenvolvimento de estudos ambientais. Uma ampla tecnologia existente permite o uso de ferramentas e produtos capazes de facilitar e agilizar o levantamento, mapeamento e análise dos recursos naturais existentes. O uso de *hardware* e *softwares* específicos, dados georreferenciados e mão de obra qualificada para trabalhar com essas tecnologias, permitem a aquisição e manipulação das informações espaciais acerca dos recursos disponíveis para as mais diversas aplicações e nos mais variados campos das ciências naturais (ROSA, 2007).

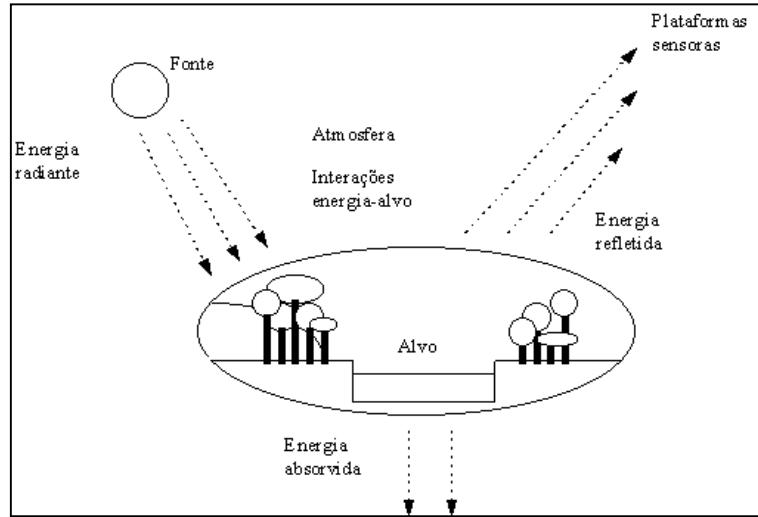
A utilização da internet para acesso a dados georreferenciados, assim como de algumas geotecnologias como o Sensoriamento Remoto, o uso dos Sistemas de Posicionamento por satélite (GNSS), dos Sistemas de Informação Geográfica, entre outros, está cada vez mais atuante. Estes instrumentos são capazes de gerar e manipular diversos produtos (mapas, tabelas, etc.), no sentido de se conhecer e diagnosticar os recursos naturais e analisar as condições ambientais da área de estudo.

O sensoriamento remoto, de acordo com Novo (1998, p.2),

pode ser definido como sendo a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, etc. [...] com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações.

O processo básico do Sensoriamento Remoto pode ser visualizado a partir da **Figura 06**.

Figura 06 – Esquema do processo básico de funcionamento do Sensoriamento Remoto



Fonte: UFSC (2010).

O Geoprocessamento, por sua vez, compõe o conjunto de tecnologias destinadas a coleta e tratamento de informações espaciais, podendo ser aplicado a profissionais que trabalham com processamento digital de imagens, cartografia digital e SIG (ROSA; BRITO, 1996).

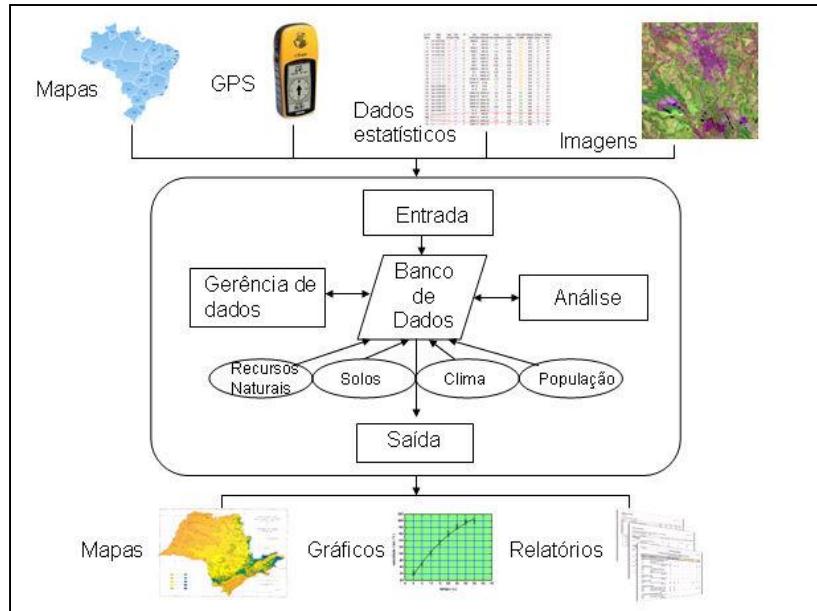
O uso de Sistemas de Informação Geográficas (SIG's), segundo Câmara e Medeiros (1998), permite a combinação de várias informações, por meio de algoritmos de manipulação e análise, bem como a consulta e visualização do conteúdo de uma base de dados georreferenciados. Ou ainda, “um SIG pode ser definido como um sistema destinado à aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados referidos espacialmente na superfície terrestre” (ROSA; BRITO, 1996).

O conceito de Miranda (2005) elucida que

A palavra Sistema indica que o SIG é feito de várias componentes inter-relacionados e ligados com diferentes funções, possui capacidade funcional para entrada, manuseio, transformação, visualização, combinação, consultas, análises, modelagem e saída de dados. A palavra Informação pressupõe que os dados de um SIG estejam organizados para produzir conhecimento útil, na forma de mapas e imagens, estatísticas, gráficos, etc. A palavra Geográfica implica no conhecimento da localização dos dados.

Um SIG apresenta o seguinte esquema de básico de funcionamento (**Figura 07**).

Figura 07 – Esquema básico de um SIG



Fonte: SILVA (2009).

Christofoletti (1999) realçou a importância do uso dos SIG's nos processos de análise espacial e modelagens. Em estudos hidrológicos, especificamente, o Sensoriamento Remoto se destaca como fonte de aquisição de dados e os SIG's como ferramenta na aquisição e manipulação dos dados espaciais e/ou temporais, análises e aplicação de modelagens hidrológicas. Rennó (2003) também reconheceu que o sensoriamento remoto permite adquirir, a custo relativamente baixo, grandes quantidades de dados distribuídos espacial e temporalmente, ou integrados em várias escalas, para estudos hidrológicos.

Jensen (2009) reforçou a atuação da obtenção de dados por sensores remotos. O autor enfatiza que, em muitas observações pontuais é possível a obtenção de parâmetros hidrológicos e posteriormente uma interpolação dos mesmos para a caracterização ambiental de determinada área. Porém, quando não se tem dados suficientes ou em escala adequada, o tratamento estatístico realizado não se torna significativo, sendo difícil obter uma informação espacial adequada.

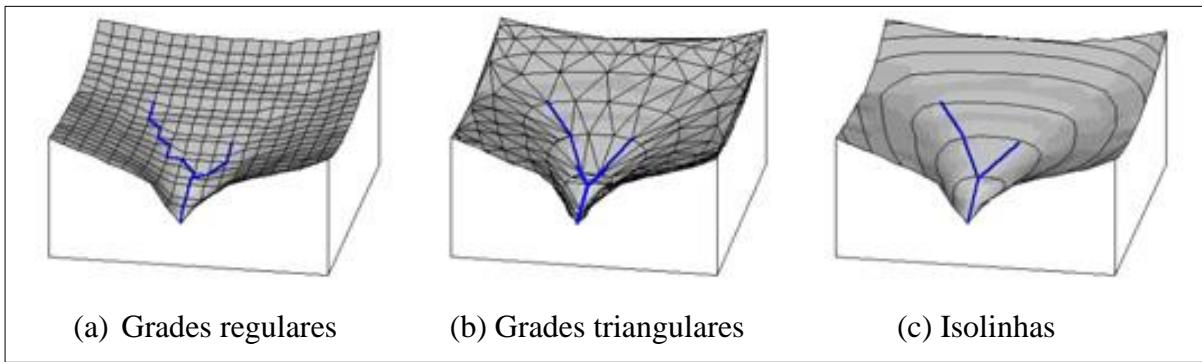
A água apresenta-se em diferentes estados na natureza e, dessa forma, seu comportamento espectral também sofre influência devido à forma em que se encontra disponível (neve, lagos, nuvens, etc.). O comportamento espectral da água e a influência dos materiais constituintes (suspensos ou dissolvidos), no entanto, ficaram ainda mais conhecidos a partir da década de

1990, com o advento da evolução dos espectroradiômetros com melhor resolução espectral e radiométrica (NOVO, 2008).

Os Modelos Numéricos de Terreno (MNT) permitem arquivar digitalmente a superfície de uma bacia hidrográfica para estudos fisiográficos sobre seus componentes. Constituem-se, basicamente, por uma grade digital de células quadradas, em modelo raster, onde, em cada nó, é conhecida a sua altitude. A sua obtenção pode ser realizada por meio de interpolações de levantamentos topográficos ou por medições sobre pares estereoscópicos de fotografias aéreas (SILVEIRA, 1993).

Entre as estruturas de dados geográficos mais utilizadas para representar e simular bacias hidrográficas os MNT's podem ser representados por: (a) grades regulares, que consistem em um modelo digital da superfície através de poliedros de faces regulares; (b) grades triangulares, que consistem em um modelo digital da superfície através de um poliedro de faces triangulares; e, (c) isolinhas, que consistem em um modelo representado por curvas que conectam pontos da superfície com mesmo valor de elevação (**Figura 08**).

Figura 08 – Representação do MNT para uma bacia hidrográfica



Fonte: RENNÓ (2003).

Os MNT's auxiliam na delimitação de dados que representam a distribuição da água nas bacias hidrográficas, a partir de sua topografia, como: determinação de divisores de água, inclinação do terreno, características dos canais de drenagem, entre outras consideradas (RENNÓ; SOARES, 2007).

Ainda segundo Rennó e Soares (2001), os modelos hidrológicos desenvolvidos a partir da utilização de grades regulares, apesar de possuir vantagem em termos de fácil implementação, apresentam a desvantagem de não conseguirem representar corretamente mudanças abruptas de

elevação e no traçado dos caminhos de fluxo da água (produção de linhas em zig-zag). Desta maneira, esta representação pode mascarar certas feições do terreno que são importantes para estudos hidrológicos, especialmente em áreas de acentuado declive do terreno. A utilização das grades triangulares, por sua vez, mostra que estas são mais eficientes e flexíveis em tais circunstâncias citadas, no entanto, também podem apresentar problemas na determinação de fluxos d'água em regiões planas. Segundo estes autores, a discretização baseada em curvas de nível apresenta grande vantagem em relação às grades regulares e triangulares devido a simplificação das relações topológicas entre elementos, conservando a naturalidade destas relações, representando assim, de forma mais apurada, os processos hidrológicos nas bacias hidrográficas.

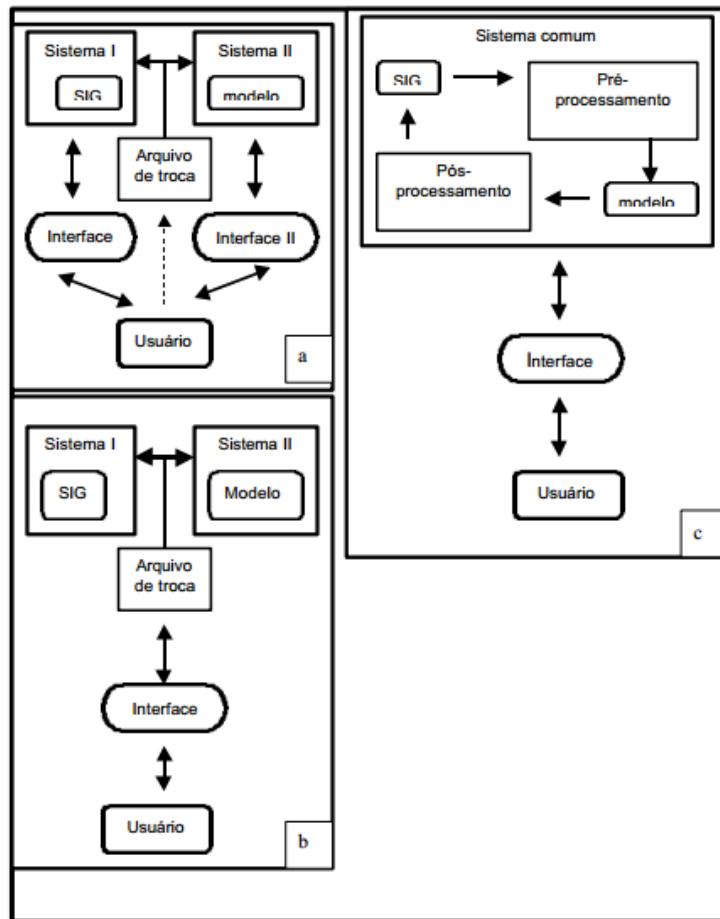
Dentro deste contexto, há que se ressaltar a importância do aumento da disponibilidade de dados digitais de elevação, a nível nacional e mundial com dados espaciais disponíveis em bases para acesso aos usuários. E ainda, pelo aumento da capacidade de uso dos computadores pessoais com capacidade para adquirir, transferir e processar rapidamente os dados advindos de um Modelo Digital de Elevação para alimentação dos modelos hidrológicos (TARBOTON; AMES, 2001).

Assim, as geotecnologias cada vez mais se difundem no sentido de aprimorar as técnicas e ferramentas de coleta, armazenamento, processamento, análise, previsão e simulação de dados espaciais e temporais, em diferentes níveis e para diferentes localidades, para estudos na área ambiental, a exemplo dos estudos hidrológicos.

Melo et al. (2008, p. 2) descreveram que, “por volta das décadas de 1970 e 1960 os modelos hidrológicos integrados com SIG foram desenvolvidos com poucas interações, alcançando uma maior compreensão dessa integração após a década de 1990”. Estes autores, no entanto, enfatizam que, apesar dos inúmeros esforços dos vários pesquisadores no intuito de fortalecer essa integração, ainda há que se considerar a identificação de possíveis inconsistências na sua utilização.

Dentro deste processo de desenvolvimento de integração entre modelos e SIG, destacam-se, basicamente, três formas de interface: união, combinação e integração, propriamente dita (**Figura 09**).

Figura 09 – Estrutura organizacional de modelos e SIG: união (a), combinação (b) e integração (c)



Fonte: MACHADO (2002).

A união, consiste em utilizar o SIG e o modelo desenvolvidos separadamente, ou seja, há uma simples transferência de arquivos entre ambos, sendo que o modelo é passível de ser executado independentemente do SIG. Esta interface é relativamente simples de ser desenvolvida, no entanto, causa certas limitações (dependência do formato de dados, incompatibilidade de ambiente operacional, etc.). A combinação, por sua vez, permite que o modelo seja configurado com as ferramentas interativas do SIG, o que requer uma programação mais complexa que a anterior. A terceira, integração, implica na incorporação de um sistema ao outro, o que elimina a necessidade de transferência de dados ou o uso de programas de interface (MACHADO, 2002).

2.3.2 Monitoramento de mudanças de uso da terra

A transformação constante da cobertura de uso da terra permite que alterações em toda a dinâmica terrestre sejam notadas e devam ser monitoradas para a gestão do território.

Neste sentido, Rosa (2009) destacou que

o estudo do uso da terra e ocupação do solo, consiste em buscar conhecimento de toda a sua utilização por parte do homem, ou quando não utilizado pelo homem, a caracterização dos tipos de cobertura vegetal natural que reveste o solo, como também suas respectivas localizações.

Conhecer as classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa, assim como sua distribuição espacial é imprescindível para o monitoramento de áreas potencialmente ameaçadas. As geotecnologias surgem no sentido de auxiliar e aprimorar cada vez mais as técnicas de reconhecimento das classes de uso citadas.

O sensoriamento remoto, ainda segundo Rosa (2009), se constitui em uma excelente ferramenta para a coleta de informações a respeito dos registros de uso da terra, em curto espaço de tempo. As fotografias aéreas e imagens de satélite constituem-se em produtos cada vez mais utilizados para o reconhecimento e mapeamento das informações de uso da terra de uma determinada região.

As ferramentas de processamento digital de imagens e a utilização de *softwares* específicos para o processamento e extração de informações das imagens de satélite aprimoraram tal reconhecimento e mapeamento das informações de uso da terra no sentido de tornar essa atividade mais eficaz e precisa.

Assim, as geotecnologias permitem maior aprimoramento no reconhecimento das classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa e suas alterações ao longo do tempo. Tais mudanças de uso da terra são consideradas uma das questões mais antigas em hidrologia e os avanços nos estudos, neste sentido, mostram a utilização de modelos hidrológicos de base física para analisar o impacto destas mudanças ocorridas tanto em bacias hidrográficas de pequeno porte (cerca de 1 km²), quanto de maior porte (acima de 10.000 km²). Como exemplo pode ser citada a alteração nas medidas de vazão em cursos d'água em locais que tenham tido reduções de áreas florestadas (BAYER; COLLISCHONN, 2013).

Deste modo, considera-se que a resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica é resultado da complexa interação que envolve vegetação, solos, relevo e clima. Alterações destas

características, a exemplo da cobertura vegetal natural, podem resultar em alterações no deflúvio de uma bacia hidrográfica, pois transformam a capacidade de infiltração do solo, a evapotranspiração e a capacidade de água disponível para as plantas.

2.4 Modelagem hidrológica

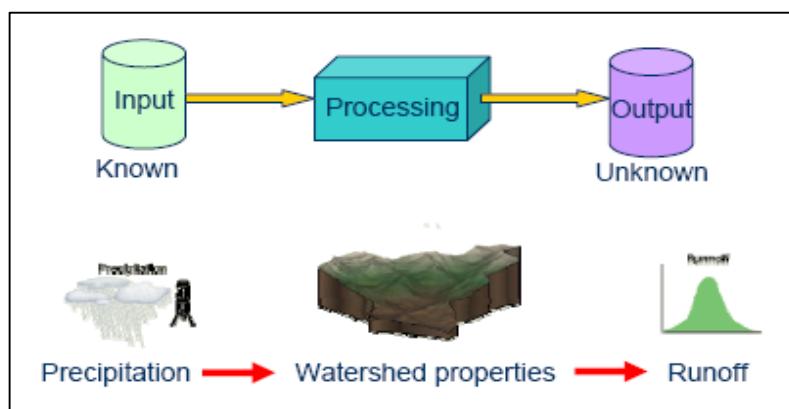
A modelagem matemática está presente na prática hidrológica como uma das principais ferramentas utilizadas em avaliações ambientais.

Inicialmente, Chorley (1975) definiu os modelos como

analogias, porque são diferentes do mundo real. O uso de modelos experimentais é exemplo óbvio do objetivo geral do construtor de modelos, no sentido de reformular algumas características do mundo real em forma mais familiar, simplificada, acessível, observável, facilmente formulada ou controlável, da qual se possa extrair conclusões, que por sua vez, possam ser reaplicadas ao mundo real.

Os modelos surgem no sentido de auxiliar o entendimento dos processos ocorridos na natureza a partir de dados de entrada conhecidos para a formulação/verificação de resultados desconhecidos, conforme ilustrado na **Figura 10**.

Figura 10 – Diagrama esquemático de uma simulação em modelagem hidrológica



Fonte: UFRGS (2011).

Os modelos, para Rennó e Soares (2007), podem ser classificados sob diferentes aspectos, sendo comumente classificados, dentre outras formas, de acordo com o tipo de variáveis utilizadas na modelagem (estocásticos ou determinísticos), o tipo de relações entre essas variáveis (empíricos ou conceituais), a forma de representação dos dados (discretos ou

contínuos), a existência ou não de relações espaciais (pontuais ou distribuídos), e a existência de dependência temporal (estáticos ou dinâmicos).

A modelagem hidrológica surgiu para otimizar o gerenciamento dos recursos hídricos, avaliar os impactos de mudança do uso da terra e cobertura vegetal nativa e das mudanças climáticas, alertar quanto à operação de sistemas de recursos hídricos e a ocorrência de cheias, analisar a consistência e extensão de séries hidrológicas em locais com poucas informações, entre outros.

De acordo com Rennó e Soares (2007, p. 531) “um modelo hidrológico pode ser definido como uma representação matemática do fluxo de água e seus constituintes sobre alguma parte da superfície e/ou subsuperfície terrestre”.

Deste modo, modelar o comportamento dos fenômenos hidrológicos permite testar e avaliar diferentes formulações para os processos analisados na bacia hidrográfica, sendo geralmente realizada em pequenas bacias. Porém, estudos e projetos diversos vêm sendo realizados em bacias de grande porte, apresentando estudos com resultados significativos.

Para Gomes (2004), não existe um procedimento sistemático universal para o desenvolvimento de um modelo. No entanto, há dois pressupostos básicos referentes à formulação de um modelo, de forma geral: o primeiro, relacionado com seleção e combinação de uma série de relações (modelos específicos) para, possivelmente, descrever um dado sistema; e o segundo, relacionado com avaliação da qualidade do modelo definido para descrever determinado comportamento observado experimentalmente (calibração e validação do modelo). Verifica-se a necessidade de calibração e verificação do modelo com vistas a comparar uma previsão de respostas elaboradas pelo modelo com as respostas observadas experimentalmente.

Por calibração, entendemos estimar e ajustar os parâmetros do modelo, assim como as constantes, de tal forma a melhorar a concordância entre as saídas do modelo e os dados experimentais disponíveis. Validação é a demonstração de que um dado modelo, dentro do domínio de aplicabilidade, possui um espectro satisfatório de precisão, compatível com a aplicação prevista para o modelo. [...] indica que o modelo é aceitável para uso, o que não quer dizer de forma nenhuma que ele contenha alguma verdade absoluta, nem mesmo que seja o melhor modelo disponível. Colocados em termos operacionais, esta demonstração envolve a comparação dos dados modelizados com aqueles obtidos pela observação ou medidos no sistema real (GOMES, 2004, p. 170).

Em outras palavras, Yapo et al. (1998, p. 83) reforçaram a importância da fase de calibração do modelo para sua implementação, descrevendo que

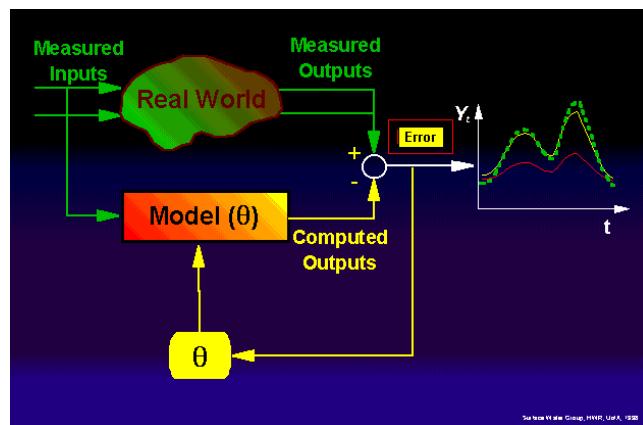
To calibrate a hydrologic model, the hydrologist must specify values for its "parameters" in such a way that the model's behavior closely matches that of the real

system it represents. In some cases, the appropriate values for a model parameter can be determined through direct measurements conducted on the real system. However, in a great many situations, the model parameters are conceptual representations of abstract watershed characteristics and must be determined through a trial-and-error process which adjusts the parameter values so that the model response matches the historical input-output data.

Os mesmos autores destacam que, devido à natureza do tempo consumido por este método de tentativa-e-erro de calibração de modelos, houve um grande esforço de investigação para o desenvolvimento de métodos de calibração automática utilizando, por exemplo, algum algoritmo de otimização automática para realizar esta etapa na utilização dos modelos de forma geral (YAPO et al., 1998). Esta alternativa ao método de tentativa-e-erro, ou seja, das técnicas de otimização, foram inicialmente utilizadas para modelos hidrológicos na década de 70, de acordo com Tucci (1998).

A seguir, apresenta-se uma figura esquemática (**Figura 11**) representativa da necessidade da calibração de um modelo matemático, visto que há divergência entre valores observados no mundo real e formulados/apresentados pelo modelo utilizado.

Figura 11 – Diagrama esquemático da necessidade do processo de calibração de modelos matemáticos



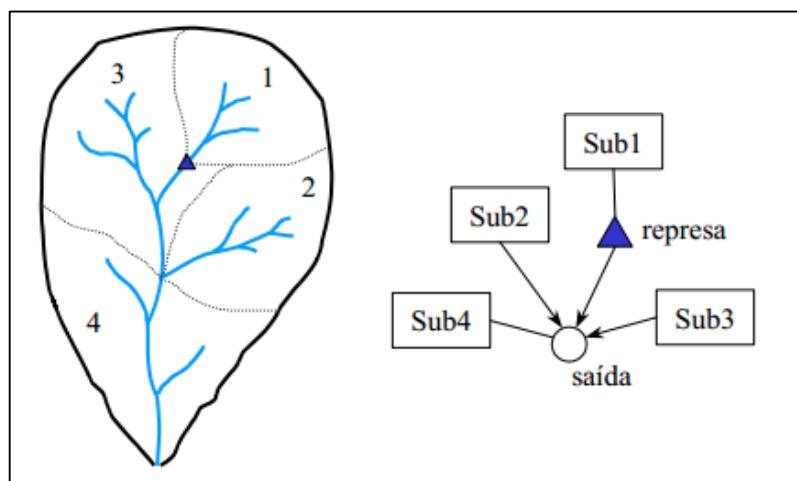
Fonte: UFRGS (2011).

Outro conceito importante tratado na modelagem hidrológica se refere à discretização espacial da bacia hidrográfica, ou seja, o ato de dividir ou particionar o todo da mesma em partes de menor complexidade.

Em uma primeira abordagem, a bacia hidrográfica pode ser discretizada em partes reconhecíveis, denominadas objetos (pontos, linhas ou polígonos), ou ainda, visto por outra abordagem, o espaço da bacia hidrográfica pode ser fatiado em campos contínuos. Comumente, a bacia hidrográfica é discretizada em sub-bacias, conectadas por ligações representadas pelos corpos d'água (RENNÓ; SOARES, 2007).

Silveira (1993) apontou que a simulação matemática que trabalha com modelos que discretizam a bacia de forma distribuída permite o cálculo do escoamento na rede de canais, trecho a trecho, considerando-se as diversas sub-bacias citadas. A **Figura 12** mostra um modelo esquemático de bacia hidrográfica discretizada em sub-bacias para simulação hidrológica.

Figura 12 – Discretização de bacia hidrográfica em sub-bacias e diagrama esquemático mostrando os percursos da água até a saída da bacia



Fonte: RENNÓ (2003).

Diversos modelos hidrológicos podem ser encontrados na literatura, a exemplo do modelo hidrológico SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) que foi desenvolvido nos anos de 1990, no Texas, pelo *Agricultural Research Service* e pela *Texas A&M University*, e tem sido amplamente utilizado em bacias hidrográficas do mundo todo para quantificar os impactos de diferentes atividades antrópicas e estratégias de gestão nos aspectos quantitativos e qualitativos da água. Este modelo vem sendo estudado e aplicado em diversos estudos como os estudos de Lubitz (2009), que avaliou sua aplicação na bacia experimental do ribeirão Concórdia, localizada em Lontras/SC/Brasil, através da comparação entre dados medidos e simulados de vazão e de concentrações de sedimentos e nutrientes no canal, após análises de sensibilidade de

parâmetros e calibração manual, para o período compreendido entre os anos de 2006 e 2009. Destaca-se ainda, a pesquisa de Fukunaga (2012) que avaliou a aplicabilidade do modelo SWAT para a estimativa de vazões em bacias hidrográficas do sul do Estado do Espírito Santo/Brasil (bacia do córrego Jaqueira e bacia do rio Itapemirim).

Outro modelo hidrológico a ser citado é o modelo semi-distribuído SLURP (*Semi-distributed Land Use-based Runoff Processes*). Este modelo simula o ciclo hidrológico da precipitação até a vazão, para finalidades que vão desde a simples obtenção da vazão até a sua utilização em estudos de mudanças de cobertura vegetal e alterações no ciclo hidrológico. Este modelo foi estudado por Nóbrega (2008), que realizou um estudo sobre a relação entre o desmatamento e impactos sobre os recursos hídricos com o intuito de aperfeiçoar os conhecimentos a respeito dos processos físicos do ciclo hidrológico nestas condições. Analisando se o uso de estimativa de precipitação por satélite, permite-se suprir a falta de informações de precipitação para a modelagem hidrometeorológica.

Santos (2009) apresentou uma revisão dos modelos hidrológicos, destacando outros exemplos de modelos citados na literatura como: KINEROS (*Kinematic Runoff Erosion Model*), um modelo de eventos, distribuído, não linear, onde a bacia é representada por planos retangulares, canais e elementos de armazenamento; WEPP (*Water Erosion Prediction Project*), um modelo conceitual desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) para ser aplicado em grandes bacias, que considera a física do solo, a ciência das plantas e a mecânica da erosão; e o SHE (*Système Hydrologique Européen*), desenvolvido pelo consórcio europeu de institutos de hidrologia, nos anos de 1970, que consiste num modelo distribuído com o intuito de representar a maior quantidade de processos hidrológicos possível, em diversas aplicações.

O modelo TOPMODEL (modelo chuva-vazão) também se tornou bastante difundido e amplamente utilizado para a previsão de escoamentos em análises baseadas em grades regulares, a partir da influência da topografia. Este modelo foi aplicado em diversos estudos como o de Hollanda (2012), que propôs avaliar a aplicabilidade deste modelo para simulação de vazão máxima, lâmina de escoamento superficial e hidrogramas de escoamento superficial em eventos de precipitação na micro-bacia hidrográfica do córrego Junqueira/Alegre/ES/Brasil. O mesmo modelo hidrológico também foi estudado por Xavier (2002) que propôs avaliar o papel desempenhado pela análise de incerteza aplicada na simulação de vazões em bacias hidrográficas.

Por fim, destaca-se o MGB, Modelo de Grandes Bacias, desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) ao longo dos

últimos 10 anos. O MGB é um modelo matemático que pode ser utilizado para representar os processos hidrológicos em bacias hidrográficas de grande escala, sendo amplamente desenvolvido e divulgado nos estudos de Collischonn (2001), que apresentou o desenvolvimento e a validação deste modelo hidrológico distribuído utilizado, entre outras aplicações, para representar os processos de transformação de chuva em vazão em grandes bacias hidrográficas (maiores que 10.000 km²). O MGB será utilizado nesta pesquisa e, por esse motivo, será melhor caracterizado adiante.

Como visto, diversos são os modelos hidrológicos existentes e diversas são as finalidades específicas de cada um deles.

No que se refere à modelagem de análise e consistência de séries hidrológicas, é possível trabalhar com séries longas de precipitação e vazão, permitindo a verificação de alterações nos rios e na bacia como um todo.

A modelagem de cenários futuros de planejamento está condicionada aos parâmetros de entrada e fatores de ajuste do modelo, pois, conhecendo-se tais parâmetros e o risco de ocorrência dos mesmos, é possível estimar cenários visando o dimensionamento e/ou planejamento de alternativas de desenvolvimento para o sistema.

Os modelos de previsão e predição de vazão tratam, respectivamente, de estimativas num determinado período de tempo desta variável e a estimativa da vazão sem relação com um período de tempo definido. As previsões podem ser de curto prazo (poucas horas ou alguns dias de antecedência) ou longo prazo (1 a 9 meses de antecedência) dependendo da finalidade de sua utilização. As previsões de curto prazo podem ser utilizadas para gerenciamento de cheias, irrigação e abastecimento, etc., enquanto as de longo prazo permitem ações de planejamento de custos hidroelétricos, produção agrícola, etc.

A modelagem de variações climáticas e uso da terra, por sua vez, leva em conta que as séries históricas de vazões podem ser alteradas pela variabilidade climática e mudança do uso da terra, ou seja, retiram a estacionalidade ou homogeneidade das séries que sofrem estes efeitos.

Lorandi e Cançado (2005) apontaram os parâmetros físicos que alimentam os modelos e interferem no gerenciamento e análise das bacias hidrográficas, destacando os elementos climáticos, hidrológicos, geológicos, topográficos, geomorfológicos, pedológicos, processos erosivos, cobertura vegetal, entre outros, com vistas a subsidiar modelos de suporte para planejamento e gerenciamento das bacias hidrográficas.

Dentre os parâmetros relacionados diretamente à hidrologia, têm destaque os parâmetros climáticos (precipitação, evapotranspiração e parâmetros secundários ligados aos primeiros (radiações solares, temperaturas, umidade do ar, vento, etc.), parâmetros de escoamento (descargas líquidas e sólidas e parâmetros secundários aos primeiros, como nível de água, características da rede de drenagem, área da bacia delimitada pela rede de drenagem, velocidade, qualidade da água e dos sedimentos transportados, reservatórios naturais e artificiais, etc.) e parâmetros ligados ao meio receptor (geologia, topografia, solos, vegetação, urbanização, etc.).

Para Collischonn e Tucci (2003, p. 27)

“não existe um conjunto único de parâmetros capaz de representar os processos hidrológicos, devido às incertezas inerentes dos dados, das simplificações do modelo e da representatividade dos parâmetros. Existem várias soluções possíveis, que de forma adequada darão a resposta desejada.”

Os modelos, segundo Chistofolletti (1999), não podem substituir as observações de campo, os experimentos de laboratório, mas podem e devem, no entanto, servir como ferramenta de auxílio, aumentando a eficiência dos mesmos e reforçando sua fundamentação de diversas maneiras. Para isto, basta que seja utilizado o modelo e parâmetros adequados a cada finalidade proposta.

Tucci (2005) argumentou que, de forma geral, os principais modelos hidrológicos são, comumente, utilizados para: entender o comportamento dos fenômenos e processos hidrológicos; analisar a consistência e extensão das séries hidrológicas em locais com poucas informações; subsidiar o planejamento e manejo de desenvolvimento de uma bacia hidrográfica; realizar previsões de vazão; realizar previsões com base nas modificações, tanto naturais quanto antrópicas, ocorridas nas bacias hidrográficas; e dimensionar e prever cenários de planejamento, entre outras aplicações.

A escala, no contexto de aplicação dos modelos hidrológicos, constitui-se em um fator relevante em estudos de modelagem hidrológica, visto que “os modelos geralmente descrevem processos com diferentes níveis de detalhamento espacial e diferentes escalas de tempo” (RENNÓ, 2003, p. 35). O mesmo autor considera que, diversos modelos hidrológicos podem ser aplicados para simular o comportamento de regiões menores ou maiores, em curtos ou longos intervalos de tempo, dependendo dos processos a serem analisados.

Chevallier (1993, p. 487) reforçou a importância de que

Segundo a escala do estudo, os processos que vão intervir não são os mesmos. É o chamado efeito de escala. Em geral é muito perigoso (especialmente em modelagem hidrológica) reunir dados adquiridos numa escala espacial definida com processos analisados ou métodos elaborados dentro de uma escala maior ou menor.

O mesmo autor destacou ainda, dentro do âmbito temporal, que todos os parâmetros da hidrologia são variáveis no tempo, e a escala de representação dos mesmos vai depender do parâmetro escolhido e do fenômeno estudado.

Desta forma, a escolha da escala (espacial e temporal) do modelo deve ser feita de forma que a representação dos processos hidrológicos seja compatível, como um todo, com o fenômeno observado.

2.4.1 Modelo de Grandes Bacias do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (MGB-IPH)

O MGB é um modelo hidrológico semi-distribuído que foi desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) para aplicações em grandes bacias hidrográficas (área superior a 10.000 km²). Este modelo é disponibilizado pelo IPH a partir da URL: <<http://www.ufrgs.br/hge/mgb-iph/downloads/>>, para download gratuito.

De acordo com Collischonn (2001), o modelo é composto dos seguintes módulos:

- Balanço de água no solo;
- Evapotranspiração;
- Escoamentos: superficial, sub-superficial e subterrâneo na célula;
- Escoamento na rede de drenagem.

Este modelo hidrológico é baseado em processos e simula o ciclo hidrológico em todas as etapas do ciclo hidrológico terrestre, incluindo balanço de água no solo, evapotranspiração, interceptação, escoamento superficial, subsuperficial e subterrâneo e escoamento na rede de drenagem. A maioria dos parâmetros é relacionada às características biofísicas da bacia, como topografia, tipo e cobertura vegetal do solo, obtidos via imagens de satélite, mapas digitalizados e Modelo Digital de Elevação.

Pessoa et al. (1997) destacaram que, muitas vezes, utilizam-se modelos com grande número de parâmetros, o que dificulta a execução de sua calibração. Deste modo, devem-se evidenciar os parâmetros mais sensíveis ao modelo e calibrar aqueles considerados variáveis, assim como inserir aqueles considerados fixos (de acordo com os valores encontrados na literatura).

Segundo Collischonn (2001), os parâmetros fixos são considerados aqueles que têm valores que podem ser medidos (geralmente são valores constantes) ou pelos quais o modelo é pouco sensível a suas variações (dentro de um intervalo de variação esperado), o que não exerceia grande influência nos resultados obtidos. Os parâmetros calibráveis, por sua vez, são aqueles que são alterados em cada aplicação do modelo, visando um ajuste adequado entre os dados observados e calculados. Dentre os parâmetros citados (fixos e calibráveis) cabe destacar aqueles utilizados no MGB, como descreve o mesmo autor:

a) Parâmetros fixos:

- **Albedo:** é definido como a parcela da radiação solar refletida por uma superfície ou objeto e varia principalmente devido aos diferentes níveis de nuvens, neve, gelo, vegetação e mudanças na superfície da terra. Em áreas de cobertura vegetal, por exemplo, o albedo pode variar de acordo com características como: tipo de vegetação, umidade, ângulo de elevação solar, etc. Neste sentido, áreas com cobertura vegetal mais densa têm menor índice de albedo do que áreas com vegetação menos densa, ou seja, áreas florestadas têm albedo mais baixo do que áreas recobertas com outro tipo de cobertura. Os valores de albedo encontrados na literatura são bastante confiáveis, com valores como visualizados na **Tabela 01**.

Tabela 01 – Valores típicos de albedo para diferentes tipos de cobertura da superfície

Cobertura	Albedo
Floresta	0,11 a 0,16
Cerrado	0,13 a 0,18
Campo, pastagem	0,20 a 0,26
Agricultura	0,20 a 0,26
Solo exposto (seco)	0,35
Solo exposto (úmido)	0,10
Água	0,08

Fonte: COLLISCHONN (2001).

No modelo hidrológico, este é um parâmetro fundamental na representação de mudanças do uso da terra, pois define a energia que está disponível para o processo de evapotranspiração. O albedo é considerado pelo uso de valores médios.

- **Índice de área foliar (IAF):** é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação. Dados obtidos na literatura permitem afirmar que o parâmetro IAF tem valores compatíveis com aqueles apresentados na **Tabela 02**.

Tabela 02 – Valores típicos de IAF para diferentes tipos de cobertura da superfície

Cobertura	IAF
Floresta	6 a 9
Cerrado	0,4 a 1
Campo, pastagem	2 a 3
Agricultura (preparo do solo)	0
Agricultura (desenvolvimento máximo)	6

Fonte: COLLISCHONN (2001).

As variações não são muito grandes e estes valores são relativamente confiáveis, dada a sua repetição em diversas medições e estimativas apresentadas na literatura. O autor considera que a maior fonte de incerteza para este parâmetro é a classificação de uso da terra, que pode ser realizada de forma incorreta e inadequada. Outro problema apontado se refere a mudança gradual entre os tipos de vegetação. As classes distintas de cobertura vegetal (cerradão, cerrado, campo cerrado, campo sujo, etc.), por exemplo, ao serem agrupadas em uma classe única (cerrado) refletem em uma discrepância ao igualar o valor de IAF de regiões distintas. Este parâmetro pode ser medido, sendo encontrado na literatura valores típicos para determinados tipos de vegetação em valores médios mensais.

- **Resistência aerodinâmica (ra):** atua no controle da evapotranspiração. Quanto maior o seu valor, menor é o fluxo de evapotranspiração. No modelo hidrológico, a resistência aerodinâmica é relacionada à velocidade do vento e à altura média da vegetação. A resistência aerodinâmica é considerada menor em florestas, onde a altura média da vegetação é maior e intensifica a turbulência do vento. A análise de sensibilidade deste parâmetro, dentro de uma faixa de incerteza definida pelos valores de diferentes fontes bibliográficas, mostra que a resistência aerodinâmica tem pouca influência sobre os resultados.
- **Resistência superficial (rs):** atua no controle do processo de transpiração, representando “o processo do fluxo da água do solo, pelo interior da planta, até o exterior das folhas”. Quanto maior a resistência superficial, menor será o valor da

transpiração. Alguns valores da literatura existente apontam valores compatíveis com aqueles apresentados na **Tabela 03**.

Tabela 03 – Valores típicos de resistência superficial para diferentes tipos de cobertura da superfície

Cobertura	rs (s/m)
Floresta	100 a 125
Campo, pastagem	50 a 65
Agricultura (dependendo da época do ano)	40 a 200
Solo exposto	100

Fonte: COLLISCHONN (2001).

No modelo hidrológico, este parâmetro depende da disponibilidade de água no solo.

- **Coeficiente de interceptação (α):** relaciona a capacidade máxima do reservatório de interceptação ao IAF. Desta forma, a interceptação em florestas é maior do que a interceptação em campos e lavouras. Análises de sensibilidade deste parâmetro mostraram pouca influência sobre os resultados. No modelo hidrológico, este parâmetro é considerado fixo e igual a 0,2 mm, em todas as épocas do ano.
- **Altura da cobertura vegetal:** está inversamente relacionado à resistência aerodinâmica e à evaporação. Os valores adotados para a altura média da cobertura vegetal, para calcular tal resistência aerodinâmica à evapotranspiração, estão descritos na **Tabela 04**.

Tabela 04 – Altura dos tipos de cobertura vegetal

Cobertura	Altura (m)
Floresta	10
Cerrado	5
Campo, pastagem	0,5
Agricultura	0,5

Fonte: COLLISCHONN (2001).

b) Parâmetros calibráveis:

- **Capacidade de armazenamento de água do solo (Wm):** é definido como a diferença entre o conteúdo de água na capacidade de campo e no ponto de murcha. A capacidade de campo é dada pelo conteúdo de umidade retido no solo após a drenagem por gravidade e, o ponto de murcha, o conteúdo de umidade do solo abaixo do qual as plantas não se recuperam. Alguns valores de referência são comumente utilizados para definir estes parâmetros: capacidade de campo: “conteúdo de umidade do solo

submetido a uma sucção (potencial) de -33 KPa "; e ponto de murcha: "conteúdo de umidade do solo submetido a um potencial de -1.500 KPa ".

No modelo hidrológico, porém, a capacidade de armazenamento do solo é melhor entendida como a capacidade de absorver a água da chuva gerando pouco ou nenhum escoamento superficial. Em consequência disso, a melhor estimativa da capacidade de armazenamento para o modelo hidrológico é a diferença, para o mesmo tipo de solo, do conteúdo de umidade saturado e o conteúdo de umidade no ponto de murcha (COLLISHON, 2001, p. 62).

Neste sentido, o parâmetro W_m é relevante, pois influencia diretamente o balanço hídrico, já que a água retida no solo permanece disponível para a evapotranspiração enquanto não é drenada. Este parâmetro depende do tipo de solo (devido a maior ou menor capacidade de retenção de água) e, ainda, do tipo da vegetação (devido a maior ou menor profundidade das raízes das plantas e sua capacidade de recuperar a água infiltrada). Áreas com solo argiloso, por exemplo, tem maior capacidade de armazenamento do que aquelas com solo arenoso, ou seja, estes últimos são mais facilmente drenáveis.

- **Parâmetro de forma da relação entre armazenamento e saturação (b):** controla a separação de escoamento superficial até a saturação da capacidade de armazenamento do solo. Um aumento nos valores deste parâmetro faz com que um maior volume de água escoe superficialmente, e menos água infiltre no solo. No modelo hidrológico, este parâmetro deve ser considerado junto às características de uso da terra e cobertura vegetal nativa.
- **Parâmetro de drenagem sub-superficial (Kint):** controla a quantidade de água da camada de solo que é escoada sub-superficialmente. Os valores mais adequados para este parâmetro giram em torno de 4 a 40 mm/dia.
- **Parâmetro de armazenamento residual (Wc):** limita o escoamento sub-superficial e o escoamento subterrâneo. É pouco sensível e, em geral, têm seus valores fixados em 10% dos valores de W_m , não podendo ser calibrado. Eventualmente, o valor de W_c pode ser alterado para considerar a possibilidade de um retorno de água subterrânea à camada superficial de solo por fluxo ascendente. Neste caso, o parâmetro W_c pode ser calibrado ou simplesmente fixado em outro valor, de forma a permitir o fluxo ascendente da água subterrânea para a camada de solo. Os valores usuais para este parâmetro giram em torno de 0,10.

- **Parâmetro de controle da vazão durante a estiagem (Kbas):** é definido pelo parâmetro que controla a vazão durante a estiagem. Um valor mais alto implica em maior escoamento subterrâneo. Seus valores usuais giram em torno de 0,05 a 5.
- **Parâmetro de controle da curva de redução de drenagem (XL):** controla a forma da curva de redução da drenagem intermediária ou sub-superficial do solo e seus valores giram em torno de 0,67.
- **Parâmetro de controle de fluxo do reservatório subterrâneo (CAP):** controla o fluxo do reservatório subterrâneo para a camada superficial do solo ao longo do intervalo de tempo. Geralmente a possibilidade de retorno da água subterrânea para a camada de solo é desprezada, ou seja, o CAP é considerado igual a zero.
- **Outros parâmetros calibráveis do modelo - CS, CI, CB e QB:** O parâmetro CS configura a calibração da propagação superficial nas células, sendo que, no MGB, os valores sugeridos estão entre 1 e 20. O parâmetro CI, por sua vez, configura a calibração da propagação sub-superficial nas células, sendo que, neste modelo, os valores sugeridos estão entre 50 e 200. O parâmetro CB configura o retardo do reservatório subterrâneo e seu valor varia, normalmente, entre 1.200 e 8.000 horas. O parâmetro QB, por fim, configura a vazão de escoamento superficial e seus valores variam em torno de 0,01.

Os parâmetros fixos (albedo, altura da vegetação, índice de área foliar e resistência superficial) inseridos no modelo são utilizados no cálculo da evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith¹.

Além dos parâmetros calibráveis e não calibráveis aplicados ao uso do MGB, comumente também são utilizados dados de: precipitação, temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, insolação e pressão atmosférica para calcular características como as vazões dos rios de uma bacia hidrográfica (UFRGS, 2011).

A **Figura 13** esquematiza um diagrama de entrada e saída em relação aos dados citados anteriormente.

¹ Monteith desenvolveu, com base na equação de Penman, uma equação que inclui a resistência aerodinâmica e a resistência ao fluxo de vapor pela folha. A equação combinada com os termos de resistência aerodinâmica e da superfície passou a ser chamado de equação de Penman-Monteith.

Figura 13 – Diagrama esquemático de aplicação do MGB



Adaptado de: UFRGS (2011).

De acordo com Collischonn (2001), a calibração manual do MGB é realizada considerando-se a análise visual dos hidrogramas e os valores de funções objetivo que procuram quantificar a qualidade do ajuste dos hidrogramas, sendo elas: o coeficiente de Nash (R^2), o coeficiente de Nash para os logaritmos das vazões (R_{log}) e a relação entre volumes medidos e calculados (ΔV). Para a calibração automática, são considerados apenas os valores das funções objetivo. A definição destas funções objetivo é dada, respectivamente, nas **Equações 2, 3 e 4**, a seguir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(Q_{obs}(t) - Q_{cal}(t))^2}{\sum(Q_{obs}(t) - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (2)$$

$$R_{log} = 1 - \frac{\sum(\ln(Q_{obs}(t)) - \ln(Q_{cal}(t)))^2}{\sum(\ln(Q_{obs}(t)) - \bar{\ln}(Q_{obs}(t)))^2} \quad (3)$$

$$\Delta V = \frac{\sum(Q_{cal}(t)) - \sum(Q_{obs}(t))}{\sum(Q_{obs}(t))} \quad (4)$$

Onde $Q_{obs}(t)$ é a vazão observada no tempo t e $Q_{cal}(t)$ é a vazão calculada no tempo t .

O coeficiente de Nash (R^2) tem um valor máximo igual a 1 (que corresponde a um ajuste perfeito entre vazões calculadas e observadas). O valor de R^2 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. O desempenho de um modelo é considerado adequado e bom se o valor de R^2 supera 0.75, e é considerado aceitável se o valor de R^2 fica entre 0.36 e 0.75 (COLLISCHONN, 2001).

De forma geral, o R2 traduz a eficiência de realizar previsões mais acertadas nas cheias, ou seja, em condições de vazões bastante elevadas. O Rlog, por sua vez, valoriza mais as vazões baixas que o R2, tornando-se menos sensível às cheias.

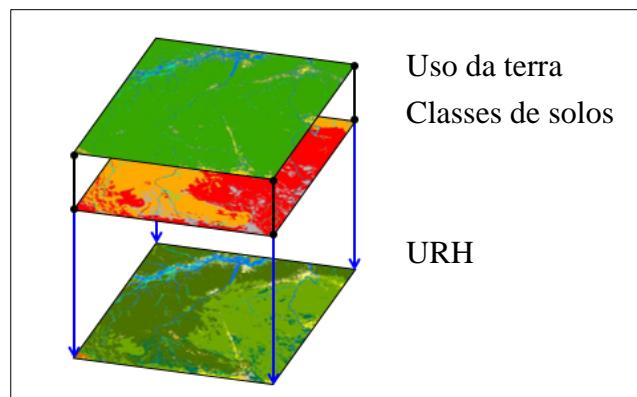
Definidos todos os parâmetros necessários e calibrado corretamente, o MGB permite o estudo do comportamento de diferentes componentes do sistema hidrológico, sendo capaz de estimar séries de vazão a partir de dados de precipitação, prever a vazão de cheias e avaliar o seu impacto, estimar os efeitos de cenários futuros do uso da terra, alterações climáticas e uso dos recursos hídricos nas bacias em estudo, entre várias outras aplicações, no sentido de avançar as técnicas e metodologias de previsão hidrológica.

Assim, no sentido de realizar algumas destas diversas aplicações em estudos hidrológicos

O modelo MGB-IPH subdivide a bacia em várias bacias menores, com tamanho a critério do usuário [...]. O tipo de vegetação e uso da terra dentro de cada mini-bacia é categorizada dentro de uma ou mais classes de acordo com a escolha do usuário. Para reduzir o custo computacional, foi utilizada a abordagem da Unidade de Resposta Hidrológica (URH), utilizada também em outros modelos hidrológicos (UFRGS, 2011).

As URH's (conforme esquema da **Figura 14**) são consideradas uma combinação única de classificação de solo e classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa, com o mesmo comportamento hidrológico em todos os pontos em que estejam localizadas na bacia hidrográfica. Todos os parâmetros do modelo estão relacionados a esta unidade, onde URH's distintas apresentam características bastante próprias e, consequentemente, respostas hidrológicas distintas (UFRGS, 2011).

Figura 14 – URH's: áreas de comportamento hidrológico similar

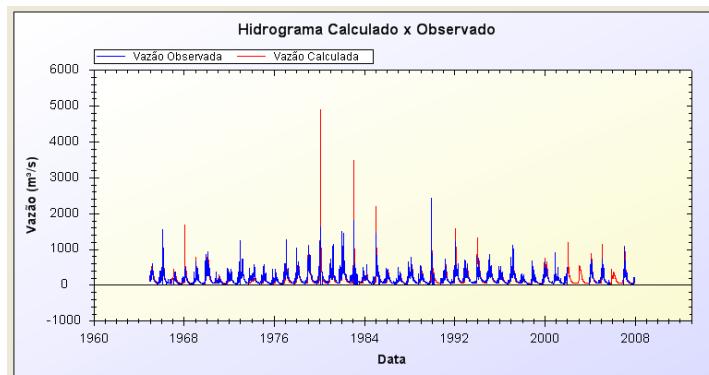


Fonte: UFRGS (2011).

Na definição das URH's é importante salientar como unidades distintas umas das outras, as áreas que possuem características bastante diferentes, e, nas quais se espera que a resposta hidrológica seja também distinta. Por exemplo, é recomendado que sejam diferenciadas áreas que tendem a gerar escoamento superficial (regiões de solos rasos ou de solos saturados) das áreas que não tendem a gerar escoamento superficial (regiões planas, com solos profundos, com alto percentual de areia e lençol freático baixo).

Os resultados de algumas simulações realizadas pelo MGB podem ser visualizados a partir de hidrogramas e curvas de permanência. O hidrograma é um gráfico das vazões ao longo de um período de observação, mostrado na ordem cronológica de ocorrência. Um exemplo ilustrativo de hidrograma pode ser observado na **Figura 15**.

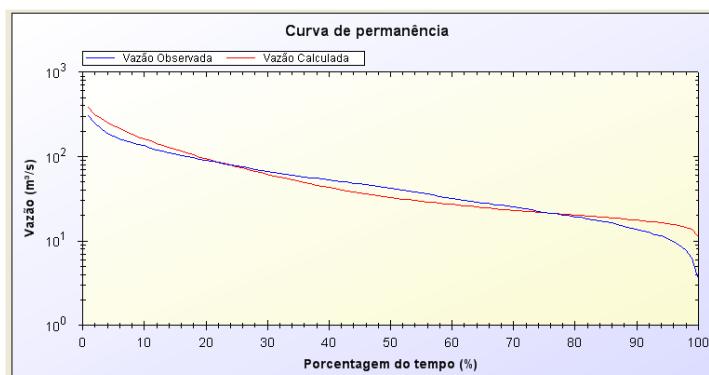
Figura 15 – Exemplo de hidrograma



Fonte: UFRGS/MGB (2011).

A curva de permanência, por sua vez, indica a porcentagem de tempo que um determinado valor de vazão foi igualado ou ultrapassado durante o tempo de observação. O somatório das frequências é expresso em termos de percentagem de tempo. Um exemplo ilustrativo de curva de permanência pode ser observado na **Figura 16**.

Figura 16 – Exemplo de curva de permanência



Fonte: UFRGS/MGB (2011).

Podem ser encontrados diversos estudos com a aplicação do MGB a exemplo do estudo de Collischonn (2001), como já mencionado anteriormente. No estudo intitulado ‘Simulação hidrológica de grandes bacias’ o mesmo autor propôs, como objetivo geral, o aprimoramento de um modelo de grandes bacias com vias de suprir a ausência de modelos em escala intermediária entre os modelos de transformação de chuva-vazão adaptados para bacias de pequeno porte e os modelos de circulação global, adaptados para a escala global. Além do desenvolvimento do modelo hidrológico MGB, o mesmo autor aplicou o modelo em algumas simulações, como por exemplo, das bacias do rio Taquari-Antas/RS e rio Taquari/MS.

Para a bacia do rio Taquari-Antas/RS o modelo foi testado, segundo o autor, em uma aplicação de verificação de consequências hidrológicas em relação às mudanças de uso da terra, especialmente relacionada ao desmatamento na região, mostrando resultados coerentes com aqueles apresentados em pequenas bacias, na literatura existente. Os resultados obtidos mostraram uma estimativa de aumento no escoamento de 10 mm, para 10% de desmatamento na bacia. Para a bacia do rio Taquari/MS, o autor descreveu que o modelo representou os processos hidrológicos da bacia de forma razoável, apesar de algumas incertezas relacionadas aos dados de evapotranspiração. Salientou, no entanto, que algumas destas limitações não impedem as análises significativas sobre a hidrologia da área de estudo.

De forma geral, Collischonn (2001) considerou a aplicação do modelo como dependente da qualidade das informações de uso da terra, de caracterização dos tipos de solo e, ainda, da quantidade de informações pluviométricas disponíveis para a área estudada. O autor verificou maior qualidade do ajuste dos hidrogramas calculados e observados em locais com maior densidade de postos pluviométricos e, consequentemente, maior quantidade de dados. Nas palavras do autor

Em consequência dos bons resultados obtidos nos testes de períodos de tempo e de bacias distintas, pode-se afirmar que o modelo permite avaliar resultados e estimar vazões mínimas, médias e máximas de maneira consistente, sobre regiões muito extensas, e com um detalhamento melhor do que pode ser obtido apenas através dos dados dos postos fluviométricos (COLLISCHONN, 2001, p. 175).

Outro estudo realizado com a aplicação do modelo hidrológico MGB foi a pesquisa de SILVA (2005), intitulada ‘Previsão hidroclimática de vazão para a bacia do rio São Francisco’. Neste estudo, o MGB foi ajustado para a simulação de vazões na bacia do rio São Francisco (639.000 km²) com enfoque nas afluências dos reservatórios hidrelétricos das UHE’s Três Marias e Sobradinho. O objetivo geral do estudo abordou o aprimoramento da metodologia de integração dos modelos atmosféricos e hidrológicos (previsão hidroclimática), para a previsão de vazões

de curto prazo (14 dias) e longo prazo (até 6 meses), com a utilização do MGB, do modelo de circulação geral atmosférico (AGCM) e do modelo regional ETA, operados pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC.

Concordando com Collischonn (2001), Silva (2005) descreveu a dependência da qualidade do ajuste do modelo à qualidade dos dados disponíveis, incluindo a distribuição espacial e temporal dos mesmos e revela que, para a bacia do rio São Francisco, o ajuste do modelo foi considerado bom, embora tenha constatado algumas deficiências importantes de dados pluviométricos, principalmente nas regiões semi-áridas do médio e baixo São Francisco. De forma geral, o MGB, de acordo com o mesmo autor, simulou adequadamente as vazões na bacia do rio São Francisco. Foram feitas previsões de vazão de curto e longo prazo, sendo que em ambas, os resultados foram considerados bons, com a recomendação que (a longo prazo) seja explorado um período extenso o suficiente para incluir anos com vazões abaixo e acima da média, situação esta que permitiria avaliar melhor o desempenho dos modelos na estimativa de anos com valores extremos de estiagem ou cheias.

Por fim, outro exemplo de aplicação do MGB está apresentado no estudo de Caram (2010) intitulado ‘Mudanças no uso e cobertura do solo e resposta hidrológica da bacia do rio Piracicaba’. Este trabalho teve, como objetivo geral, a avaliação das mudanças no uso e cobertura do solo em um período de 37 anos (1972 a 2008) na resposta hidrológica da bacia do rio Piracicaba/SP. Os resultados desta pesquisa mostraram que o MGB ajustou-se bem à bacia do rio Piracicaba para a simulação de vazões e a autora evidenciou que o modelo pode ser considerado um importante instrumento para o manejo dos recursos hídricos da bacia em estudo.

O modelo foi definido com sensibilidade em relação às mudanças no uso e cobertura do solo, apontando a ocorrência de redução das vazões máximas, mínimas e médias anuais na bacia considerada. Foram simulados ainda, neste estudo, cenários alternativos de mudanças no uso e cobertura do solo, sendo observado, por exemplo, que o aumento da área agrícola na bacia resultou em um aumento da vazão média e, o aumento da área correspondente a categoria de pastagem, resultou em uma redução da vazão média para a mesma área de estudo.

3 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO

O rio Araguari é afluente da margem esquerda do rio Paranaíba, nasce no Parque Nacional da Serra da Canastra, no município de São Roque de Minas e percorre 475 km até a sua foz, no Rio Paranaíba (CBH-ARAGUARI, 2011). A altitude da nascente compreende, aproximadamente, 1300m e a altitude da foz compreende, aproximadamente, 500m.

A BHRA possui uma área de 22.146,23 km² e abrange 20 municípios (parcial ou totalmente) do oeste do Estado de Minas Gerais, a saber: Araguari, Araxá, Campos Altos, Ibiá, Indianópolis, Iraí de Minas, Nova Ponte, Patrocínio, Pedrinópolis, Perdizes, Pratinha, Rio Paranaíba, Sacramento, Santa Juliana, São Roque de Minas, Serra do Salitre, Tapira, Tupaciguara, Uberaba e Uberlândia.

O clima da BHRA possui sazonalidade bem definida, com ocorrência de um período seco (abril a setembro) e um período chuvoso (outubro a março). No entanto, como aponta Rosa et al. (2004, p. 80), “o comportamento do clima, ao longo do ano, depende da dinâmica dos sistemas de circulação atmosférica que atuam nos diferentes períodos do ano”. Os totais anuais de precipitações anuais, nesta área, podem variar de 1.500 a 1.600 mm (EPE, 2006).

Para as temperaturas, nas localidades com altitudes mais elevadas (municípios de Tapira e Araxá), verifica-se um predomínio de médias anuais inferiores a 21°C. Em meses mais frios (junho/julho), as médias anuais ficam entre 17 e 18°C e, em meses mais quentes (outubro/novembro), estão entre 20 e 22°C (ROSA et al., 2004).

O mês mais quente, outubro, corresponde ao início da Primavera, quando ocorre a maior incidência solar na região, com alta disponibilidade de energia radiante. Considerando o grau de ressecamento da paisagem, com pouca umidade no solo para ser evaporada, a maior parte da radiação líquida é transformada em fluxo de calor sensível. O mês mais frio é julho, embora ainda exista umidade no ambiente para consumir o excesso de radiação líquida. Essa análise confirma o caráter tropical do clima regional, com elevada disponibilidade energética para a realização dos processos naturais (BRASIL, 2006).

A geologia do oeste do Estado de Minas Gerais, área de inserção da bacia em estudo, é embasada, em parte, por cobertura sedimentar e magmatitos básicos de idade Mesozóica e Cenozóica e, ainda, por rochas metamórficas e magmáticas de idade Pré-Cambriana (NISHIYAMA; BACCARO, 1989).

A geomorfologia do relevo da BHRA é caracterizada

[...] exibindo vastas superfícies aplainadas, cortando rochas cristalinas e sedimentares, constituindo os extensos planaltos tabulares, com topos aplainados e geralmente limitados por escarpas erosivas resultantes de erosão diferencial entre as formações Marília e Adamantina ou mantidas pelos derrames basálticos, como nas bordas das vertentes voltadas para os rios Araguari, Paranaíba e Grande (BACCARRO et al., 2004).

A paisagem característica da BHRA é formada por relevos fortemente ondulados e apresentam altitudes médias que podem variar de cerca de 800 a 1.000 m. Os solos são, em suas maiores ocorrências, identificados por classes de Latossolo e Cambissolos, destacados em suas diversas tipologias. A cobertura vegetal nativa é representada, predominantemente, pela cobertura de Savana (Cerrado), Floresta Estacional Semideciduosa e Áreas de Tensão Ecológica (Contato Savana-Floresta Estacional), destacando-se áreas de matas densas com árvores de média altura nas colinas e florestas compactas encontradas ao longo dos cursos d'água da bacia (BRASIL, 2006).

A BHRA é constituída, exclusivamente, por municípios mineiros, com destaque para o município de Uberlândia com população igual a 646.673 habitantes, seguido por Uberaba, com 315.360 habitantes. Com portes populacionais médios, situam-se Araguari, Araxá e Patrocínio, respectivamente, com 114.970, 99.986 e 87.178 habitantes. Todos esses municípios situam-se na região denominada Triângulo Mineiro, que se caracteriza como o polo econômico mais dinâmico do Estado de Minas Gerais (IBGE, 2013).

A economia local é bastante diversificada, abrangendo áreas utilizadas para a criação de bovinos, suínos, galináceos e grandes regiões de monocultura (cana-de-açúcar, soja, milho, algodão, café) (EPE, 2006). Para Soares et al. (2004, p. 131)

O desenvolvimento das atividades econômicas na bacia do Rio Araguari, em especial aquelas de caráter urbano, está associado à expansão industrial, com a criação de um complexo agroindustrial processador de grãos, carnes, frutas, vegetais e laticínios, e também por indústrias para a agricultura, isto é, aquelas associadas ao segmento da biotecnologia animal de insumos agrícolas; e também à diversificação e ampliação do setor terciário, marcado pelo comércio atacadista e varejista e pela prestação de serviços de apoio. Cumpre registrar que estas atividades encontram-se concentradas nas cidades de maior porte, a exemplo de Uberlândia, Uberaba, Araguari, Araxá e Patrocínio.

Sem deixar de mencionar a participação da energia hidráulica na matriz energética brasileira com diversas usinas hidrelétricas instaladas nos cursos d'água da BHRA. Dentre as principais UHE's na bacia, podemos destacar, conforme ANA (2010) e Brasil (2006):

- UHE Itumbiara;

- UHE Nova Ponte;
- UHE's Amador Aguiar I e II; e
- UHE Miranda.

Uma grande cadeia de reservatórios, como a verificada no curso do rio Araguari, tem relevante significado sócio-econômico, ecológico e hidrológico para a região. A partir da implementação destas usinas hidrelétricas, ocorrem possíveis influências no rendimento hidrológico da bacia em estudo.

De maneira geral, de acordo com os dados de Brasil (2006), a disponibilidade hídrica específica da bacia pode alcançar valores máximos da ordem de 19 l/s/km² na BHRA.

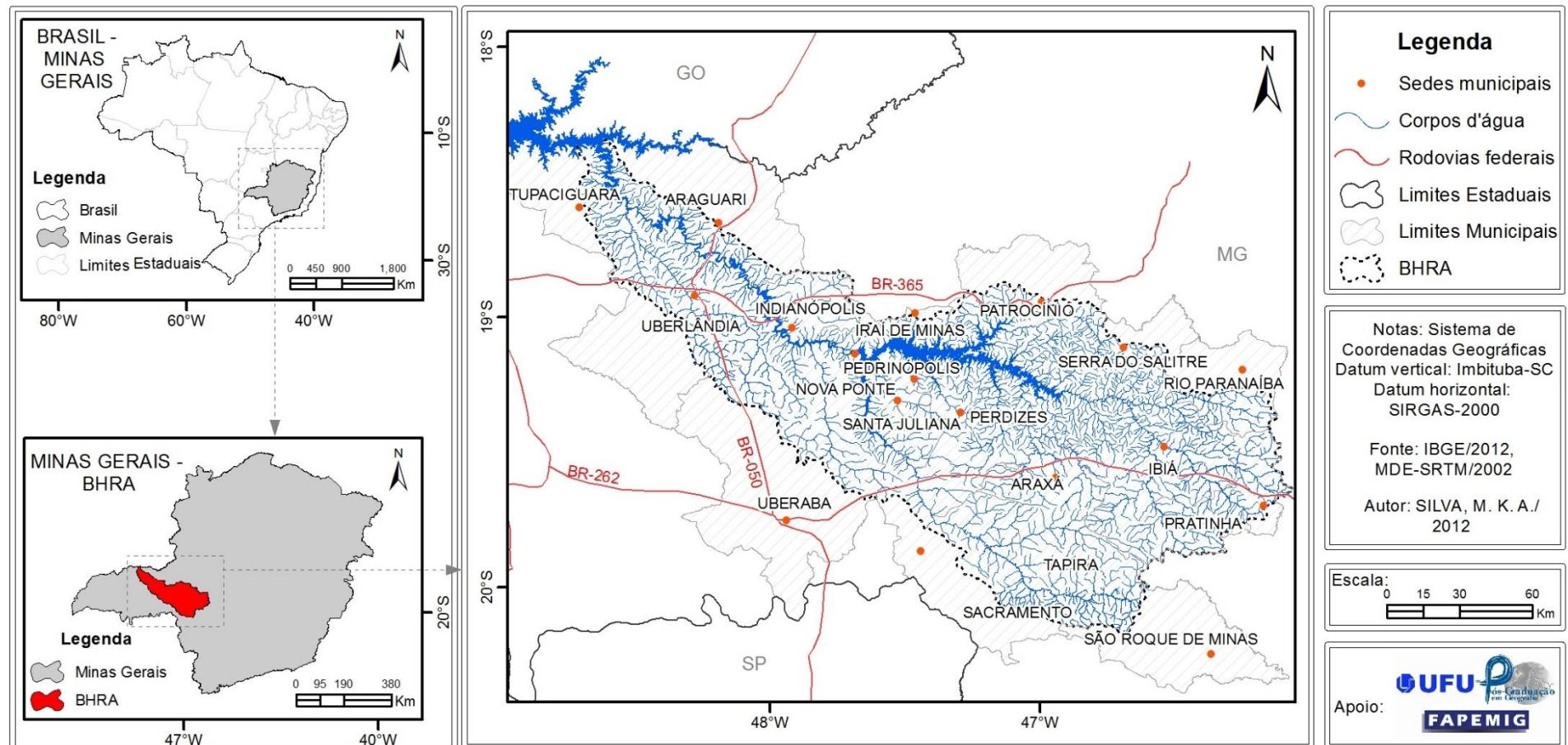
Estudos realizados pelo IGAM e FEAM (1997 a 2005), através do Projeto Água de Minas (quando foram realizadas coletas e análises físico-químicas, bacteriológicas e toxicológicas), demonstram que toda essa quantidade de água presente na bacia apresenta Índice de Qualidade da Água (IQA) ruim (de 25 a 50) ao longo dos anos, caracterizando a má qualidade do rio Paranaíba e do rio Araguari a jusante de cidades como em Patos de Minas e, no rio Uberabinha, a jusante da cidade de Uberlândia.

No que se refere aos usos da água consuntivos e não consuntivos, a BHRA apresenta demanda do uso de suas águas para as mais diversas finalidades, dentre elas: o consumo agroindustrial, aquicultura, consumo humano, dessedentação de animais, disposição de rejeitos, geração de energia, irrigação, consumo industrial, lavagem de veículos, mineração, pesquisa mineral, recreação, regularização de vazão, transposição de vazão, travessia rodo-ferroviária e urbanização.

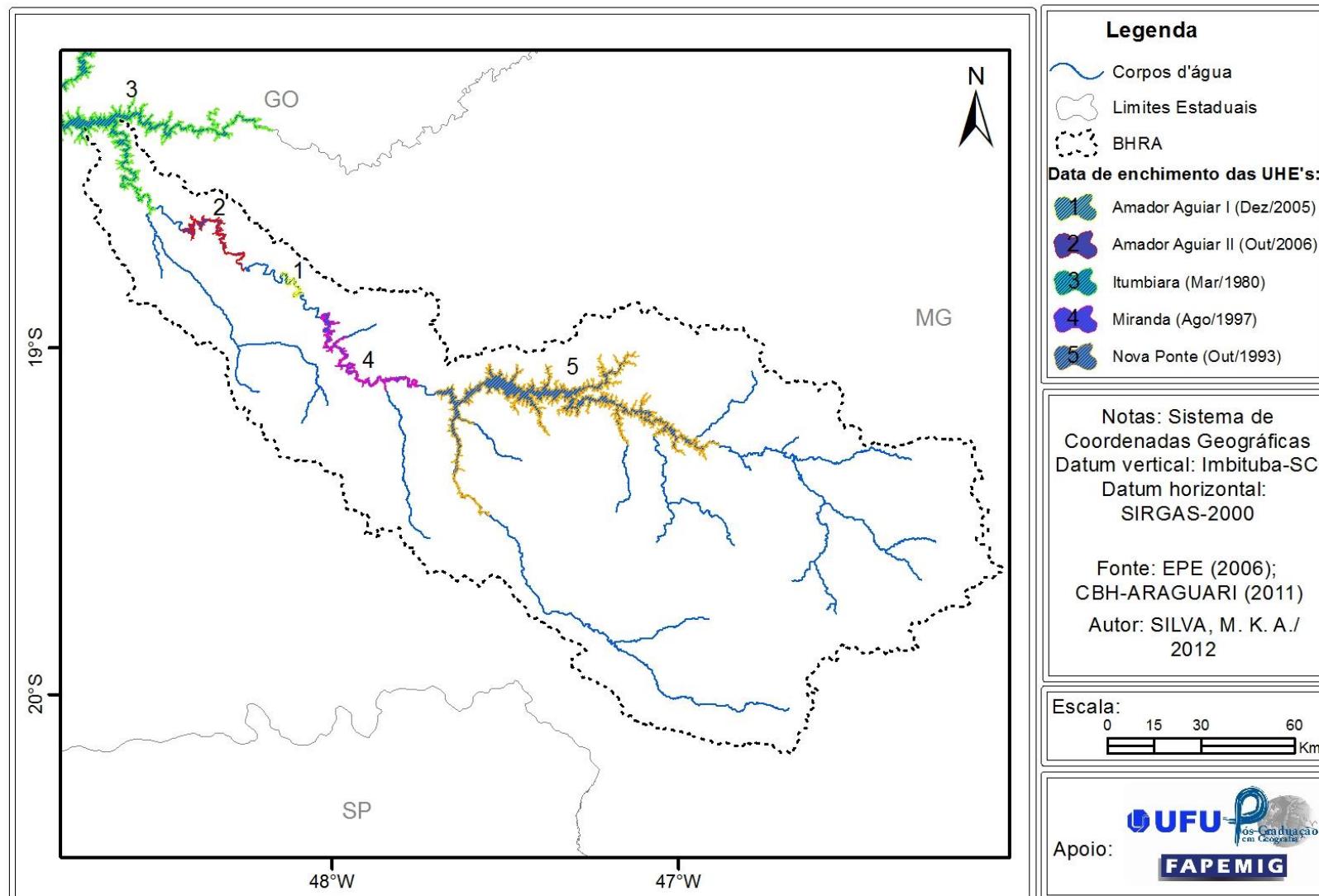
A BHRA está inserida na Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, e sua localização geográfica é definida pelo intervalo das coordenadas geográficas de 18°20' e 20°10' de latitude sul e 46°00' e 48°50' de longitude a oeste de Greenwich (**Mapa 01**).

As UHE's presentes na BHRA podem ser visualizadas conforme estão identificadas e localizadas no **Mapa 02**.

Mapa 01 – Localização geográfica da área de estudo



Mapa 02 – Principais UHE's da BHRA



4 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

4.1 Materiais

4.1.1 Fonte de dados

A escolha dos dados utilizados levou em conta uma série de fatores no sentido de obter os materiais mais apropriados para a elaboração e desenvolvimento da pesquisa.

A obtenção dos dados espaciais (imagens de satélite, mapas temáticos, cartas topográficas, etc.) a partir de órgãos que disponibilizam gratuitamente esse material, reduz consideravelmente custos e tempo de elaboração e/ou aquisição deste material. A escolha da escala e formato de dados utilizados levou em conta ainda os objetivos da pesquisa e a extensão da área estudada.

A partir de um critério de seleção dos dados disponíveis da área em estudo foram utilizados:

- Dados vetoriais (hidrografia, malha viária, limites das unidades federativas) disponibilizados pelo IBGE, IGAM, entre outros;
- Dados vetoriais da classificação de solos, geomorfologia e geologia da BHRA (CBH-ARAGUARI, 2011);
- Dados vetoriais do uso da terra e cobertura vegetal nativa da BHRA (ROSENDO, 2010; ROSA, 2012), ajustados a partir de imagens do sensor MSS/Landsat 2, para o ano de 1975 e, das imagens do sensor TM/Landsat 5, para o ano de 2010;
- Modelo Digital de Elevação, obtido pela missão SRTM (2002), da área que recobre a bacia em estudo, com resolução espacial de 90 m;
- Dados hidrológicos diários (vazão, chuva, temperatura, umidade relativa, velocidade do vento, insolação, pressão atmosférica) disponibilizados pelas séries históricas do banco de dados da ANA (1975 a 2010);
- Trabalhos acadêmicos, livros, revistas periódicas especializadas, artigos diversos e páginas eletrônicas pertinentes ao tema da pesquisa.

Os dados vetoriais de hidrografia e malha viária da área de estudo foram adquiridos a partir das cartas topográficas (SE-22, SE-23 e SF-23) que compõem a Carta Internacional do Mundo ao

Milionésimo (escala de 1:1000000), disponibilizadas para download, pelo IBGE, a partir da URL: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapeamento_sistematico/topograficos/escala_1000mil/>.

Os dados vetoriais de uso da terra e cobertura vegetal nativa, da BHRA, ano de 1975 e 2010, foram adquiridos a partir dos estudos de Rosendo (2010) e de Rosa (2012). Os dados originais adquiridos foram ajustados a partir das imagens do sensor MSS/Landsat 2 (1975) e das imagens do sensor TM/Landsat 5 (2010). Estas imagens foram obtidas a partir do Catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, via internet, a partir da URL: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>.

Os arquivos vetoriais de classes de solos, unidades geomorfológicas e geologia foram adquiridos junto ao Plano Diretor da BHRA, disponibilizados pelo CBH-ARAGUARI para os usuários, via internet, a partir da URL:

<http://cbharaguari.com.br/site/modules/mastop_publish/?tac=Plano_Diretor>.

Os dados de altimetria da BHRA foram extraídos do Modelo Digital de Elevação (MDE) correspondente a área de estudo. O MDE da área de estudo foi obtido a partir dos estudos realizados pelo Laboratório de Geoprocessamento do Centro de Ecologia, da UFRGS, que processou e organizou mosaicos com o MDE de todos os estados brasileiros e os disponibilizou para os usuários, via internet, a partir da URL:

<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/SRTM_BR.php>. Os dados altimétricos utilizados para este estudo foram elaborados pelo projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), uma missão espacial realizada pela Agência Nacional de Inteligência Geoespacial e pela NASA, dos Estados Unidos (WEBER, 2004).

Os dados hidrológicos foram coletados a partir das estações meteorológicas da Agência Nacional de Águas (ANA), operada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Os dados disponibilizados por essa instituição estão disponíveis pelo sistema ‘Hidroweb’, como já comentado anteriormente, a partir da URL: <http://hidroweb.ana.gov.br>.

Foram encontradas dezenas de estações de referência hidrometeorológica a partir da ANA, que disponibilizaram dados de vazão, chuva e clima (temperatura, evaporação, insolação, umidade relativa do ar, pressão atmosférica). Foram utilizados os dados das séries históricas, consultados para a BHRA, e disponibilizados em formato de Arquivo Acces (.mdb) e Arquivo Texto (.txt). Dentre as estações pluviométricas, fluviométricas e climatológicas pesquisadas, foram selecionadas aquelas com quantidade de dados mais representativa para o período de 1975 a 2010, dentro ou na área de influência/entorno da bacia em estudo.

Os dados diários de vazão, utilizados na pesquisa, foram coletados a partir dos dados disponibilizados pela ANA, de 8 estações fluviométricas, conforme identificadas na **Tabela 05**.

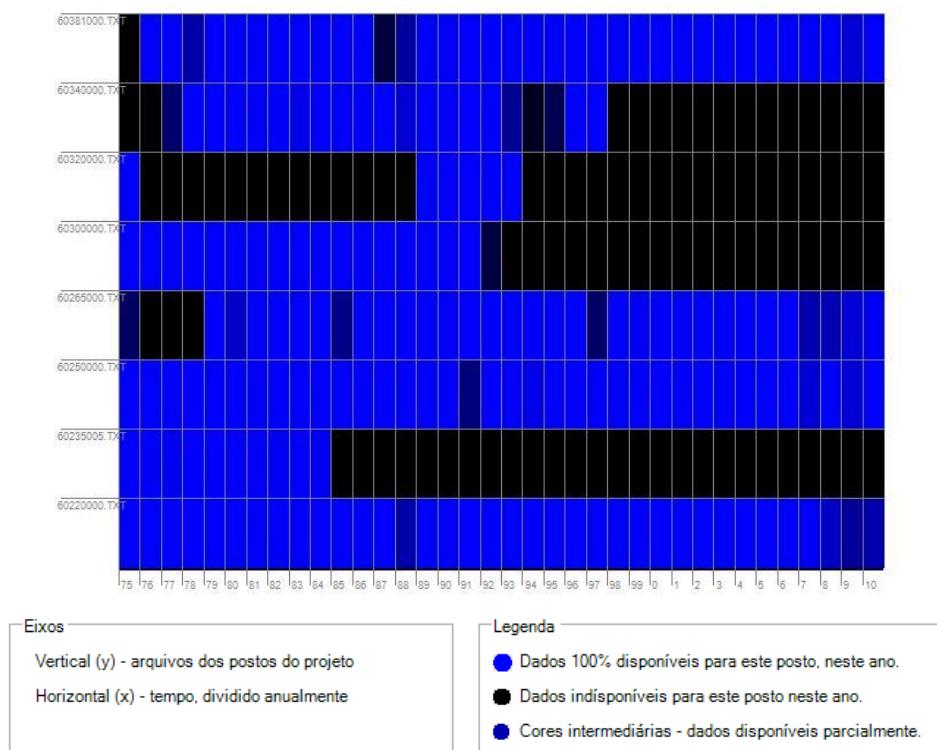
Tabela 05 – Estações fluviométricas (dados de vazão)

Identificador (Mapa 03)	Código	Nome	Latitude (GMS)	Longitude (GMS)
1	60220000	DESEMBOQUE	-20 00 50	-47 01 04
2	60250000	FAZ. SÃO MATEUS	-19 31 03	-46 34 12
3	60381000	FAZENDA LETREIRO	-18 59 18	-48 11 25
4	60265000	IBIA	-19 28 30	-46 32 31
5	60300000	PONTE DA ANTINHA	-19 19 00	-47 02 00
6	60320000	PONTE JOÃO CANDIDO	-19 09 00	-47 12 00
7	60235005	PONTE ST. JULIANA	-19 18 00	-47 39 00
8	60340000	PORTO SARACURA	-19 04 07	-47 56 03

Fonte: ANA (2011).

A disponibilidade de dados de vazão para as estações indicadas, no período de estudo da pesquisa, pode ser visualizada a partir do gráfico de Gantt (**Figura 17**).

Figura 17 – Gráfico de disponibilidade temporal de dados de vazão da BHRA (1975-2010)



Fonte: Hidroweb/ANA (2012).

Os dados diários de chuva, utilizados na pesquisa, foram coletados a partir dos dados disponibilizados pela ANA, de 51 estações pluviométricas, conforme identificadas na **Tabela 06**.

Tabela 06 – Estações pluviométricas (dados de chuva)

Identificador (Mapa 03)	Código	Nome	Latitude (GMS)	Longitude (GMS)
1	1848010	ARAGUARI	-18 39 04	-48 12 33
2	1946015	ARAXA 83579	-19 34 00	-46 56 00
3	2045023	BAMBUI 83582	-20 00 00	-45 59 00
4	1945002	BARRA DO FUNCHAL	-19 23 41	-45 53 04
5	1848008	BRILHANTE	-18 29 32	-48 54 10
6	1946022	CARMO DO PARANAIBA	-19 00 12	-46 18 22
7	1847007	CASCALHO RICO	-18 34 44	-47 52 45
8	1847004	CATALAO 83526	-18 10 13	-47 57 27
9	1846002	CHARQUEADA DO PATROCINIO	-18 55 48	-46 58 00
10	1947002	CONQUISTA	-19 55 49	-47 32 34
11	1847008	COROMANDEL	-18 28 16	-47 11 18
12	1848007	CORUMBAZUL	-18 14 31	-48 51 30
13	2046009	DELFINOPOLIS	-20 20 52	-46 50 45
14	2047037	DESEMBOQUE	-20 00 49	-47 01 09
15	1847001	ESTRELA DO SUL	-18 44 17	-47 41 24
16	2046007	FAZENDA AJUDAS	-20 06 06	-46 03 18
17	1848004	FAZENDA CACHOEIRA	-18 41 54	-48 46 55
18	2047106	FAZENDA DA MATA	-20 14 00	-47 20 00
19	1948006	FAZENDA LETREIRO	-18 59 18	-48 11 25
20	1945015	FAZENDA NOVO HORIZONTE	-19 43 00	-45 56 00
21	1948005	FAZENDA PARAISO	-19 14 49	-48 33 58
22	2046025	FAZENDA SAMBURA	-20 08 51	-46 17 05
23	1946007	FAZENDA SAO MATEUS	-19 31 00	-46 34 16
24	1846004	GUIMARANIA	-18 50 59	-46 48 03
25	1946004	IBIA	-19 28 30	-46 32 31
26	2047002	IGARAPAVA	-20 02 00	-47 45 00
27	1847010	IRAI DE MINAS	-18 58 55	-47 27 27
28	1947008	LAGOA	-19 52 43	-47 21 17
29	1848000	MONTE ALEGRE DE MINAS	-18 52 20	-48 52 10
30	1847000	MONTE CARMELO	-18 43 14	-47 31 28
31	1846006	PANTANO	-18 33 34	-46 48 01
32	1846018	PATOS DE MINAS 83531 (PCD)	-18 36 00	-46 31 00
33	1947007	PERDIZES	-19 20 55	-47 17 43
34	1947006	PONTE JOAO CANDIDO	-19 08 48	-47 11 05
35	1848003	PONTE MELO VIANA	-18 26 00	-48 35 00
36	1947019	PORTO SARACURA	-19 04 07	-47 56 03
37	1946010	PRATINHA	-19 45 05	-46 24 43
38	2047005	RIFAINA	-20 05 00	-47 26 00
39	1946005	SALITRE	-19 04 14	-46 47 45
40	1947001	SANTA JULIANA	-19 18 57	-47 31 34
41	1846007	SANTANA DE PATOS	-18 50 28	-46 33 03
42	1946009	SAO GOTARDO	-19 18 55	-46 02 40
43	1946008	SERRA DO SALITRE	-19 06 46	-46 41 18
44	1946011	TAPIRA	-19 55 37	-46 49 31

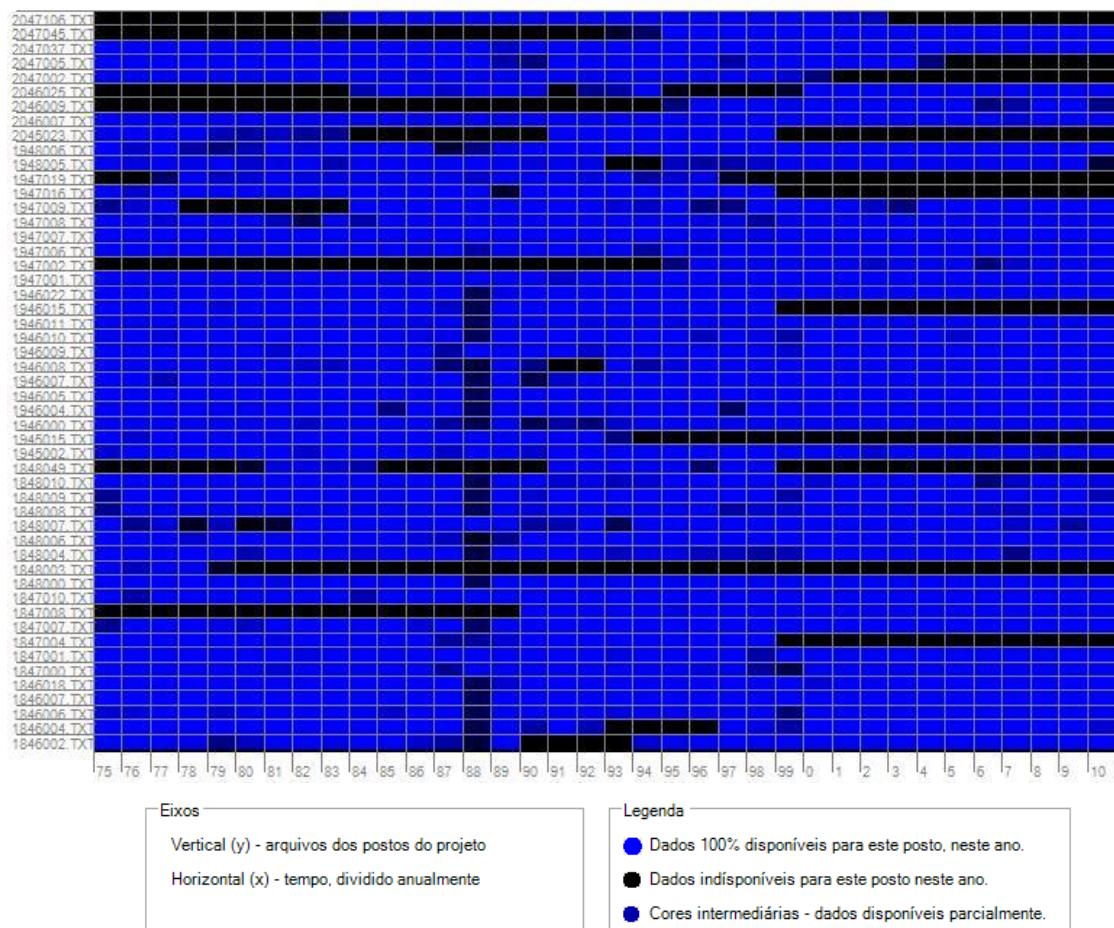
(Continua...)

Identificador (Mapa 03)	Código	Nome	Latitude (GMS)	Longitude (GMS)	(Conclusão)
45	1946000	TAPIRAI-JUSANTE	-19 52 46	-46 01 58	
46	1848006	TUPACIGUARA	-18 36 01	-48 41 26	
47	1947016	UBERABA 83577	-19 46 00	-47 56 00	
48	1848049	UBERLANDIA 83527	-18 55 00	-48 17 00	
49	2047045	USINA PEIXOTO	-20 17 00	-47 03 00	
50	1848009	XAPETUBA	-18 51 45	-48 35 02	
51	1947009	ZEMLANDIA	-19 32 15	-47 27 11	

Fonte: ANA (2011)

A disponibilidade de dados de chuva para as estações indicadas, no período de estudo da pesquisa, pode ser visualizada a partir do gráfico de Gantt, conforme **Figura 18**.

Figura 18 – Gráfico de disponibilidade temporal de dados de chuva da BHRA (1975-2010)



Fonte: Hidroweb/ANA (2012).

Os dados diários climáticos utilizados na pesquisa (temperatura, umidade relativa, velocidade do vento, insolação, pressão atmosférica) foram coletados a partir dos dados disponibilizados

pela ANA, de 4 estações climatológicas (estas de responsabilidade e operacionadas pelo INMET), conforme identificadas na **Tabela 07**.

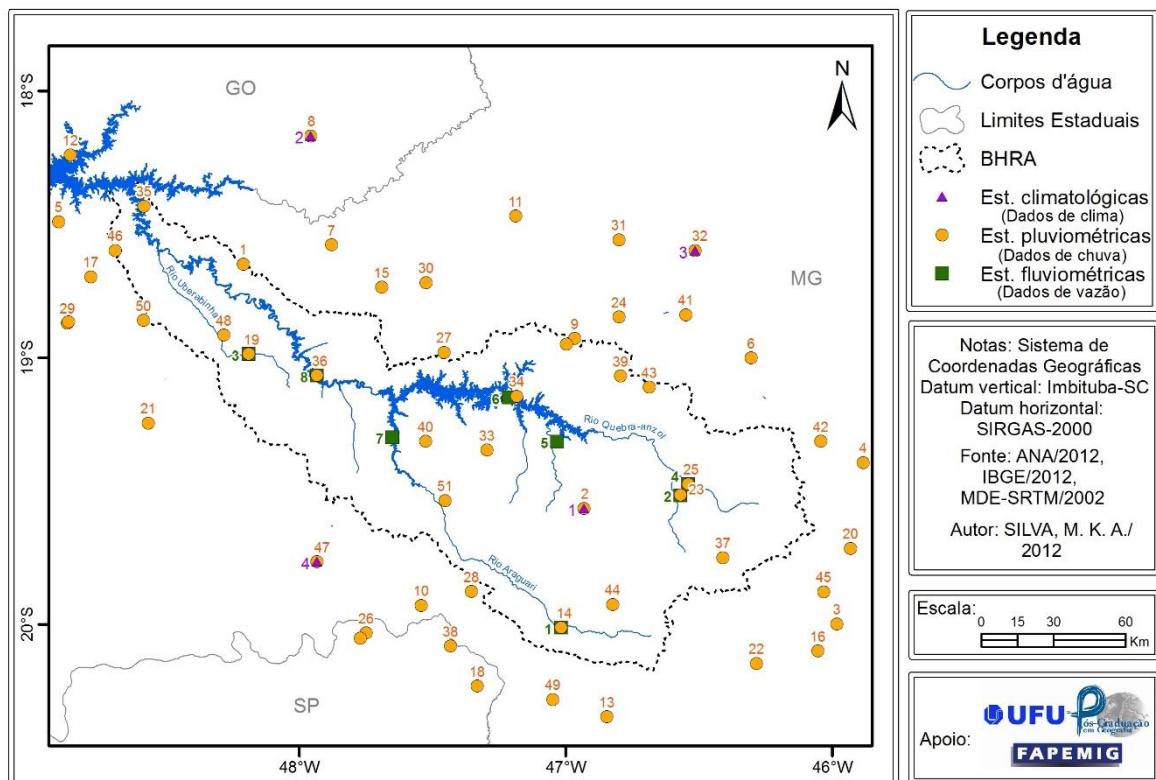
Tabela 07 – Estações climatológicas (dados de clima)

Identificador (Mapa 03)	Código	Nome	Latitude (GMS)	Longitude (GMS)
1	1946015	ARAXÁ 83579	-19 34 00	-46 56 00
2	1847004	CATALÃO 83526	-18 10 13	-47 57 27
3	1846018	PATOS DE MINAS 83531 (PCD)	-18 36 00	-46 31 00
4	1947016	UBERABA 83577	-19 46 00	-47 56 00

Fonte: ANA (2011).

O **Mapa 03** mostra como as estações (pluviométricas, fluviométricas e climatológicas) utilizadas para a coleta de dados hidrometeorológicos, a partir da ANA, estão espacializadas ao longo da área da BHRA e sua área de influência (entorno da bacia).

Mapa 03 – Distribuição espacial das estações climatológicas, pluviométricas e fluviométricas (ANA) na BHRA



De forma sintetizada, a **Tabela 08**, mostra os dados espaciais utilizados nesta pesquisa.

Tabela 08 – Banco de dados espaciais para a BHRA

Dados	Formato	Fonte	Uso no MGB
Modelo Digital de Elevação	Raster	SRTM - UFRGS	Obrigatório
Hidrografia	Vetorial (linhas)	SRTM - UFRGS	Opcional
Estações pluviométricas	Vetorial (pontos)	ANA	Obrigatório
Estações fluviométricas	Vetorial (pontos)	ANA	Obrigatório
Estações climatológicas	Vetorial (pontos)	ANA	Obrigatório
Uso da terra e cobertura vegetal nativa	Vetorial (polígonos)	Imagen de satélite	Obrigatório
Solos, Geomorfologia e Geologia	Vetorial (polígonos)	CBH-ARAGUARI	Obrigatório

Autor: SILVA, M.K.A. (2014).

4.1.2 *Softwares* de aplicação

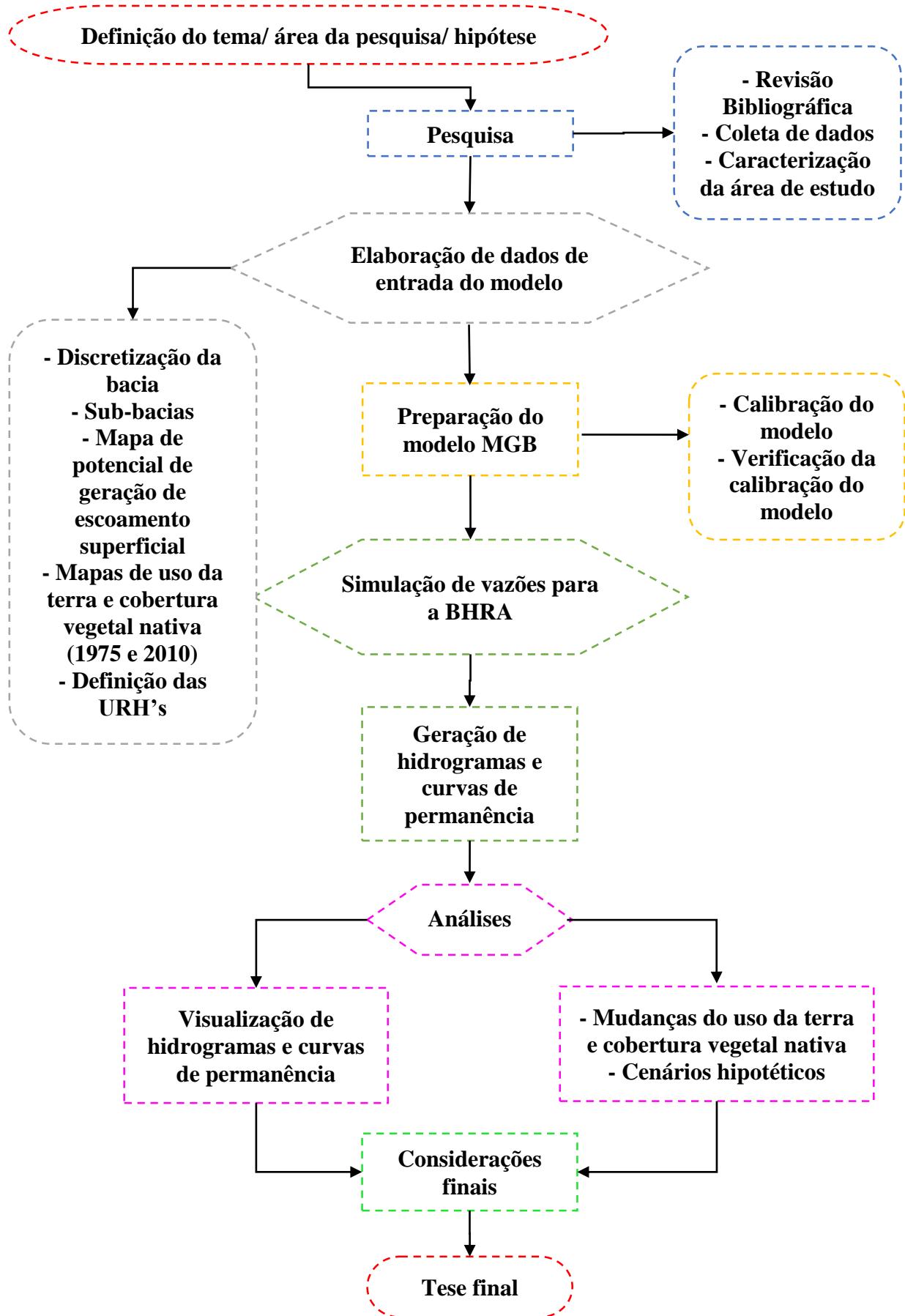
A escolha dos *softwares* utilizados foi realizada de forma a utilizar aqueles programas mais aptos e eficientes para o desenvolvimento e alcance dos objetivos da pesquisa. Desta forma, foram utilizados os seguintes softwares:

- a) **ArcGIS 10.1** - é uma plataforma que permite criar, organizar e compartilhar informações e ferramentas espaciais a partir de mapas online e aplicativos úteis. O ArcGIS Desktop permite ao usuário criar, mapear, analisar, gerenciar e compartilhar informações espaciais. Foi utilizada uma ferramenta deste software destinada a manipulação de dados hidrológicos, denominada *ArcHydro*.
- b) **MapWindows GIS** - aplicativo caracterizado como um Sistema livre e extensível de Informação Geográfica (SIG) que pode ser usado para visualização e análise de dados espaciais, em diversos formatos.
- c) **Manejo de Dados Hidroweb** - é uma ferramenta criada com o objetivo de facilitar a utilização dos dados de precipitação, vazão, clima e cota disponibilizados pela ANA. Apresenta duas funções principais: 1) ferramentas de conversão: converte dados no formato ASCII para um formato mais simplificado: ASCII Colunas; 2) disponibilidade temporal: permite a visualização da disponibilidade temporal dos dados através de um gráfico estilo ‘Gantt’.

4.2 Procedimentos operacionais

O fluxograma, apresentado na **Figura 19**, mostra de forma sintetizada e esquemática, as principais etapas do desenvolvimento desta pesquisa.

Figura 19 – Fluxograma sintético de desenvolvimento metodológico da pesquisa



Para um melhor entendimento do fluxograma apresentado, o desenvolvimento desta pesquisa pode ser melhor explicado a partir de uma série de etapas seqüenciais, cujos procedimentos realizados estão descritos de forma sintetizada, a seguir.

1^a Etapa – Definição do tema da pesquisa e a área de estudo. Inicialmente foram definidos o tema da pesquisa e a área onde seria desenvolvido o estudo proposto.

2^a Etapa – Realização de revisão bibliográfica. A realização de uma revisão bibliográfica é necessária, pois a execução de uma pesquisa como esta pressupõe o conhecimento a respeito de conceitos, teorias e estudos pertinentes ao tema estudado. Foram consultados, inicialmente, trabalhos acadêmicos, livros, revistas periódicas especializadas, seja em formato impresso ou digital, que forneceram uma base conceitual sobre estudos hidrológicos, o uso do geoprocessamento e da modelagem hidrológica, além das principais características da área de estudo. Todas essas informações foram relevantes para subsidiar e fundamentar a elaboração da pesquisa e delimitar os objetivos da mesma.

3^a Etapa – Fase de coleta de dados espaciais. A realização da fase de coleta dos dados espaciais procedeu à aquisição dos arquivos vetoriais (hidrografia, malha viária, classes de solos, entre outros) da área de estudo. Estes dados espaciais foram coletados junto a órgãos como o IBGE, EMBRAPA, ANA, via internet, através de download gratuito pelas páginas eletrônicas dos mesmos.

Nesta mesma etapa, foram coletados ainda os dados em formato raster necessários ao andamento da pesquisa. Inicialmente foi coletado o MDE correspondente a área de estudo, a partir do site da UFRGS. Foram também utilizadas imagens do satélite Landsat, para o ajuste da delimitação das classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa da área de estudo, a partir do Catálogo de imagens do INPE.

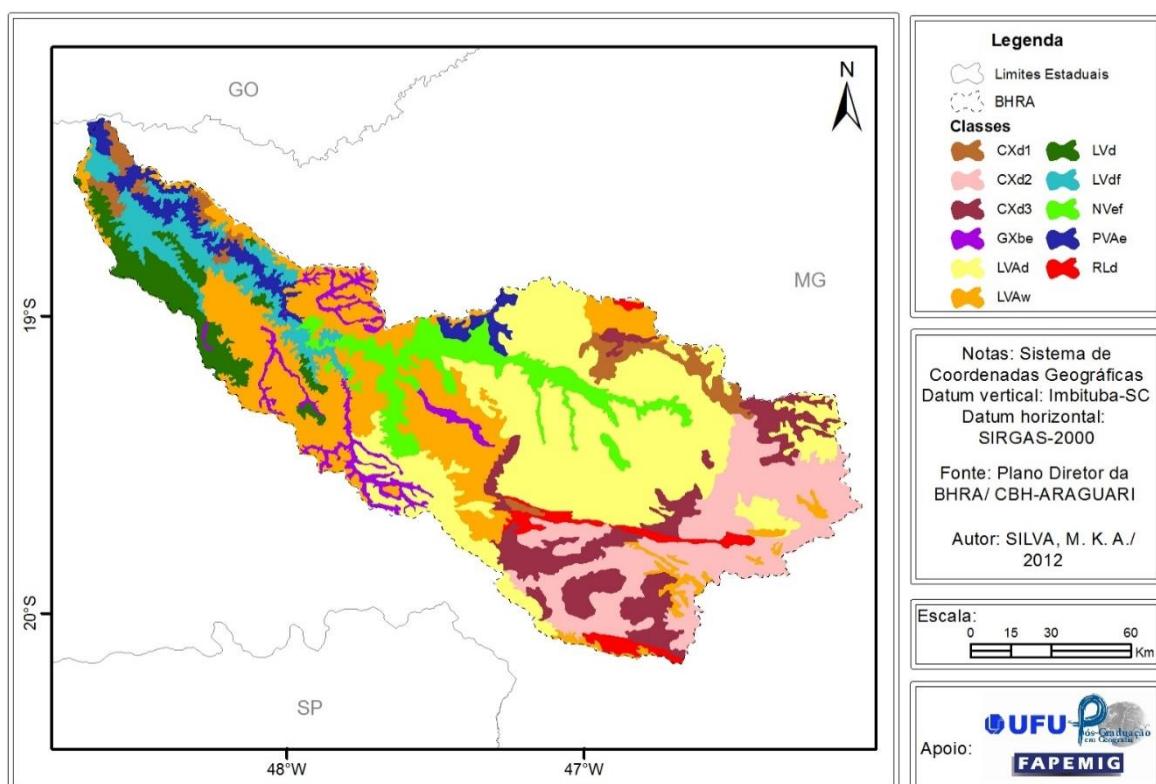
4^a Etapa – Elaboração da base cartográfica e do mapa de localização da área de estudo. Estes mapas foram elaborados com o auxílio das ferramentas do software *ArcGIS*. Este software permitiu realizar as operações de mosaico e ajuste topológico dos arquivos vetoriais da base cartográfica, a partir de ajustes necessários aos arquivos, ou seja, a inserção/união/exclusão/movimentação de arcos, nós e polígonos pertencentes aos mesmos. Permitiu ainda, a elaboração dos processamentos digitais destinados a preparação da imagem de satélite da área de estudo (aplicação de contraste, composição colorida, mosaico, recorte, etc.) para posterior identificação e ajuste das classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa.

5ª Etapa – Elaboração dos mapas de solos, unidades de relevo, geológico, de potencial de geração de escoamento superficial e de uso da terra e cobertura vegetal natural da BHRA.

Os mapas de solos, unidades de relevo e geológico foram elaborados a partir dos dados coletados do Plano Diretor da BHRA.

O mapeamento pedológico da BHRA pode ser visualizado a partir do **Mapa 04**.

Mapa 04 – Solos da BHRA



Neste mapeamento foi utilizada a classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), conforme **Tabela 09**.

Tabela 09 - Classes do mapa de solos da BHRA

Símbolo	Descrição da legenda dos solos
Latossolo Vermelho Amarelo	
LVAw	Latossolo Vermelho -Amarelo Ácrico + Latossolo Vermelho - Ambos Textura Argilosa (fase cerrado)
LVAd	Latossolo Vermelho -Amarelo Distrófico + Latossolo Vermelho Escuro Distrófico + Cambissolo Háplico Tb Distrófico

(Continua...)

(Conclusão)

Símbolo	Descrição da legenda dos solos
Latossolo Vermelho	
LVd	Latossolo Vermelho Distrófico + Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico (ambos textura média) + Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico
LVdf	Latossolo Vermelho Distroférrico + Latossolo Vermelho - Amarelo Eutrófico + Nitossolo Vermelho Eutrófico + Cambissolo Háplico Eutrófico
Nitossolo Vermelho	
Nvef	Nitossolo Vermelho Eutrófico + Latossolo Vermelho Eutroférrico e Distrófico + Cambissolo Háplico Férrico
Argissolo Vermelho Amarelo	
PVAe	Argissolo Vermelho - Amarelo Eutrófico + Cambissolo Háplico Tb. Eutrófico
Cambissolo	
CXd1	Cambissolo Háplico Tb. Distrófico
CXd2	Cambissolo Háplico Tb. Distrófico + Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico
CXd3	Cambissolo Háplico Tb. Distrófico + Neossolo Litólico Distrófico
Gleissolo	
Gxbe	Gleissolo Háplico Tb.
Neossolo	
RLd	Neossolo Litólico Distrófico + Afloramento Rochoso + Cambissolo Háplico Tb. Distrófico

Fonte: ROSA et al. (2004).

Cada classe de solo citada apresenta características diferenciadas que influenciam o seu comportamento hidrológico, conforme pode ser visualizado na **Tabela 10**.

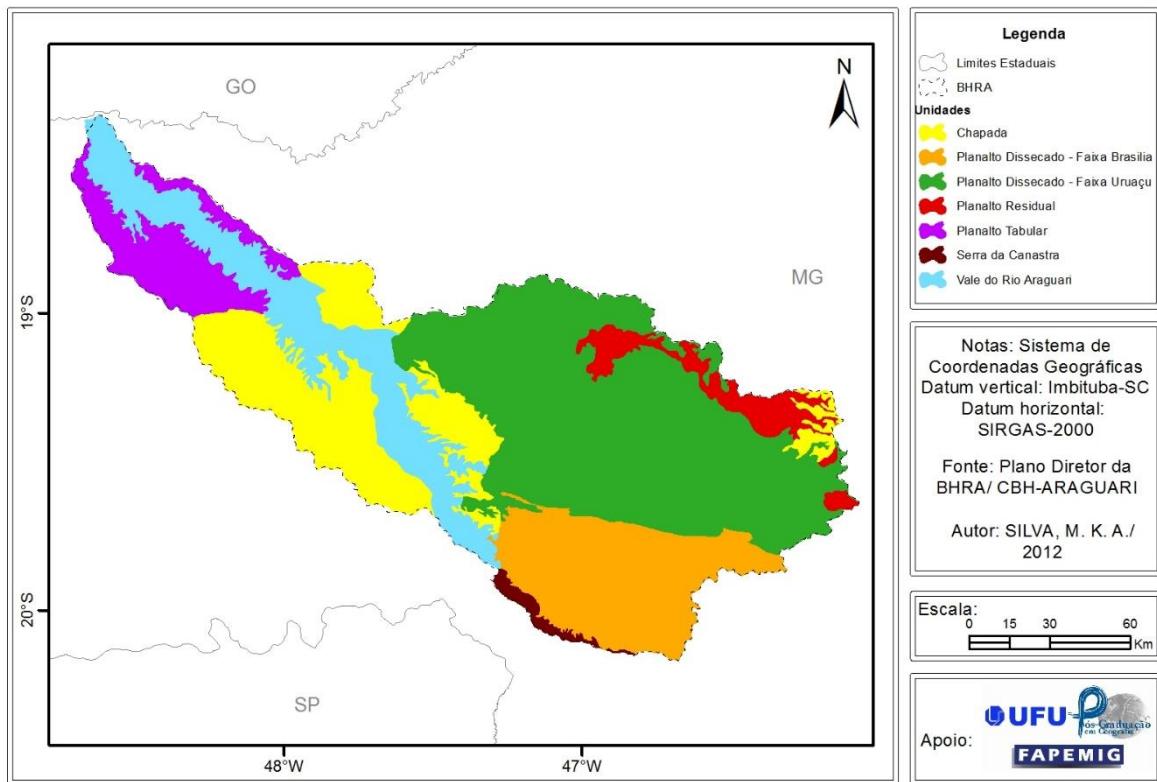
Tabela 10 – Características dos principais grupos de solos presentes na BHRA

Solos	Profundidade	Drenagem	Textura	Relevo
Latossolo	profundo	bem drenado	média, argilosa ou muito argilosa	plano a suave ondulado
Nitossolo	profundo	bem drenado	argilosa ou muito argilosa	forte ondulado e ondulado
Argissolo	raso a profundo	forte a imperfeitamente drenado	Arenosa/argilosa (hor. A) e média/muito argilosa (hor. B)	ondulado a forte ondulado
Cambissolo	raso a profundo	bem até imperfeitamente drenado	média, argilosa ou muito argilosa	suave ondulado
Gleissolo	profundo	mal ou muito mal drenado	média, argilosa ou muito argilosa	plano
Neossolo	raso a pouco profundo	Imperfeitamente drenado	Arenosa a argilosa	plano a forte ondulado

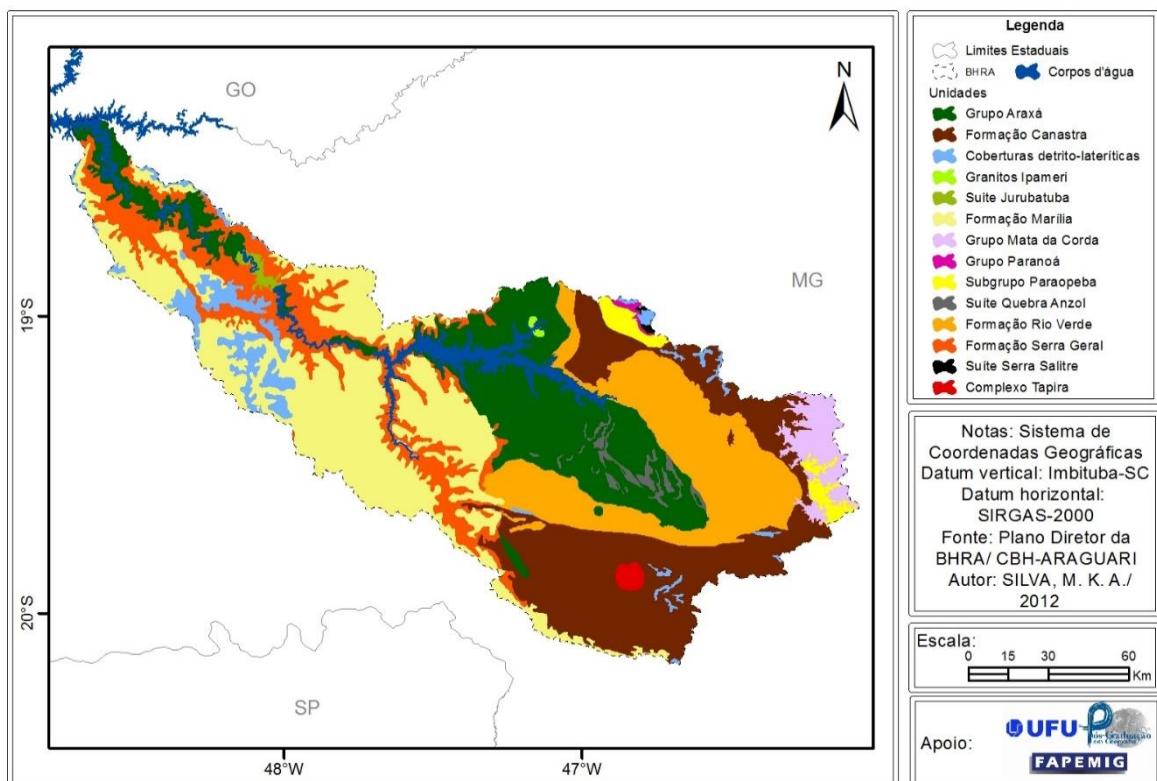
Autor: SILVA, M.K.A. (2014).

Os mapas de Unidades de relevo e Geologia da BHRA podem ser visualizados a partir do **Mapa 05** e **Mapa 06**.

Mapa 05 – Unidades de relevo da BHRA



Mapa 06 – Geologia da BHRA



A partir dos mapeamentos citados foram identificadas três classes de potencial de geração de escoamento superficial, sendo elas: alto, médio e baixo. Foi considerado, por exemplo, que solos mais profundos, mais bem drenados e com alto percentual de areia podem ser classificados como solos de baixo potencial de geração de escoamento superficial. Do mesmo modo, os solos mais rasos, mais argilosos, mais mal drenados, tendem a ter um alto potencial de geração de escoamento superficial e uma baixa capacidade de armazenamento de água. As características consideradas nos mapeamentos de classe de solos, unidades de relevo e geologia, para cada classe de potencial de geração de escoamento superficial definidas, podem ser visualizadas na **Tabela 11**.

Tabela 11 – Características das classes de potencial de geração de escoamento superficial presentes na BHRA

PGES	Solos	Profundidade	Drenagem	Textura	Relevo	Geologia
Alto	CXd2, RLd, CXd3, CXd1	raso a profundo	bem até imperfeitamente drenado	média argilosa ou muito argilosa; arenosa a argilosa	plano a forte ondulado	Formação Canastra, Formação Rio Verde, Grupo Mata da Corda, Subgrupo Paraopeba, Complexo Tapira
Médio	LVAd, Nvef, LVdf, Lvd, PVAe, LVAw	raso a profundo	bem até imperfeitamente drenado	média argilosa ou muito argilosa; arenosa a argilosa	plano a forte ondulado	Grupo Araxá, Formação Rio Verde, Formação Serra Geral, Formação Marília, Cobertura detrito-laterítica, Granitos Ipameri, Suíte Jurubatuba, Grupo Paranoá, Subgrupo Paraopeba, Suíte Quebra-anzol, Suíte Serra Salitre
Baixo	LVAw, Lvd, GXbe	profundo	bem drenado; mal ou muito mal drenado	média argilosa ou muito argilosa	plano a suave ondulado	Formação Marília, Formação Serra Geral, Grupo Mata da Corda

Autor: SILVA, M.K.A. (2014).

Os mapas de uso da terra e cobertura vegetal nativa foram elaborados a partir dos dados adquiridos de Rosendo (2010) e Rosa (2012), como já mencionado anteriormente. Os dados originais de Rosendo (2010) datam do ano de 1973, sendo que estes dados foram ajustados a partir das imagens do sensor MSS/Landsat 2, do ano de 1975, ano inicial da pesquisa. Os dados originais de Rosa (2012) datam do mesmo ano de mapeamento de uso da terra desta pesquisa, ano de 2010. Estes dados foram ajustados em virtude da necessidade de aumento da escala de mapeamento, a partir das imagens do sensor TM/Landsat 5, do ano de 2010.

Os dados vetoriais adquiridos para os mapeamentos de 1975 e 2010, foram ajustados a partir das imagens dos satélites:

- Landsat 2, sensor MSS, órbitas/pontos: 237/73, 236/73, 235/73, 236/74 e 235/74, datadas entre agosto e outubro de 1975 e com resolução espacial de 80 metros;
- Landsat 5, sensor TM, órbitas/pontos: 221/73, 220/73, 219/73, 220/74 e 219/74, datadas entre agosto e outubro de 2010 e com resolução espacial de 30 metros.

Os ajustes topológicos e a elaboração dos *layouts* de cada mapa de uso da terra e cobertura vegetal nativa (1975 e 2010) foram executados com o auxílio das ferramentas do *software ArcGIS*.

6^a Etapa – Preparação para a aplicação do modelo hidrológico MGB. Os plugins e tutoriais utilizados para a aplicação do MGB foram disponibilizados pela própria equipe de desenvolvimento do modelo, da UFRGS, a partir da URL: <<http://www.ufrgs.br/hge/mgb-iph/>>. Neste endereço eletrônico, estão disponibilizados os downloads, dicas/relatos de experiências, informações sobre coleta de dados, manuais, entre outros, referentes à utilização do modelo.

7^a Etapa – Discretização da BHRA. Por se tratar de um modelo semi-distribuído, o MBG necessita que a BHRA seja discretizada em mini-bacias para sua correta e mais detalhada utilização no modelo hidrológico. Desta forma, a BHRA foi discretizada no total correspondente a 337 mini-bacias.

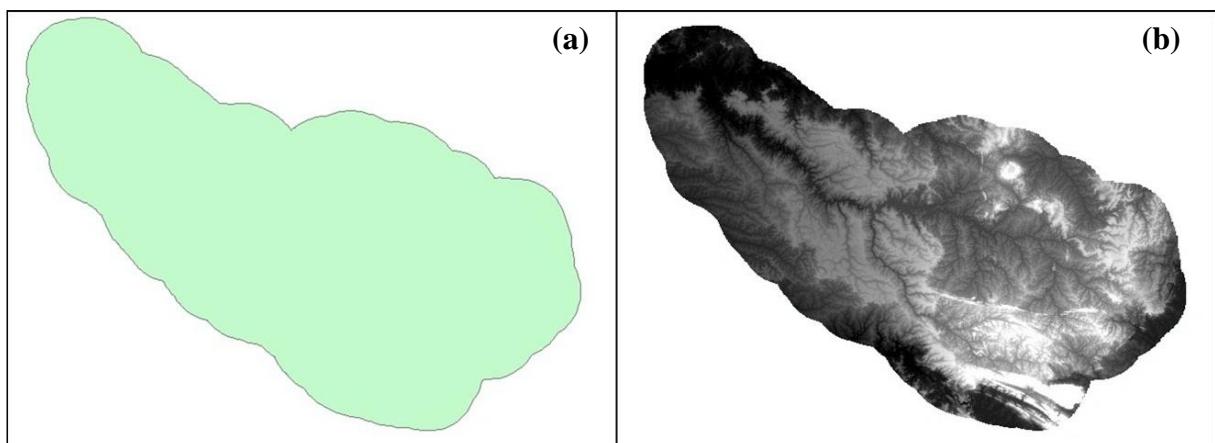
Esta etapa começou com a utilização de um polígono que compreendesse uma área de segurança (*buffer*) além da área da bacia em estudo (**Figura 20a**) para o recorte do MDE (**Figura 20b**). A seguir, foi realizada a etapa de preenchimento de depressões no mesmo, com o intuito de preencher as depressões e áreas planas com cotas inferiores à vizinhança (**Figura 20c**). Este

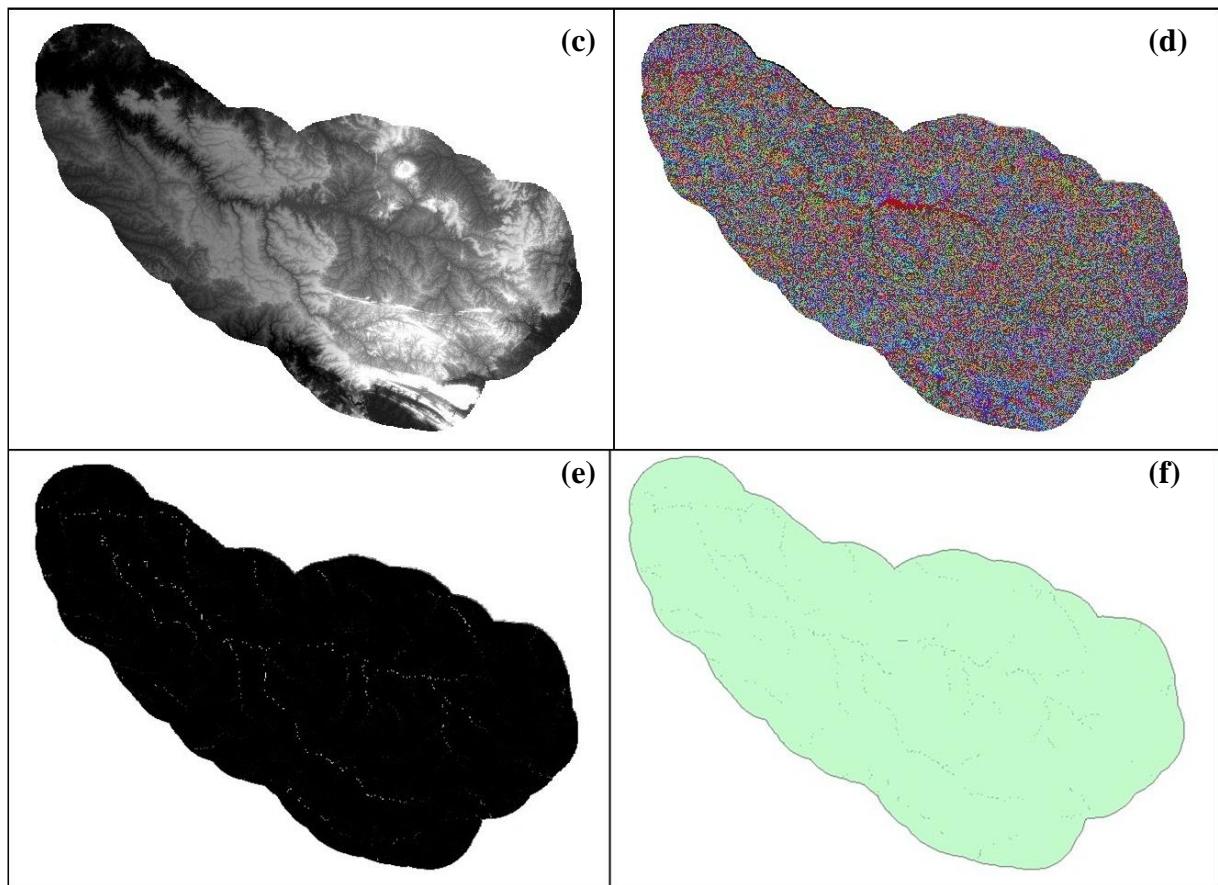
procedimento foi alcançado a partir das ferramentas ***Terrain Processing/DEM Manipulation/Fill Sinks***, do menu do *ArcHydro/ArcGIS*.

Nesta mesma etapa, foi realizada a definição de direções de fluxo/escoamento (**Figura 20d**) para cada célula da matriz do MDE. Assumiu-se que a água flui de cada célula para uma das oito células vizinhas e, então, foi gerado um arquivo raster em que cada célula tem um código que indica a direção em que a água escoa naquele local. O cálculo das direções de fluxo utilizou a ferramenta ***Terrain Processing/Flow Direction***, do menu do *ArcHydro/ArcGIS*. Com base no mapa de direções de fluxo calculou-se, então, a área de drenagem de cada célula do MDE (**Figura 20e**), a partir da ferramenta ***Terrain Processing/Flow Accumulation***, do menu do *ArcHydro/ArcGIS*.

Em seguida, foi criado um arquivo raster de rede de drenagem (**Figura 20f**) para reclassificar os valores das células do mapa de área acumulada de forma a gerar um novo arquivo em que as células têm valor igual a “1”, caso pertençam à rede de drenagem. Este novo arquivo foi obtido reclassificando todas as células do *layer* de entrada de área acumulada que continham um valor maior que um limiar especificado, enquanto as demais células na grade obtiveram o valor “*no data*”. Este limiar define o grau de discretização da bacia, visto que, quanto menor o valor do limite adotado, mais densa é a rede de drenagem e maior é o número de confluências (cada confluência gera duas mini-bacias). Este procedimento foi realizado utilizando a ferramenta ***Terrain Processing/Stream Definition***, do menu do *ArcHydro/ArcGIS*.

Figura 20 – Arquivos raster gerados para discretização da BHRA + *buffer*





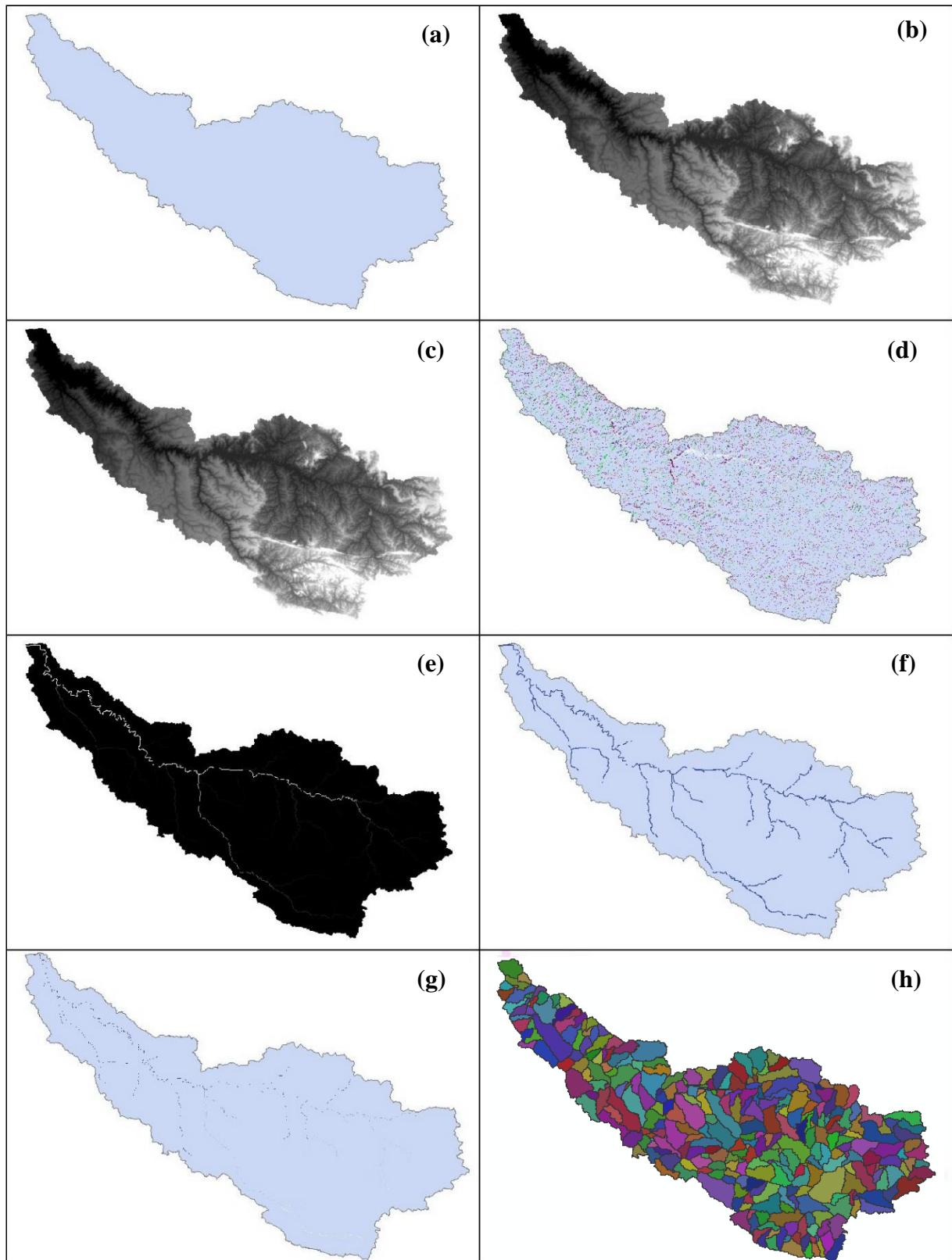
Autor: SILVA, M.K.A. (2014).

O próximo passo foi delimitar a bacia em estudo (**Figura 21a**), ou seja, gerar um polígono com o divisor de água da bacia até o último ponto de interesse (extremo de jusante da bacia), que seria o exutório da bacia em questão. O polígono do limite da bacia foi gerado usando a função **Watershed Processing/Batch Subwatershed Delineation**, do menu do *ArcHydro*. A partir do polígono do limite da bacia foi possível extrair apenas a região de interesse, que fica no interior da bacia, dos arquivos: Modelo Digital de Elevação; Direção de Fluxo; Área Acumulada; e Rede de Drenagem (**Figura 21b,c,d,e,f**) elaborados anteriormente com o acréscimo da área de segurança. Esse procedimento foi realizado a partir da ferramenta **Extract by Mask** do *ArcGIS*. Posteriormente, o arquivo raster da rede de drenagem gerada, foi convertido para o formato vetorial (**Figura 21g**) através da ferramenta **Raster to line** do *ArcGIS*.

A partir do recorte dos arquivos de Direção de fluxo e Rede de drenagem dentro do limite da área de estudo, foi gerado o arquivo raster de mini-bacias (**Figura 21h**). Neste arquivo são definidos os limites das mini-bacias hidrográficas de cada trecho de rio dentro da área de estudo, de acordo com o valor das células pertencentes a uma mesma mini-bacia (*catchment*) correspondente ao valor carregado pelo segmento de drenagem que drena a área da mini-bacia.

Para a elaboração das mini-bacias, foi utilizada a função ***Terrain Preprocessing/Catchment Grid Delineation*** do menu do *ArcHydro/ArcGIS*.

Figura 21 – Arquivos raster gerados para a discretização da BHRA



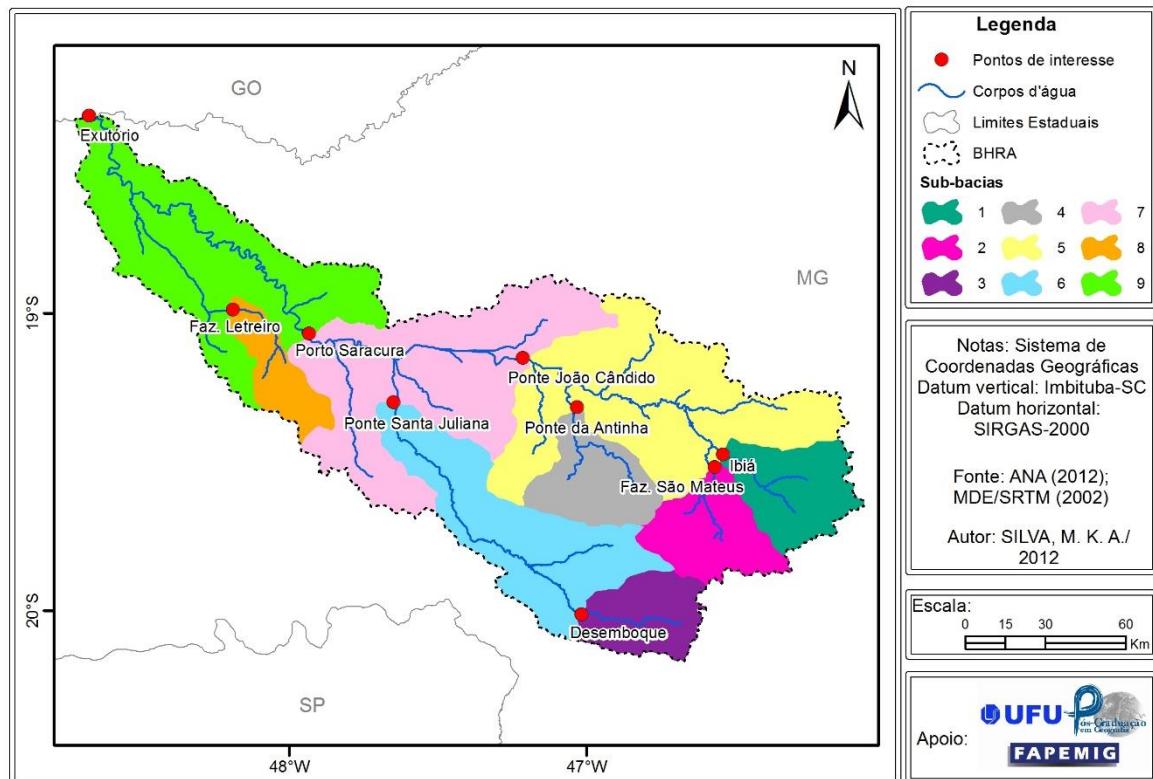
Autor: SILVA, M.K.A. (2014).

8^a Etapa – Delimitação das sub-bacias da área de estudo. As sub-bacias são unidades maiores do que as mini-bacias que definem regiões homogêneas que facilitam e tornam mais eficazes as fases de ajuste do modelo e análise dos resultados. Os parâmetros do modelo hidrológico são associados às sub-bacias.

Para a definição das sub-bacias desta pesquisa, foram selecionados 9 pontos de interesse, correspondendo ao exutório da BHRA e aos postos fluviométricos: Desemboque, Fazenda Letreiro, Fazenda São Mateus, Ibiá, Ponte da Antinha, Ponte João Cândido, Ponte Santa Juliana e Porto Saracura.

O mapa de sub-bacias pode ser visualizado a partir do **Mapa 07**.

Mapa 07 – Sub-bacias da BHRA



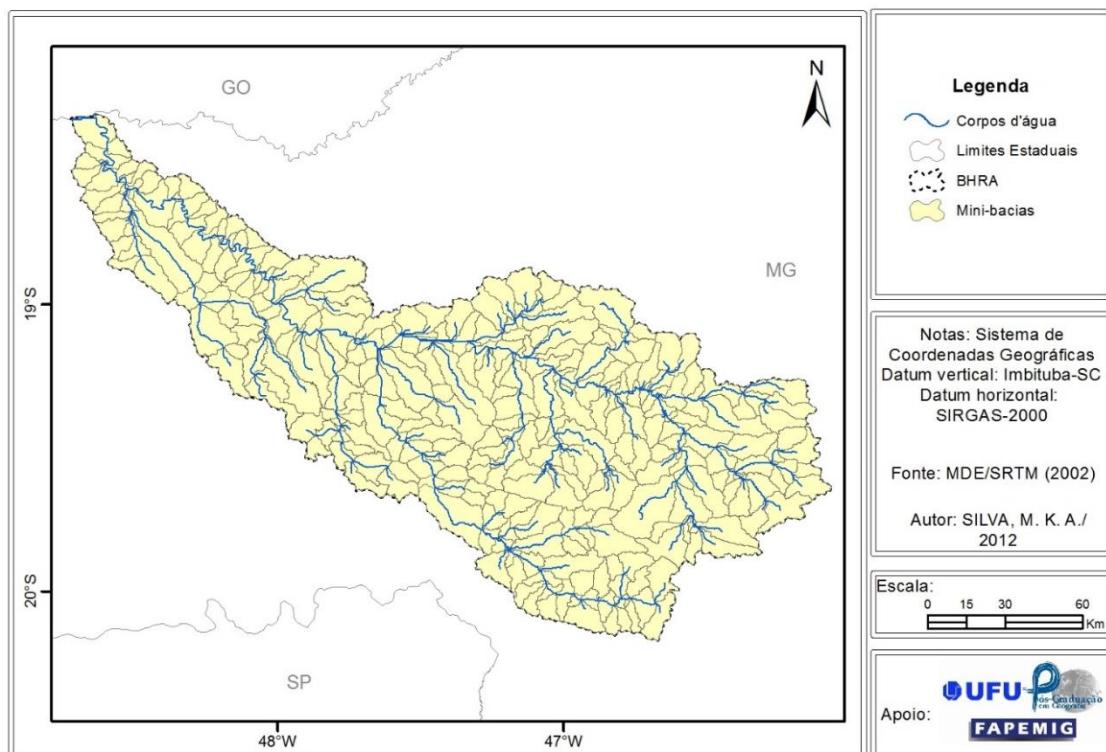
Na **Tabela 12** podem ser verificadas as características referentes a cada sub-bacia considerada na simulação de vazão da BHRA, a partir do MGB.

Tabela 12 – Sub-bacias consideradas na simulação da BHRA

Identificador (Mapa 07)	Sub-bacia	Rio	Código da estação fluviométrica	Área (km ²)
1	Ibiá	Misericórdia	60265000	1.372,30
2	Fazenda São Mateus	Quebra-Anzol	60250000	1.308,33
3	Desemboque	Araguari	60220000	1.102,64
4	Ponte da Antinha	Araguari	60300000	1.271,29
5	Ponte João Cândido	Quebra-anzol	60320000	4.578,79
6	Ponte Santa Juliana	Capivara	60235005	2.967,37
7	Porto Saracura	Araguari	60340000	4.556,65
8	Fazenda Letreiro	Uberabinha	60381000	787,58
9	Exutório	Araguari	-	4.201,28

Autor: SILVA, M.K.A. (2014).

9^a Etapa – Rediscretização das mini-bacias da área de estudo. Esta etapa consistiu em uma combinação das sub-bacias com as mini-bacias discretizadas. Essa rediscretização foi realizada no intuito de combinar o mapa de mini-bacias com o mapa de sub-bacias, dividindo as mini-bacias nos locais em que existe um ponto de interesse (os exutórios das sub-bacias). Este passo foi necessário porque para a aplicação do modelo, as mini-bacias pertencentes a uma sub-bacia devem estar integralmente contidas dentro destas. Para este passo, foi utilizada a função *Union* do *ArcGIS*. O mapa de mini-bacias (re)discretizadas pode ser visualizado a partir do **Mapa 08**.

Mapa 08 – Mini-bacias discretizadas da BHRA

11ª Etapa – Determinação das URH's da bacia em estudo. Uma URH é caracterizada como uma combinação única de tipo de solo, com características geológicas, geomorfológicas e de uso da terra distintas, como já citado anteriormente. Assim, o balanço hidrológico é calculado para cada URH de cada mini-bacia, e as vazões estimadas em cada URH são posteriormente somadas e propagadas até a rede de drenagem. Além disso, os parâmetros do modelo como, por exemplo, a capacidade de armazenamento de água no solo, estão relacionados às URH's.

Para a definição das URH's, foram utilizados os arquivos raster do mapa de uso da terra e cobertura vegetal nativa e do mapa de potencial de geração de escoamento superficial da área de estudo. Os mapas foram combinados/cruzados a partir da função **Combine** do *ArcGIS*. A partir da função citada, a área de estudo foi dividida, automaticamente, em 18 URH's, cada uma delas representando uma classe de uso da terra e cobertura vegetal nativa combinadas com os tipos de solos e características geológicas e geomorfológicas da área de estudo. As classes menos frequentes foram reagrupadas de acordo com a indicação de um número de URH's reduzido para melhor aplicação do MGB. Assim, foram reagrupadas as URH's menos frequentes na bacia. As unidades correspondentes ao uso de água foram reduzidas a uma URH apenas, independentemente do tipo de solo a ela associado. Esta última regra se aplicou também às unidades correspondentes ao uso urbano. Deste modo, após a etapa de reagrupamento das URH's, chegou-se ao resultado de uma combinação de 8 a 9 unidades finais. O arquivo raster inicial de 18 URH's foi reclassificado utilizando-se a função **Reclassify** do *ArcGIS*.

A combinação/recombinação descrita foi realizada para ambos os mapas de uso da terra e cobertura vegetal nativa (1975 e 2010) com o mapa de potencial de geração de escoamento superficial da área de estudo, o que resultou nas URH's, conforme indicado na **Tabela 13**.

Tabela 13 – URH's da BHRA

URH (1975)	URH (2010)	Descrição
1	1	Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento + médio potencial de geração de escoamento superficial
2	2	Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado + alto potencial de geração de escoamento superficial
3	3	Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado + médio potencial de geração de escoamento superficial
4	-	Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado + baixo potencial de geração de escoamento superficial
-	4	Pastagem + alto potencial de geração de escoamento superficial
5	5	Pastagem + médio potencial de geração de escoamento superficial
-	6	Agricultura + médio potencial de geração de escoamento superficial
6	7	Agricultura + baixo potencial de geração de escoamento superficial
7	8	Área urbana
8	9	Água

12^a Etapa – Preparação dos dados de entrada do PrePro-MGB. O PrePro-MGB é um plugin, com interface criada pelos desenvolvedores do modelo MGB, dentro do *MapWindow*. A sua função é gerar as informações de entrada do modelo hidrológico MGB, referentes às características físicas e topológicas das mini-bacias, a partir de arquivos raster gerados pelo conjunto de ferramentas do menu do *ArcHydro/ArcGIS*.

Os dados essenciais de entrada do PrePro-MGB foram os 6 arquivos apresentados conforme **Tabela 14**.

Tabela 14 – Arquivos de entrada do PrePro-MGB

Arquivo	Formato (.txt)
MDE	ASCII
Direções de fluxo	ASCII
Mini-bacias	ASCII
Rede de drenagem	ASCII
URH's	ASCII
Sub-bacias	ASCII

Autor: SILVA, M.K.A. (2014).

Cada um destes arquivos citados na **Tabela 14**, foi ajustado/configurado de forma a conter os mesmos parâmetros de resolução (tamanho de cada pixel da imagem e mesmo retângulo envolvente de coordenadas geográficas) para o correto e eficaz funcionamento do PrePro-MGB.

Os arquivos raster foram gerados com as seguintes características em comum:

- **Colunas e linhas:** 2.655 colunas e 1.836 linhas
- **Tamanho do pixel:** 0,001
- **Intervalo de coordenadas:** x1= -48,72; x2= -46,06; y1= -20,17; y2= -18,33
- **Referência espacial:** GCS SIRGAS 2000

Desta forma, o PrePro-MGB resultou, de maneira eficaz, os arquivos **Mini.mgb** e **Comprimento.txt**.

O arquivo **Mini.mgb** gerado, corresponde a um arquivo com uma tabela de atributos das mini-bacias que compõem a BHRA. Os atributos citados estão apresentados conforme **Tabela 15**, a seguir.

Tabela 15 – Informações que compõe a tabela de atributos do arquivo Mini.mgb

Sigla	Informação
CatID	Código original (obtido no ArcGIS) da mini-bacia
Mini	Número da mini-bacia em ordem topológica (montante a jusante)
Xcen e Ycen	Coordenadas dos centróides da mini-bacia
Sub	Sub-bacia a qual pertence a mini-bacia
Area	Área de drenagem da mini-bacia (km^2)
AreaM	Área de drenagem total a montante de cada mini-bacia (km^2)
Ltr	Comprimento do rio principal que atravessa a mini-bacia
Str	Declividade do rio principal que atravessa a mini-bacia
Lrl	Comprimento do afluente mais longo dentro da mini-bacia
Srl	Declividade do afluente mais longo dentro da mini-bacia
MiniJus	Número da mini-bacia localizada imediatamente a jusante
Ordem	Ordem do curso d'água da mini-bacia
Hdr	Campo de indicação do tipo de propagação da vazão no trecho de rio da mini-bacia (a ser preenchido em momento posterior)
BLC_X	Porcentagem da área da mini-bacia em que existe cada uma das URH's (onde X varia de acordo com o número de URH's existentes)

Autor: SILVA, M.K.A. (2014).

Dentro do arquivo **Mini.mgb**, a numeração **Mini**, organiza a ordem em que são realizados os cálculos no modelo MGB, ou seja, de montante para jusante. As coordenadas **Xcen** e **Ycen** são utilizadas para realizar o processo de interpolação dos dados de chuva e de variáveis climáticas no modelo. A numeração **Sub** permite a regionalização dos valores dos parâmetros do modelo hidrológico. A **AreaM** é utilizada pelo modelo para calcular as características da seção transversal dos rios, com base numa relação geomorfológica entre a área de drenagem e a largura do rio. O **Ltr** e **Str** são informações utilizadas no modelo MGB para calcular a propagação de vazão. O **Lrl** e **Srl** são utilizados pelo modelo MGB para calcular o tempo de concentração de cada mini-bacia. A numeração **MiniJus** é referente ao número da mini-bacia que recebe o escoamento propagado ao longo da mini-bacia em questão, o que permite ao modelo propagar a vazão de uma mini-bacia para a próxima. A **Ordem** permite saber se existem mini-bacias a montante de cada mini-bacia, sendo que, uma mini-bacia de ordem 1 é uma mini-bacia de cabeceira, que não tem nenhuma outra mini-bacia localizada a montante; uma mini-bacia de ordem 2 tem apenas mini-bacias de ordem 1 a montante dela; e assim por diante. Esta informação permite que o modelo possa organizar a ordem em que são realizados os cálculos (de montante para jusante).

Os valores correspondentes ao arquivo **Mini.mgb** (gerado pelo PrePro) são apresentados em um arquivo de texto, com as informações para cada parâmetro citado, conforme pode ser visualizado no exemplo do **APÊNDICE A** (URH's de 2010), mais utilizado para as simulações realizadas.

O arquivo **Comprimento.txt**, por sua vez, resulta na determinação dos maiores afluentes de cada mini-bacia e, posteriormente, na determinação do tempo de concentração de cada mini-bacia. Para a determinação dos maiores afluentes é necessário um arquivo de “comprimentos acumulados” (**Comprimento.txt**), onde cada pixel do MNT interno à mini-bacia recebe o valor do seu comprimento acumulado, ou seja, a distância deste pixel até o pixel de montante mais distante ao longo da drenagem.

13^a Etapa – Preparação dos dados de entrada do software *MapWindow GIS* para a aplicação do MGB. O MGB foi integrado ao *MapWindow* para sua efetiva aplicação. Os dados de entrada para esta etapa de aplicação do MGB dividem-se em dois tipos: os dados de entrada SIG (previamente já preparados no *ArcGIS*) e aqueles gerados pela ferramenta PrePro-MGB (através do *MapWindow*); e os dados de entrada hidrológicos e climatológicos, em arquivos texto (.txt) obtidos através da ANA.

A **Tabela 16** apresenta os arquivos de entrada para a próxima etapa de aplicação do MGB.

Tabela 16 – Arquivos de entrada de dados provindos de SIG

Arquivo	Formato	Forma de obtenção
Mini	.mgb	PrePro-MGB
Rede de drenagem	.shp	<i>ArcGIS</i>
Mini-bacias	.shp	<i>ArcGIS</i>
Sub-bacias	.shp	<i>ArcGIS</i>
Descrição dos blocos	-	-

Autor: SILVA, M.K.A. (2014).

Os dados de entrada hidrológicos e meteorológicos para aplicação do MGB, com informações diárias de vazão, chuva e clima, foram adquiridos no formato ASCII Hidroweb, a partir do Sistema Hidroweb da ANA. Estes dados estão apresentados na **Tabela 17**.

Tabela 17 – Arquivos de entrada de dados hidrológicos e meteorológicos

Arquivo	Descrição	Formato (.txt)	Forma de obtenção
Vazão	Dados diários de vazão (observada)	ASCII Hidroweb	Hidroweb - ANA
Chuva	Precipitação diária (mm de chuva) Médias climáticas mensais dos	ASCII Hidroweb	Hidroweb - ANA
Cima	parâmetros de temperatura, vento, umidade relativa, insolação e pressão	ASCII Hidroweb	Hidroweb - ANA

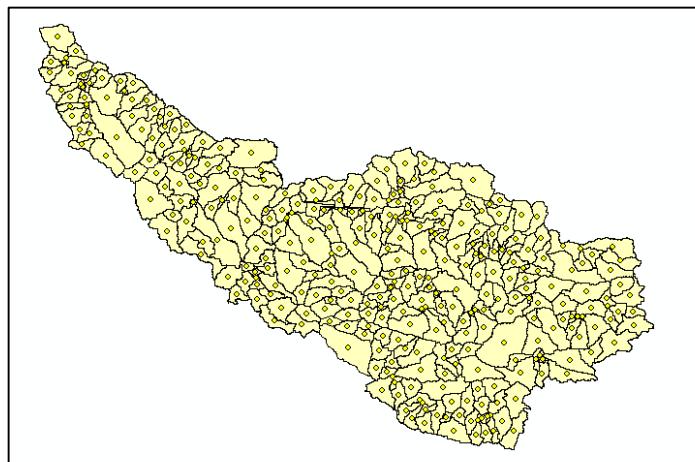
Autor: SILVA, M.K.A. (2014).

14^a Etapa – Utilização do MGB no MapWindow. Com posse de todos os dados de entrada necessários, procedeu-se a utilização do MGB, no *MapWindow*. Utilizando a interface do *MapWindow*, cada um dos dados de entrada foi preparado para sua inserção no modelo, a partir da ferramenta ***Preparar dados*** do menu do MGB.

15^a Etapa – Preparação do arquivo Mini.mgb. A partir da ferramenta ***Preparar dados*** do MGB, o arquivo **Mini.mgb**, foi o primeiro arquivo preparado, utilizando a ferramenta ***Gerar shapefile com Mini.mgb***. Esta ferramenta permitiu gerar um *shapefile* (arquivo de saída vetorial de pontos - **Mini.shp**) dos centróides (pontos interiores de um polígono que definem seu centro geométrico) de cada uma das mini-bacias, como já descrito anteriormente.

A localização dos centróides de cada mini-bacia da BHRA pode ser visualizada, conforme **Figura 22**.

Figura 22 – Centróides das mini-bacias da BHRA



Autor: SILVA, M.K.A. (2014).

16^a Etapa – Preparação dos blocos (URH's). A segunda ferramenta do menu ***Preparar dados*** do MGB, denominada ***Blocos***, é a ferramenta de preparação do arquivo de blocos (URH's), denominado **URH.mgb** (arquivo de saída). A partir desta ferramenta foram adicionados, em uma tabela, o nome abreviado do bloco (máximo 9 caracteres) e a descrição dos blocos, considerando a água como último bloco a ser inserido.

A **Tabela 18** mostra a tabela gerada para criar o arquivo de blocos/URH's, a partir desta ferramenta.

Tabela 18 – Blocos (URH's) de entrada do MGB para a BHRA

Blocos (URH's)		Nome	Descrição
1975	2010		
1	1	Mata_med	Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento + médio potencial de geração de escoamento superficial
2	2	Campo_alt	Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado + alto potencial de geração de escoamento superficial
3	3	Campo_med	Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado + médio potencial de geração de escoamento superficial
4	-	Campo_bai	Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado + baixo potencial de geração de escoamento superficial
-	4	Pasto_alt	Pastagem + alto potencial de geração de escoamento superficial
5	5	Pasto_med	Pastagem + médio potencial de geração de escoamento superficial
-	6	Agri_med	Agricultura + médio potencial de geração de escoamento superficial
6	7	Agri_bai	Agricultura + baixo potencial de geração de escoamento superficial
7	8	Urbano	Área urbana
8	9	Água	Água

Autor: SILVA, M.K.A. (2014).

17^a Etapa – Preparação dos dados pluviométricos. A terceira ferramenta de preparação de dados do MGB é a ferramenta de **Precipitação**, que gerou um arquivo de dados de chuva interpolados, a partir dos dados das estações pluviométricas, para a posição dos centroides de cada mini-bacia da BHRA. A partir desta ferramenta foi possível visualizar as estações pluviométricas (com seus respectivos códigos e valores de coordenadas x e y) selecionadas para a área de estudo, conforme identificados anteriormente na **Tabela 06**, assim como a disponibilidade temporal dos dados pluviométricos para o período desejado, também mostrada anteriormente, conforme apresentado na **Figura 18**. O intervalo do período definido para a interpolação de dados pluviométricos da BHRA foi de: 1975 a 1990 (fase de calibração do modelo), de 1991 a 2010 (fase de verificação da calibração) e, por fim, o período de estudo da pesquisa, de 1975 a 2010 (fase de simulação para a BHRA). Cada arquivo **Chuva.mgb** (arquivo de saída), para cada fase específica, foi gerado com os dados de chuva interpolada para o período considerado.

18^a Etapa – Preparação dos dados fluviométricos. A quarta ferramenta de preparação de dados do MGB é a ferramenta de **Vazão** (semelhante a ferramenta de **Precipitação**), que gerou um arquivo com os dados de vazão observados a partir dos dados das estações fluviométricas selecionadas para a BHRA. A partir desta ferramenta também foi possível visualizar cada uma das estações fluviométricas (com seus respectivos códigos e valores de coordenadas x e y)

selecionadas para a área de estudo, conforme também identificados anteriormente na **Tabela 05**, assim como a disponibilidade temporal dos dados de vazão para o período desejado, também mostrada anteriormente, conforme apresentado na **Figura 17**. Foi necessário informar quais estações fluviométricas teriam seus dados de vazão simulados para observação e, ainda, a numeração das mini-bacias as quais pertenciam cada estação fluviométrica utilizada, de acordo com a numeração gerada pelo arquivo **Mini.mgb**. O intervalo do período definido para a simulação dos dados de vazão observados da BHRA foi, necessariamente, o mesmo usado para a criação do arquivo de chuvas interpoladas, em cada fase considerada. Cada arquivo **Vazao.mgb** (arquivo de saída), para cada fase específica, foi gerado com os dados de vazão observados para o período considerado.

19^a Etapa – Preparação dos dados climáticos. A quinta ferramenta de preparação de dados do MGB é a ferramenta de *Clima*, que permitiu calcular a evapotranspiração a partir de dados (temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, pressão atmosférica e insolação) das estações climatológicas selecionadas para a BHRA. A partir desta ferramenta foi possível visualizar os dados para cada estação climatológica, individualmente. Ao selecionar cada estação, uma tabela permitiu a visualização do número de anos em que existem dados de cada variável citada, em cada mês do ano. Na janela de visualização da ferramenta, foi possível ainda escolher quais estações seriam utilizadas para a simulação, sendo indicado utilizar somente as estações com mais de cinco anos de dados em cada variável e em cada mês. Para esta etapa, também foram utilizados, necessariamente, os mesmos períodos de dados para a criação dos arquivos anteriores (chuva e vazão).

Dentre as estações climatológicas selecionadas para a área de estudo, foi definida a utilização das estações climatológicas de Patos de Minas (1846018), Catalão (1847004), Araxá (1946015) e Uberaba (1947016). Cada arquivo **Mediaclimatologica.mgb** foi gerado contendo os dados dos valores médios das variáveis (semelhantes às normais climatológicas), para cada fase específica, a partir de um cálculo de média simples. A ferramenta seleciona os meses em que existem dados completos e calcula a média da variável para o mês, depois, faz a média entre os meses.

Os valores correspondentes ao arquivo **Mediaclimatologica.mgb** (para a simulação da BHRA), podem ser visualizados no **APÊNDICE B**. Foram gerados ainda os arquivos com os dados diários de cada uma das estações climatológicas, cada um deles recebendo o nome do código da estação em questão e a extensão **.cli**.

20^a Etapa – Ajuste de parâmetros fixos do modelo. A sexta ferramenta de preparação de dados do MGB é a ferramenta *Parâmetros fixos*. A partir desta ferramenta, foi acionado o arquivo de blocos (**URH.mgb**) gerado anteriormente e foram definidos/inseridos alguns valores típicos para o albedo, índice de área foliar, altura média das árvores e resistência superficial, ajustados de acordo com as características da área de estudo. Estes parâmetros foram inseridos em uma tabela, com valores mensais para cada bloco/URH da BHRA, conforme valores apresentados no **APÊNDICE C**.

O arquivo **Parametrosfixos.mgb**, para cada fase específica, foi criado com os parâmetros fixos necessários para rodar o MGB.

21^a Etapa – Ajuste de parâmetros calibráveis do modelo. A sétima e última ferramenta de preparação de dados do MGB é a ferramenta *Parâmetros calibráveis*. Após a fase de ajuste dos parâmetros fixos, foi elaborado o ajuste dos parâmetros calibráveis, já descritos anteriormente: Wm, b, Kbas, Kint, XL, CAP, Wc, CS, Cl, CB e QB. Da mesma forma realizada com os parâmetros fixos, os parâmetros calibráveis foram inseridos em uma tabela, porém com valores únicos para cada bloco/URH da BHRA, em cada sub-bacia da BHRA. Estes parâmetros foram inseridos em uma tabela, conforme valores apresentados no **APÊNDICE D**.

O arquivo **Parametroscalibraveis.mgb** (arquivo de saída), para cada fase específica, foi criado com os parâmetros calibráveis necessários para rodar o MGB.

Convém destacar que o ajuste dos parâmetros fixos e calibráveis deve ser ajustado para cada área de pesquisa específica, e muitas vezes, diferem daqueles mostrados na literatura apresentada.

Até esta etapa, foram gerados os arquivos necessários para criar o projeto de simulação da BHRA, conforme **Tabela 19**.

Tabela 19 – Arquivos utilizados para criar o projeto de simulação da BHRA

Arquivos (.mgb)
Geometria da bacia
Blocos/URH's
Vazões observadas
Chuva interpolada
Médias climáticas
Arquivos de clima diário
Parâmetros fixos
Parâmetros calibráveis

Autor: SILVA, M.K.A. (2014).

22^a Etapa – Criação do projeto no *MapWindow*. Esta etapa consistiu na criação dos projetos de simulação no *MapWindow*, a partir do menu **Projeto** e da ferramenta **Criar projeto** do MGB. Foram criados os projetos **CalibrarBHRA.mgb**, **SimularBHRA75.mgb** e **SimularBHRA10.mgb**, com os arquivos de entrada: Mini.mgb, URH.mgb, Chuva.mgb, Vazao.mgb, Medioclimateologica.mgb, arquivos de clima diário (1846018.cli, 1847004.cli, 1946015.cli e 1947016.cli), Parametrosfixos.mgb e Parametroscalibraveis.mgb. Posteriormente, os hidrogramas com dados de vazão gerados para a bacia em estudo, foram analisados no período de 1975 a 2010.

23^a Etapa – Calibração do MGB. Após a criação dos projetos, procedeu-se a etapa de simulação da BHRA, a partir da ferramenta **Simular**, do menu **Simulação** do MGB no *MapWindow*. Foi escolhido, inicialmente, o projeto **Calibrar.mgb**, criado na etapa anterior, para calibração do MGB. Após acionar o botão **Simular**, o modelo foi rodado satisfatoriamente ao simular o comportamento da vazão na bacia em estudo e ao gerar as informações de hidrogramas e curvas de permanência para a calibração da BHRA. A calibração do modelo foi realizada no período de 1975 a 1990 e verificada no período de 1991 a 2010, ou seja, em períodos diferentes para validar sua eficiência.

Para a visualização dos resultados da simulação, foi utilizada a ferramenta de **Comparar hidrogramas calculados e observados** e **Comparar curvas de permanência** do menu **Simulação** do MGB no *MapWindow*. A ferramenta **Comparar hidrogramas calculados e observados** permitiu verificar as vazões geradas pelo modelo e compará-las às vazões observadas em locais com dados reais de estações fluviométricas. Verificou-se que, para a simulação inicial da fase de calibração, os hidrogramas apresentaram certa discrepância nos valores de vazão observadas e calculadas, o que resultou na necessidade de um ajuste na calibração do modelo.

Os parâmetros utilizados para o ajuste da calibração do modelo foram Wm, b, Kbas, Kint, CS, CI. Os valores dos parâmetros foram escolhidos de forma a resultar em um bom ajuste dos dados observados e calculados nas estações fluviométricas. O ajuste foi avaliado considerando a análise visual dos hidrogramas e verificando os valores do coeficiente de Nash (R2), do coeficiente de Nash para os logaritmos das vazões (Rlog) e da relação entre volumes medidos e calculados (ΔV), já explicados anteriormente. Os aspectos que foram verificados na calibração foram a forma geral do hidrograma, a recessão das vazões durante as estiagens, a magnitude e o tempo de ocorrência, assim como o volume geral dos hidrogramas.

Nesta etapa, o modelo foi ajustado/calibrado pelo método de tentativas até a definição de um ajuste consideravelmente bom em relação aos hidrogramas dos dados de vazão calculados e observados para a área de estudo.

Após a calibração manual, preliminar, foi realizada a calibração automática do modelo através da ferramenta **Preparar parâmetros para calibração automática**, a partir do menu **Calibração** do *MapWindow*. Na janela de calibração automática do MGB foram inseridas algumas informações, em abas distintas, para o processo de calibração automática. Na primeira aba **Criar Arquivo de Calibração automática**, foi carregado o arquivo de blocos (**URH.mgb**), e o último arquivo de parâmetros calibráveis gerado na etapa de preparação de parâmetros calibráveis (**Parametroscalibraveis.mgb**).

Ao inserir os arquivos citados, são visualizados os parâmetros calibráveis, valores médios de cada parâmetro, valores máximos e mínimos que estes parâmetros poderão ser atingidos na calibração automática, para cada sub-bacia de referência. A calibração automática foi realizada para todas as sub-bacias ao mesmo tempo. Preenchidas todas as informações solicitadas, foi criado o arquivo **Calibracaoautomatica.mgb**, através do botão **Salvar arquivo de parâmetros para a calibração automática**, com os novos parâmetros calibráveis ajustados para simulação do MGB.

24ª Etapa – Simulação da vazão na BHRA. Nesta etapa, procedeu-se a simulação da BHRA, a partir da ferramenta **Simular**, do menu **Simulação** do MGB no *MapWindow*. Foram realizadas as simulações para as duas fases no período da pesquisa, a partir dos arquivos **SimularBHRA75.mgb** e **SimularBHRA10.mgb**, criados em etapa anterior, para simulação da BHRA. Para cada simulação, foram preenchidos alguns parâmetros como o intervalo de tempo a ser simulado e a identificação das mini-bacias com dados de vazão que terão seus hidrogramas gravados para comparação de dados calculados e observados. Após acionar o botão **Simular**, o modelo para a BHRA foi rodado satisfatoriamente e geradas as informações de hidrogramas e curvas de permanência para a simulação do comportamento hidrológico da bacia em estudo.

Os arquivos de saída do modelo foram salvos no mesmo diretório do projeto criado para posterior visualização dos hidrogramas e curvas de permanência da BHRA.

A simulação foi realizada tanto para as URH's geradas com as informações de uso da terra e cobertura vegetal nativa em 1975 (MGB-75), assim como para aquelas URH's geradas com as informações de uso da terra e cobertura vegetal nativa em 2010 (MGB-10), com o intuito de

verificar como foi a mudança no comportamento da vazão dos rios presentes na bacia, frente as mudanças de uso da terra ocorridas neste intervalo de tempo (1975 a 2010).

Os dados da vazão diária observados pela ANA e calculados pelo MGB foram apresentados em tabelas, de forma a serem visualizados de acordo com sua periodicidade anual e em intervalos apropriados para as análises da pesquisa. O período de 36 anos estudado (1975 a 2010) foi dividido em 4 fases para análise: 1975 a 1984, 1985 a 1992, 1993 a 2000 e 2001 a 2010. O primeiro (1975 a 1984) e último (2001 a 2010) períodos considerados nessa divisão (períodos de 10 anos) foram considerados importantes no estudo, visto que se tratam dos períodos mais próximos referentes aos mapeamentos de mudança de uso da terra e cobertura vegetal nativa realizados nesta pesquisa.

As tabelas apresentam os valores da vazão diária para a BHRA e sub-bacias: vazão máxima ($Q_{máx}$), vazão mínima ($Q_{mín}$) e vazão média ($Q_{méd}$), sendo estes medidos em m^3/s . São apresentados, ainda, os valores do total da precipitação (ANA), em mm/ano; os valores da lâmina escoada ($Q_{méd}$), em mm/ano; e, os valores da diferença de escoamento ($\Delta Q_{méd}$), em mm/ano. O $\Delta Q_{méd}$ corresponde, tão somente, a diferença do valor da lâmina escoada ($Q_{méd}$) entre um ano específico e o ano antecedente a este.

25^a Etapa – Análise dos dados de uso da terra e cobertura vegetal nativa e vazão da BHRA, no período de 1975 a 2010. Nesta fase foram realizadas algumas análises dos hidrogramas das vazões diárias observados das estações fluviométricas da ANA, assim como das vazões diárias calculadas pelo MGB, na área de estudo. Esta análise foi realizada de forma a verificar a influência da mudança de uso da terra e cobertura vegetal nativa sofrida no intervalo de 1975 a 2010.

26^a Etapa – Simulação da vazão em cenários hipotéticos de mudança de uso da terra e cobertura vegetal natural. Os parâmetros do modelo que são importantes para diferenciar usos da terra e cobertura vegetal nativa são o albedo, o índice de área foliar (IAF), a resistência aerodinâmica (ra) e a resistência superficial (rs), além dos parâmetros Wm e b, que também devem ser alterados de acordo com os tipos de uso da terra e cobertura vegetal nativa presentes na área de estudo.

Considerando a sensibilidade dos parâmetros citados e definidos anteriormente como válidos, a sub-bacia Ibiá foi escolhida para a simulação em cenários hipotéticos, pelo fato de ter apresentado melhor ajuste de calibração do MGB. A vazão da sub-bacia Ibiá foi simulada em quatro diferentes cenários hipotéticos, conforme **Tabela 20**.

Tabela 20 – Cenários hipotéticos simulados para a sub-bacia Ibiá (1975 a 2010)

Cenários
100 % Cobertura vegetal nativa
100 % Pastagem
100 % Agricultura
Conversão da pastagem para agricultura
Autor: SILVA, M.K.A. (2014).

Assim, a partir das simulações realizadas com os cenários hipotéticos propostos, foram verificadas as vazões médias, mínimas e máximas, o valor da lâmina escoada e a diferença do escoamento anual para a sub-bacia Ibiá, em relação ao ano de 2010. O ano de 2010 foi escolhido por ser o ano mais recente do período de estudo (1975 a 2010) em que o MGB realizou a simulação do cenário real da BHRA. Desta forma, foram comparadas as vazões simuladas da sub-bacia Ibiá (cenário real e cenários hipotéticos) em relação a vazão correspondente ao ano de 2010.

27^a Etapa – Elaboração do relatório final da pesquisa. Após o desenvolvimento de todas as etapas descritas para a execução da pesquisa, os resultados gerados e as análises concluídas, foi realizada a elaboração da apresentação final da pesquisa em forma de texto, figuras (mapas, esquemas ilustrativos, etc.), gráficos, tabelas, a fim de finalizar a realização e a apresentação da pesquisa.

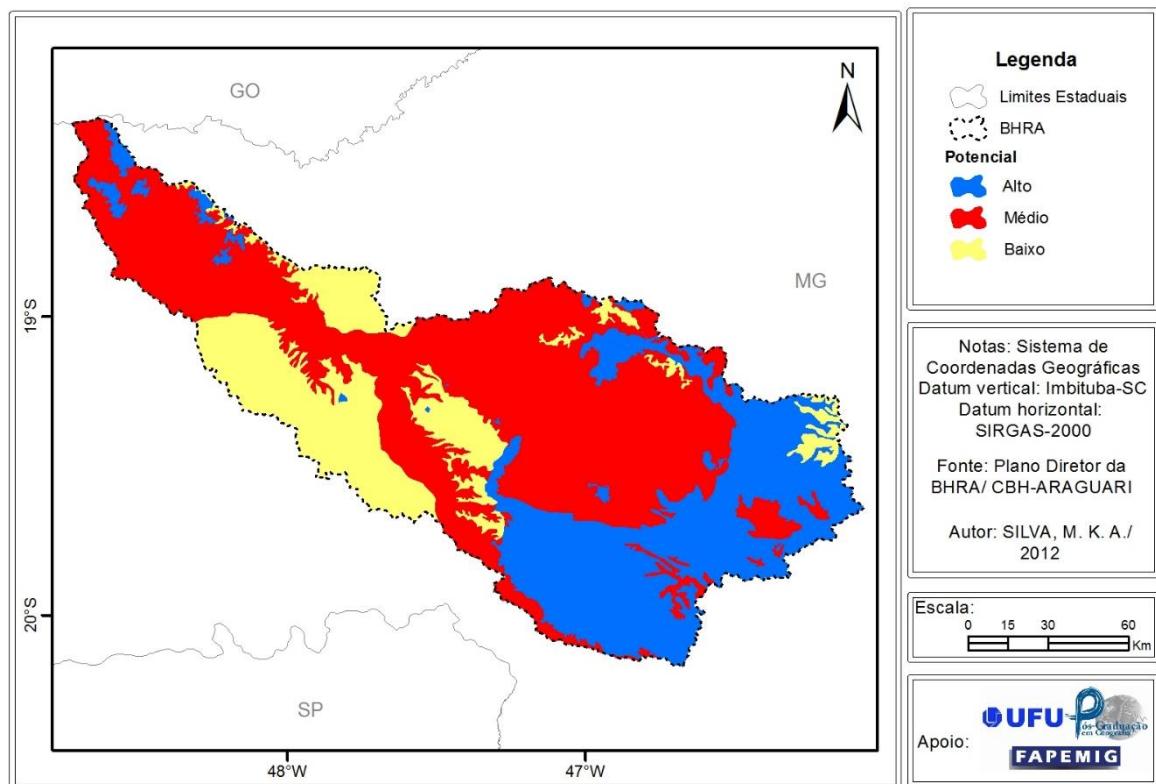
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Elaboração de dados de entrada e preparação para o MGB

5.1.1 Elaboração do mapa de potencial de geração de escoamento superficial da BHRA

O mapa de potencial de geração de escoamento superficial da BHRA foi elaborado a partir das características pedológicas, geomorfológicas e geológicas. Este mapa mostra as áreas de alto, médio e baixo potencial de geração de escoamento superficial da bacia em estudo (**Mapa 09**).

Mapa 09 – Potencial de geração de escoamento superficial da BHRA

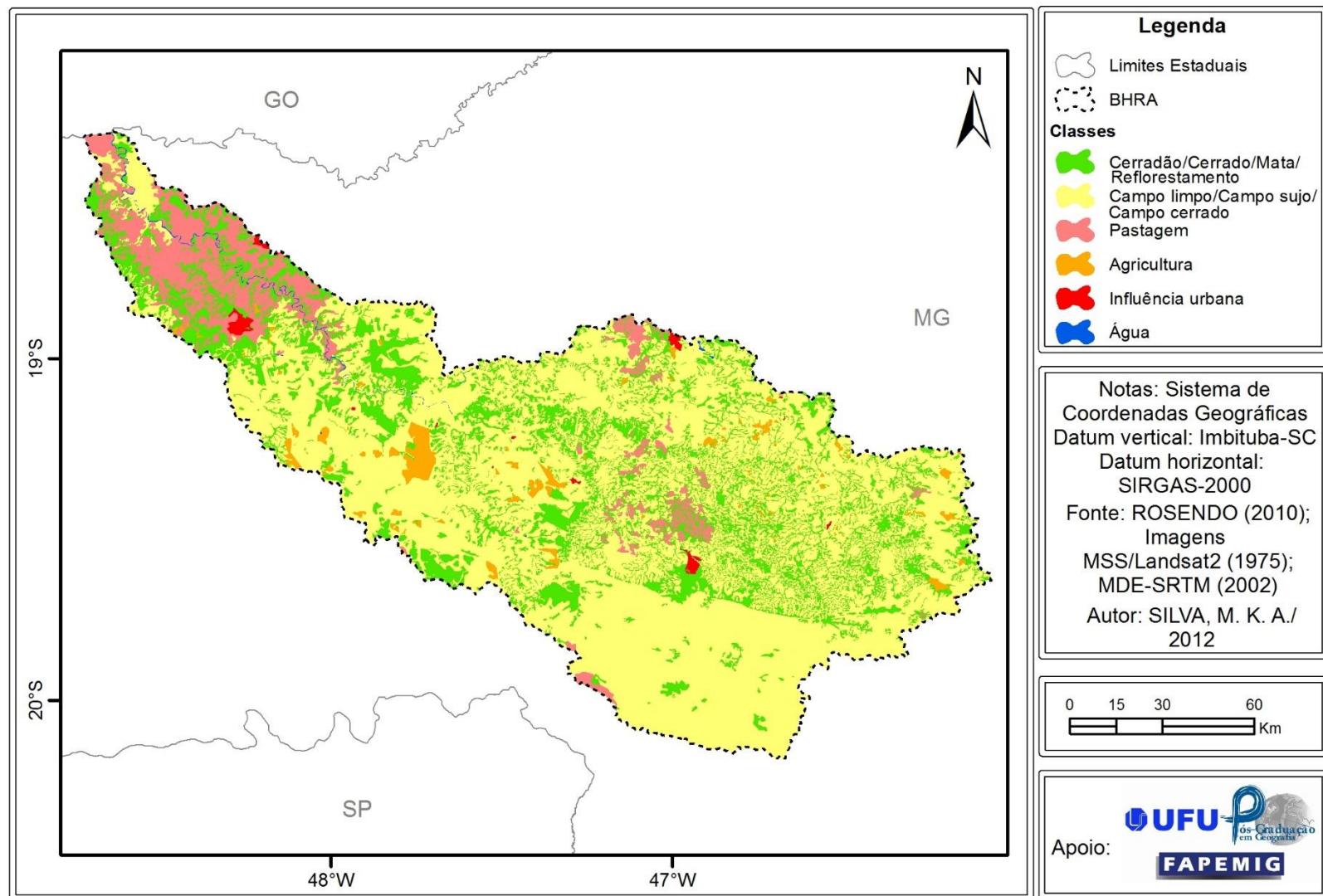


5.1.2 Uso da terra e cobertura vegetal nativa da BHRA (1975 e 2010)

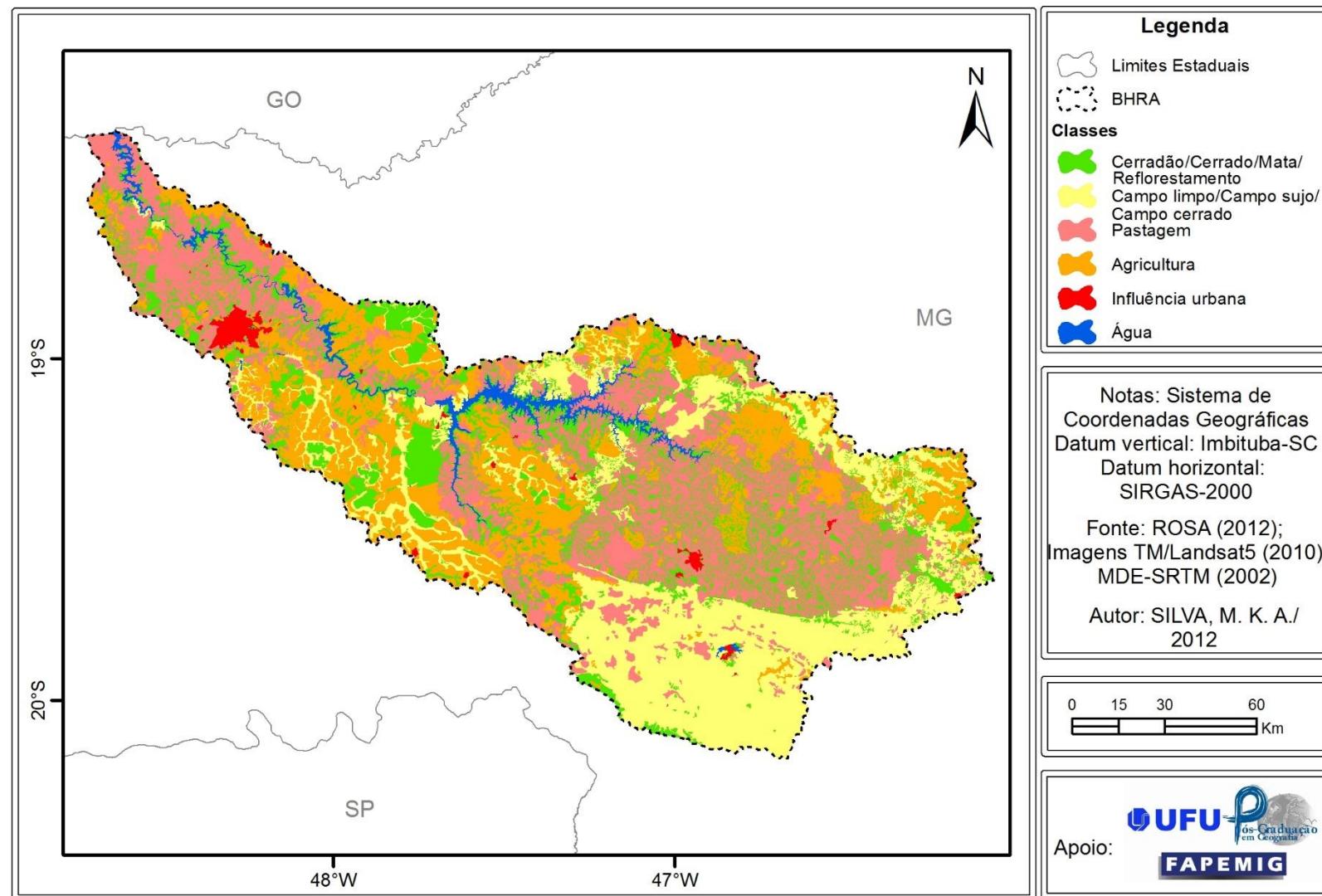
O mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal nativa de uma área permite o conhecimento (qualitativo e quantitativo) das classes de uso para fins diversos. A gestão dos ambientes e dos recursos naturais presentes nesta área é subsidiada pela utilização deste tipo de mapeamento.

O reconhecimento das classes de uso e cobertura vegetal nativa da BHRA para esta pesquisa foi realizado para os anos de 1975 e 2010, respectivamente **Mapa 10** e **Mapa 11**.

Mapa 10 – Uso da terra e cobertura vegetal nativa – 1975



Mapa 11 – Uso da terra e cobertura vegetal nativa – 2010



Nestes mapeamentos foram consideradas 6 classes de interesse para a aplicação do MGB, sendo elas:

- a) **Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento:** comprehende algumas áreas de cobertura vegetal nativas, compostas por vegetação arbustivo-herbácea densa que ocorre nas formações savânicas e florestais e as classes de cobertura vegetal não-nativas compostas por áreas reflorestadas para recomposição de flora ou para fins comerciais com espécies de *pinnus*, *eucalypto*, etc.;
- b) **Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado:** comprehende áreas de cobertura vegetal nativas, compostas por vegetação com fisionomia herbáceo-arbustiva, com a presença (campo sujo) ou não (campo limpo) de arbustos e subarbustos espaçados entre si;
- c) **Pastagem:** comprehende as áreas destinadas ao pastoreio do gado, composta por pastos naturais ou artificiais, degradados ou melhorados;
- d) **Agricultura:** comprehende as áreas de culturas agrícolas permanentes (café, banana, etc.), temporárias (cana-de-açúcar, mandioca, etc.), irrigadas por pivô central ou por irrigação tradicional, com fins comerciais ou de consumo;
- e) **Área urbana:** comprehende as áreas de uso intensivo, estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam as superfícies artificiais não-agrícolas (vilas, cidades, complexos industriais e outras áreas antrópicas isoladas das concentrações urbanas);
- f) **Água:** comprehende os reservatórios de água naturais e artificiais (rios, lagos, represas).

As **Fotos 01 a 06** mostram ilustrações de alguns exemplos das classes mapeadas na BHRA.

Foto 01 – Exemplo ilustrativo da classe de Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento



Cerradão – 17/06/09

Coordenadas: 19°01'15"S, 48°19'24"W

Eucalypto – 18/06/09

Coordenadas: 19°15'33"S, 48°11'42"W

Fonte: ROSENDO (2010)

Foto 02 – Exemplo ilustrativo da classe de Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado



Campo cerrado - 18/06/2009
Coordenadas: 18°49'24"S, 47°59'27"W
Fonte: ROSENDO (2010)

Foto 04 – Exemplo ilustrativo da classe de Agricultura



Café - 17/06/09
Coordenadas: 18°49'20"S, 47°58'45"W
Fonte: ROSENDO (2010)

Foto 03 – Exemplo ilustrativo da classe de Pastagem



Brachiaria - 17/06/09
Coordenadas: 18°44'27"S, 48°5'11"W
Fonte: ROSENDO (2010)

Foto 05 – Exemplo ilustrativo da classe de Área urbana



Área urbana
Coordenadas: 18°9'57"S, 47°22'53"W
Fonte: OLIVEIRA et al. (2012)

Foto 06 – Exemplo ilustrativo da classe de Água



Nascente do rio Claro
Coordenadas: 19°41'23"S, 47°33'25"W
Fonte: FLAUZINO (2008)

De acordo com o mapeamento apresentado destacam-se os valores em km^2 e percentual para cada uma das classes mapeadas, conforme **Tabela 21**.

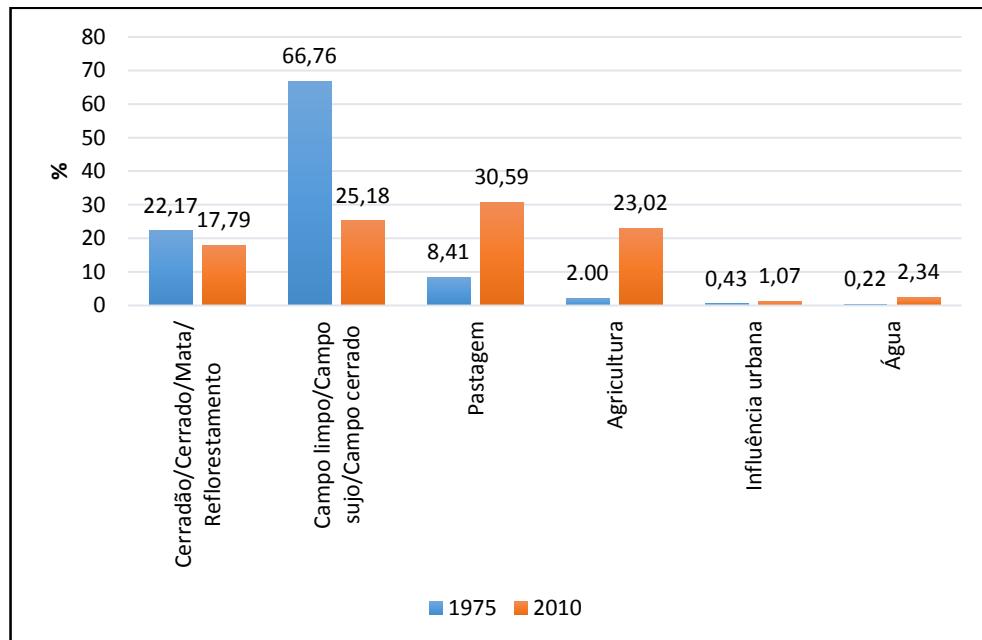
Tabela 21 – Área das classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa (1975 e 2010)

Classe	1975		2010	
	km^2	%	km^2	%
Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento	4.910,22	22,17	3.940,43	17,79
Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado	14.785,28	66,76	5.575,63	25,18
Pastagem	1.863,43	8,41	6.775,01	30,59
Agricultura	442,50	2,00	5.099,05	23,02
Influência urbana	96,31	0,43	237,38	1,07
Água	48,49	0,22	518,72	2,34
Total	22.146,23	100,00	22.146,23	100,00

Autor: SILVA, M.K.A. (2014).

Os valores das classes mapeadas podem ser melhor visualizados no gráfico apresentado na **Figura 23**.

Figura 23 – Gráfico comparativo de valores percentuais das classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa da BHRA (1975 e 2010)



Autor: SILVA, M.K.A. (2014).

No ano de 1975 a classe de uso da terra e cobertura vegetal nativa predominante é a de formação campestre (Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado) com o total de 66,76% da área de

estudo, seguida pela classe florestal (Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento) com 22,17%, e ainda, as classes de atividades agropecuárias (pastagem e agricultura), de cunho economicamente produtivo com o valor total correspondente a 10,41% da área da BHRA.

Em 2010, por sua vez, o cenário se encontra consideravelmente alterado devido ao grande avanço das atividades econômicas na região, em especial aquelas voltadas às atividades agropecuárias. Pode-se notar, pelo mapeamento realizado, que as classes de cobertura vegetal nativa reduziram de maneira impactante no cenário da BHRA, tendo sido as únicas classes a sofrer redução de área recoberta, no período considerado. Em 2010, a cobertura vegetal (florestal e campestre) se reduziu praticamente a metade dos valores calculados para o ano de 1975, ou seja, passou de 88,93% para 42,97%.

Os valores das classes correspondentes às atividades agropecuárias (Agricultura e Pastagem) sofreram um acréscimo considerável pelo desenvolvimento de melhores condições de prática de manejo destas atividades produtivas na região. A classe de Pastagem aumentou o percentual de 8,41% (1975) para 30,59% (2010) e a classe de Agricultura aumentou o percentual de 2% (1975) para 23,02% (2010). No ano de 2010, as atividades agropecuárias compunham mais da metade da área da BHRA (53,62%), ou seja, uma grande área ocupada por atividades economicamente produtivas em detrimento da cobertura vegetal nativa que cedeu espaço para estas atividades.

A classe de Áreas urbanas também sofreu um incremento pelo aceleramento do crescimento das cidades, associado a alguns processos como a urbanização do espaço rural e o surgimento das indústrias. Houve, praticamente, um acréscimo de mais do que o dobro do valor da área urbana mapeada de 1975 para 2010, ou seja, o correspondente a 0,43% para 1,07% da área da BHRA.

A classe de Água, por fim, também recebeu intenso incremento nos valores calculados devido a implementação de diversas usinas hidrelétricas e a inserção de reservatórios artificiais ao longo do rio Araguari. Houve um aumento de 0,22% (1975) para 2,34% (2010) no período considerado.

Para um melhor entendimento da distribuição do uso da terra e cobertura vegetal nativa, na área de estudo, são mostradas as distribuições das classes mapeadas para cada sub-bacia, conforme **Tabelas 22 a 30.**

Tabela 22 – Área das classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa da sub-bacia Ibiá (1975 e 2010)

Classe	1975		2010	
	km ²	%	km ²	%
Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento	343,11	25,00	287,30	20,94
Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado	991,24	72,23	469,46	34,21
Pastagem	1,81	0,13	477,48	34,79
Agricultura	33,34	2,43	130,94	9,54
Influência urbana	2,81	0,20	7,12	0,52
Água	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	1.372,30	100,00	1.372,30	100,00

Autor: SILVA, M.K.A. (2014).

Tabela 23 – Área das classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa da sub-bacia Fazenda São Mateus (1975 e 2010)

Classe	1975		2010	
	km ²	%	km ²	%
Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento	253,81	19,40	208,79	15,96
Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado	1.054,52	80,60	630,15	48,16
Pastagem	0,00	0,00	457,37	34,96
Agricultura	0,00	0,00	11,50	0,88
Influência urbana	0,00	0,00	0,52	0,04
Água	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	1.308,33	100,00	1.308,33	100,00

Autor: SILVA, M.K.A. (2014).

Tabela 24 – Área das classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa da sub-bacia Desemboque (1975 e 2010)

Classe	1975		2010	
	km ²	%	km ²	%
Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento	43,76	3,97	28,15	2,55
Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado	1.058,88	96,03	1.026,44	93,09
Pastagem	0,00	0,00	19,22	1,74
Agricultura	0,00	0,00	27,66	2,51
Influência urbana	0,00	0,00	1,17	0,11
Água	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	1.102,64	100,00	1.102,64	100,00

Autor: SILVA, M.K.A. (2014).

Tabela 25 – Área das classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa da sub-bacia Ponte da Antinha (1975 e 2010)

Classe	1975		2010	
	km ²	%	km ²	%
Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento	397,13	31,24	283,63	22,31
Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado	715,81	56,31	87,61	6,89
Pastagem	135,68	10,67	778,07	61,20
Agricultura	0,87	0,07	94,10	7,40
Influência urbana	21,79	1,71	27,88	2,19
Água	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	1.271,29	100,00	1.271,29	100,00

Autor: SILVA, M.K.A. (2014).

Tabela 26 – Área das classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa da sub-bacia Ponte João Cândido (1975 e 2010)

Classe	1975		2010	
	km ²	%	km ²	%
Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento	1.114,44	24,34	853,60	18,64
Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado	3.275,80	71,54	895,72	19,56
Pastagem	111,02	2,42	1.731,76	37,82
Agricultura	72,23	1,59	1.033,90	22,58
Influência urbana	1,21	0,03	5,89	0,13
Água	3,59	0,08	57,93	1,27
Total	4.578,79	100,00	4.578,79	100,00

Autor: SILVA, M.K.A. (2014).

Tabela 27 – Área das classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa da sub-bacia Ponte Santa Juliana (1975 e 2010)

Classe	1975		2010	
	km ²	%	km ²	%
Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento	377,31	12,72	341,32	11,50
Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado	2.520,44	84,94	1.339,74	45,15
Pastagem	47,05	1,59	741,28	24,98
Agricultura	22,32	0,75	511,73	17,25
Influência urbana	0,00	0,00	10,34	0,35
Água	0,25	0,01	22,96	0,77
Total	2.967,37	100,00	2.967,37	100,00

Autor: SILVA, M.K.A. (2014).

Tabela 28 – Área das classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa da sub-bacia Porto Saracura (1975 e 2010)

Classe	1975		2010	
	km ²	%	km ²	%
Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento	1.039,42	22,81	883,15	19,38
Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado	3.124,68	68,57	842,78	18,50
Pastagem	119,65	2,63	770,74	16,91
Agricultura	244,19	5,36	1.754,93	38,51
Influência urbana	22,57	0,50	34,08	0,75
Água	6,14	0,13	270,97	5,95
Total	4.556,65	100,00	4.556,65	100,00

Autor: SILVA, M.K.A. (2014).

Tabela 29 – Área das classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa da sub-bacia Fazenda Letreiro (1975 e 2010)

Classe	1975		2010	
	km ²	%	km ²	%
Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento	98,35	12,49	170,23	21,61
Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado	649,89	82,52	156,17	19,83
Pastagem	2,11	0,27	31,54	4,00
Agricultura	37,22	4,73	429,64	54,55
Influência urbana	0,00	0,00	0,00	0,00
Água	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	787,58	100,00	787,58	100,00

Autor: SILVA, M.K.A. (2014).

Tabela 30 – Área das classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa da sub-bacia Exutório (1975 e 2010)

Classe	1975		2010	
	km ²	%	km ²	%
Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento	1.246,28	29,66	885,80	21,08
Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado	1.389,36	33,07	121,90	2,90
Pastagem	1.447,31	34,45	1.767,67	42,07
Agricultura	32,68	0,78	1.108,68	26,39
Influência urbana	48,08	1,14	150,52	3,58
Água	37,57	0,89	166,70	3,97
Total	4.201,28	100,00	4.201,28	100,00

Autor: SILVA, M.K.A. (2014).

De todas as sub-bacias apresentadas a sub-bacia que sofreu menores taxas percentuais de alteração de classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa, na BHRA, foi a sub-bacia Desemboque. Uma pequena parte da área norte do Parque Nacional da Serra da Canastra faz parte desta sub-bacia, fato que auxiliou na preservação da cobertura vegetal nativa presente na mesma.

A sub-bacia que sofreu maiores taxas percentuais de alteração de classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa, na BHRA, foi a sub-bacia Fazenda Letreiro. Nesta sub-bacia houve a maior alteração de substituição das classes de cobertura vegetal nativa (Cerradão/Cerrado/Mata, Campo limpo/, Campo sujo/Campo cerrado) pela classe correspondente a classe de Agricultura.

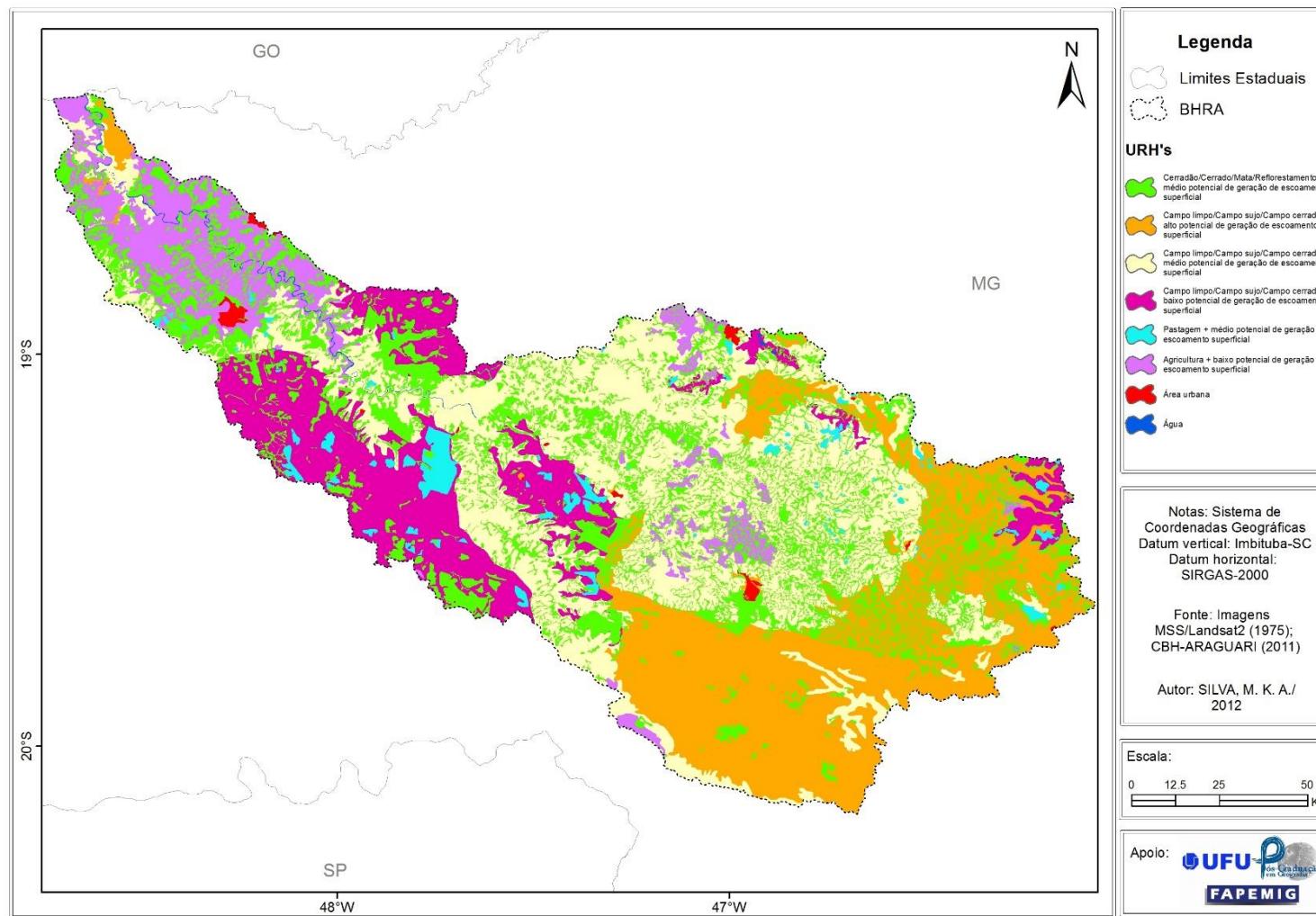
As mudanças de uso da terra e cobertura vegetal nativa na BHRA, de 1975 a 2010, e seus impactos no comportamento da vazão na área de estudo, serão discutidas e aprofundadas em capítulo apropriado e posteriormente apresentado nesta pesquisa.

5.1.3 Unidades de Resposta Hidrológica da BHRA

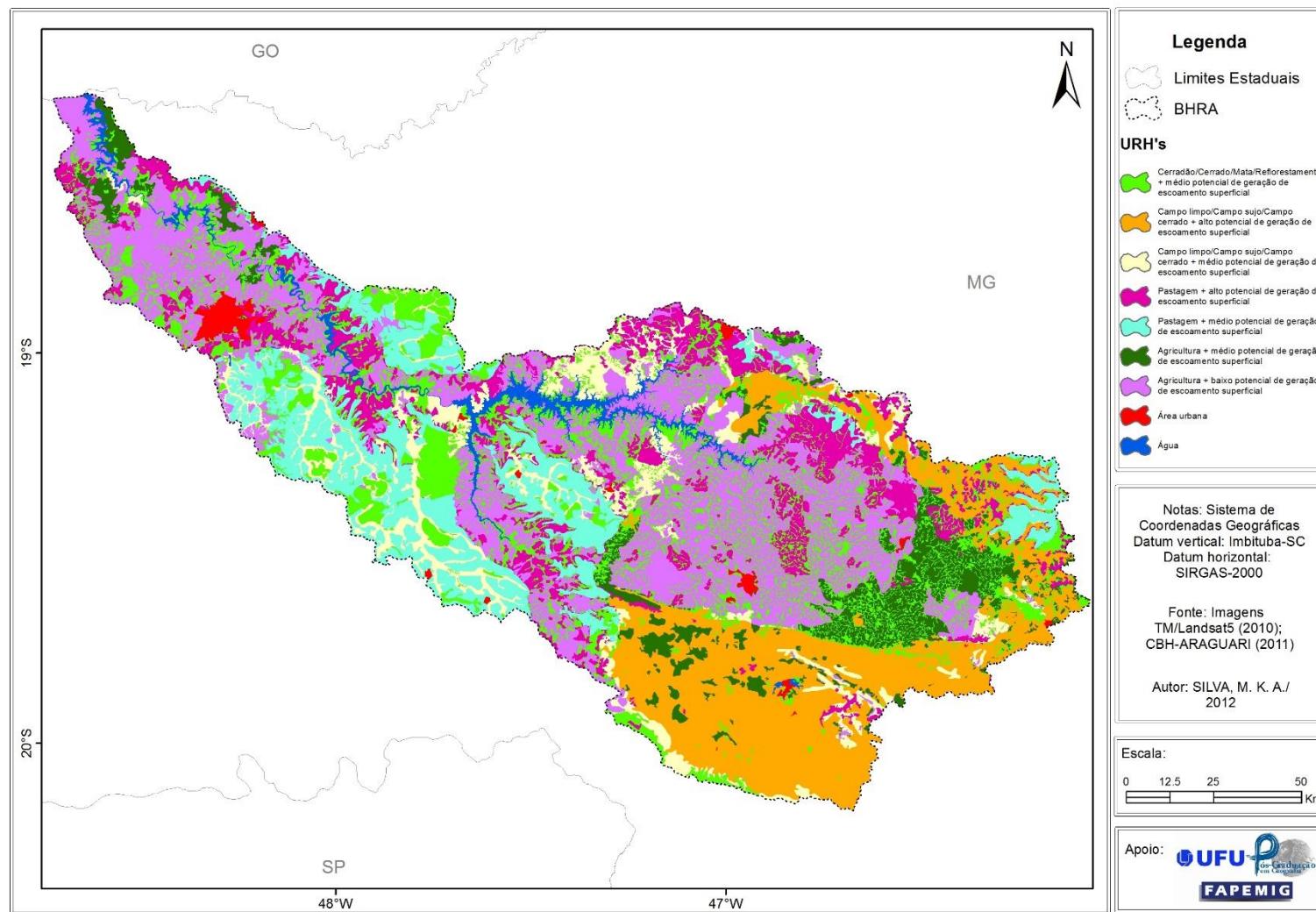
As URH's da BHRA são relevantes para a pesquisa, no sentido de que os parâmetros utilizados na simulação da vazão, a partir do MGB, são relacionados as estas unidades.

Os mapas com as URH's espacializadas, para os anos de 1975 e 2010, estão apresentados no **Mapa 12** e **Mapa 13**, respectivamente, a seguir.

Mapa 12 – URH's 1975 (potencial de geração de escoamento x uso da terra e cobertura vegetal nativa de 1975)



Mapa 13 – URH's 2010 (potencial de geração de escoamento x uso da terra e cobertura vegetal nativa de 2010)



A área representada para ambos os mapas de URH's da BHRA, podem ser visualizadas na **Tabela 31**.

Tabela 31 – Área das URH's da BHRA

URH 1975	URH 2010	Descrição	Área da bacia 1975 (%)	Área da bacia 2010 (%)
1	1	Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento + médio potencial de geração de escoamento superficial	22,17	17,79
2	2	Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado + com alto potencial de geração de escoamento superficial	23,29	17,19
3	3	Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado + médio potencial de geração de escoamento superficial	29,56	7,99
4	-	Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado + baixo potencial de geração de escoamento superficial	13,90	-
-	4	Pastagem + alto potencial de geração de escoamento superficial	-	6,54
5	5	Pastagem + médio potencial de geração de escoamento superficial	8,42	24,05
-	6	Agricultura + médio potencial de geração de escoamento superficial	-	11,30
6	7	Agricultura + baixo potencial de geração de escoamento superficial	2,00	11,73
7	8	Área urbana	0,44	1,07
8	9	Água	0,22	2,34

Autor: SILVA, M.K.A. (2014).

A partir do mapeamento de uso da terra e cobertura vegetal nativa, do ano de 1975, verificou-se que houve a predominância das classes florestais (22,17%) e campestres (52,85%) em áreas de médio a alto potencial de geração de escoamento superficial. A partir do mesmo mapeamento, no ano de 2010, verificou-se a predominância das classes agropecuárias: Pastagem (24,05%) e Agricultura (23,03%), em áreas com baixo a médio potencial de geração de escoamento superficial, na BHRA.

5.1.4 Estimativa dos parâmetros e calibração do MGB

Os parâmetros calibráveis W_m , b , K_{bas} , K_{int} , XL , Cap e W_c foram inicialmente calibrados manualmente e, posteriormente, melhor ajustados através de uma calibração automática.

O parâmetro de Capacidade de armazenamento máximo de água no solo (W_m) girou em torno de 360 a 970 mm para a classe de Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento, 260 a 1200 mm

para a classe de Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado, 210 a 950 mm para a classe de Pastagem e 186 a 1240 mm para a classe de Agricultura. Considerou-se, em média, o valor de Wm maior para a classe de Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento, em relação as classes de agricultura e pastagem, devido ao maior comprimento das raízes das árvores. Considerou-se ainda, os valores de Wm maiores para as classes com baixo potencial de geração de escoamento superficial, por se tratar de áreas com solos mais profundos e mais bem drenados.

Os demais parâmetros tiveram os valores variados apenas pelo tipo de uso da terra e cobertura vegetal. Os valores de b variaram entre 0,15 e 0,83. Os valores de kbas e kint variaram entre, 1,32 e 8,75 mm/dia e 12 e 60 mm/dia, respectivamente. Percebe-se que os valores de kint foram superiores aos valores de kbas, o que se explica pelo fato de que o escoamento superficial é mais rápido que o escoamento sub-superficial, e este ainda mais rápido que o escoamento subterrâneo. Collischonn (2001), em sua simulação do MGB para a bacia do rio Taquari-Antas, encontrou valores entre 0,5 a 2 mm/dia para o parâmetro kbas e valores entre 3 a 7 mm/dia para o parâmetro kint.

Os valores dos parâmetros XL, Cap e Wc foram constantes para todas as URH em todas as sub-bacias, com valores correspondentes a 0,67, 0 e 0,1 mm, respectivamente (valores sugeridos pelo MGB).

Os parâmetros CS, CI e CB foram ajustados para cada sub-bacia no sentido de melhorar a calibração do modelo e as funções objetivo.

Os parâmetros fixos, por sua vez, como o albedo, o IAF, o z e o rs, tiveram variações em função das classes de uso da terra e cobertura vegetal presentes na BHRA.

O albedo teve seu valor fixado em 0,12 para a classe de Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento, de 0,18 para a classe de Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado e a classe de Pastagem e, por fim, de 0,15 para a classe de Agricultura.

O IAF, por sua vez, foi considerado com o valor 4 para a classe de Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento, 2 para as classes de Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado, de Pastagem e para a classe de Agricultura.

A altura das árvores (z) foi considerada constante com o valor de 6 m para as classes de Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento, de 0,7 m para as classes de Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado, de Pastagem e para a classe de Agricultura.

Os valores das funções objetivo obtidas para a simulação de vazão na BHRA podem ser visualizados na **Tabela 32**.

Tabela 32 – Valores das funções objetivo para simulação de vazão da BHRA (1975 a 2010)

Sub-bacia	Rio	R2	Rlog	ΔV (%)
Ibiá	Misericórdia	0,808	0,865	-0,092
Fazenda São Mateus	Quebra-Anzol	0,726	0,798	-4,256
Desemboque	Araguari	0,670	0,786	0,028
Ponte da Antinha	Araguari	0,760	0,805	-1,973
Ponte João Cândido	Quebra-anzol	0,880	0,920	-6,126
Ponte Santa Juliana	Capivara	0,696	0,667	-2,505
Porto Saracura	Araguari	0,567	0,631	0,048
Fazenda Letreiro	Uberabinha	0,528	0,635	0,034
Exutório	Araguari	-	-	-

(-) Não se aplica.

Fonte: MGB.

Para a BHRA, os valores para o coeficiente de Nash (R2) variaram de 0,528 a 0,880, enquanto o coeficiente de Nash para logaritmos das vazões (Rlog), variou de 0,631 a 0,865. Os valores dos coeficientes foram considerados satisfatórios, visto que, Collischonn (2001), como já mencionado anteriormente, destaca que os valores do coeficiente de Nash (R2) devem ficar em torno de 0,75 para que o desempenho do modelo seja considerado adequado, sendo que valores entre 0,36 e 0,75 também são considerados aceitáveis para a aplicação do modelo. O mesmo autor em sua simulação do MGB para a bacia do rio Taquari-Antas, encontrou valores do coeficiente de Nash (R2) entre 0,66 a 0,9, com valores de ΔV atingindo um erro absoluto máximo de 6%.

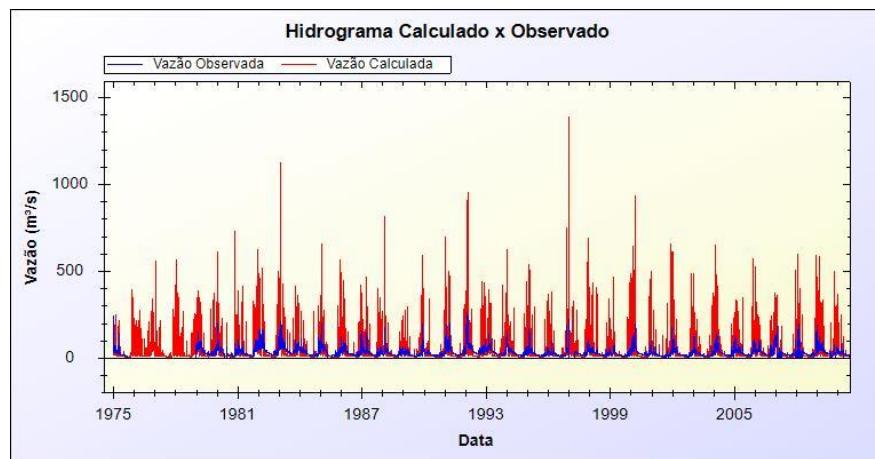
De modo geral, a sub-bacia Ibiá, obteve melhor qualidade de ajuste para os valores das funções objetivo, com o valor de 0,808 para o coeficiente de Nash (R2), 0,865 para o coeficiente de Nash para logaritmos das vazões (Rlog) e ΔV atingindo um erro absoluto menor que 0,1%.

As únicas sub-bacias com valores de Nash (R2) inferiores a 0,6 foram as sub-bacias Porto Saracura e Fazenda Letreiro. A sub-bacia Porto Saracura teve os resultados de sua calibração prejudicados pela operação das barragens implementadas no curso do rio Araguari, a exemplo da UHE de Nova Ponte e Miranda.

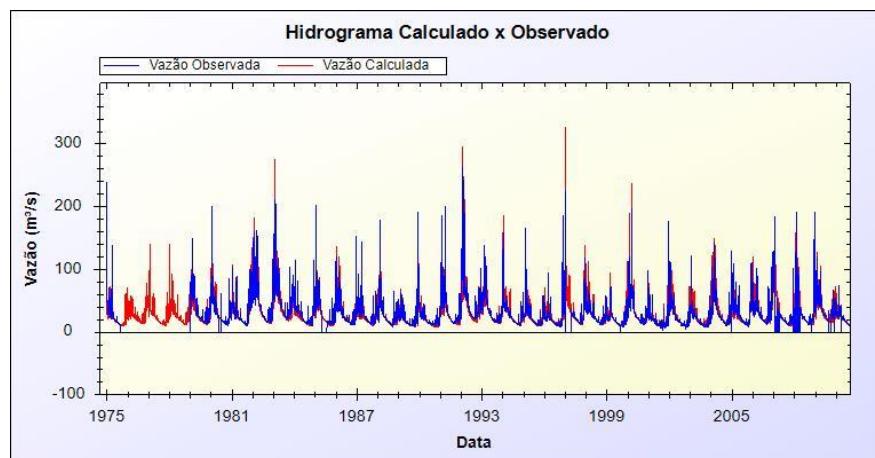
A sub-bacia Fazenda Letreiro apresentou um erro de volume muito bom, mas os valores de Nash (R2) ficaram um pouco abaixo dos demais devido à diferença de respostas entre os eventos mais recentes e os eventos mais antigos, já que a calibração acaba por realizar uma média de todo o período de calibração.

A **Figura 24** mostra a comparação dos hidrogramas da vazão diária para a sub-bacia Ibiá, antes da calibração (a) e após a calibração (b).

Figura 24 – Hidrogramas de vazão diária (observada e calculada), do rio Misericórdia, sub-bacia Ibiá, para simulação de vazão diária da BHRA (1975 a 2010) – antes e após calibração



(a) Antes da calibração



(b) Após a calibração

Fonte: MGB.

A partir da comparação dos hidrogramas apresentados na **Figura 24**, pode ser percebido a discrepância dos valores da vazão observada (ANA) e calculada (MGB) antes da fase de calibração e, um melhor ajuste dos mesmos, após a fase de calibração do MGB.

5.2 Vazão diária para sub-bacias da BHRA – Dados ANA e MGB (1975 a 2010)

As séries históricas, obtidas a partir das estações fluviométricas da ANA, permitiram a obtenção de dados diários de vazão para a BHRA, no período de 1975 a 2010. No entanto, conforme mostrado anteriormente, há alguns períodos com falhas de dados de vazão coletados para as estações fluviométricas e pluviométricas (ANA) presentes na área da BHRA.

É fato conhecido que os dados observados pelas estações fluviométricas, de algumas instituições, algumas vezes não estão disponíveis para a localidade e/ou período desejados. Neste sentido, os modelos hidrológicos surgem para suprir (a partir de uma de suas inúmeras aplicações) a demanda de dados confiáveis e contínuos em diversos estudos.

Além da observação e análise considerada, a partir dos dados coletados pela ANA, o MGB permitiu a verificação da vazão diária na BHRA para todo o período considerado na pesquisa, a partir de dados calculados pelo modelo, para análise das vazões na bacia em estudo. E, permitiu ainda, a simulação de cenários hipotéticos de uso da terra para verificação do comportamento da vazão dos rios presentes área de estudo.

Considerando que o ajuste do MGB à simulação da BHRA tenha sido adequado para o estudo da vazão e a avaliação das consequências das mudanças de uso da terra e cobertura vegetal nativa, os parâmetros obtidos na calibração foram considerados como confiáveis. Assim, todos os hidrogramas tiveram um ajuste aceitável em relação a medida da vazão diária (observada e calculada) nas sub-bacias verificadas.

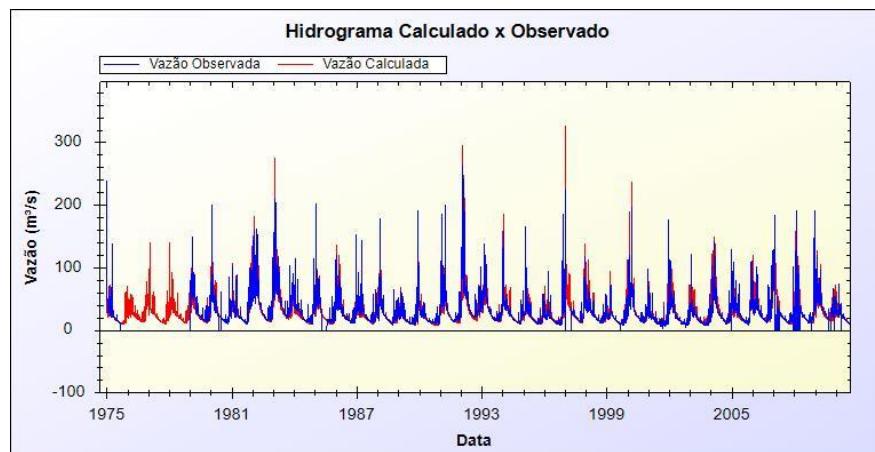
As sub-bacias Ibiá, Fazenda São Mateus e Desemboque são bacias de cabeceira e, apesar de terem maior tendência em não apresentar um bom ajustamento do modelo por causa da perda de água para bacias vizinhas, não tiveram suas análises prejudicadas.

Assim, considerando-se os melhores ajustes dos hidrogramas de vazões observadas e calculadas para as sub-bacias da BHRA, a quantidade de dados disponíveis de vazão diária observados (ANA) e ainda a posição geográfica na bacia (em relação a influência dos reservatórios presentes na área de estudo) foram selecionadas para análise da vazão, no período estudado, as seguintes sub-bacias: Ibiá, Fazenda São Mateus, Desemboque e Fazenda Letreiro. Destas, a sub-bacia Fazenda Letreiro é a única que apresenta dados controlados, sendo importante a observação dos valores das vazões analisadas para esta sub-bacia.

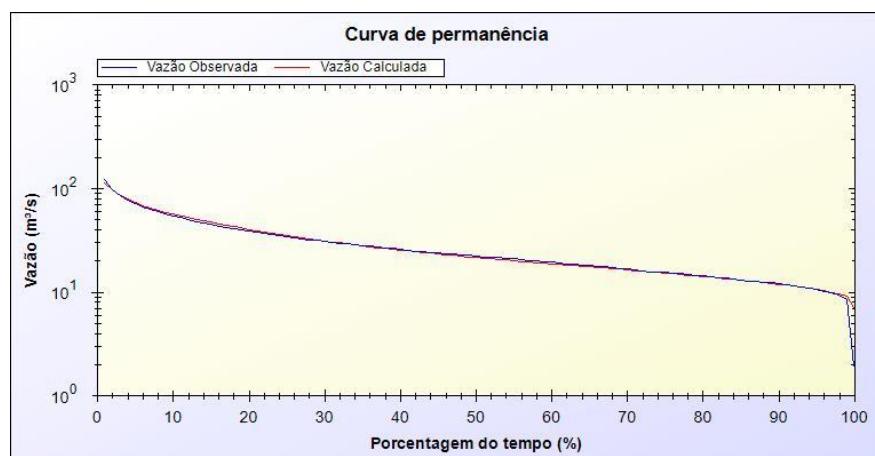
5.2.1 Vazão diária da sub-bacia Ibiá (1975 a 2010)

A sub-bacia Ibiá, que nesta pesquisa recebeu este nome pela presença da estação fluviométrica Ibiá (ANA), abrange parte dos municípios de Ibiá, Pratinha e Campos Altos. Esta sub-bacia possui uma área de 1.372,30 km². O hidrograma e curva de permanência de vazões diárias do rio Misericórdia, sub-bacia Ibiá, foram aqueles que apresentaram melhor ajuste entre os dados observados (ANA) e calculados (MGB), conforme **Figura 25a,b**.

Figura 25 – Hidrograma e curva de permanência da vazão diária (observada e calculada) do rio Misericórdia, sub-bacia Ibiá (1975 a 2010)



(a)



(b)

Fonte: MGB.

As **Tabelas 33 e 34**, permitem verificar os valores da vazão diária máxima (Qmáx), mínima (Qmín) e média (Qméd) para cada um dos anos de 1975 a 2010, os valores do total da precipitação anual, da lâmina escoada (Qméd em mm/ano) e a diferença de escoamento ($\Delta Qméd$) para a sub-bacia Ibiá, rio Misericórdia (Dados da ANA e MGB).

Tabela 33 – Vazão máxima, mínima e média, lâmina escoada, precipitação anual e diferença de escoamento, para a sub-bacia Ibiá (1975 a 2010) - Dados da ANA

Ano	ANA					
	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)	Qméd (m ³ /s)	Total de precipitação anual (mm/ano)	Qméd (mm/ano)	ΔQméd (mm/ano)
1975*	237,00	9,34	27,48	1.249,60	631,44	--
1976	--	--	--	1.501,60	--	--
1977	--	--	--	1.306,80	--	--
1978	--	--	--	1.665,40	--	--
1979	149,00	12,50	34,07	1.442,00	783,03	--
1980*	199,69	9,62	31,67	1.556,50	727,72	-55,31
1981	101,60	9,90	29,60	1.470,70	680,18	-47,54
1982	161,62	14,49	40,67	1.560,40	934,55	254,37
1983	209,89	19,83	50,24	2.477,40	1.154,50	219,95
1984	114,03	9,06	26,49	1.190,20	608,68	-545,83
1985**	200,44	10,751	33,65	1.499,40	773,23	164,56
1986	152,05	10,46	28,98	2.184,90	665,98	-107,25
1987	142,54	9,9	26,25	1.355,50	603,33	-62,65
1988	177,20	8,23	24,44	1.278,80	561,56	-41,77
1989	191,04	8,23	20,70	1.516,70	475,70	-85,86
1990	103,37	8,78	19,24	1.047,10	442,15	-33,55
1991	199,69	11,31	33,43	1.651,60	768,34	326,20
1992	261,60	20,43	48,97	1.794,70	1.125,35	357,00
1993	137,44	13,33	33,10	1.390,70	760,72	-364,62
1994	157,20	9,90	28,94	1.388,60	665,08	-95,64
1995	164,95	9,34	23,72	1.289,50	545,11	-119,98
1996	185,42	8,23	20,92	1.603,00	480,68	-64,42
1997**	223,19	12,17	26,69	1.094,70	613,31	132,62
1998	76,53	10,75	25,16	1.293,90	578,26	-35,05
1999*	72,08	7,68	20,42	1.236,60	469,35	-108,91
2000	195,17	11,60	32,21	1.541,70	740,15	270,80
2001	175,34	1,95	17,41	1.419,60	400,14	-340,01
2002	109,04	4,4	22,02	921,00	505,99	105,85
2003	118,67	6,69	20,18	1.412,70	463,81	-42,18
2004	140,72	9,89	30,04	1.980,40	690,42	226,61
2005	128,02	8,28	29,43	1.627,70	676,41	-14,01
2006	126,22	11,54	30,81	1.662,80	707,95	31,54
2007*	182,99	9,23	28,29	1.326,70	673,01	-34,94
2008*	190,48	11,68	29,30	1.603,70	673,21	0,21
2009	119,75	16,07	40,34	1.608,40	927,04	253,82
2010*	90,20	4,15	24,09	1.311,94	553,67	-373,37
Média (1975 a 2010)	157,40	10,29	29,09	1.485,08	668,49	-
Desvio Padrão	46,75	3,77	7,69	297,79	176,77	-

Obs.: (--) Ausência de dados; (-) Não se aplica; (*) Dados das estações fluviométricas (ANA) não são 100% completos; (**) Dados das estações fluviométricas/pluviométricas (ANA) não são 100% completos. Fonte: ANA

Tabela 34 – Vazão máxima, mínima e média, lâmina escoada e diferença de escoamento, para a sub-bacia Ibiá (1975 a 2010) – Dados do MGB

Ano	MGB-75 (URH's 1975)					MGB-10 (URH's 2010)				
	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)	Qméd (m ³ /s)	Qméd (mm/ano)	ΔQméd (mm/ano)	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)	Qméd (m ³ /s)	Qméd (mm/ano)	ΔQméd (mm/ano)
1975	79,07	8,45	22,49	516,73		70,70	8,82	22,40	514,79	-
1976	81,91	12,31	28,29	650,16	133,43	76,18	12,57	27,50	631,87	117,08
1977	154,77	8,98	26,37	605,93	-44,23	138,55	9,25	25,86	594,18	-37,69
1978	156,19	11,25	29,07	667,98	62,05	139,17	11,57	28,28	649,80	55,62
1979	115,16	10,95	29,62	680,68	12,70	101,56	11,24	28,90	664,03	14,23
1980	181,97	9,90	33,84	777,70	97,02	162,27	10,33	32,93	756,85	92,83
1981	115,62	9,64	30,20	694,06	-83,63	106,11	9,87	29,19	670,78	-86,07
1982	196,20	11,80	42,77	982,81	288,75	181,93	12,26	41,97	964,42	293,65
1983	307,24	15,60	49,42	1.135,78	152,97	275,26	16,44	48,01	1.103,29	138,86
1984	91,63	8,79	22,20	510,22	-625,56	83,69	9,01	22,12	508,23	-595,06
1985	190,93	8,79	25,94	596,21	85,98	169,17	9,01	25,43	584,39	76,16
1986	160,43	10,02	32,80	753,86	157,66	134,83	10,40	31,64	727,15	142,75
1987	119,06	9,45	24,25	557,17	-196,69	109,41	9,78	23,69	544,29	-182,85
1988	140,80	9,68	26,51	609,16	51,99	125,34	10,01	25,75	591,72	47,42
1989	114,44	8,06	21,04	483,50	-125,66	106,41	8,18	20,41	468,99	-122,73
1990	118,02	7,03	17,89	411,10	-72,40	108,27	7,13	17,56	403,48	-65,51
1991	182,46	8,73	29,62	680,70	269,59	166,52	8,76	28,68	658,98	255,50
1992	329,64	14,44	45,08	1.035,90	355,20	294,09	15,10	43,78	1.006,11	347,13
1993	104,56	11,76	31,86	732,22	-303,67	96,82	12,10	31,31	719,54	-286,57
1994	212,67	9,08	32,12	738,15	5,93	185,51	9,42	31,20	716,88	-2,66
1995	112,30	8,82	23,84	547,77	-190,38	102,73	9,02	23,17	532,53	-184,35
1996	117,89	9,38	24,53	563,62	15,84	108,56	9,51	23,61	542,55	10,02
1997	382,42	10,58	40,94	940,80	377,18	326,22	11,14	39,67	911,53	368,97

(Continua...)

(Conclusão)

Ano	MGB-75 (URH's 1975)					MGB-10 (URH's 2010)				
	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)	Qméd (m ³ /s)	Qméd (mm/ano)	ΔQméd (mm/ano)	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)	Qméd (m ³ /s)	Qméd (mm/ano)	ΔQméd (mm/ano)
1998	121,46	10,71	28,39	652,33	-288,47	111,26	11,13	27,96	642,52	-269,00
1999	101,16	7,80	22,12	508,31	-144,02	94,23	7,94	21,52	494,60	-147,92
2000	253,85	10,48	37,65	865,24	356,94	235,23	10,98	36,51	839,09	344,49
2001	157,64	7,97	20,80	478,01	-387,23	140,20	8,12	20,10	461,81	-377,29
2002	124,32	8,42	27,37	629,01	151,00	110,06	8,74	26,78	615,47	153,67
2003	134,91	8,61	25,57	587,61	-41,40	120,70	8,84	24,67	566,83	-48,64
2004	163,72	11,07	36,39	836,26	248,65	148,71	11,49	35,36	812,50	245,67
2005	109,17	8,94	26,74	614,61	-221,65	97,61	9,21	25,69	590,44	-222,06
2006	133,34	11,67	32,62	749,66	135,05	118,61	12,15	31,76	729,91	139,47
2007	141,59	8,82	32,47	746,28	-3,38	129,42	9,28	31,77	730,14	0,24
2008	209,53	9,88	33,64	773,01	26,73	185,91	10,25	32,57	748,41	18,27
2009	143,64	12,77	34,29	787,90	14,89	126,51	13,26	33,35	766,39	17,98
2010	78,25	8,24	23,38	537,17	-250,74	69,54	8,47	22,77	523,17	-243,22
Média (1975 a 2010)	156,61	9,97	29,78	684,38	-	140,48	10,30	29,00	666,32	-
Desvio Padrão	69,41	1,86	7,13	163,96	-	60,42	1,99	6,91	158,79	-

Obs.: (-) Não se aplica.

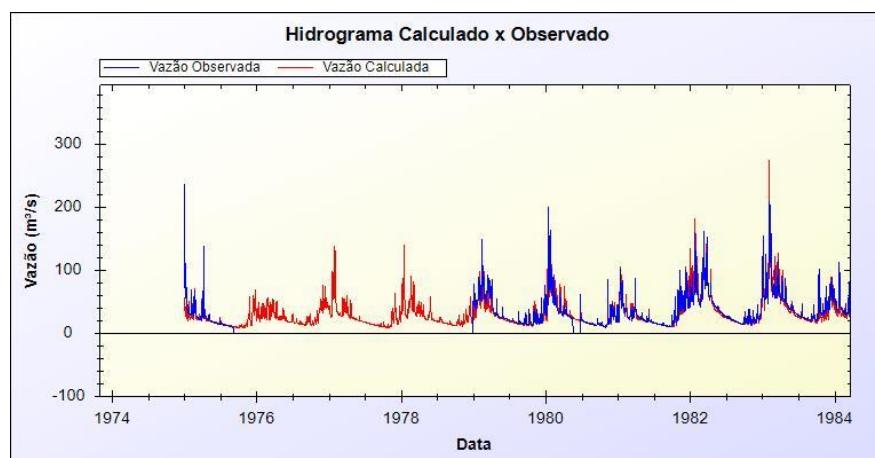
Fonte: MGB.

Pode-se perceber, de acordo com os dados pluviométricos da ANA (**Tabela 33**), a influência dos períodos afetados pelos fenômenos do efeito *El Niño*, no período de 1982/1983 (chuvas acima da média no Sudeste) e 1986/1987, causando alterações no regime pluviométrico e, consequentemente, no regime hidrológico desta sub-bacia e da área de estudo como um todo. Assim, as variações dos dados de vazão visualizados estão relacionadas a alguns destes fatores como: o quantitativo da precipitação em determinado período, as alterações climáticas, a área, forma e topografia da sub-bacia, as condições da superfície do solo e subsolo, a presença de obras de utilização e controle das águas (irrigação, represamento, etc.) e, como destacado neste estudo, a modificação do uso da terra e da cobertura vegetal nativa.

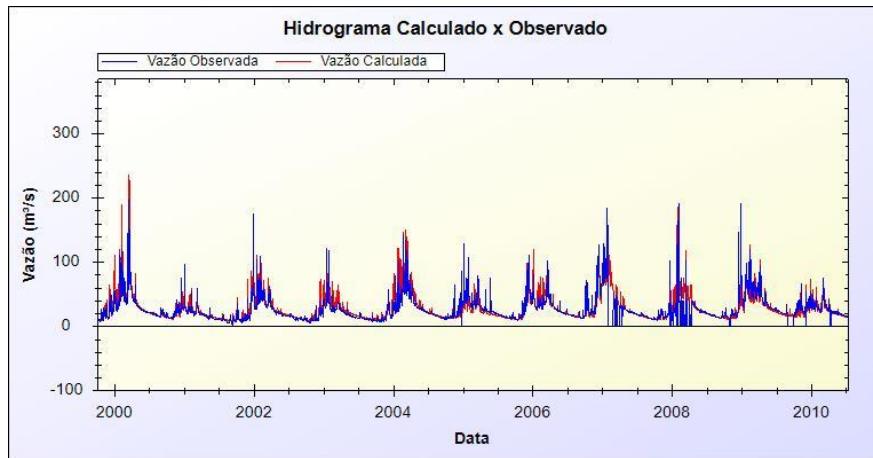
A partir dos dados apresentados nas **Tabelas 33 e 34**, pode-se perceber que, na sub-bacia Ibiá, rio Misericórdia, a vazão média, no período de 1975 a 2010, foi de 29,09 m³/s (ANA), 29,78 m³/s (MGB-75) e 29,00 m³/s (MGB-10). A vazão mínima foi de 10,29 m³/s (ANA), 9,97 m³/s (MGB-75) e 10,30 m³/s (MGB-10) e, por fim, a vazão máxima de 157,40 m³/s (ANA), 156,61 m³/s (MGB-75) e 140,48 m³/s (MGB-10). Nota-se que, de acordo com os dados do MGB, as vazões média e máxima diminuíram e a vazão mínima aumentou, no período considerado.

Além dos dados de vazão diária apresentados para a sub-bacia Ibiá, no período de 1975 a 2010, foram realizadas análises em relação aos dados da vazão diária em períodos distintos, dentro deste intervalo, conforme já mencionado anteriormente. Os hidrogramas, para os dois períodos considerados mais importantes na análise (1975 a 1984 e 2001 a 2010), são apresentados na **Figura 26a,b**.

Figura 26 – Hidrograma da vazão diária (observada e calculada) do rio Misericórdia, sub-bacia Ibiá - 1975 a 1984 (a) e 2001 a 2010 (b)



(a)



(b)

Fonte: MGB.

Em uma análise visual dos hidrogramas da **Figura 26a,b**, percebe-se um bom ajuste nos dados observados (ANA) e calculados (MGB) da vazão diária, com exceção de alguns períodos em que o modelo superestimou os picos das cheias em alguns anos específicos (ano de 1981, 2003, 2004, 2007).

A **Tabela 35** apresenta os valores da vazão diária máxima (Qmáx), mínima (Qmín) e média (Qméd) para os intervalos de 1975 a 1984, 1985 a 1992, 1993 a 2000 e 2001 a 2010, assim como apresenta também os valores do total da precipitação anual, lâmina escoada (Qméd em mm/ano) e diferença de escoamento (Δ Qméd) para os mesmos períodos considerados.

Tabela 35 – Vazão diária máxima, mínima e média, total de precipitação anual, lâmina escoada e diferença de escoamento, para períodos distintos na sub-bacia Ibiá – Dados ANA e MGB

	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)	Qméd (m ³ /s)	Total de precipitação (mm/ano)	Qméd (mm/ano)	Δ Qméd (mm/ano)
Ano		ANA				
1975 a 1984*	237,00	9,06	34,31	1.542,06	788,59	-
1985 a 1992	261,60	8,23	29,46	1.541,08	676,96	-111,63
1993 a 2000	223,19	7,68	26,39	1.354,84	606,58	-70,38
2001 a 2010	190,48	1,95	27,29	1.488,54	627,16	20,58
Ano		MGB-75 (URH's 1975)				
1975 a 1984	307,24	8,45	31,42	-	722,21	-
1985 a 1992	329,64	7,03	28,37	-	640,95	-81,26
1993 a 2000	382,42	7,80	30,17	-	693,55	52,60
2001 a 2010	209,53	7,97	29,33	-	673,95	-19,60

(Continua...)

(Conclusão)						
	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)	Qméd (m ³ /s)	Total de precipitação (mm/ano)	Qméd (mm/ano)	ΔQméd (mm/ano)
Ano	MGB-10 (URH's 2010)					
1975 a 1984	275,26	8,82	30,71	-	705,82	-
1985 a 1992	294,09	7,13	27,54	-	623,14	-82,68
1993 a 2000	326,22	7,94	29,36	-	674,91	51,77
2001 a 2010	185,91	8,12	28,48	-	654,51	-20,40

Obs.: (*) Exceto dados da estação fluviométrica (ANA) para os anos de 1976 a 1978; (-) Não se aplica.

Fonte: ANA e MGB.

Conforme **Tabela 35**, o escoamento anual apresentou redução em relação aos dez anos iniciais do período estudado (1975 a 1984) e os dez anos finais (2001 a 2010). De acordo com os dados da ANA, o escoamento anual reduziu de 788,59 mm/ano (1975 a 1984) para 627,16 mm/ano (2001 a 2010), na sub-bacia em estudo. Ao verificar o total da precipitação anual no período de 1975 a 1984 (1.542,06 mm/ano), constata-se que este foi maior em relação ao período de 2001 a 2010 (1.488,54 mm/ano). Como já comentado anteriormente, o aumento da precipitação influencia no regime hidrológico da área de estudo. No entanto, verificou-se ainda que também houve uma mudança relacionada ao uso da terra e cobertura vegetal nativa, nesta sub-bacia (no período de 1975 a 2010), que influenciou o comportamento da vazão nos rios observados.

De acordo com os dados de vazão calculados pelo MGB, também foi notada a redução do escoamento anual entre os anos de 1975 a 2010. Os dados de vazão calculados pelo MGB-75, mostram que o escoamento anual de 722,21 mm/ano (1975 a 1984) se reduziu para 654,51 mm/ano (2001 a 2010), de acordo com os dados calculados pelo MGB-10.

A vazão média, na sub-bacia Ibiá, também sofreu redução ao longo do período estudado. De acordo com dados da ANA, a vazão média reduziu de 34,31 m³/s (1975 a 1984) para 27,29 m³/s (2001 a 2010). De acordo com os dados calculados pelo MGB-75, ocorreu a redução da vazão média de 31,42 m³/s (1975 a 1984) para 28,48 m³/s (2001 a 2010), de acordo com os dados calculados pelo MGB-10.

Percebe-se, de forma geral, pelos valores discrepantes apresentados nas duas simulações (MGB-75 e MGB-10), que a alteração do uso da terra e cobertura vegetal nativa, ocorrida no período de 1975 a 2010, alterou o comportamento da vazão na sub-bacia Ibiá.

De acordo com o mapeamento de uso da terra e cobertura vegetal apresentado anteriormente, a sub-bacia Ibiá apresentou redução nas classes de cobertura vegetal, durante o período

considerado: a classe de Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento sofreu uma redução de 25% para 20,94%, e a classe de Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado, de 72,23% para 34,21%, entre os anos de 1975 para 2010. De maneira geral, na literatura, são unanimes os resultados em experimentos nos quais o desmatamento ocasiona o aumento do escoamento, destacando-se que a maioria dos estudos em bacias experimentais, ocorreram em bacias de pequeno porte. Os efeitos no escoamento são causados tanto nas vazões mínimas, máximas e médias e são altamente dependentes da forma de manejo do solo na atividade que substitui a cobertura vegetal nativa (TUCCI; CLARKE, 1997). No caso da sub-bacia Ibiá, a cobertura vegetal nativa foi retirada e a vazão foi reduzida. A vazão média, na sub-bacia Ibiá, reduziu em 2,94 m³/s dos dez primeiros anos do período estudado (1975 a 1984 – MGB-75) aos dez últimos anos (2001 a 2010 – MGB-10), enquanto o escoamento anual reduziu em 67,7 mm/ano, no mesmo período de estudo considerado.

É importante salientar o que demonstram os estudos dos autores citados, que a retirada da cobertura vegetal nativa pode influenciar no comportamento da vazão de forma mais ou menos significativa, de acordo com a substituição desse uso.

Verificou-se que a retirada da cobertura vegetal da sub-bacia Ibiá, em parte, foi substituída pelo aumento na classe de Agricultura de 2,43% (1975) para 9,54% (2010).

Em todos os municípios que fazem parte da área da sub-bacia (Ibiá, Campos Altos e Pratinha), existe a produção de algumas culturas temporárias como a soja, o milho, o sorgo, o feijão, o trigo, entre outros, além da produção da cultura permanente do café. Por outro lado, a produção agrícola requer grandes quantidades de água para irrigação, o que afeta e reduz a vazão dos rios presentes na região. Tucci (2002), ainda poderia justificar a redução na vazão, ao descrever em seus estudos, que, os volumes de água, no seu transporte pelos rios ao longo da bacia, são interceptados, evaporados, sendo que esses efeitos podem ser maiores ao longo de bacias de grande porte. Vale ressaltar que os cultivos mencionados na sub-bacia em estudo, estão associados a irrigação através da utilização de pivôs centrais e de técnicas de aspersão, ou seja, existe algum tipo de captação de água para manutenção da atividade produtiva.

A classe da Pastagem, na sub-bacia Ibiá, teve aumento de sua área de 0,13% (1975) para 34,79% (2010), aumento este mais significativo que o da agricultura. Nesta sub-bacia, a agropecuária, voltada para a criação de gado bovino de leite, ocupa áreas de pastagens nativas ou formadas por *brachiaria*, presentes em solos pouco profundos. Neste caso, o aumento significativo da

área de pastagem não fez com que a vazão aumentasse, houve uma redução da vazão máxima, mínima é média para a sub-bacia.

Pode-se verificar que a vazão mínima da sub-bacia Ibiá, de acordo com dados da ANA, reduziu de 9,06 m³/s (1975 a 1984) para 1,95 m³/s (2001 a 2010). De acordo com os dados calculados pelo MGB, também houve uma redução da vazão mínima para os mesmos períodos considerados, embora a redução tenha sido menos significativa.

Os dados calculados a partir do MGB-75, mostram a redução da vazão mínima de 8,45 m³/s (1975 a 1984) para 8,12 m³/s (2001 a 2010), de acordo com os dados calculados pelo MGB-10. Normalmente, o desmatamento tende a aumentar as vazões mínimas, o que não foi verificado nesta sub-bacia, visto que, como já comentado, o comportamento da vazão é dependente do novo uso daquela área a partir da retirada da cobertura vegetal nativa. A redução da vazão mínima na sub-bacia Ibiá é ruim, embora a redução calculada pelo MGB não tenha sido significativa, visto que a manutenção da vazão mínima é uma das variáveis requeridas para possibilitar a continuidade das funções oferecidas pela água nesta e demais bacias hidrográficas.

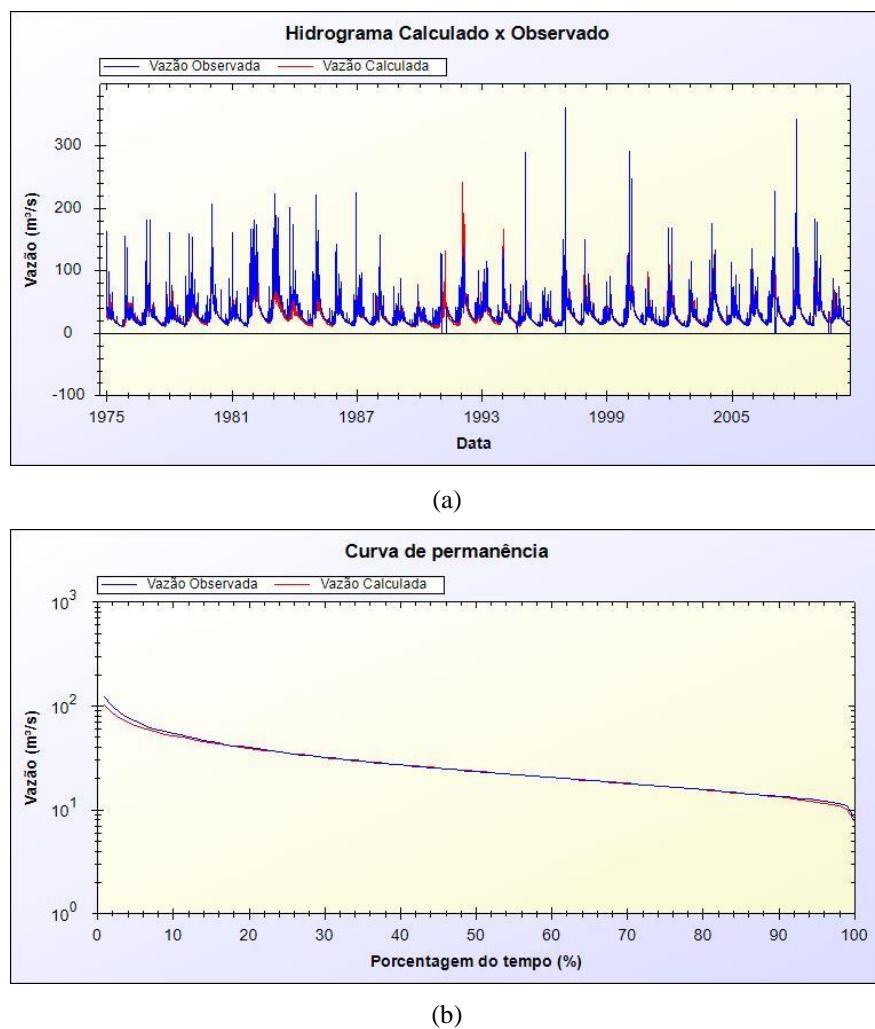
Tão importante quanto a manutenção das vazões mínimas necessárias para a qualidade e quantidade adequadas dos rios presentes na área de estudo, é a manutenção das vazões máximas também dentro de limites ideais. A alteração verificada na vazão máxima na sub-bacia analisada, diferentemente do que foi apontado na análise da vazão mínima, é positiva. Foi verificada a redução da vazão máxima, no período considerado, tanto a partir dos dados da ANA, quanto a partir dos dados calculados pelo MGB. De acordo com dados da ANA, a vazão máxima reduziu de 237,00 m³/s (1975 a 1984) para 190,48 m³/s (2001 a 2010). De acordo com os dados calculados pelo MGB-75, estes mostram a redução da vazão máxima de 307,24 m³/s (1975 a 1984) para 185,91 m³/s (2001 a 2010), de acordo com os dados calculados pelo MGB-10.

Assim, considerando as alterações nas vazões máximas, mínimas e médias e a lâmina escoada para a sub-bacia Ibiá, no período de 1975 a 2010, verificou-se que houveram mudanças consideráveis no uso da terra e cobertura vegetal nativa que influenciaram a alteração do comportamento da vazão observada (ANA) e calculada (MGB) nesta pesquisa. De acordo com os dados calculados pelo MGB, todas as variáveis citadas apresentaram redução em relação a mudança do uso da terra e cobertura vegetal nativa, no período considerado.

5.2.2 Vazão diária da sub-bacia Fazenda São Mateus (1975 a 2010)

A sub-bacia Fazenda São Mateus, que nesta pesquisa recebeu este nome pela presença da estação fluviométrica Fazenda São Mateus (ANA), abrange parte dos municípios de Ibiá e Pratinha. Esta sub-bacia possui uma área de 1.308,33 km². O hidrograma e curva de permanência de vazões diárias do rio Quebra-Anzol, sub-bacia São Mateus, apresentaram bom ajuste entre dados observados (ANA) e calculados (MGB) (**Figura 27a,b**).

Figura 27 – Hidrograma e curva de permanência da vazão diária (observada e calculada) do rio Quebra-Anzol, sub-bacia Fazenda São Mateus (1975 a 2010)



Fonte: MGB.

As **Tabelas 36 e 37**, permitem verificar os valores da vazão diária máxima (Qmáx), mínima (Qmín) e média (Qméd) para cada um dos anos de 1975 a 2010, os valores do total da precipitação anual, da lâmina escoada (Qméd em mm/ano) e a diferença de escoamento ($\Delta Qméd$) para a sub-bacia Fazenda São Mateus, rio Quebra-anzol (Dados da ANA e MGB).

Tabela 36 – Vazão máxima, mínima e média, lâmina escoada, precipitação anual e diferença de escoamento, para a sub-bacia Fazenda São Mateus, (1975 a 2010) - Dados da ANA

Ano	ANA					
	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)	Qméd (m ³ /s)	Total de precipitação anual (mm/ano)	Qméd (mm/ano)	ΔQméd (mm/ano)
1975	161,18	10,83	25,72	1.296,40	620,03	-
1976	179,55	11,24	25,34	1.410,40	610,79	-9,24
1977*	179,55	10,43	24,92	1.145,30	600,72	-10,07
1978	160,78	10,43	25,98	1.224,30	626,17	25,45
1979	152,39	14,41	32,17	1.159,60	775,47	149,30
1980	205,65	11,86	34,26	1.537,70	825,88	50,41
1981	164,81	10,43	29,23	1.368,90	704,59	-121,29
1982	179,55	17,32	46,25	1.468,50	1.114,85	410,26
1983	221,64	23,26	60,77	1.840,30	1.464,75	349,91
1984	99,57	14,85	32,64	974,70	786,68	-678,08
1985	220,77	13,33	36,04	1.308,50	868,73	82,05
1986	225,14	11,86	29,37	1.533,10	707,82	-160,91
1987	96,73	11,86	26,93	1.274,30	649,06	-58,76
1988	156,77	10,83	23,66	716,00	570,20	-78,87
1989	86,62	10,63	21,00	1.034,10	506,27	-63,92
1990	41,79	8,45	21,00	351,20	506,12	-0,15
1991*	128,00	13,44	29,13	973,30	702,20	196,07
1992	139,00	20,34	40,92	1.359,70	986,26	284,06
1993	114,60	15,84	33,31	1.164,70	802,83	-183,43
1994	132,00	12,97	30,41	1.177,60	733,02	-69,81
1995	288,20	11,35	25,80	1.153,80	621,85	-111,17
1996	150,00	10,67	22,34	1.604,70	538,59	-83,26
1997	360,40	13,83	36,05	1.752,40	868,94	330,35
1998	94,72	12,99	26,61	1.317,80	641,29	-227,65
1999	91,05	10,22	22,70	1.368,00	547,12	-94,17
2000	290,40	12,99	37,18	1.531,00	896,14	349,02
2001	166,80	9,95	20,10	1.485,00	484,49	-411,66
2002	168,00	9,40	24,74	1.005,34	596,37	111,89
2003	115,40	9,67	23,29	1.391,90	561,29	-35,08
2004	174,30	12,44	33,21	1.621,70	800,55	239,25
2005	134,25	10,91	27,60	1.490,20	665,25	-135,30
2006	122,00	12,44	31,76	1.520,60	765,60	100,35
2007*	225,75	9,94	29,54	1.414,70	711,95	-53,65
2008	342,10	11,88	33,97	1.476,50	818,69	106,74
2009	177,40	15,09	37,64	1.799,40	907,22	88,53
2010	114,60	9,95	23,89	1.376,70	575,91	-331,31
Média (1975 a 2010)	168,37	12,45	30,15	1.323,01	726,77	-
Desvio Padrão	69,86	3,04	7,99	294,48	192,52	-

Obs.: (-) Não se aplica; (*) Dados das estações fluviométricas (ANA) não são 100% completos; (*) Dados das estações pluviométricas da ANA não são 100% completos. Fonte: ANA.

Tabela 37 – Vazão máxima, mínima e média, lâmina escoada e diferença de escoamento, para a sub-bacia Fazenda São Mateus (1975 a 2010) –

Dados do MGB

Ano	MGB-75 (URH's 1975)					MGB-10 (URH's 2010)				
	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)	Qméd (m ³ /s)	Qméd (mm/ano)	ΔQméd (mm/ano)	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)	Qméd (m ³ /s)	Qméd (mm/ano)	ΔQméd (mm/ano)
1975	96,89	8,91	23,19	558,93	-	79,52	9,25	22,43	540,57	-
1976	92,52	13,65	29,88	720,13	161,20	80,45	14,38	28,44	685,44	144,87
1977	119,53	10,29	26,77	645,38	-74,75	101,54	10,68	25,89	623,98	-61,46
1978	144,33	11,96	29,21	704,20	58,82	121,00	12,68	28,01	675,06	51,08
1979	92,73	12,14	27,45	661,56	-42,63	82,38	12,37	26,30	633,92	-41,14
1980	167,54	11,22	34,20	824,31	162,75	138,56	11,78	32,60	785,69	151,77
1981	119,49	9,96	30,33	730,98	-93,33	102,70	10,42	28,46	686,10	-99,60
1982	156,43	15,12	40,04	965,06	234,08	138,28	15,36	39,04	941,12	255,02
1983	227,06	17,66	45,27	1.091,15	126,08	196,76	18,51	43,13	1.039,60	98,48
1984	70,25	10,45	23,51	566,78	-524,37	63,65	10,62	23,08	556,31	-483,29
1985	172,65	9,93	26,77	645,33	78,56	142,67	10,35	25,83	622,55	66,24
1986	157,09	11,34	30,85	743,54	98,21	124,77	11,72	29,05	700,23	77,68
1987	88,98	11,07	26,49	638,49	-105,05	75,60	11,59	25,47	613,87	-86,36
1988	122,41	10,44	26,18	630,93	-7,56	103,13	11,05	25,04	603,48	-10,38
1989	91,80	9,12	20,70	498,88	-132,05	78,42	9,16	19,55	471,21	-132,28
1990	59,61	7,75	16,16	389,48	-109,40	50,66	7,83	15,60	376,11	-95,10
1991	152,79	9,54	28,61	689,67	300,18	131,56	9,26	26,99	650,48	274,38
1992	286,37	14,59	41,34	996,53	306,87	240,88	15,33	39,30	947,22	296,74
1993	79,19	13,24	28,39	684,20	-312,34	71,91	13,52	27,61	665,51	-281,71
1994	204,51	9,93	30,27	729,63	45,43	165,26	10,34	28,81	694,44	28,93
1995	134,15	9,95	25,04	603,68	-125,95	113,36	10,22	23,85	574,91	-119,53
1996	114,43	11,96	26,27	633,16	29,48	91,40	12,08	24,51	590,79	15,88
1997	364,75	11,06	39,69	956,69	323,53	275,45	11,90	37,66	907,80	317,01

(Continua...)

(Conclusão)

Ano	MGB-75 (URH's 1975)					MGB-10 (URH's 2010)				
	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)	Qméd (m ³ /s)	Qméd (mm/ano)	ΔQméd (mm/ano)	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)	Qméd (m ³ /s)	Qméd (mm/ano)	ΔQméd (mm/ano)
1998	107,94	12,75	28,63	690,02	-266,68	95,01	13,24	28,09	677,01	-230,79
1999	90,99	9,66	25,34	610,73	-79,28	78,80	9,90	23,99	578,36	-98,65
2000	227,99	12,65	41,06	989,79	379,06	209,09	13,19	39,28	946,92	368,56
2001	173,38	9,91	25,23	608,16	-381,64	141,42	10,15	23,58	568,46	-378,46
2002	116,54	9,61	28,71	692,03	83,87	97,73	10,14	27,85	671,39	102,93
2003	129,11	10,40	28,21	679,86	-12,17	107,25	10,66	26,68	643,02	-28,37
2004	143,65	13,74	36,94	890,40	210,54	125,46	14,69	35,59	857,88	214,87
2005	112,57	10,40	28,96	697,93	-192,46	90,68	10,81	26,92	648,85	-209,04
2006	118,62	12,70	32,38	780,55	82,61	100,76	13,45	30,96	746,20	97,36
2007	131,04	10,69	35,16	847,45	66,90	111,40	11,39	34,02	820,00	73,79
2008	191,66	11,93	36,50	879,86	32,41	164,10	12,43	34,94	842,26	22,26
2009	120,59	15,04	37,00	891,96	12,10	105,41	15,75	35,43	854,09	11,83
2010	90,85	9,50	27,10	653,30	-238,66	75,88	9,96	25,75	620,75	-233,34
Média (1975 a 2010)	140,84	11,40	30,22	728,35	-	118,69	11,84	28,88	696,15	-
Desvio Padrão	61,89	2,08	6,31	152,05	-	49,34	2,23	6,05	145,90	-

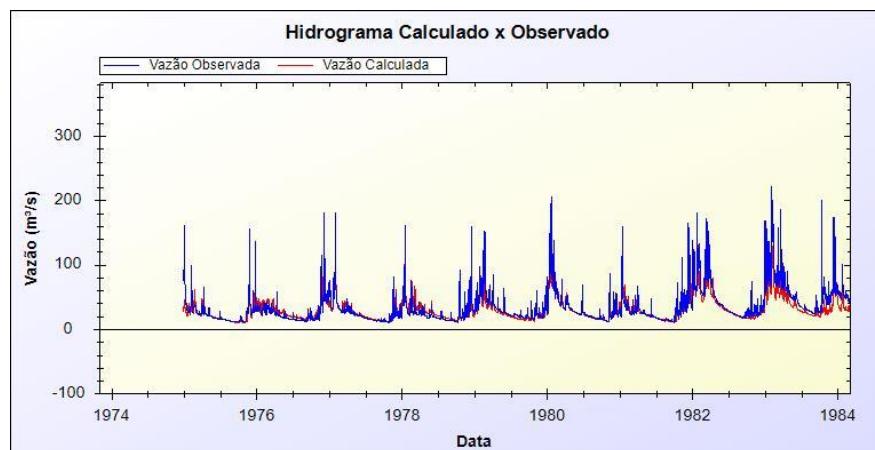
Obs.: (-) Não se aplica.

Fonte: MGB.

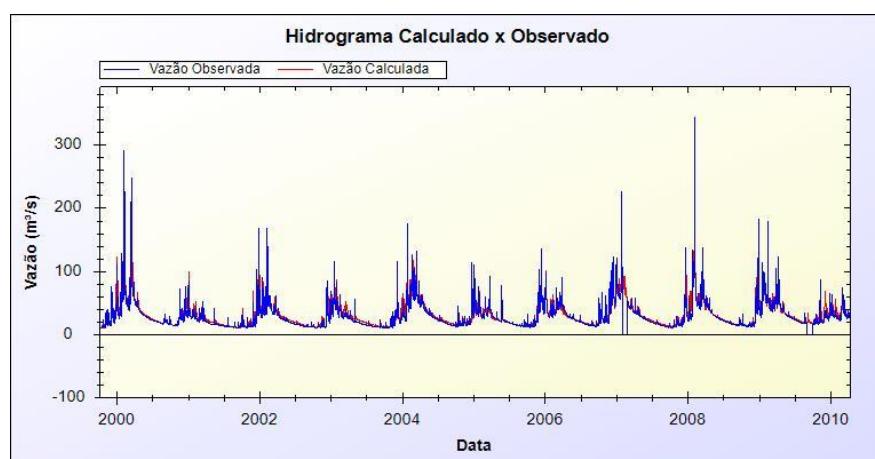
A partir dos dados apresentados nas **Tabelas 36 e 37**, pode-se perceber que, na sub-bacia Fazenda São Mateus, rio Quebra-Anzol, a vazão média, para o período de 1975 a 2010, foi de $30,15 \text{ m}^3/\text{s}$ (ANA), $30,22 \text{ m}^3/\text{s}$ (MGB-75) e $28,88 \text{ m}^3/\text{s}$ (MGB-10). A vazão mínima foi de $12,45 \text{ m}^3/\text{s}$ (ANA), $11,40 \text{ m}^3/\text{s}$ (MGB-75) e $11,84 \text{ m}^3/\text{s}$ (MGB-10) e, por fim, a vazão máxima de $168,37 \text{ m}^3/\text{s}$ (ANA), $140,84 \text{ m}^3/\text{s}$ (MGB-75) e $118,69 \text{ m}^3/\text{s}$ (MGB-10).

Além dos dados de vazão diária apresentados para a sub-bacia Fazenda São Mateus, no período de 1975 a 2010, também foram realizadas análises em relação aos dados da vazão diária em períodos distintos, dentro deste intervalo. Os hidrogramas para os dois períodos considerados mais importantes na análise (1975 a 1984 e 2001 a 2010), são apresentados na **Figura 28a,b.**

Figura 28 – Hidrograma da vazão diária (observada e calculada) do rio Quebra-anzol, sub-bacia Fazenda São Mateus - 1975 a 1984 (a) e 2001 a 2010 (b)



(a)



(b)

Fonte: MGB.

Em uma análise visual dos hidrogramas da **Figura 28a,b**, percebe-se um bom ajuste nos dados observados (ANA) e calculados (MGB) da vazão diária, com exceção do ano de 1984 em que o modelo subestimou a vazão diária no período de recessão do hidrograma.

A **Tabela 38** apresenta os valores da vazão diária máxima (Qmáx), mínima (Qmín) e média (Qméd) para os intervalos de 1975 a 1984, 1985 a 1992, 1993 a 2000 e 2001 a 2010, assim como apresenta também os valores do total da precipitação anual e da lâmina escoada (Qméd em mm/ano), para os mesmos períodos.

Tabela 38 – Vazão diária máxima, mínima e média, total de precipitação anual, lâmina escoada e diferença de escoamento, para períodos distintos na sub-bacia Fazenda São Mateus

– Dados da ANA e MGB

	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)	Qméd (m ³ /s)	Total de precipitação (mm/ano)	Qméd (mm/ano)	ΔQméd (mm/ano)
Ano	ANA					
1975 a 1984	221,64	10,43	33,72	1.342,61	812,99	-
1985 a 1992	225,14	8,45	28,50	1.068,77	687,08	-125,91
1993 a 2000	360,40	10,22	29,30	1.383,75	706,22	19,14
2001 a 2010	342,10	9,40	28,57	1.458,20	688,73	-17,49
Ano	MGB-75 (URH's 1975)					
1975 a 1984	227,06	8,91	30,98	-	746,85	-
1985 a 1992	286,37	7,75	27,56	-	654,11	-92,74
1993 a 2000	364,75	9,66	30,59	-	737,24	83,13
2001 a 2010	191,66	9,50	31,62	-	762,15	24,91
Ano	MGB-10 (URH's 2010)					
1975 a 1984	196,76	9,25	29,74	-	716,78	-
1985 a 1992	240,88	7,83	26,21	-	623,14	-93,64
1993 a 2000	275,45	9,90	29,23	-	704,47	81,32
2001 a 2010	164,10	9,96	30,17	-	727,29	22,82

Obs.: (-) Não se aplica.

Fonte: ANA e MGB.

Conforme **Tabela 38**, o escoamento anual apresentou alteração em relação aos dez anos iniciais do período estudado (1975 a 1984) e os dez anos finais (2001 a 2010). De acordo com os dados da ANA, o escoamento anual reduziu de 812,99 mm/ano (1975 a 1984) para 688,73 mm/ano (2001 a 2010), na sub-bacia em estudo. Ao verificar o total da precipitação anual no período de 1975 a 1884 (1.342,61 mm/ano), constata-se que este foi menor em relação ao período de 2001

a 2010 (1.458,20 mm/ano). Como já comentado anteriormente, o aumento da precipitação influencia no regime hidrológico da área de estudo. No entanto, verificou-se ainda que houve também, nesta sub-bacia, uma mudança relacionada ao uso da terra e cobertura vegetal nativa (no período de 1975 a 2010) que influenciou o comportamento da vazão nos rios observados.

De acordo com os dados de vazão calculados pelo MGB, também foi notada a alteração do escoamento anual entre os anos de 1975 a 2010. Assim como foi observado a partir dos dados da ANA, os dados calculados pelo MGB-75, igualmente mostram redução do escoamento anual de 746,85 mm/ano (1975 a 1984) para 727,29 mm/ano (2001 a 2010), de acordo com os dados calculados pelo MGB-10.

A vazão média, na sub-bacia Fazenda São Mateus, também sofreu alteração ao longo do período estudado. De acordo com dados da ANA, a vazão média reduziu de 33,72 m³/s (1975 a 1984) para 28,57 m³/s (2001 a 2010). De acordo com os dados calculados pelo MGB-75, ocorreu uma redução, bem pequena, da vazão média de 30,98 m³/s (1975 a 1984) para 30,17 m³/s (2001 a 2010), de acordo com os dados calculados pelo MGB-10.

Assim como na sub-bacia Ibiá, percebe-se de forma geral, que na sub-bacia Fazenda São Mateus, os valores diferenciados apresentados nas duas simulações (MGB-75 e MGB-10), também são reflexos da alteração do uso da terra e cobertura vegetal nativa, ocorrida no período de 1975 a 2010, na vazão dos rios presentes na sub-bacia em estudo.

De acordo com o mapeamento de uso da terra e cobertura vegetal nativa, apresentado anteriormente, a sub-bacia Fazenda São Mateus também apresentou algumas alterações do uso da terra e cobertura vegetal nativa, ocorridas no período de 1975 a 2010.

As áreas de Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento sofreram redução de 19,4% (1975) para 15,96% (2010). As áreas de Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado sofreram uma redução maior, de 80,6% (1975) para 48,16% (2010). Estas classes de cobertura vegetal nativa deram lugar às classes de atividade agropecuárias, marcantes na região. Os dois municípios que a sub-bacia Fazenda São Mateus engloba, em parte (Ibiá e Pratinha), apresentam destaque para as culturas de milho, soja, café, entre outros cultivos, e na produção de gado leiteiro. A classe de Pastagem (pasto cultivado) ainda não existente em 1975, passou a existir em 2010, com 34,96% da sub-bacia em questão. A sub-bacia Fazenda São Mateus apresentou também um incremento na classe de Agricultura, que em 1975 não existia e, em 2010, passou a existir em 0,88% da sub-bacia. Desta forma, o maior impacto causado nesta área decorreu da redução da cobertura

vegetal nativa campestre e do surgimento das áreas de pastagem. Assim como na sub-bacia Ibiá, houve redução da cobertura vegetal nativa em substituição pelas classes de Agricultura e Pastagem, especialmente, pela classe de pastagem. E, da mesma forma, o aumento significativo da área de pastagem não fez com que a vazão aumentasse, houve uma redução da vazão máxima, média e da lâmina de escoamento, para a sub-bacia. A vazão mínima foi a única que teve seu valor aumentado.

Nota-se, assim, que as vazões máximas e mínimas também se alteraram nos anos considerados, para a sub-bacia em estudo. A vazão mínima, de acordo com dados da ANA, reduziu de 10,43 m³/s (1975 a 1984) para 9,40 m³/s (2001 a 2010). Ao contrário, de acordo com os dados calculados pelo MGB, houve um aumento da vazão mínima para os mesmos períodos considerados. Os dados calculados a partir do MGB-75, mostram aumento da vazão mínima de 8,91 m³/s (1975 a 1984) para 9,96 m³/s (2001 a 2010), de acordo com os dados calculados pelo MGB-10. O aumento da vazão mínima é considerado positivo para a manutenção da qualidade e quantidade de água disponíveis para a preservação desta sub-bacia.

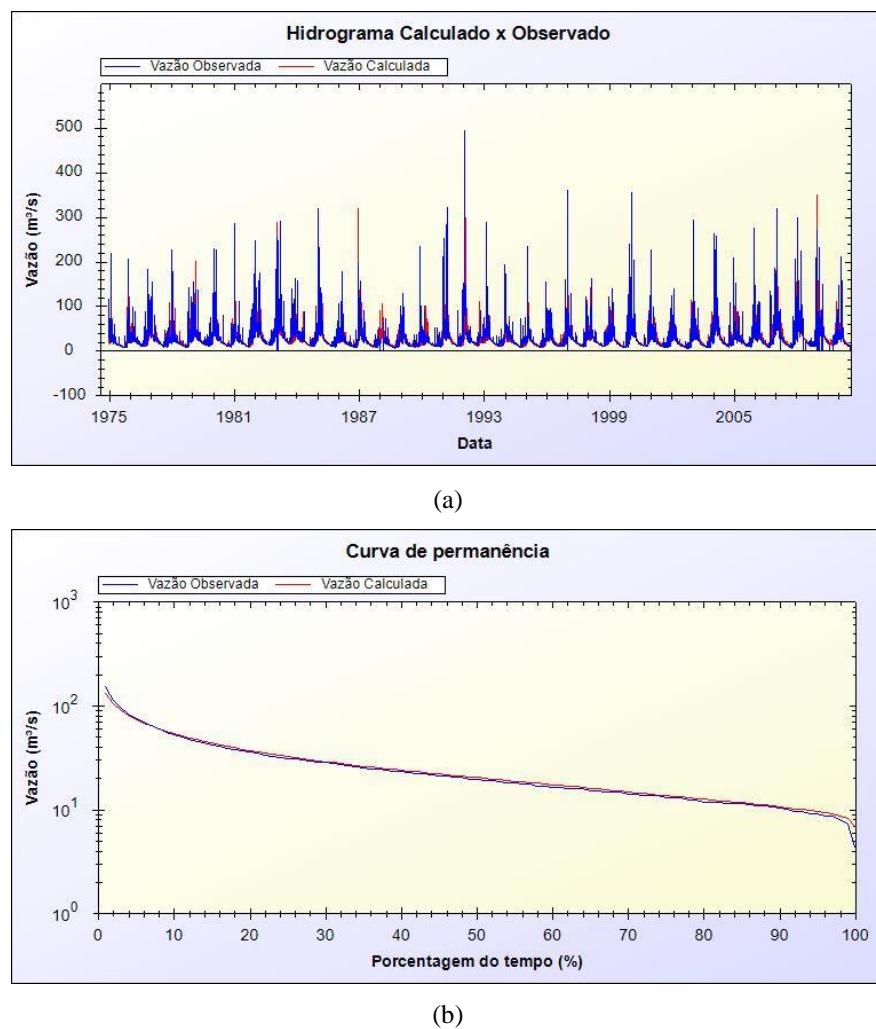
Em relação a vazão máxima na sub-bacia Fazenda São Mateus, foi verificado um aumento a partir dos dados da ANA, no período considerado. De acordo com dados da ANA, a vazão máxima aumentou de 221,64 m³/s (1975 a 1984) para 342,10 m³/s (2001 a 2010). No entanto, de acordo com os dados calculados pelo MGB-75, ocorre a redução da vazão máxima de 227,06 m³/s (1975 a 1984) para 164,10 m³/s (2001 a 2010), de acordo com os dados calculados pelo MGB-IPH-10. Essa alteração também é positiva para a sub-bacia, reduzindo os riscos que os picos de cheia podem trazer a esse ambiente.

Assim, considerando as alterações nas vazões máximas, mínimas e médias e a lâmina escoada para a sub-bacia Fazenda São Mateus, no período de 1975 a 2010, verificou-se que houveram mudanças no uso da terra e cobertura vegetal nativa que também influenciaram a alteração do comportamento da vazão observada (ANA) e calculada (MGB) nesta sub-bacia. De acordo com os dados calculados pelo MGB, a vazão máxima, média e a lâmina escoada apresentaram redução em relação a mudança do uso da terra e cobertura vegetal nativa no período considerado. Somente a vazão mínima apresentou aumento em relação às mudanças consideradas.

5.2.3 Vazão diária da sub-bacia Desemboque (1975 a 2010)

A sub-bacia Desemboque, que nesta pesquisa recebeu este nome pela presença da estação fluviométrica Desemboque (ANA), abrange parte dos municípios de Sacramento, Tapira e São Roque de Minas. Esta sub-bacia possui área de 1.102,64 km². O hidrograma e curva de permanência de vazões do rio Araguari, sub-bacia Desemboque, apresentaram bom ajuste entre dados observados (ANA) e calculados (MGB) (**Figura 29a,b**).

Figura 29 – Hidrograma e curva de permanência da vazão diária (observada e calculada) do rio Araguari, sub-bacia Desemboque (1975 a 2010)



Fonte: MGB.

As **Tabelas 39 e 40**, permitem verificar os valores da vazão diária máxima (Qmáx), mínima (Qmín) e média (Qméd) para cada um dos anos de 1975 a 2010, os valores do total da precipitação anual, da lâmina escoada (Qméd em mm/ano) e a diferença de escoamento ($\Delta Qméd$) para a sub-bacia Desemboque, rio Araguari (Dados da ANA e MGB).

Tabela 39 – Vazão máxima, mínima e média, lâmina escoada, precipitação anual e diferença de escoamento, para a sub-bacia Desemboque, (1975 a 2010) - Dados da ANA

Ano	ANA					
	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)	Qméd (m ³ /s)	Total de precipitação anual (mm/ano)	Qméd (mm/ano)	ΔQméd (mm/ano)
1975	217,92	6,34	21,96	1.532,30	628,13	-
1976	182,29	9,08	26,42	1.602,10	755,51	127,38
1977	154,64	8,53	23,91	1.465,20	683,83	-71,68
1978	227,01	7,43	21,92	1.878,40	626,94	-56,89
1979	154,04	11,28	29,12	1.718,90	832,97	206,03
1980	228,83	8,53	28,22	1.677,70	807,07	-25,90
1981	284,82	9,08	28,56	1.518,00	816,87	9,80
1982	246,44	11,84	37,03	1.935,50	1.059,10	242,23
1983	289,71	16,86	51,22	2.552,30	1.464,87	405,77
1984	155,84	9,63	23,78	1.389,20	680,14	-784,73
1985	318,46	8,53	30,24	1.694,00	864,84	184,70
1986	197,36	7,43	23,84	1.599,80	681,77	-183,07
1987	153,45	7,98	22,28	1.421,60	637,19	-44,58
1988*	101,02	5,79	15,76	1.543,80	450,62	-186,57
1989	232,47	7,43	21,10	1.782,10	603,36	152,74
1990	99,24	8,53	18,92	1.284,80	540,98	-62,37
1991	320,91	9,08	34,99	1.985,60	1.000,81	459,82
1992	493,03	13,51	37,22	2.103,10	1.064,42	63,61
1993	287,87	11,28	26,44	1.679,70	756,07	-308,34
1994	192,53	8,53	27,09	1.415,60	774,91	18,84
1995	232,47	7,98	23,72	1.433,10	678,39	-96,52
1996	159,44	9,10	26,09	1.487,20	746,25	67,85
1997	359,57	9,10	30,34	1.771,60	867,71	121,46
1998	161,84	9,64	25,45	1.623,50	727,81	-139,89
1999	139,68	6,43	22,81	1.454,80	652,44	-75,37
2000	354,04	9,10	33,06	1.986,90	945,55	293,11
2001	226,10	6,95	20,35	1.325,60	581,89	-363,65
2002	139,08	4,34	20,16	1.182,20	576,51	-5,38
2003	291,84	6,43	25,83	1.719,20	738,63	162,12
2004	262,56	8,02	33,04	1.672,20	945,00	206,36
2005	275,36	8,29	26,06	1.545,80	745,25	-199,75
2006	185,30	8,56	30,74	1.878,60	879,26	134,01
2007	316,92	5,36	33,91	1.665,30	969,77	90,51
2008*	298,26	10,18	37,33	1.449,30	1.067,63	97,85
2009	230,05	12,93	39,09	2.014,60	1.118,00	50,38
2010*	211,26	9,64	29,48	1.854,00	843,27	-274,74
Média (1975 a 2010)	232,82	8,85	27,98	1.662,32	800,38	-
Desvio Padrão	82,18	2,39	6,97	268,55	199,34	-

Obs.: (-) Não se aplica; (*) Dados das estações fluviométricas (ANA) não são 100% completos.

Fonte: ANA.

Tabela 40 – Vazão máxima, mínima e média, lâmina escoada e diferença de escoamento, para a sub-bacia Desemboque (1975 a 2010) – Dados do MGB

Ano	MGB-75 (URH's 1975)					MGB-10 (URH's 2010)				
	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)	Qméd (m ³ /s)	Qméd (mm/ano)	ΔQméd (mm/ano)	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)	Qméd (m ³ /s)	Qméd (mm/ano)	ΔQméd (mm/ano)
1975	184,65	7,40	22,31	638,08	-	191,40	7,21	22,45	642,11	-
1976	104,13	9,76	24,74	707,49	69,41	107,21	9,50	24,87	711,27	69,16
1977	102,20	9,72	26,03	744,39	36,90	106,43	9,51	26,08	745,96	34,69
1978	153,16	9,29	27,54	787,68	43,29	156,84	9,03	27,65	790,93	44,98
1979	194,66	11,09	27,68	791,64	3,96	199,29	10,85	27,72	792,69	1,75
1980	92,90	9,60	27,16	776,80	-14,84	95,12	9,38	27,28	780,14	-12,55
1981	177,72	8,26	26,98	771,57	-5,22	183,20	8,03	27,23	778,82	-1,32
1982	172,41	11,96	37,17	1.063,20	291,63	174,58	11,62	37,28	1.066,31	287,49
1983	281,21	14,75	42,20	1.207,01	143,80	287,07	14,45	42,43	1.213,51	147,20
1984	96,52	9,58	23,29	665,98	-541,03	100,67	9,40	23,28	665,81	-547,70
1985	292,33	9,06	27,53	787,41	121,43	299,68	8,82	27,59	788,99	123,18
1986	305,48	8,78	22,92	655,60	-131,82	318,48	8,61	23,09	660,47	-128,52
1987	154,71	9,56	25,82	738,46	82,86	157,35	9,38	25,85	739,31	78,84
1988	101,77	7,90	22,37	639,90	-98,55	104,70	7,73	22,45	642,16	-97,15
1989	94,04	8,79	19,91	569,52	-70,38	96,82	8,63	19,96	570,74	-71,42
1990	97,33	9,22	19,26	550,96	-18,56	99,95	9,03	19,35	553,34	-17,40
1991	221,57	9,75	34,83	996,14	445,18	226,77	9,51	35,00	1.001,02	447,68
1992	318,19	10,90	31,66	905,39	-90,75	330,39	10,59	31,88	911,89	-89,13
1993	93,82	9,73	22,36	639,59	-265,80	95,30	9,54	22,37	639,93	-271,96
1994	88,44	7,85	20,34	581,60	-57,99	90,08	7,70	20,36	582,28	-57,65
1995	205,87	7,44	21,01	600,79	19,19	213,98	7,23	21,16	605,24	22,96
1996	72,00	10,32	22,89	654,53	53,74	74,33	10,09	22,99	657,52	52,28
1997	233,06	8,23	29,98	857,36	202,84	239,99	8,00	30,16	862,68	205,16

(Continua...)

(Conclusão)

Ano	MGB-75 (URH's 1975)					MGB-10 (URH's 2010)				
	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)	Qméd (m ³ /s)	Qméd (mm/ano)	ΔQméd (mm/ano)	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)	Qméd (m ³ /s)	Qméd (mm/ano)	ΔQméd (mm/ano)
1998	138,33	9,40	24,62	704,28	-153,08	141,01	9,19	24,69	706,16	-156,52
1999	103,05	8,28	24,29	694,77	-9,51	105,33	8,12	24,42	698,39	-7,78
2000	324,30	9,77	33,28	951,88	257,10	333,33	9,56	33,53	958,98	260,59
2001	151,90	8,50	23,42	669,85	-282,03	155,57	8,32	23,54	673,28	-285,70
2002	107,37	7,04	22,26	636,67	-33,18	111,62	6,87	22,39	640,39	-32,89
2003	162,10	8,73	28,05	802,12	165,45	165,70	8,49	28,21	806,79	166,40
2004	218,88	11,32	33,77	965,92	163,80	226,34	11,01	33,86	968,41	161,62
2005	125,62	9,82	27,45	785,18	-180,74	127,79	9,59	27,65	790,86	-177,55
2006	174,48	10,75	30,69	877,62	92,45	178,32	10,49	30,90	883,82	92,96
2007	168,29	9,70	40,69	1.163,76	286,14	172,48	9,42	40,88	1.169,09	285,27
2008	338,29	10,99	36,77	1.051,66	-112,10	349,26	10,70	36,88	1.054,70	-114,39
2009	152,93	13,38	38,53	1.102,06	50,40	155,77	13,08	38,67	1.105,84	51,14
2010	218,91	7,84	28,39	812,10	-289,96	226,48	7,62	28,59	817,62	-288,21
Média (1975 a 2010)	172,85	9,57	27,73	793,03	-	177,74	9,34	27,85	796,60	-
Desvio Padrão	76,29	1,62	6,06	173,29	-	78,92	1,58	6,09	174,22	-

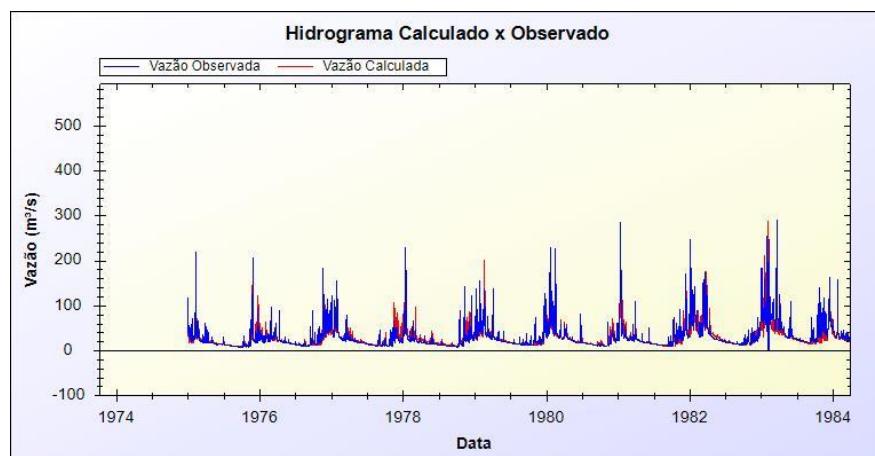
Obs.: (-) Não se aplica.

Fonte: MGB.

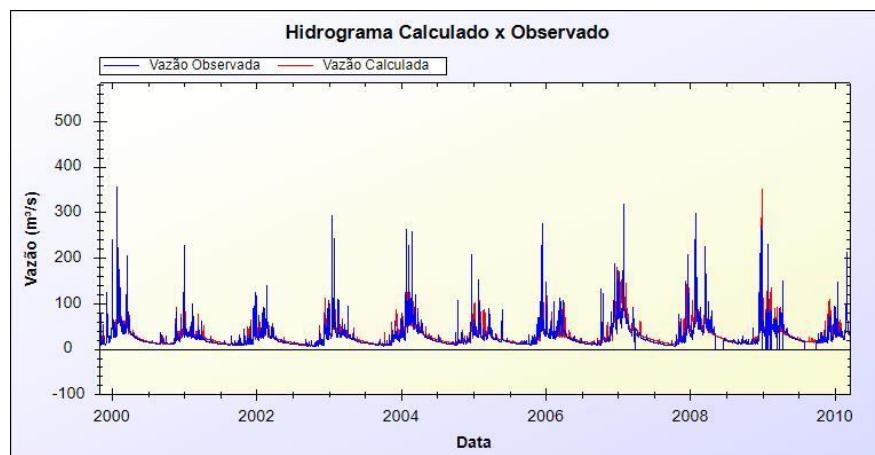
A partir dos dados apresentados na **Tabela 39 e 40**, pode-se perceber que, na sub-bacia Desemboque, rio Araguari, a vazão média, para o período de 1975 a 2010, foi de $27,98 \text{ m}^3/\text{s}$ (ANA), $27,73 \text{ m}^3/\text{s}$ (MGB-75) e $27,85 \text{ m}^3/\text{s}$ (MGB-10). A vazão mínima foi de $8,85 \text{ m}^3/\text{s}$ (ANA), $9,57 \text{ m}^3/\text{s}$ (MGB-75) e $9,34 \text{ m}^3/\text{s}$ (MGB10) e, por fim, a vazão máxima, de $232,82 \text{ m}^3/\text{s}$ (ANA), $172,85 \text{ m}^3/\text{s}$ (MGB-75) e $177,74 \text{ m}^3/\text{s}$ (MGB-10). Nota-se que, de acordo com os dados calculados pelo MGB, as vazões média e máxima aumentaram, enquanto que a vazão mínima reduziu no período de 1975 a 2010.

Além dos dados de vazão diária apresentados para a sub-bacia Desemboque, no período de 1975 a 2010, foram realizadas análises em relação aos dados da vazão diária em períodos distintos, dentro deste intervalo. Os hidrogramas para os dois períodos considerados mais importantes na análise (1975 a 1984 e 2001 a 2010), são apresentados na **Figura 30a,b.**

Figura 30 – Hidrograma da vazão diária (observada e calculada) do rio Araguari, sub-bacia Desemboque - 1975 a 1984 (a) e 2001 a 2010 (b)



(a)



(b)

Fonte: MGB.

Em uma análise visual dos hidrogramas da **Figura 30a,b**, percebe-se um bom ajuste nos dados observados (ANA) e calculados (MGB) da vazão diária, com exceção de alguns períodos em que o modelo superestimou os picos das cheias em alguns anos específicos (ano de 1977 a 1979 e 2005, 2009).

A **Tabela 41** apresenta os valores da vazão diária máxima (Qmáx), mínima (Qmín) e média (Qméd) para os intervalos de 1975 a 1984, 1985 a 1992, 1993 a 2000 e 2001 a 2010, assim como apresenta também os valores do total da precipitação anual e da lâmina escoada (Qméd em mm/ano) para os mesmos períodos.

Tabela 41 – Vazão diária máxima, mínima e média, total de precipitação anual, lâmina escoada e diferença de escoamento, para períodos distintos na sub-bacia Desemboque –
Dados da ANA e MGB

	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)	Qméd (m ³ /s)	Total de precipitação (mm/ano)	Qméd (mm/ano)	ΔQméd (mm/ano)
Ano	ANA					
1975 a 1984	289,71	6,34	29,21	1.726,96	835,54	-
1985 a 1992	493,03	5,79	25,54	1.676,85	730,50	-105,04
1993 a 2000	359,57	6,43	26,87	1.606,55	768,64	38,14
2001 a 2010	316,92	4,34	29,59	1.630,68	846,52	77,88
Ano	MGB-75 (URH's 1975)					
1975 a 1984	281,21	7,40	28,51	-	815,38	-
1985 a 1992	318,19	7,90	26,08	-	730,42	-84,96
1993 a 2000	324,30	7,44	24,85	-	710,60	-19,82
2001 a 2010	338,29	7,04	31,00	-	886,69	176,09
Ano	MGB-10 (URH's 2010)					
1975 a 1984	287,07	7,21	28,62	-	818,76	-
1985 a 1992	330,39	7,73	26,19	-	733,49	-85,27
1993 a 2000	333,33	7,23	24,97	-	713,90	-19,59
2001 a 2010	349,26	6,87	31,16	-	891,08	177,18

Obs.: (-) Não se aplica.

Fonte: ANA e MGB.

Conforme **Tabela 41**, o escoamento anual apresentou aumento em relação aos dez anos iniciais do período estudado (1975 a 1984) e os dez anos finais (2001 a 2010). De acordo com os dados da ANA, o escoamento anual aumentou de 835,54 mm/ano (1975 a 1984) para 846,52 mm/ano (2001 a 2010), na sub-bacia em estudo. Ao verificar o total da precipitação anual no período de 1975 a 1884 (1.726,96 mm/ano), constata-se que este foi maior em relação ao período de 2001

a 2010 (1.630,68 mm/ano). Como já comentado para as outras sub-bacias estudadas, o aumento da precipitação influencia no regime hidrológico da área de estudo. No entanto, verificou-se ainda que houve uma mudança relacionada ao uso da terra e cobertura vegetal nativa (no período de 1975 a 2010) que influenciou tal comportamento da vazão nos rios observados, apesar do fato de que, de todas as sub-bacias presentes na área de estudo, a sub-bacia Desemboque foi aquela que apresentou menor alteração no uso da terra e cobertura vegetal nativa, no período considerado na pesquisa.

De acordo com os dados de vazão calculados pelo MGB, para a sub-bacia Desemboque, foi notado um aumento do escoamento anual entre os anos de 1975 a 2010. Os dados de vazão calculados pelo MGB-75, mostram que o escoamento anual de 815,38 mm/ano (1975 a 1984) aumentou para 891,08 mm/ano (2001 a 2010), de acordo com os dados calculados pelo MGB-10.

Diferentemente do que foi apontado nas duas sub-bacias já analisadas (Ibiá e Fazenda São Mateus) a vazão média, na sub-bacia Desemboque, sofreu aumento ao longo do período estudado. De acordo com dados da ANA, a vazão média aumentou de 29,21 m³/s (1975 a 1984) para 29,59 m³/s (2001 a 2010). De acordo com os dados calculados pelo MGB-75, ocorreu também um aumento da vazão média de 28,51 m³/s (1975 a 1984) para 31,16 m³/s (2001 a 2010), de acordo com os dados calculados pelo MGB-10.

Percebe-se, de forma geral, pelos valores apresentados nas duas simulações (MGB-75 e MGB-10), que a alteração do uso da terra e cobertura vegetal nativa ocorrida no período de 1975 a 2010 alterou, ainda que em menor grau, o comportamento da vazão nesta sub-bacia em estudo.

Na sub-bacia Desemboque, as áreas de Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento sofreram pequena redução de 3,97% (1975) para 2,55% (2010). As áreas de Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado também sofreram uma redução insignificante de 96,03% (1975) para 93,09% (2010). O aumento dos valores de vazão mínima e médias na bacia, estão de acordo com os estudos que apontam que o desmatamento aumenta o escoamento, conforme já mencionado nesta pesquisa.

Nesta sub-bacia também houve um incremento na classe de Agricultura, que em 1975 não existia e, em 2010, passou a existir em 2,51% da sub-bacia. A classe de Pastagem também passa a existir em 2010 com 1,74% da sub-bacia em questão, assim como a classe de Influência

urbana também não existente em 1975, passa a existir em 2010 com o total de 0,11% da sub-bacia.

Nota-se que as vazões máximas e mínimas também se alteraram nos anos considerados, para a sub-bacia Desemboque. Pode-se verificar que a vazão mínima nesta sub-bacia, de acordo com dados da ANA, reduziu de 6,34 m³/s (1975 a 1984) para 4,34 m³/s (2001 a 2010). De acordo com os dados calculados pelo MGB, assim como na sub-bacia Ibiá, também houve uma redução da vazão mínima para os mesmos períodos considerados, embora a redução nesta sub-bacia tenha sido menos significativa. Os dados calculados a partir do MGB-75, mostram a redução da vazão mínima de 7,40 m³/s (1975 a 1984) para 6,87 m³/s (2001 a 2010), de acordo com os dados calculados pelo MGB-10. Normalmente, o desmatamento tende a aumentar as vazões mínimas, o que não foi verificado nesta sub-bacia, visto que, como já comentado, o comportamento da vazão é dependente do novo uso daquela área a partir da retirada da cobertura vegetal nativa. Em todo caso, a redução das vazões mínimas é sempre preocupante em relação a manutenção dos cursos d'água.

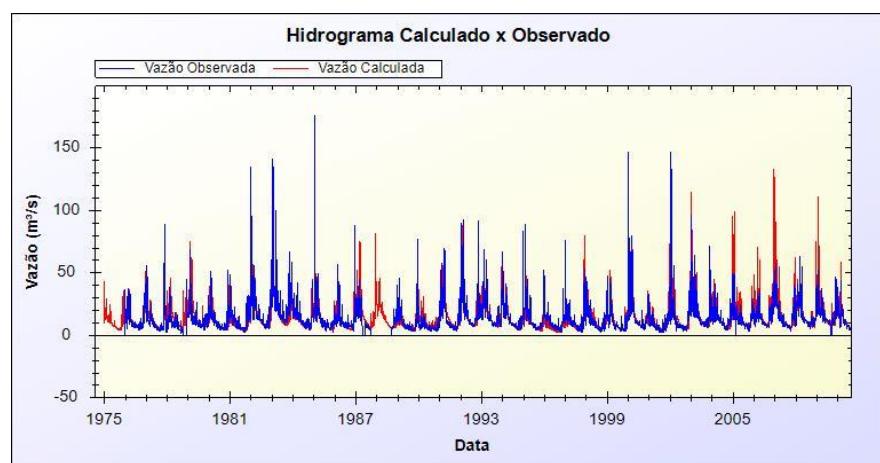
A alteração verificada na vazão máxima na sub-bacia analisada, também é negativa, neste caso, resultando em um aumento da mesma no período considerado. Foi verificada um aumento da vazão máxima, tanto a partir dos dados da ANA, quanto a partir dos dados calculados pelo MGB. De acordo com dados da ANA, a vazão máxima aumentou de 289,71 m³/s (1975 a 1984) para 316,92 m³/s (2001 a 2010). De acordo com os dados calculados pelo MGB-75, estes mostraram aumento da vazão máxima de 281,21 m³/s (1975 a 1984) para 349,26 m³/s (2001 a 2010), de acordo com os dados calculados pelo MGB-10. Para as sub-bacias Ibiá e Fazenda São Mateus, a vazão máxima teve o seu valor aumentado em relação a mudança de uso da terra ocorrida em cada uma delas.

Assim, considerando as vazões máximas, mínimas e médias e a lâmina escoada para a sub-bacia Desemboque, no período de 1975 a 2010, verificou-se que, embora foram pequenas as mudanças ocorridas no uso da terra e cobertura vegetal nativa, estas influenciaram na alteração do comportamento da vazão observada (ANA) e calculada (MGB) nesta sub-bacia. De acordo com os dados calculados pelo MGB, as vazões máxima, média e lâmina escoada apresentaram um aumento em relação a mudança do uso da terra e cobertura vegetal nativa, enquanto que a vazão mínima apresentou redução, no período considerado.

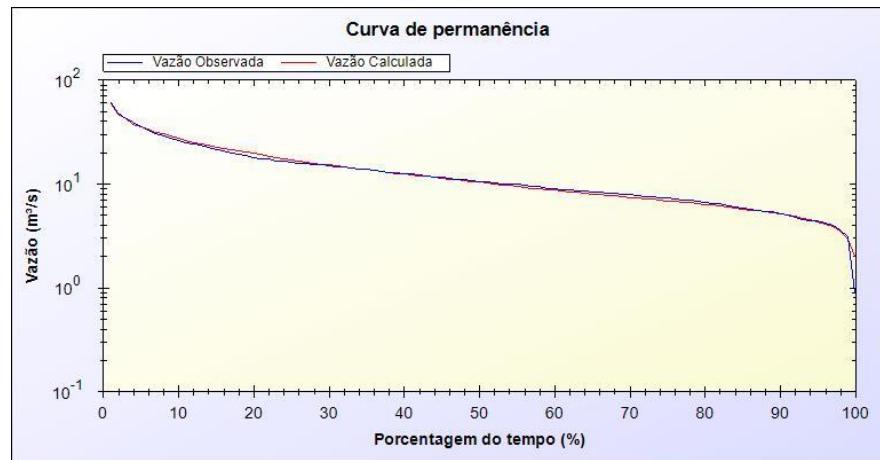
5.2.4 Vazão diária da sub-bacia Fazenda Letreiro (1975 a 2010)

A sub-bacia Fazenda Letreiro, que nesta pesquisa recebeu este nome pela presença da estação fluviométrica Fazenda Letreiro (ANA), abrange parte dos municípios de Uberlândia e Uberaba. Esta bacia possui uma área de 787,58 km². O hidrograma e curva de permanência de vazões diárias do rio Uberabinha, sub-bacia Fazenda Letreiro, apresentaram menor qualidade no ajuste entre os dados observados (ANA) e calculados (MGB) (**Figura 31a,b**).

Figura 31 – Hidrograma e curva de permanência da vazão diária (observada e calculada) do rio Uberabinha, sub-bacia Fazenda Letreiro (1975 a 2010)



(a)



(b)

Fonte: MGB.

As **Tabelas 42 e 43**, permitem verificar os valores da vazão diária máxima (Qmáx), mínima (Qmín) e média (Qméd) para cada um dos anos de 1975 a 2010, os valores do total da precipitação anual, da lâmina escoada (Qméd em mm/ano) e a diferença de escoamento ($\Delta Qméd$) para a sub-bacia Fazenda Letreiro, rio Uberabinha (Dados da ANA e MGB).

Tabela 42 – Vazão máxima, mínima e média, lâmina escoada, precipitação anual e diferença de escoamento, para a sub-bacia Fazenda Letreiro, (1975 a 2010) - Dados da ANA

Ano	ANA					
	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)	Qméd (m ³ /s)	Total de precipitação anual (mm/ano)	Qméd (mm/ano)	ΔQméd (mm/ano)
1975	--	--	--	1.362,60	--	-
1976	40,84	3,97	12,92	1.219,20	517,14	-
1977	88,07	1,96	12,86	1.109,80	514,91	-2,24
1978	44,25	0,90	10,38	781,20	415,72	-99,19
1979	68,06	3,97	12,31	1.140,30	492,82	77,10
1980	51,30	3,97	11,76	1.119,50	470,71	-22,11
1981	50,50	1,82	11,67	1.326,30	467,09	-3,62
1982	134,05	4,92	18,77	1.845,90	751,53	284,44
1983	140,53	8,35	26,39	1.875,90	1.056,68	305,15
1984	42,72	4,15	13,33	1.273,90	533,88	-522,81
1985	175,47	2,11	14,62	1.200,20	585,42	51,55
1986	87,59	3,08	11,90	1.312,90	476,48	-108,95
1987**	44,63	3,79	13,27	803,00	531,36	54,88
1988**	39,35	4,53	10,64	304,30	426,12	-105,24
1989	76,05	3,25	10,41	1.516,80	416,81	-9,31
1990	22,29	2,91	7,29	1.096,10	291,72	-125,10
1991	69,37	3,25	15,24	1.273,80	610,28	318,56
1992	91,87	6,56	19,58	2.059,90	784,20	173,92
1993	68,50	6,56	15,67	1.543,40	627,33	-156,87
1994	82,92	3,61	14,30	1.284,40	572,53	-54,80
1995	88,54	3,79	12,80	1.462,90	512,71	-59,81
1996	47,34	2,11	10,32	1.219,20	413,10	-99,61
1997	75,15	2,42	12,38	1.671,40	495,61	82,51
1998	45,79	1,96	10,95	1.231,90	438,53	-57,08
1999	46,17	2,91	10,31	1.274,40	412,90	-25,63
2000	146,01	3,61	17,41	1.547,90	697,19	284,29
2001	37,88	2,04	8,46	1.461,60	338,85	-358,34
2002	146,01	3,17	15,22	1.431,40	609,42	270,57
2003	95,96	5,83	20,01	1.937,70	801,29	191,87
2004	49,11	3,52	13,37	1.437,70	535,16	-266,12
2005	48,13	3,17	12,65	1.565,30	506,36	-28,80
2006	42,34	5,72	14,15	2.284,60	566,69	60,33
2007	57,21	3,25	15,01	1.626,00	601,20	34,51
2008	62,46	5,02	15,53	1.749,70	621,84	20,64
2009	51,50	8,23	17,29	2.039,70	692,49	70,66
2010	43,86	2,83	12,95	1.287,20	518,43	-174,07
Média (1975 a 2010)	71,48	3,81	13,77	1.407,72	551,56	-
Desvio Padrão	36,99	1,73	3,65	384,12	146,00	-

Obs.: (--) Ausência de dados; (-) Não se aplica; (**) Dados das estações fluviométricas/pluviométricas (ANA) não são 100% completos. Fonte: ANA.

Tabela 43 – Vazão máxima, mínima e média, lâmina escoada e diferença de escoamento, para a sub-bacia Fazenda Letreiro (1975 a 2010) –

Dados do MGB

Ano	MGB-75 (URH's 1975)					MGB-10 (URH's 2010)				
	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)	Qméd (m ³ /s)	Qméd (mm/ano)	ΔQméd (mm/ano)	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)	Qméd (m ³ /s)	Qméd (mm/ano)	ΔQméd (mm/ano)
1975	41,30	3,59	9,30	372,25	-	42,80	3,72	10,43	417,58	-
1976	36,59	4,02	8,93	357,40	-14,85	50,78	4,60	11,81	473,03	55,45
1977	31,77	3,53	9,31	372,95	15,56	43,55	4,26	12,56	502,74	29,71
1978	36,21	4,70	11,68	467,77	94,82	45,28	5,23	14,91	597,16	94,42
1979	62,34	5,02	13,62	545,43	77,66	74,49	6,10	16,28	651,89	54,73
1980	33,07	2,85	7,97	319,25	-226,19	39,92	3,54	10,56	422,81	-229,08
1981	28,68	1,71	5,54	221,81	-97,44	34,33	2,39	7,98	319,58	-103,22
1982	60,81	4,69	13,71	549,13	327,32	87,06	5,45	16,95	678,73	359,15
1983	93,71	6,68	16,15	646,81	97,68	130,10	7,46	19,75	790,82	112,09
1984	30,66	3,61	9,21	368,72	-278,09	44,63	4,59	11,50	460,59	-330,23
1985	63,07	3,60	10,65	426,53	57,81	92,76	4,16	13,24	530,06	69,48
1986	44,81	2,91	7,84	313,84	-112,69	71,39	3,98	11,15	446,46	-83,61
1987	63,89	5,11	13,78	551,80	237,96	80,92	5,98	18,41	736,98	290,52
1988	41,22	4,28	12,15	486,47	-65,33	45,11	4,97	14,17	567,41	-169,57
1989	29,35	2,11	5,76	230,77	-255,71	40,30	2,81	8,04	321,83	-245,59
1990	28,93	3,80	7,83	313,47	82,71	35,98	5,11	10,34	414,06	92,23
1991	46,67	4,26	12,25	490,58	177,10	55,36	5,25	15,96	639,06	225,00
1992	62,61	5,70	14,18	567,82	77,25	87,66	6,43	18,21	729,25	90,19
1993	42,36	5,45	13,42	537,21	-30,61	54,34	6,20	15,74	630,10	-99,15
1994	39,00	3,49	9,64	386,14	-151,07	49,05	3,95	12,15	486,46	-143,64
1995	44,00	2,43	6,94	277,90	-108,23	62,62	3,11	9,31	372,93	-113,52
1996	18,69	1,35	3,97	159,11	-118,80	25,99	1,98	5,66	226,73	-146,21
1997	54,18	2,29	6,74	269,89	110,78	78,87	3,05	9,89	396,18	169,46

(Continua...)

(Conclusão)

Ano	MGB-75 (URH's 1975)					MGB-10 (URH's 2010)				
	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)	Qméd (m ³ /s)	Qméd (mm/ano)	ΔQméd (mm/ano)	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)	Qméd (m ³ /s)	Qméd (mm/ano)	ΔQméd (mm/ano)
1998	34,10	4,04	8,78	351,64	81,75	36,20	4,68	10,89	436,17	39,99
1999	40,39	2,85	7,94	317,76	-33,88	52,00	3,52	10,95	438,64	2,47
2000	61,04	4,52	13,12	525,46	207,69	79,34	5,39	16,92	677,68	239,04
2001	48,77	2,88	7,54	301,90	-223,56	72,31	4,00	10,27	411,25	-266,43
2002	84,93	3,60	12,58	503,90	202,00	99,99	4,13	16,01	641,04	229,80
2003	78,71	5,24	17,92	717,44	213,55	114,05	5,91	21,60	864,94	223,89
2004	54,60	3,74	10,58	423,56	-293,88	95,03	4,31	13,63	545,65	-319,29
2005	79,03	4,66	12,48	499,56	76,00	98,81	4,97	15,98	639,72	94,07
2006	90,77	5,66	14,70	588,48	88,91	132,51	6,21	18,87	755,64	115,93
2007	105,39	4,83	17,15	686,79	98,32	125,80	5,00	19,24	770,41	14,76
2008	49,34	4,65	12,79	512,19	-174,61	74,34	5,88	16,11	644,97	-125,44
2009	79,90	6,37	15,69	628,15	115,96	110,24	6,98	19,08	764,04	119,07
2010	55,57	3,61	9,71	388,63	-239,51	58,07	4,11	12,42	497,32	-266,72
Média (1975 a 2010)	53,00	4,01	10,92	437,32	-	70,83	4,73	13,90	556,64	-
Desvio Padrão	21,31	1,27	3,48	139,43	-	29,52	1,28	3,89	155,58	-

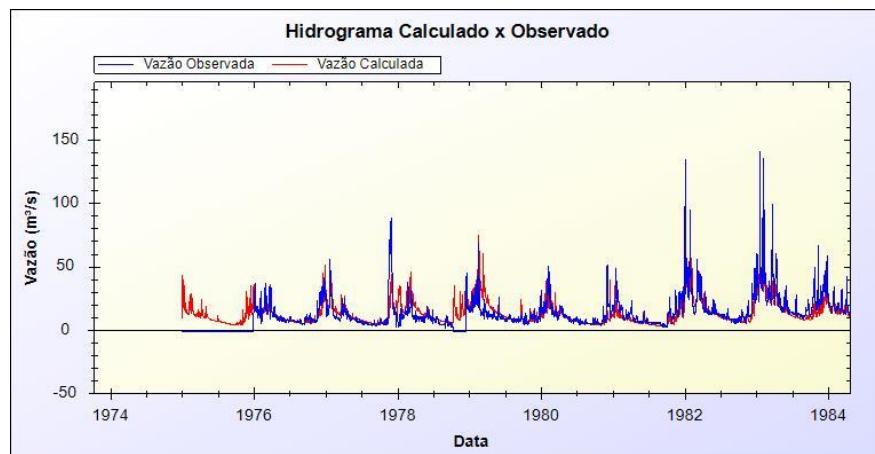
Obs.: (-) Não se aplica.

Fonte: MGB.

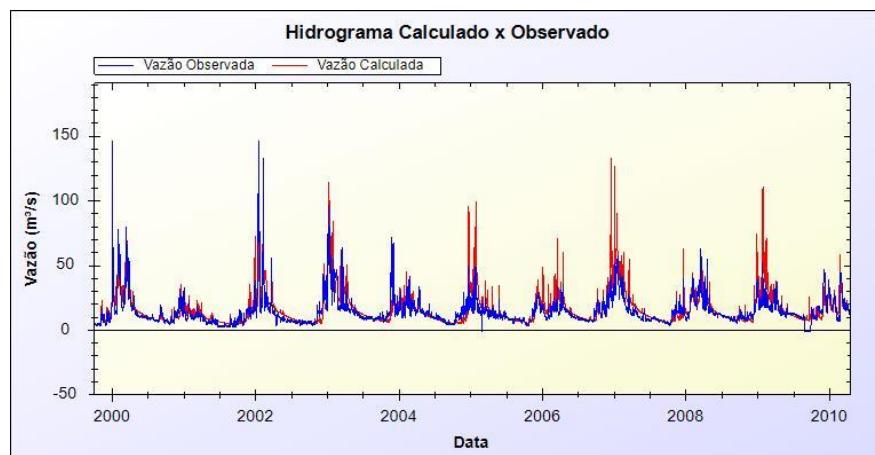
A partir dos dados apresentados nas **Tabelas 42 e 43**, pode-se perceber que, na sub-bacia Fazenda Letreiro, rio Uberabinha, a vazão média, para o período de 1975 a 2010, foi de 13,77 m^3/s (ANA), 10,92 m^3/s (MGB-75) e 13,90 m^3/s (MGB-10). A vazão mínima foi de 3,8 m^3/s (ANA), 4,01 m^3/s (MGB-75) e 4,73 m^3/s (MGB-10) e, por fim, a vazão máxima de 71,48 m^3/s (ANA), 53,00 m^3/s (MGB-75) e 70,83 m^3/s (MGB-10). Nota-se que, de acordo com os dados calculados pelo MGB, as vazões média, mínima e máxima aumentaram para o período considerado na pesquisa.

Além dos dados de vazão diária apresentados para a sub-bacia Fazenda Letreiro, no período de 1975 a 2010, foram realizadas análises em relação aos dados da vazão diária em períodos distintos, dentro deste intervalo. Os hidrogramas para os dois períodos considerados mais importantes na análise (1975 a 1984 e 2001 a 2010), são apresentados na **Figura 32a,b.**

Figura 32 – Hidrograma da vazão diária (observada e calculada) do rio Uberabinha, sub-bacia Fazenda Letreiro - 1975 a 1984 (a) e 2001 a 2010 (b)



(a)



(b)

Fonte: MGB.

Em uma análise visual dos hidrogramas da **Figura 32a,b**, percebe-se um ajuste de menor qualidade em relação aos hidrogramas das sub-bacias anteriormente apresentadas. No entanto, o ajuste das vazões diárias observadas (ANA) e calculadas (MGB), para a sub-bacia Letreiro, apresentou-se adequado para as análises da pesquisa, ainda que o modelo tenha superestimado os picos das cheias em alguns anos específicos (ano de 1979, 1980 e de 2005 a 2010).

A **Tabela 44** apresenta os valores da vazão diária máxima (Qmáx), mínima (Qmín) e média (Qméd) para os intervalos de 1975 a 1984, 1985 a 1992, 1993 a 2000 e 2001 a 2010, assim como apresenta também os valores do total da precipitação anual e da lâmina escoada (Qméd em mm/ano) para os mesmos períodos.

Tabela 44 – Vazão diária máxima, mínima e média, total de precipitação anual, lâmina escoada e diferença de escoamento, para períodos distintos na sub-bacia Fazenda Letreiro –

Dados da ANA e MGB

	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)	Qméd (m ³ /s)	Total de precipitação (mm/ano)	Qméd (mm/ano)	ΔQméd (mm/ano)
Ano		ANA				
1975 a 1984*	140,53	0,90	14,49	1305,46	580,05	-
1985 a 1992	175,47	2,11	12,87	1195,87	515,30	-64,75
1993 a 2000	146,01	1,96	13,01	1404,44	521,24	-5,94
2001 a 2010	146,01	2,04	14,46	1682,09	579,17	57,93
Ano		MGB-75 (URH's 1975)				
1975 a 1984	93,71	1,71	10,54	-	422,15	-
1985 a 1992	63,89	2,11	10,74	-	422,66	0,51
1993 a 2000	61,04	1,35	8,82	-	353,14	-69,52
2001 a 2010	105,39	2,88	13,11	-	525,06	171,92
Ano		MGB-10 (URH's 2010)				
1975 a 1984	130,10	2,39	13,27	-	531,49	-
1985 a 1992	92,76	2,81	13,91	-	548,14	16,65
1993 a 2000	79,34	1,98	11,44	-	458,11	-90,03
2001 a 2010	132,51	4,00	16,32	-	653,50	195,38

Obs.: (-) Não se aplica; (*) Exceto dados da estação fluviométrica (ANA) para o ano de 1975.

Fonte: ANA e MGB.

Conforme **Tabela 44**, o escoamento anual apresentou significativo aumento em relação aos dez anos iniciais do período estudado (1975 a 1984) e os dez anos finais (2001 a 2010). De acordo com os dados da ANA, o escoamento anual diminuiu de 580,05 mm/ano (1975 a 1984) para 579,17 mm/ano (2001 a 2010), na sub-bacia em estudo. Ao verificar o total da precipitação

anual no período de 1975 a 1884 (1.305,46 mm/ano), constata-se que este foi menor em relação ao período de 2001 a 2010 (1.682,09 mm/ano). Como já comentado anteriormente, o aumento da precipitação influencia no regime hidrológico da área de estudo. No entanto, verificou-se ainda que houve uma mudança relacionada ao uso da terra e cobertura vegetal nativa (no período de 1975 a 2010) que influenciou tal comportamento da vazão nos rios observados. Dentre todas as sub-bacias presentes na área de estudo, a sub-bacia Fazenda Letreiro foi aquela que apresentou maior alteração no uso da terra e cobertura vegetal nativa no período considerado na pesquisa.

De acordo com os dados de vazão calculados pelo MGB, também foi notado o aumento do escoamento anual entre os anos de 1975 a 2010. Os dados de vazão calculados pelo MGB-75, mostram que o escoamento anual de 422,15 mm/ano (1975 a 1984) aumentou para 653,50 mm/ano (2001 a 2010), de acordo com os dados calculados pelo MGB-10.

A vazão média, na sub-bacia Fazenda Letreiro, também sofreu alteração ao longo do período estudado. De acordo com dados da ANA, a vazão média ficou praticamente constante, ou seja, reduziu de 14,49 m³/s (1975 a 1984) para 14,46 m³/s (2001 a 2010). De acordo com os dados calculados pelo MGB-75, no entanto, ocorreu um aumento da vazão média de 10,54 m³/s (1975 a 1984) para 16,32 m³/s (2001 a 2010), de acordo com os dados calculados pelo MGB-10.

Percebe-se, de forma geral, pelos valores discrepantes apresentados nas duas simulações (MGB-75 e MGB-10), que a significativa alteração do uso da terra e cobertura vegetal nativa, ocorrida no período de 1975 a 2010, alterou o comportamento da vazão na sub-bacia em estudo.

A sub-bacia Fazenda Letreiro, foi a única das sub-bacias estudadas que apresentou aumento na classe de Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento, de 12,49% (1975) para 21,61% (2010). As áreas de Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado sofreram uma intensa redução de 82,52% (1975) para 19,83% (2010). Essa redução implicou na substituição das áreas desmatadas pela substituição de classes ligadas às atividades agropecuárias. A sub-bacia apresentou um incremento na classe de Agricultura, de 4,73% da área total da sub-bacia, em 1975, para 54,55% em 2010, e na classe de Pastagem, de 0,27% em 1975, para 4%, em 2010.

Desta forma, o maior impacto causado nesta área decorreu da redução da cobertura vegetal nativa campestre e do incremento das áreas agrícolas. Das sub-bacias analisadas anteriormente, a sub-bacia Fazenda Letreiro foi a que apresentou maior aumento na área da classe de Agricultura. Os municípios que, em parte, são pertencentes a esta sub-bacias (Uberlândia e

Uberaba), têm importante destaque também no setor agropecuário da região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, região considerada como uma das maiores produtoras de grãos e algodão do Brasil. Uberlândia foi marcada, especialmente a partir da década de 80, pela expansão da soja, das pastagens de brachiaria e dos rebanhos leiteiros, trazendo como consequências a diminuição significativa da cobertura vegetal nativa. A retirada da cobertura vegetal, e substituição pelas classes de uso agropecuário, influenciaram (em acordo com os estudos na literatura existente) no aumento da vazão máxima, mínima e média para esta sub-bacia.

Nota-se, então, que as vazões máximas e mínimas também se alteraram nos anos considerados, para a sub-bacia em estudo. Pode-se verificar que a vazão mínima da sub-bacia Fazenda Letreiro, de acordo com dados da ANA, aumentou de 0,90 m³/s (1975 a 1984) para 2,04 m³/s (2001 a 2010). De acordo com os dados calculados pelo MGB, também houve um aumento da vazão mínima para os mesmos períodos considerados. Os dados calculados a partir do MGB-75, mostram um aumento da vazão mínima de 1,71 m³/s (1975 a 1984) para 4,00 m³/s (2001 a 2010), de acordo com os dados calculados pelo MGB-10. Estes dados estão de acordo com estudos que indicam que o desmatamento tende a aumentar as vazões mínimas, com menor ou maior intensidade dependendo do novo uso daquela área a partir da retirada da cobertura vegetal nativa.

A alteração verificada na vazão máxima na sub-bacia analisada, foi a mesma apontada na análise da vazão mínima, um aumento para o período considerado. Foi verificado o aumento da vazão máxima, tanto a partir dos dados da ANA, quanto a partir dos dados calculados pelo MGB. De acordo com dados da ANA, a vazão máxima aumentou de 140,53 m³/s (1975 a 1984) para 146,01 m³/s (2001 a 2010). De acordo com os dados calculados pelo MGB-75, estes mostram o aumento da vazão máxima de 93,71 m³/s (1975 a 1984) para 132,51 m³/s (2001 a 2010), de acordo com os dados calculados pelo MGB-10.

Assim, considerando as vazões máximas, mínimas e médias e a lâmina escoada para a sub-bacia Fazenda Letreiro, no período de 1975 a 2010, verificou-se que houveram mudanças consideráveis no uso da terra e cobertura vegetal nativa que justificam a alteração do comportamento da vazão observada (ANA) e calculada (MGB) nesta sub-bacia. De acordo com os dados calculados pelo MGB, todas as variáveis citadas apresentaram aumento em relação a mudança do uso da terra e cobertura vegetal nativa no período considerado.

5.3 Vazão diária para a BHRA (1975 a 2010)

A **Tabela 45**, permite verificar os valores da vazão diária máxima (Qmáx), mínima (Qmín) e média (Qméd), para os anos de 1975 a 2010, assim como os valores da lâmina escoada (Qméd em mm/ano) e a diferença de escoamento (Δ Qméd), para todas as sub-bacias presentes na BHRA, no mesmo período estudado.

Tabela 45 – Vazão diária máxima, mínima e média, lâmina escoada e total de precipitação anual para a BHRA, no período de 1975 a 2010 – Dados MGB

Sub-bacia	Período de simulação	Qmáx (m ³ /s)	Qmín (m ³ /s)	Qméd (m ³ /s)	Qméd (mm/ano)	Total de precipitação (mm/ano)
Ibiá	1975 a 2010	326,22	7,13	28,36	666,32	1.485,08
Fazenda São Mateus	1975 a 2010	275,45	7,83	28,88	696,15	1.323,01
Desemboque	1975 a 2010	349,26	6,87	27,85	796,60	1.662,32
Ponte da Antinha	1975 a 2010	396,19	6,79	27,06	671,37	1.581,27
Ponte João Cândido	1975 a 2010	2.422,64	38,64	187,09	1.288,59	1.461,81
Ponte Santa Juliana	1975 a 2010	986,59	20,47	94,32	3.408,17	1.430,59
Porto Saracura	1975 a 2010	3.601,42	81,84	353,24	2.444,70	1.277,12*
Fazenda Letreiro	1975 a 2010	132,51	1,98	13,80	552,77	1.407,72
Exutório	1975 a 2010	3.918,30	99,18	436,61	3.277,34	-

Obs.: (*) Dados pluviométricos de 1977 a 1997 (incompletos)

Fonte: MGB.

A partir dos dados da **Tabela 45**, verifica-se que as maiores vazões máximas, mínimas e médias, assim como os maiores valores da lâmina escoada, são naquelas sub-bacias com a significativa presença dos reservatórios existentes na BHRA: sub-bacia Ponte Santa Juliana, sub-bacia Porto Saracura, sub-bacia Ponte João Cândido e sub-bacia Exutório.

Pode-se constatar que a sub-bacia que teve a menor vazão mínima é a sub-bacia Fazenda Letreiro, com o total de 1,98 m³/s. O maior valor de vazão mínima encontrado foi na sub-bacia Porto Saracura, com 81,84 m³/s. As maiores vazões máximas foram encontradas na sub-bacia Exutório (3.918,30 m³/s) e sub-bacia Porto Saracura (3.601,42 m³/s), ambos calculados para o ano de 1997, ano de influência significativa do fenômeno *El niñ*o nos eventos hidroclimáticos. A menor vazão máxima, foi encontrada para a sub-bacia Fazenda Letreiro, com o total de 132,51 m³/s.

As maiores vazões médias foram encontradas, assim como as vazões máximas, também na sub-bacia Exutório ($436,61 \text{ m}^3/\text{s}$) e sub-bacia Porto Saracura ($353,24 \text{ m}^3/\text{s}$). A menor vazão média da BHRA foi encontrada, por sua vez, assim como a menor vazão máxima, na sub-bacia Fazenda Letreiro, com o total de $13,80 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.3.1 Análise das mudanças do uso da terra e cobertura vegetal nativa no comportamento hidrológico da BHRA

Como já comentado anteriormente, as principais mudanças de uso da terra e cobertura vegetal na BHRA, no período de 1975 a 2010, foram a substituição da classe campestre (Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado) pelas classes correspondentes às atividades agropecuárias, devido ao grande avanço destas atividades econômicas na região. Em 2010, a cobertura vegetal nativa se reduziu praticamente a metade dos valores calculados para o ano de 1975, ou seja, passou de 88,93% para 42,97%. A classe de Pastagem aumentou de 8,41% (1975) para 30,59% (2010) e a classe de Agricultura aumentou de 2% (1975) para 23,02% (2010).

A **Tabela 46** mostra uma síntese das mudanças de uso da terra e cobertura vegetal nativa que ocorreram em cada sub-bacia da BHRA, em valores percentuais, no período de 1975 a 2010.

Tabela 46 – Síntese das diferenças das áreas (%) da mudança de uso da terra e cobertura vegetal nativa, para as sub-bacias da BHRA, do ano de 1975 para o ano de 2010

Sub-bacia	Campo		Pastagem	Agricultura	Influência urbana	Água
	Cerradão/ Cerrado/ Mata/ Reflorestamento	Campo sujo/ Campo cerrado				
Ibiá	-4,07	-38,02	34,66	7,11	0,31	0,00
Fazenda São Mateus	-3,44	-32,44	34,96	0,88	0,04	0,00
Desemboque	-1,42	-2,94	1,74	2,51	0,11	0,00
Ponte da Antinha	-8,93	-49,41	50,53	7,33	0,48	0,00
Ponte João Cândido	-5,70	-51,98	35,40	20,99	0,10	1,19
Ponte Santa Juliana	-1,21	-39,79	23,40	16,49	0,35	0,77
Porto Saracura	-3,43	-50,08	14,29	33,15	0,25	5,81
Fazenda Letreiro	9,13	-62,69	3,74	49,83	0,00	0,00
Exutório	-8,58	-30,17	7,63	25,61	2,44	3,07

Fonte: Imagens do satélite Landsat 2 (1975) e Landsat 5 (2010).

Os percentuais de mudança de uso da terra e cobertura vegetal nativa das sub-bacias da BHRA permitem verificar, conforme **Tabela 46**, que as classes de Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento e de Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado reduziram o seu percentual em praticamente todas as sub-bacias, no período analisado, com maior intensidade nas sub-bacias Ponte da Antinha (Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento teve 8,93% de redução) e Fazenda Letreiro (Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado teve 62,69% de redução).

As classes de atividades agropecuárias tiveram aumento ou surgiram em todas as sub-bacias da BHRA. A sub-bacia Ponte da Antinha foi a sub-bacia que teve maior aumento da área percentual (50,53%) da classe de Pastagem, enquanto a sub-bacia Fazenda Letreiro apresentou o maior aumento da área percentual (49,83%) da classe de Agricultura.

A classe de Influência urbana teve maior expansão na sub-bacia Exutório, que compreende os municípios de Uberlândia, Uberaba, Indianópolis, Araguari e Tupaciguara, estando estes entre os municípios mais populosos da BHRA.

Todas estas alterações verificadas nos cenários de uso da terra e cobertura vegetal nativa da BHRA, como um todo, influenciaram o sistema hidrológico da mesma.

A redução de praticamente a metade da cobertura vegetal nativa (Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento e Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado) na BHRA, tende a alterar a vazão dos cursos d'água presentes nesta bacia. De acordo com Garcez e Alvarez (1988) a cobertura vegetal, somada a influência dos fatores geológicos, condiciona a rapidez do escoamento superficial, as taxas de evaporação e a capacidade de retenção. A retirada da cobertura vegetal nativa traz alterações para o comportamento hidrológico da bacia, seja no aumento da vazão média e aumento ou diminuição da vazão mínima.

A substituição de florestas por pastagens ou cultivos agrícolas, por exemplo, pode levar a um aumento no volume de fluxo rápido e nos picos de vazões em eventos extremos. O aumento do fluxo de escoamento ainda é maior se a retirada da cobertura vegetal for realizada utilizando-se instrumentos, como por exemplo, o uso de tratores para o desmatamento e para a posterior preparação do solo para um cultivo agrícola. O uso desse maquinário tende a aumentar a compactação da camada superficial do solo e diminuir a capacidade de infiltração da água da chuva.

Neste sentido, as práticas conservacionistas, utilizadas em áreas de agricultura e pastagem, reduzem a concentração e a velocidade do escoamento, permitindo que a água tenha maior

tempo para infiltração e limitando a sua capacidade de causar erosão. Dessa forma, não ocorre a perda na produtividade econômica da região e a qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos é mantida.

A implementação de culturas agrícolas, uma das principais atividades produtivas dos municípios pertencentes a BHRA (cada vez mais intensificada junto as novas capacidades de melhoramento dos solos, técnicas de plantio, desenvolvimento de maquinário, etc.), sem dúvida, tendem a reforçar as alterações no comportamento hidrológico da bacia. A agricultura causa impactos de alta intensidade no escoamento, pois prevê a preparação do solo antes do período chuvoso. De acordo com os estudos de Tucci (2005) o aumento da área agrícola altera a vazão nos cursos d'água, visto que, aumenta a erosão devido a preparação do solo antes do período chuvoso, diminui a evapotranspiração, o uso de mecanização compacta o solo e diminui sua capacidade de infiltração, entre outras alterações, que acabam por aumentar o escoamento superficial. No entanto, vale salientar que em alguns tipos de culturas, como por exemplo a cultura do café, há uma semelhança com a cobertura vegetal de mata nativa no que se refere ao efeito sobre o escoamento, pois o solo é protegido e a cobertura é mantida (TUCCI, 2002).

Da mesma forma que a agricultura influencia o aumento da vazão, o incremento do uso pelas atividades pecuárias também tende a aumentar o escoamento superficial pelo fato, dentre outros fatores, da compactação do solo causada pelo gado no pastoreio. Porém, deve-se considerar a água como uso para dessedentação do gado, visto que os animais têm acesso aos cursos d'água, o que pode resultar na diminuição da quantidade de água escoada. Além disso, esse mesmo acesso do gado aos cursos d'água, tende a acelerar os processos erosivos e o carreamento de sedimentos para dentro da calha do rio, resultando no assoreamento do mesmo e na redução da vazão.

Em praticamente todas as sub-bacias analisadas, houve a substituição das classes de cobertura vegetal nativa pelas classes de agropecuária. Na sub-bacia Fazenda Letreiro, em que a classe de cobertura campestre foi drasticamente reduzida para a implementação de áreas agropecuárias, especialmente áreas agrícolas (aumento de 4,73% para 54,55%) houve um aumento generalizado nas vazões máxima (em 38,8 m³/s), mínima (em 2,29 m³/s), média (em 5,78 m³/s), e lâmina de escoamento anual (231,35 mm/ano), na sub-bacia, de acordo com os dados do MGB. Como já comentado, este aumento é verificado em diversos estudos presentes na literatura.

Para as sub-bacias Ibiá e Fazenda São Mateus, em que a substituição das classes de cobertura vegetal nativa deu origem ao incremento, especialmente, da pastagem, verificou-se o contrário, ou seja, redução da vazão na sub-bacia estudada. Na sub-bacia Ibiá o percentual da área de pastagem aumentou de 0,13% para 34,79%, enquanto que, na sub-bacia Fazenda São Mateus, a pastagem aumentou de 0% para 34,96% da área, de 1975 para 2010. Em ambas sub-bacias as classes campestres também foram as classes que sofreram maior redução para a substituição pela classe de pastagem. Assim, para a sub-bacia Ibiá, houve uma redução generalizada nas vazões máxima (em 121,33 m³/s), mínima (em 0,33 m³/s), média (em 2,94 m³/s), e lâmina de escoamento anual (em 67,7 mm/ano), na sub-bacia, de acordo com os dados do MGB. Para a sub-bacia Fazenda São Mateus, houve uma redução nas vazões máxima (em 62,96 m³/s), média (em 0,81 m³/s), e lâmina de escoamento anual (em 19,56 mm/ano), enquanto que para a vazão mínima foi notado aumento (em 1,05 m³/s) na sub-bacia, de acordo com os dados do MGB. Esses resultados são contrários verificados aos da sub-bacia Letreiro, visto que a substituição da cobertura vegetal não foi a mesma, ocasionando diferentes alterações na vazão dos cursos d'água presentes nestas sub-bacias.

A sub-bacia Desemboque foi, como já mencionado, a sub-bacia que teve as menores taxas de alteração no uso da terra e cobertura vegetal nativa. Apenas uma pequena taxa de 4,36% de áreas de cobertura vegetal nativa foi substituída por áreas agrícolas (2,51%), áreas de pastagem (1,74%) e áreas urbanas (0,11%). Verificou-se que as alterações na vazão não foram tão significativas quanto na sub-bacia Fazenda Letreiro, por exemplo, sub-bacia com maior alteração de uso da terra verificada. No caso da sub-bacia Desemboque, foi notado aumento para as vazões máxima (em 68,05 m³/s), média (em 2,65 m³/s) e lâmina escoada (em 75,7 mm/ano), enquanto, para a vazão mínima foi notada uma redução (em 0,53 m³/s).

As alterações nas vazões máxima e mínima, na bacia, foram consideradas importantes, visto que a manutenção da vazão mínima nas sub-bacias é uma das variáveis requeridas para possibilitar a continuidade das funções oferecidas pela água nesta e demais bacias hidrográficas, pois são importantes na representação da quantidade de água que permanece no leito do rio após a retirada da água para usos diversos (abastecimento, irrigação, etc.), para o conhecimento da disponibilidade hídrica em períodos críticos, na determinação de legislações para o controle da qualidade da água, outorga, etc.

E, tão importante quanto a manutenção das vazões mínimas necessárias para a qualidade e quantidade adequadas dos rios presentes na área de estudo, é a manutenção das vazões máximas também dentro de limites ideais, pois alterações intensas podem estar associadas aos riscos de

inundação na bacia, sendo que sua manutenção auxilia no controle de enchentes, nos estudos voltados para os projetos dos vertedores de barragens, de bueiros e galerias de águas pluviais, diques, no dimensionamento de pontes, entre outros.

O aumento da classe de áreas urbanas verificado, também reflete nas condições hidrológicas da área estudada, visto que o crescimento urbano ocasiona o surgimento de áreas com reduzida infiltração no solo e alto índice de velocidade do escoamento superficial, redução do nível de escoamento subterrâneo, redução da evapotranspiração. Além disso, ainda ocasionam aumento das vazões máximas e na produção de sedimentos, contribuindo para a deterioração ainda, da qualidade da água (TUCCI, 2005). No entanto, para as sub-bacias analisadas, a alteração da classe de influência urbana não foi significativa para permitir uma análise sobre sua interferência no comportamento da vazão nas mesmas.

5.4 Cenários hipotéticos de mudança de uso da terra e cobertura vegetal nativa

Os modelos hidrológicos também têm importante papel na simulação de situações hipotéticas para conhecimento do comportamento dos processos hidrológicos. Além de permitir diversas simulações em cenários hipotéticos e/ou futuros de forma confiável, a modelagem hidrológica pode ser utilizada de modo rápido e com menores custos de execução em relação às pesquisas experimentais. Os resultados desse tipo de simulação permitem conhecer as consequências de determinado tipo de uso e manejo em uma bacia hidrográfica e a resposta daquele ambiente a uma determinada situação. No entanto, não deixando de se considerar que outros fatores, especialmente em diferentes escalas, estejam associados ao comportamento hidrológico de um rio, a exemplo das mudanças climáticas, da topografia da bacia, etc. Apesar de não ser o único processo responsável pela alteração do comportamento de vazão de um rio, a mudança de uso da terra afeta, de maneira considerável, como já visto, o balanço entre a precipitação e a evaporação, e assim, consequentemente, influencia no comportamento da vazão nos cursos d'água.

Para o MGB, a sensibilidade de alguns parâmetros específicos é importante na análise das consequências dessas mudanças de uso na resposta hidrológica dos cursos d'água. Dentre os parâmetros fixos e calibráveis, que são necessários para a simulação do MGB, aqueles que são importantes para diferenciar o uso da terra e cobertura vegetal nativa são o albedo, o índice de área foliar (IAF), a resistência aerodinâmica (ra) e a resistência superficial (rs). Além, ainda,

dos parâmetros W_m e b , que também devem ser alterados de acordo com os tipos de uso da terra e cobertura vegetal nativa presentes na área estudada.

A determinação de valores confiáveis para estes parâmetros determina a confiabilidade dos resultados para as simulações realizadas em cenários de mudança de uso da terra e cobertura vegetal nativa. Assim, considerando válidos os parâmetros que influenciam diretamente na análise de mudança de uso da terra e cobertura vegetal nativa, definidos para a simulação da BHRA, o MGB foi utilizado para realizar a simulação de cenários hipotéticos de mudança de uso e cobertura vegetal nativa a fim de verificar qual seria o comportamento da vazão, no rio Misericórdia, em situações diversas da realidade.

As simulações das vazões para os cenários hipotéticos propostos foram realizadas na sub-bacia Ibiá, rio Misericórdia, devido ao fato desta ter apresentado melhor ajuste dos parâmetros citados, na calibração do modelo.

Os resultados da vazão diária máxima ($Q_{máx}$), mínima ($Q_{mín}$) e média ($Q_{méd}$), lâmina escoada ($Q_{méd}$ em mm/ano) e diferença de escoamento ($\Delta Q_{méd}$), para os cenários hipotéticos propostos, estão apresentados na **Tabela 47**. Os resultados utilizados para comparação e análise foram relacionados ao ano de simulação mais atual do período em estudo (ano de 2010).

Tabela 47 – Vazão diária máxima, mínima e média, lâmina escoada e diferença de escoamento, ano de 2010, para diferentes cenários hipotéticos em relação a situação real mais recente (2010), na sub-bacia Ibiá – Dados MGB

Cenário	$Q_{máx}$ (m^3/s)	$Q_{mín}$ (m^3/s)	$Q_{méd}$ (m^3/s)	$Q_{méd}$ (mm/ano)	$\Delta Q_{méd}$ (mm/ano)
Cenário real (2010)	69,54	8,47	22,77	523,17	-
100% Cobertura vegetal nativa	76,27	10,18	23,98	551,04	27,87
100% Pastagem	105,72	6,19	24,74	568,62	45,45
100% Agricultura	47,28	9,25	19,24	442,25	-80,92
Conversão da pastagem para agricultura	64,92	8,83	22,35	513,61	-9,56

Fonte: MGB.

A partir dos dados apresentados na **Tabela 47**, verifica-se a vazão média para a sub-bacia Ibiá, rio Misericórdia, ano de 2010, de $22,77\ m^3/s$, sendo que este valor corresponde a 523,17 mm de escoamento médio, para o mesmo ano. No cenário real, ano de 2010, a sub-bacia Ibiá, conforme mapeamento de uso da terra e cobertura vegetal nativa, apresentava 20,94% de sua

área recoberta pela classe de Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento, 34,21% pela classe de Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado, 34,79% pela classe de Pastagem e 9,54% de sua área recoberta pela classe de Agricultura.

No que se refere aos cenários hipotéticos simulados, a mesma tabela mostra que houve um aumento para a vazão média calculada para a sub-bacia Ibiá, nos cenários de 100% Cobertura vegetal nativa e 100% Pastagem, em relação ao ano de 2010. Para os cenários de 100% Agricultura e Conversão da pastagem para agricultura, no entanto, verificou-se a redução da vazão média, para a mesma sub-bacia. No entanto, em nenhuma das simulações hipotéticas houve alteração significativa em relação às vazões médias calculadas.

Collischonn (2001), simulou cenários hipotéticos semelhantes para a bacia do rio Taquari-Antas- RS e comparou os dados com a simulação do cenário real da bacia de 1995. Assim, o mesmo autor encontrou em seus estudos redução da vazão média e escoamento anual para os cenários de 100% Floresta e aumento da mesma para os cenários de 100% Pastagem e 100% cultura anual. Os valores do escoamento anual: redução em 62 mm/ano, a partir do cenário 100% Floresta, aumento de 31 mm/ano, no cenário de 100% Pastagem e aumento de 34 mm/ano, no cenário de 100% culturas anuais.

Para a sub-bacia Ibiá, no cenário em que esta apresenta uma situação de 100% de Cobertura vegetal nativa, ocorreu um aumento das vazões máxima, mínima e média. Verificou-se um aumento de 27,87 mm (5,33%) de escoamento anual, aumento de 6,73 m³/s (9,68%) na vazão máxima, de 1,71 m³/s (20.19%) na vazão mínima e redução de 1.21 m³/s (5,31%) na vazão média em comparação aos dados do ano de 2010 simulados pelo MGB.

No cenário em que a sub-bacia apresenta uma situação de 100% de Pastagem, ocorreu um aumento da vazão máxima e média e redução da vazão mínima. Verificou-se um aumento de 45,45 mm (8,69%) de escoamento anual, aumento de 36,18 m³/s (52,03%) na vazão máxima, redução de 2,28 m³/s (26,92%) na vazão mínima e aumento em 1,97 m³/s (8,65%) na vazão média, realizando a mesma comparação anterior.

No próximo cenário, em que a sub-bacia apresenta uma situação de 100% de Agricultura, ocorreu uma redução da vazão máxima e média e aumento da vazão mínima. Verificou-se uma redução de 80,92 mm (15,47%) de escoamento anual, redução de 22,26 m³/s (32,01%) na vazão máxima, aumento de 0,78 m³/s (9,21%) na vazão mínima e, novamente, redução em 3,53 m³/s (15,50%) na vazão média, também na mesma comparação que as anteriores.

Por fim, no último cenário simulado, ou seja, cenário onde ocorreu a conversão da pastagem para agricultura, houve também uma redução da vazão máxima e média e aumento da vazão mínima. Verificou-se uma redução de 9,56 mm (1,83%) de escoamento anual, redução de 4,62 m³/s (6,64%) na vazão máxima, aumento de 0,36 m³/s (4,25%) na vazão mínima e redução de 0,42 m³/s (1,84%) na vazão média, novamente em comparação aos dados do ano de 2010 simulados pelo MGB.

De forma geral, a simulação da vazão na sub-bacia Ibiá, a partir de cenários hipotéticos permitiu verificar que a substituição da cobertura vegetal nativa pelo uso da pastagem, aumentou a vazão máxima (76,27 para 105,72 m³/s) e a vazão média (23,98 para 24,74 m³/s) e reduziu a vazão mínima (10,18 para 6,19 m³/s). A substituição da cobertura vegetal nativa pelo uso da agricultura, por sua vez, resultou em redução, tanto da vazão máxima (76,27 para 47,28 m³/s), mínima (10,18 para 9,25 m³/s) e a vazão média (23,98 para 19,24 m³/s).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em certas localidades, a disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica é de fato limitada. O crescente aumento da demanda desse recurso, motivado pelos mais variados usos e, especialmente, impulsionado pelo desenvolvimento econômico, exige a adoção de critérios para a gestão das bacias e seus recursos naturais, com vistas a minimizar todos os impactos advindos de um uso insustentável e dos conflitos pelo uso da água.

Neste sentido, o conhecimento dos diferentes segmentos do ciclo hidrológico, notadamente da vazão dos rios presentes em uma bacia hidrográfica, é fundamental para a gestão dos recursos hídricos. Assim como conhecer a precipitação permite quantificar a entrada de água na bacia, conhecer as vazões máximas, mínimas e médias dos rios permite, entre diversas aplicações, desde a implementação de obras hidráulicas, auxílio nos processos de outorga do direito de uso da água, conhecimento do potencial energético, dos riscos de inundação e controle de enchentes, definição da necessidade de regularização artificial em casos de projetos de irrigação ou de aproveitamento hidrelétrico, entre outros.

Deste modo, considerada a importância do conhecimento da vazão nas bacias hidrográficas, como elemento essencial para a estimativa das potencialidades e disponibilidades hídricas de seus cursos d'água, destaca-se que as geotecnologias têm relevante papel no processo de geração de informação para gestão desses ambientes.

O sensoriamento remoto, o geoprocessamento e a modelagem hidrológica permitiram um maior e mais eficaz acesso às informações necessárias para a coleta de dados espaciais existentes, geração de dados onde a informação é inexistente, simulação de cenários hipotéticos para comparações dos dados e análise dos mesmos de forma aprimorada e confiável.

Dentre estas inúmeras aplicações de um modelo hidrológico, convém destacar que, nesta pesquisa, o MGB teve relevante papel em suprir a ausência de dados (de algumas datas) em que os mesmos não estão disponibilizados pela ANA (seja pela inexistência de dados ou pela falta de disponibilização dos mesmos), no intervalo de estudo da pesquisa. O cálculo dos dados completos para a área e intervalo de tempo da pesquisa foi fundamental para que se pudesse analisar os resultados de forma mais confiável e precisa nas simulações do MGB.

Dessa forma, de acordo com os dados calculados pelo MGB, verificou-se que, para as sub-bacias analisadas individualmente, a sub-bacia Ibiá teve uma redução das vazões máxima,

mínima, média e da lâmina de escoamento anual. Ao contrário, a sub-bacia Fazenda Letreiro, teve um aumento para todas as vazões citadas. A sub-bacia Fazenda São Mateus teve os valores da vazão máxima, média e lâmina escoada reduzidos e o valor da vazão mínima aumentado. Por fim, a sub-bacia Desemboque apresentou aumento para os valores da vazão máxima, média e lâmina escoada, enquanto que o valor da vazão mínima foi reduzido.

A sub-bacia Fazenda Letreiro, sub-bacia que teve mais mudanças de uso da terra e cobertura vegetal nativa no período considerado (substituição de 53,56% de áreas de cobertura vegetal nativa para áreas de agricultura e pastagem) apresentou aumento para as vazões máxima (em $38,8 \text{ m}^3/\text{s}$), mínima (em $2,29 \text{ m}^3/\text{s}$), média (em $5,78 \text{ m}^3/\text{s}$) e lâmina escoada anual (231,35 mm/ano), no período de 1975 a 2010.

Considerando todos os cenários hipotéticos simulados e a comparação com os dados de vazão calculados pelo MGB, para o cenário real de 2010, destacou-se então que: a vazão média para os cenários hipotéticos propostos se manteve praticamente equiparada, o cenário 100% Cobertura vegetal nativa apresentou maior alteração em relação a vazão mínima (aumento de $2,28 \text{ m}^3/\text{s}$) e o cenário de 100% Pastagem apresentou a maior alteração na vazão máxima (aumento de $36,18 \text{ m}^3/\text{s}$).

Primar pelos recursos hídricos presente nessa área se faz necessário e possível com todo o desenvolvimento tecnológico existente e a capacidade intelectual e produtiva de diversos profissionais, entre eles: geógrafos, biólogos, geólogos, hidrólogos, engenheiros florestais e ambientais, entre outros. Porém, a tecnologia não é o único caminho. Aliado à capacidade técnica e produtiva é necessário aliar a conscientização, cultura e ética com a atuação de profissionais formados em ciências humanas, como: sociólogos, advogados, cientistas sociais, comunicadores, entre outros, formando equipes multidisciplinares reguladoras e mediadoras do uso e preservação dos recursos hídricos.

De forma geral, convém ressaltar que a modelagem hidrológica se coloca como uma ferramenta adicional, importante e eficiente no sentido de aperfeiçoar e auxiliar o monitoramento e gestão da bacia. A utilização dessa ferramenta e a análise dos seus resultados são de fundamental importância no conhecimento dos processos hidrometeorológicos pertencentes às bacias hidrográficas e a gestão desse ambiente. A utilização do modelo hidrológico escolhido e as análises realizadas foram consideradas satisfatórias para cumprir os objetivos desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGRITEMPO. **Sistema de Monitoramento Agrometeorológico.** Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/index.php>> Acesso em: mar. 2011.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Evolução da rede hidrometeorológica nacional.** / Superintendência de Administração da Rede Hidrometeorológica. – v. 1, n. 1, (abr. 2007). Brasília: ANA, 2007. 15p.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Água – Fatos e tendências** / Agência Nacional de Águas; Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS). 2. ed. Brasília: ANA, 2009. 32 p.

ANA. **Agência Nacional de Águas.** Disponível em: <<http://ana.gov.br>> Acesso em: mar. 2011.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Hidroweb – Sistema de Informações hidrológicas.** Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>> Acesso em: mar. 2011.

ANA. Agência Nacional de Águas. **SNIRH – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos.** Disponível em: <<http://www2.snirh.gov.br/home/>> Acesso em: mar. 2011.

BACCARO, C. A. D.; MEDEIROS, S. M.; FERREIRA, I. L.; RODRIGUES, S. C. Mapeamento geomorfológico da bacia do rio Araguari (MG). In: LIMA, S. do C., SANTOS, R. J. (Org.). **Gestão Ambiental da Bacia do Rio Araguari:** rumo ao desenvolvimento sustentável. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia/Instituto de Geografia; Brasília: CNPq, 2004. p. 1 – 19.

BAYER, D. M.; COLLISCHONN, W. Análise de sensibilidade do Modelo MGB-IPH a mudanças de uso da terra. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos.** Vol. 18 n.3 – jul/set 2013, p. 165-179.

BENETTI, A.; BIDONE, F. O meio ambiente e os recursos hídricos. In: Tucci, C. E. M. **Hidrologia – Ciência e aplicação** / organizado por Carlos E. M. Tucci. Porto Alegre: Ed. Da Universidade: ABRH: EDUSP, 1993. 943 p.

BRASIL. **Lei nº 9.433 – 8 de janeiro de 1997.** Estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, 1997.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética/ Ministério de Minas e Energia – **Avaliação Ambiental Integrada dos Aproveitamentos hidrelétricos da Bacia hidrográfica do rio**

Paranaíba, 2006. Disponível em:
http://www.epe.gov.br/MeioAmbiente/Paginas/AAIs/MeioAmbiente_12.aspx?CategoriaID=101 Acesso em: jan. 2010.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: **Sistema de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura/** Editado por Eduardo Delgado Assad; Edson Eyji Sano. 2 ed., Brasília: Embrapa, 1998, 434p.

CBH-ARAGUARI. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari. Disponível em: <<http://www.cbharaguari.org.br/>>. Acesso em: mar. 2011.

CBH-ARAGUARI. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari - Plano Diretor. Disponível em: <http://cbharaguari.com.br/site/modules/mastop_publish/?tac=Plano_Diretor>. Acesso em: mar. 2011.

CBH-PARANAÍBA. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba. Disponível em: <<http://cbhparanaiba.org.br/>> Acesso em: mar. 2011.

CHAUDRY, F. H.; PAIVA, J. B. D.; REIS, L. F. R. **Monitoramento de Bacias Hidrográficas e Processamento de Dados/** Organizado por Fazal H. Chaudhry , João Batista Dias de Paiva; Luiza Fernanda Ribeiro Reis – São Carlos: RIMA, 2004. 326p.

CHEVALLIER, P. Aquisição e processamento de dados. In: Tucci, C. E. M. **Hidrologia – Ciência e aplicação** / organizado por Carlos E. M. Tucci. Porto Alegre: Ed. Da Universidade: ABRH: EDUSP, 1993. 943 p.

CHORLEY, R. J. **Modelos físicos e de informação em geografia.** Livros técnicos e Científicos Rio de Janeiro: Ed. Da Universidade de São Paulo, 1975.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** 2 ed., São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda., 1980. 188 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais.** São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda., 1999. 236 p.

CLARKE, R., KING, J. **O atlas da água** – o mapeamento completo do recurso mais precioso do planeta. [tradução Anna Maria Quirino]. – São Paulo: Publifolha, 2005. 128p.

CLEPS JÚNIOR, J.; PESSOA, V. L. S.; GOBBI, W. A. O. Gestão dos recursos hídricos em Minas Gerais: o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari. In: LIMA, S. do C., SANTOS, R. J. (Org.). **Gestão Ambiental da Bacia do Rio Araguari:** rumo ao

desenvolvimento sustentável. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia/Instituto de Geografia; Brasília: CNPq, 2004. p. 163 – 184.

COLLISCHONN, W. **Simulação hidrológica de grandes bacias**. 2001. 270 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Ajuste multiobjetivo dos parâmetros de um modelo hidrológico. **Revista Brasileira dos Recursos Hídricos** 8(3), p. 27-41, 2003.

COLLISCHONN, W.; BUARQUE, D. C.; PAIVA, R. C. D.; FAN, F. M.; KAYSER, R. **Manual introdutório para aplicação do modelo MGB-IPH**. Projeto Integrado de Cooperação e de Modernização do Monitoramento Hidrológico. Porto Alegre: FINEP, ANA, 2010. Manual 01/05. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/hge/mgb-iph/downloads/>>. Acesso em: out. 2013.

_____. **Manual de discretização de bacias para aplicação do modelo MGB-IPH**. Projeto Integrado de Cooperação e de Modernização do Monitoramento Hidrológico. Porto Alegre: FINEP, ANA, 2010. Manual 02/05. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/hge/mgb-iph/downloads/>>. Acesso em: out. 2013.

_____. **Manual de definição de unidades de resposta hidrológica (blocos) do modelo MGB-IPH**. Projeto Integrado de Cooperação e de Modernização do Monitoramento Hidrológico. Porto Alegre: FINEP, ANA, 2010. Manual 03/05. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/hge/mgb-iph/downloads/>>. Acesso em: out. 2013.

_____. **Manual do PrePro-MGB para aplicação do modelo MGB-IPH**. Projeto Integrado de Cooperação e de Modernização do Monitoramento Hidrológico. Porto Alegre: FINEP, ANA, 2010. Manual 04/05. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/hge/mgb-iph/downloads/>>. Acesso em: out. 2013.

_____. **Manual de aplicação do modelo MGB-IPH integrado à interface MapWindow**. Projeto Integrado de Cooperação e de Modernização do Monitoramento Hidrológico. Porto Alegre: FINEP, ANA, 2010. Manual 05/05. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/hge/mgb-iph/downloads/>>. Acesso em: out. 2013.

DECLARAÇÃO de Dublin - 1992. Disponível em: <<http://www.meioambiente.uerj.br/emrevista/documentos/dublin.htm>> Acesso em: ago. 2010.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **AAI dos Aproveitamentos Hidrelétricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba - Caracterização da bacia. EPE-1-40-0001 RE R2**. [S.I]: SONDOTÉCNICA, 2006. 217 p.

FARIA, F. C.; JORDÃO, L. F. A. Resumo Executivo do Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Araguari. Monte Carmelo, 2011. Monte Plan – Projetos técnicos rurais. 116 p. Relatório. Disponível em: <<http://www.cbcharaguari.org.br/arquivos/planodiretor/resumo-executivo-pdrh-araguari.pdf>> Acesso em: maio 2014.

FLAUZINO, F. S. Avaliação temporal e espacial da qualidade da água do lago da Usina Hidrelétrica de Miranda, Região do Triângulo Mineiro – Minas Gerais. 2008. 193 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

FUKUNAGA, D. C. Estimação de vazão em bacias hidrográficas do Sul do Estado do Espírito Santo usando o SWAT. 2012. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2012.

GALVÃO, W. S.; MENESES, P. R. Avaliação dos sistemas de classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras para fins de planejamento de redes hidrométricas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XII, 2005, Goiânia. *Anais...* Goiânia, Brasil, 16-21, abril 2005, INPE, p. 2511-2518.

GARCEZ, L. N., ALVAREZ, G. A. Hidrologia. 2 ed., São Paulo: Edgard Blücher ltda, 1988. 291 p.

GOMES, A. G. Procedimentos de modelagem. In: **GOMES, A. G. Modelagem de ecossistemas: uma introdução.** Affonso Guidão Gomes, Maria Cristina Varriale. 2 ed. Santa Maria: Ed. UFSM, 2004. 503 p.

HOLLANDA, M. P. Avaliação do TOPMODEL em microbacia hidrográfica no município de Alegre, ES. 2012. 92 f. Dissertação (Mestrado em Produção vegetal, Área de concentração Planejamento e Manejo de Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: fev. 2013.

IBGE. Cidades. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: fev. 2013.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/>> Acesso em: mar. 2011.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Projeto Águas de Minas. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=113&Itemid=173> Acesso em: mar. 2011.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia.** Disponível em:
 <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home2/index>> Acesso em: mar. 2011.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do ambiente:** uma perspectiva em recursos terrestres / John R. Jensen; tradução: José Carlos Neves Epiphanio (coord.) et al. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

LEWIS, A. **Água para o mundo:** problemas atuais e futuros do abastecimento de água. Distribuidora Record: Rio de Janeiro, São Paulo, 1964. 112p.

LORANDI, R.; CANÇADO, C. J. Parâmetros físicos para gerenciamento de bacias hidrográficas. In: **Conceitos de bacias hidrográficas:** teorias e aplicações / Editores Alexandre Shiavetti, Antonio F. M. Camargo. Ilhéus: Editus, 2005. 293p.

LUBITZ, E. **Avaliação da aplicação do modelo hidrológico SWAT à bacia do ribeirão Concórdia – Lontras, SC.** 2009. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2009.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. **Indicadores ambientais e recursos hídricos:** realidades e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa / Antônio Pereira Magalhães Júnior. - Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

MACHADO R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento.** 2002. 152 f. Tese (Doutorado em Agronomia, Área de concentração: irrigação e drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

MELO, H. A.; CUNHA, J. E. B. L.; NÓBREGA, R. L. B.; RUFINO, I. A. A.; GALVÃO, C. O. Modelos hidrológicos e Sistemas de Informação Geográfica (SIG): integração possível. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, IX, 2008, Salvador. **Anais...** Salvador, Brasil, 25-28, novembro 2008, AQQUA CONSULTORIA, p. 1-14.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas/** Miranda, José Iguelmar. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 425p.

NAGHETTINI, M. **Hidrologia estatística.** / Mauro Naghettini; Éber José de Andrade Pinto. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552p.

NETTO, A. L. C. **Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia.** In: GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos/ organização, Antônio José Teixeira Guerra e Sandra Baptista da Cunha. – 2ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. 472p.

NISHIYAMA, L. BACCARO, C. A. D. Aproveitamento nas regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Uma agressão ao meio ambiente. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, ano 1, n. 1, jun. 1989. p. 49-52.

NÓBREGA, R. S. **Modelagem de impactos do desmatamento nos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Jamari (RO) utilizando dados de superfície e do TRMM**. 2008. 213 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 3 ed. São Paulo: Blücher, 2008. 363p.

PESSOA, M. C. P. Y.; LUCHIARI, A. J.; FERNANDES, E. N.; LIMA, M. A. **Principais modelos matemáticos e simuladores utilizados para análise de impactos ambientais das atividades agrícolas**. Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 1997. 83 p.

PNRH. **Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Síntese Executiva - português / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2006. 135p. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=c37feae3-8169-4049-900b-e8160661f541&groupId=66920> Acesso em: mar. 2010.

PINTO, N. L. de S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia básica**. São Paulo: Blücher, Rio de Janeiro: Fundação Nacional de material escolar, 1976. 278p.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. Discretização espacial de bacias hidrográficas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, X, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, Brasil, 21-26, abril 2001, INPE, p. 485-492.

RENNÓ, C. D. **Construção de um sistema de análise e simulação hidrológica: aplicação a bacias hidrográficas**. 2003. 146 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – INPE, São José dos Campos, 2003.

RENNÓ, C. D. Eliminação de áreas planas e extração automática de linhas de drenagem em modelos digitais de elevação representados por grades triangulares. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XII, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia, Brasil, 16-21, abril 2005, INPE, p. 2543-2550.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. Conceitos básicos de modelagem hidrológica. In: MEIRELLES, M. S. P. **Geomática: modelos e aplicações ambientais** / Editores técnicos: Margareth Simões Penello Meirelles, Gilberto Camara e Cláudia Maria de Almeida – Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 593 p.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e recursos hídricos** / Antônio Marozzi Righetto. São Carlos: EESC/USP, 1998. 840p.

ROCHA, J. S. M. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. Santa Maria: Edições UFSM, 1991. 181p.

ROSA, R. Estoque de Carbono em Solos sob Pastagens Cultivadas na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba: Mapeamento e Modelagem. 2012. 198 f. Relatório (Pós-doutorado em Geociências Aplicadas) – Universidade de Brasília – Instituto de Geociências, Brasília, 2012.

ROSA, R.; BRITO, J. L. S. **Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informação Geográfica**. Uberlândia: EDUFU, 1996. 104p.

ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; LIMA, E. F.; SIQUEIRA, C. A.; MACEDO, D. Elaboração de uma base cartográfica e criação de um banco de dados georreferenciados da bacia do rio Araguari – MG. In: LIMA, S. do C., SANTOS, R. J. (Org.). **Gestão Ambiental da Bacia do Rio Araguari: rumo ao desenvolvimento sustentável**. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia/Instituto de Geografia; Brasília: CNPq, 2004. p. 69 – 87.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia aplicada. **RDG Revista do Departamento de Geografia-USP**, 16, 2005, p. 81-90. Disponível em:
http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/RDG/RDG_16/Roberto_Rosa.pdf Acesso em: maio 2014.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 6^a edição. Uberlândia. Ed. da Universidade Federal de Uberlândia: 2007. 248p.

ROSENDO, J. S. **Estoque de carbono nos solos da bacia do Rio Araguari-MG: estimativas, modelagem e cenários**. 2010. 311 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia – Instituto de Geografia, Uberlândia, 2010.

SANTOS, L. L. Modelos Hidráulicos-Hidrológicos: Conceitos e Aplicações. **RBGF- Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife-PE, Vol.2, n.3, set-dez, 2009, p. 01-19.

SANTOS, J. E.; DEL PRETE, M. E. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações** / Editores Alexandre Shiavetti, Antonio F. M. Camargo. Ilhéus: Editus, 2005. 293 p.

SHIKI, S. **O Futuro do Cerrado: degradação versus sustentabilidade e controle social** – Rio de Janeiro: Projeto Brasil Sustentável e Democrático: FASE, 2000. 64p. (Séries Cadernos Temáticos, n.2)

SILVA, B. C. **Previsão hidroclimática de vazão para a bacia do rio São Francisco.** 2005. 271 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SILVA, M. K. A. **Cobertura vegetal natural e uso antrópico do Bioma Cerrado no Estado de Minas Gerais.** 2006. 60f. Monografia (Bacharelado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, 2006.

SILVA, M. K. A. **Análise Geoambiental das bacias hidrográficas federais do Cerrado mineiro.** 2009. 200f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, 2009.

SILVEIRA, A. L. L., Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: Tucci, C. E. M. **Hidrologia – Ciência e aplicação** / organizado por Carlos E. M. Tucci. – Porto Alegre: Ed. Da Universidade: ABRH: EDUSP, 1993. 943 p.

SOARES, B. R.; BESSA, K. C. F. O.; ENGEL, A. S. Dinâmica urbana na bacia do rio Araguari (MG) – 1970 – 2000. In: LIMA, S. do C., SANTOS, R. J. (Org.). **Gestão Ambiental da Bacia do Rio Araguari:** rumo ao desenvolvimento sustentável. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia/Instituto de Geografia; Brasília: CNPq, 2004. p. 125 – 161.

TARBOTON, D. G.; AMES, D. P. **Advances in the mapping of flow networks from digital elevation data.** In: World Water and Environmental Resources Congress, Orlando, Florida, May 20-24, ASCE, 2001.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia:** ciência e aplicação / organizado por Carlos E. M. Tucci. – Porto Alegre: ABRH; EDUSP, 1993. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 4)

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças de cobertura vegetal no escoamento: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos.** V. 2, n.1, 1997. p. 135-152. Disponível em:
http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/c3b072f1fa27afca2646f15472e91610_4d63ff75b48e640e8f6527cc29dd540d.pdf Acesso em: mar. 2014.

TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos.** Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas. Rio de Janeiro: s.n, 2002. Disponível em: <http://www.eclac.cl/samtac/noticias/documentosdetrabajo/6/23336/InBr02902.pdf>. Acesso em: mar. 2014.

TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. **Clima e Recursos hídricos no Brasil.** Organizado por Carlos E. M. Tucci, Benedito Braga. Porto Alegre: ABRH, 2003. 348p.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos** / Carlos E. M. Tucci. 2. ed. rev. ampl. Porto Alegre: Ed. da UFRGS: ABRH, 2005. 678 p.

TUCCI, C. E. M. **Blog do Tucci – Recursos Hídricos e Meio Ambiente**. Disponível em: <<http://rhama.net/wordpress/>> Acesso em: mar. 2011.

TUNDISI, J. G. **Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado**. Ciência e Cultura. Print ISSN 0009-6725. vol. 55, n.4, p. 31-33. São Paulo. Oct./Dec. 2003 Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252003000400018&script=sci_arttext&tlang=en> Acesso em: dez. 2010.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **A água**. São Paulo: Publifolha, 2005.

UFBA. **Universidade Federal da Bahia**. Departamento de Hidráulica e Saneamento. Disponível em: <<https://www.ufba.br/>> Acesso em: dez. 2010.

UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – **LABGEO/Laboratório de Geoprocessamento**. Disponível em: <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/index.php?option=com_content&view=article&id=15%3Amodelos-digitais-de-elevacao-dos-estados-brasileiros-obtidos-a-partir-do-srtm-shuttle-radar-topography-mission&catid=9%3Anoticias&Itemid=16> Acesso em: dez. 2010.

UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Pesquisas Hidráulicas. **Hidrologia em grande escala**. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/hge/>> Acesso em: mar. 2011.

USGS. Science for a changing world. **Water Science Basics - The water cycle**. Disponível em: <http://ga.water.usgs.gov/edu/graphics/portuguese/earthwheredistribution.gif> (Illustration by Howard Perlman, USGS; Portuguese translation by Jayme Nery, Janery Educacional). Acesso em: nov. 2011.

USGS. Science for a changing world. **Water Science Basics - The water cycle**. Disponível em: <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycleportuguese.html#global> (Illustration by John M. Evans, USGS; Portuguese translation by Maria Helena Alves, Instituto da Água, Portugal). Acesso em: dez. 2010.

XAVIER, L. N. R. **Análise da incerteza causada pela representação da precipitação no modelo TOPMODEL**. 2002. 124 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

WEBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C.J.S. **Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade**

da federação. Porto Alegre, 2004. UFRGS Centro de Ecologia. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>> Acesso em: mar. 2011.

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

APÊNDICES

APÊNDICE A – Parâmetros do arquivo Mini.mgb (URH's de 2010) usado na simulação da BHRA com o MGB

Cat	ID	Mini	Xcen	Ycen	Sub	Area _{km²}	AreaM _{km²}	Ltr _{km}	Str _{m/km}	Lrl _{km}	Srl _{m/km}	Mini	Jus	Ordem	Hdr	BLC_01	BLC_02	BLC_03	BLC_04	BLC_05	BLC_06	BLC_07	BLC_08	BLC_09
3	1	-48.558	-18.454	9	41.61641	41.61641	0.25479	0.01	13.44847	26.54577	337	1	0	7.06644	0	0	0.90431	0	84.22825	0.53697	0	7.26403		
5	2	-48.6681	-18.501	9	39.265	39.265	1.70795	8.78244	12.09163	32.66722	170	1	0	21.20356	0	0	22.34028	0	0	56.45616	0	0		
6	3	-48.6716	-18.5469	9	51.25787	51.25787	7.00375	16.9909	16.1723	24.60998	170	1	0	20.2296	0	0	69.3801	0	6.60547	3.78483	0	0		
9	4	-48.6222	-18.6205	9	67.05336	67.05336	11.71952	21.75856	21.21621	19.93758	335	1	0	19.62734	0	2.90992	32.12191	0	18.64865	25.85073	0	0.84145		
11	5	-48.4745	-18.535	9	36.4826	36.4826	1.52105	9.86162	17.92294	23.82421	334	1	0	19.39863	0	0	64.36207	0	14.95053	0.74104	0	0.54773		
14	6	-48.4477	-18.5718	9	51.12116	51.12116	1.54088	2.59592	11.39856	36.75903	332	1	0	7.90957	0	0	34.70116	0	7.28861	50.07767	0	0.02299		
15	7	-48.5851	-18.6498	9	54.07062	54.07062	1.57252	10.17476	15.81342	25.23174	269	1	0	23.53292	0	0	7.90918	0	34.70356	33.85434	0	0		
17	8	-48.3114	-18.5917	9	55.68733	55.68733	1.329	9.78177	13.36863	30.74361	330	1	0	24.18588	0	0	21.61343	21.50984	17.68636	12.70442	0	2.30007		
18	9	-48.367	-18.5847	9	36.3193	36.3193	0.72367	2.76369	11.3946	35.71867	331	1	0	19.80448	0	0	31.68544	14.20912	0	31.35666	0	2.9443		
23	10	-48.585	-18.6908	9	38.78717	38.78717	1.94627	16.9555	16.67208	19.7336	238	1	0	16.9291	0	0	11.44838	0	0	71.62252	0	0		
25	11	-48.2522	-18.6662	9	38.88671	38.88671	3.05311	15.39415	14.93832	27.58008	329	1	0	18.00585	0	0	3.23284	12.90162	22.32489	41.60128	1.23876	0.69475		
26	12	-48.5741	-18.7337	9	71.69481	71.69481	7.34448	19.1981	16.99706	18.47379	224	1	0	22.29258	0	0	2.14557	0	0	75.56185	0	0		
29	13	-48.2202	-18.7026	9	48.33379	48.33379	3.56111	14.883	15.25289	26.15898	328	1	0	14.87043	0	0	9.69669	4.30184	0.31597	62.13758	8.6775	0		
30	14	-48.152	-18.7248	9	43.81774	43.81774	4.01991	20.14969	11.82128	32.23001	326	1	0	9.19236	0	0	11.41858	15.7603	18.92113	44.65403	0	0.05359		
33	15	-48.544	-18.7918	9	43.97664	43.97664	3.18912	25.08528	14.26292	17.80841	207	1	0	37.53417	0	0	4.51044	0	0	57.9554	0	0		
35	16	-48.2289	-18.8302	9	61.07925	61.07925	6.00022	3.49987	18.77456	20.29342	327	1	0	21.42748	0	0	3.84216	0	20.79479	43.21594	10.71963	0		
37	17	-48.0824	-18.7717	9	38.24047	38.24047	1.44974	26.90144	9.7485	33.13329	324	1	0	0.27633	0	0	24.28667	24.9022	0	50.44271	0	0.09209		
39	18	-48.1858	-18.8602	9	61.63174	61.63174	3.74146	25.12389	17.1323	21.12968	325	1	0	21.4223	0	0	7.9382	0	0.32377	57.21869	13.09704	0		
40	19	-48.5355	-18.8552	9	40.04068	40.04068	2.89188	1.72898	14.21843	11.04201	171	1	0	38.95103	0	0	13.62902	0	0	47.41995	0	0		
41	20	-48.4287	-18.9048	9	145.674	145.674	15.18017	2.96439	23.56565	5.17703	171	1	0	31.93101	0	0	14.25627	0	0	50.49542	3.13204	0.18526		
43	21	-48.0119	-18.8444	9	64.28981	64.28981	7.2836	17.57372	16.04481	20.87903	322	1	0	4.691	0	0	42.44293	32.45909	0	20.40697	0	0		
44	22	-47.8006	-18.8938	9	242.8997	242.8997	19.44704	7.8161	33.55808	6.76439	208	1	0	51.90067	0	9.22705	0.13039	30.85083	0	7.89106	0	0		
46	23	-47.9358	-18.8732	9	92.20583	92.20583	10.25277	16.58089	20.45557	14.61705	321	1	0	38.07786	0	0	11.88438	43.87831	0	4.06	0	2.09945		
48	24	-48.1442	-18.9156	9	43.1117	43.1117	3.66011	27.86803	15.15767	20.12182	172	1	0	17.44291	0	0	35.64406	0	0	44.49129	2.42174	0		
49	25	-48.1079	-18.9401	9	40.67747	40.67747	1.66116	12.03976	11.99598	25.25847	172	1	0	19.81074	0	0	42.93271	0	0	37.25655	0	0		

(Continua...)

(Continuação...)

Cat ID	Mini	Xcen	Ycen	Sub	Area_ (km ²)	AreaM_ (km ²)	Ltr_ (km)	Str_ (m/km)	Lrl_ (km)	Srl_ (m/km)	Mini Jus	Ordem	Hdr	BLC_01	BLC_02	BLC_03	BLC_04	BLC_05	BLC_06	BLC_07	BLC_08	BLC_09		
53	26	-48.2425	-18.9224	9	49.59699	49.59699	1.10555	7.23622	12.12925	13.60348	257	1	0	4.13901	0	0	15.70506	0	0	4.72969	74.85856	0.56769		
55	27	-47.1384	-18.9391	7	132.7538	132.7538	11.84829	4.55762	21.72292	8.65445	209	1	0	6.34377	0	18.23465	60.45354	0	0	0	14.30567	0	0.66237	
57	28	-47.7594	-18.966	9	70.6469	70.6469	8.27156	5.68212	21.27448	5.54655	173	1	0	44.62218	0	11.4211	0	43.95672	0	0	0	0	0	
58	29	-47.0533	-18.9367	7	62.36634	62.36634	2.25625	5.31857	14.16076	11.1576	174	1	0	32.23617	0	0	64.75442	0	0.09405	0.99691	1.91846	0		
59	30	-47.0115	-18.976	7	70.0564	70.0564	8.34159	6.23382	17.89382	10.11522	174	1	0	18.26167	0	2.20923	49.12777	1.8413	0.35158	8.65354	19.55491	0		
63	31	-47.2187	-18.9645	7	105.0213	105.0213	14.23089	5.5513	25.93283	11.14417	240	1	0	6.46553	0	39.65194	49.1378	0	0	0	4.19783	0	0.54691	
65	32	-48.1758	-19.0405	9	44.47473	44.47473	2.19659	12.29175	15.96029	9.52364	239	1	0	25.56401	0	5.95768	0	62.73206	0	0	5.74625	0	0	
66	33	-47.2592	-19.0129	7	114.9686	114.9686	16.49774	3.09133	25.34419	11.28464	249	1	0	11.69791	0	48.37606	19.59231	0	0	0	17.34676	0	2.98697	
67	34	-48.0603	-18.9919	9	36.32645	36.32645	0.57593	8.68163	11.10101	21.70974	320	1	0	19.14156	0	0	26.72735	6.97144	0	0	0	46.35271	0	0.80695
69	35	-46.844	-19.009	5	237.8096	237.8096	21.90999	3.01232	35.79164	8.07451	176	1	0	15.85004	4.62763	11.0332	14.97361	10.26068	9.58983	33.32	0.34501	0		
71	36	-47.7469	-19.0092	9	93.12824	93.12824	12.60722	4.91782	26.8112	4.66223	173	1	0	22.9648	0	11.06622	0	65.35218	0	0	0.2014	0	0.4154	
72	37	-47.0187	-19.0373	7	158.4428	158.4428	24.00125	4.95808	34.9834	7.34634	226	1	0	17.06066	0.51787	5.34939	38.71968	7.28903	0	0	29.82787	0	0	1.2355
74	38	-47.3709	-19.0444	7	100.5054	100.5054	12.45653	1.9267	19.70348	12.94188	180	1	0	16.0599	0	62.37906	3.68646	0	0	0	11.57857	0	6.29601	
76	39	-47.4603	-19.0396	7	84.22582	84.22582	14.40611	0.62473	26.23808	8.84211	177	1	0	15.85197	0	25.92759	15.67345	0	0	0	33.75334	0	8.79365	
79	40	-47.6557	-19.0678	7	79.67585	79.67585	11.53904	18.6324	24.74776	13.1325	315	1	0	28.26063	0	0	17.78411	20.03841	0	0	0	33.90214	0	0.01471
80	41	-46.9849	-19.1014	5	174.7877	174.7877	25.52742	5.05339	35.49044	8.96016	181	1	0	17.89364	33.11456	9.90787	7.3267	0	6.95199	24.38301	0	0.42223		
81	42	-47.5355	-19.0543	7	93.84171	93.84171	5.29999	0.37736	18.29945	12.18616	177	1	0	15.26452	0	0	14.4153	1.06178	0	0	0	50.53828	0	18.72011
82	43	-47.9729	-19.1307	7	47.40326	47.40326	2.65437	6.02779	14.07102	16.98526	318	1	0	21.57723	0	0	36.01259	41.74268	0	0	0	0	0	0.6675
84	44	-48.1077	-19.1004	8	61.75492	61.75492	5.8289	3.94586	15.26154	6.74899	225	1	0	33.71792	0	15.90205	0	50.38003	0	0	0	0	0	
86	45	-46.7281	-19.0956	5	40.66333	40.66333	2.27018	9.69088	15.3388	24.57819	176	1	0	8.21299	28.32845	28.90515	13.31266	0	3.14158	15.10232	2.99686	0		
92	46	-47.3331	-19.0817	7	56.55835	56.55835	6.79312	0.01	19.77736	12.13509	180	1	0	5.36653	0	76.58726	2.92256	0	0	0	1.94794	0	13.17571	
94	47	-47.1679	-19.1053	7	35.36451	35.36451	0.10122	0.01	11.54337	10.65546	258	1	0	5.1689	0	0	0	0	0	0	90.45729	0	4.3738	
106	48	-47.4643	-19.2132	7	82.66291	82.66291	11.56637	7.78118	20.65284	12.15329	179	1	0	20.40094	0	0	9.23465	13.29895	0.31163	49.62628	1.31735	5.81021		
107	49	-47.3508	-19.2831	7	253.1984	253.1984	36.90624	5.14818	47.15221	7.5076	179	1	0	19.07804	0.16635	21.90028	15.1779	7.27364	0	0	28.64217	1.19226	6.56935	
109	50	-46.7309	-19.1549	5	70.23943	70.23943	7.96288	5.14889	18.0914	21.28083	211	1	0	8.30646	9.70749	3.56942	38.70902	38.9904	0	0.71721	0	0		
110	51	-46.8653	-19.1182	5	39.49786	39.49786	2.55385	4.69879	14.12723	23.78385	227	1	0	23.79082	59.86555	9.28372	0	0	5.78451	1.2754	0	0		

(Continua...)

(Continuação...)

Cat ID	Mini	Xcen	Ycen	Sub	Area_(km²)	AreaM_(km²)	Ltr_(km)	Str_(m/km)	Lrl_(km)	Srl_(m/km)	Mini Jus	Ordem	Hdr	BLC_01	BLC_02	BLC_03	BLC_04	BLC_05	BLC_06	BLC_07	BLC_08	BLC_09		
111	52	-47.7238	-19.1785	7	39.77641	39.77641	0.14739	0.01	10.46038	27.62805	314	1	0	17.60711	0	51.4171	11.77801	16.90117	0	0	2.2377	0.05891		
112	53	-47.0895	-19.1074	5	39.06685	39.06685	2.87934	1.0419	13.98711	9.65175	181	1	0	18.35693	0	4.01836	0	0	0	75.88546	0	1.73926		
113	54	-47.3343	-19.2166	7	68.33983	68.33983	8.49613	2.00091	21.04296	13.73381	305	1	0	40.62761	0	0.05139	5.80715	0	0	0	44.37841	0	9.13545	
114	55	-46.6342	-19.1615	5	114.1756	114.1756	13.15772	10.26013	23.50694	16.16544	182	1	0	15.01917	42.32327	19.42008	17.77963	3.30261	1.30341	0.24632	0.60551	0		
116	56	-47.5451	-19.1878	7	50.1511	50.1511	7.81373	14.33375	20.15598	11.65907	311	1	0	27.53557	0	0	20.92626	50.06658	0	0.07005	0	1.40154		
117	57	-48.1426	-19.1605	9	36.58279	36.58279	1.25169	7.98917	10.74253	11.63599	175	1	0	18.09182	0	0.06405	0	66.05803	0	15.7861	0	0		
119	58	-48.1676	-19.2301	9	139.9471	139.9471	15.35257	2.7357	27.33674	5.15789	175	1	0	19.54313	0	7.93387	0	43.33624	0	29.18676	0	0		
122	59	-46.5704	-19.1701	5	88.72834	88.72834	15.27888	13.02452	25.62833	13.77382	182	1	0	2.20425	20.195	40.635	32.55496	0	0	0	4.4108	0	0	
125	60	-47.2697	-19.2486	7	93.36965	93.36965	11.49245	4.08964	23.28379	13.48578	303	1	0	33.31676	0	0	3.69894	0	0	0	62.09358	0	0.89072	
126	61	-47.0068	-19.1574	5	63.85416	63.85416	14.14448	5.44382	28.42942	11.95944	297	1	0	7.20902	5.52214	17.48306	2.0178	0	6.6965	58.19174	0	2.87974		
129	62	-47.2123	-19.2267	5	36.6151	36.6151	0.83035	4.81724	16.01272	15.98729	265	1	0	35.33697	0	10.55305	31.84834	0	0	0	17.33559	0	4.92606	
133	63	-47.6855	-19.2297	7	48.95586	48.95586	1.60737	0.01	14.37489	14.46967	306	1	0	39.27141	0	43.819	0	0	0	8.17895	1.1961	7.53454		
135	64	-47.9486	-19.2683	8	244.1838	244.1838	32.46684	2.00204	45.32071	2.5816	210	1	0	14.99441	0	22.72037	0	58.51665	0	3.76857	0	0		
137	65	-46.975	-19.1964	5	43.70719	43.70719	4.30822	7.19554	16.05955	21.35801	293	1	0	1.28598	45.34059	39.35971	0	0	6.85959	5.17164	0	1.98249		
141	66	-47.8906	-19.2169	7	198.5316	198.5316	23.31571	8.53502	36.75229	7.37369	317	1	0	11.81038	0	6.5804	27.8704	44.70172	0	8.32889	0.35406	0.35415		
142	67	-46.7012	-19.2192	5	75.75108	75.75108	8.67276	5.30397	22.04587	18.46151	279	1	0	4.03522	5.96941	1.36086	74.39541	11.13142	0.04639	2.47369	0.5876	0		
145	68	-47.7434	-19.24	7	47.29022	47.29022	2.89813	15.52727	12.33127	11.83982	270	1	0	89.67536	0	6.16493	0	4.13494	0	0.02476	0	0		
146	69	-48.0122	-19.2751	8	76.34603	76.34603	11.56877	2.67963	20.39635	3.92227	178	1	0	24.36495	0	27.67586	0	47.9592	0	0	0	0		
147	70	-46.8267	-19.2335	5	53.0177	53.0177	6.77011	5.4652	17.73149	9.13629	287	1	0	12.74305	0	0	53.40328	0	0	0	33.85368	0	0	
149	71	-48.0196	-19.3307	8	118.3305	118.3305	20.94587	1.67097	29.87067	2.8456	178	1	0	36.5973	0	18.70345	0.15821	44.50148	0	0	0	0.03956		
152	72	-46.2412	-19.296	5	144.5382	144.5382	21.5751	4.35687	31.42003	7.73392	213	1	0	14.98229	35.52603	0.80973	7.21507	40.66525	0.74495	0.05668	0	0		
153	73	-46.7605	-19.2436	5	39.83112	39.83112	3.47241	7.4876	13.93634	12.48535	281	1	0	14.16801	0	0	73.78191	0	0	0	12.05008	0	0	
154	74	-46.5517	-19.26	5	64.77478	64.77478	5.99006	5.67607	18.29084	17.60444	252	1	0	13.13856	34.19801	6.86869	13.93666	0	12.75918	19.09889	0	0		
158	75	-47.2118	-19.3065	5	37.8615	37.8615	1.94986	0.51286	14.3671	21.15945	259	1	0	28.46905	0	54.74621	0.24728	0	0	0	16.53745	0	0	
162	76	-46.8736	-19.3754	5	71.95945	71.95945	7.99968	4.00016	20.36676	8.64153	285	1	0	23.2816	0	0	22.92382	0	0	0	53.79458	0	0	
165	77	-46.9639	-19.3569	5	121.5527	121.5527	20.45226	3.08034	34.10331	8.00509	291	1	0	21.02212	0	0	0	0.18281	0	0	0	76.99426	0	1.80081

(Continua...)

(Continuação...)

Cat ID	Mini	Xcen	Ycen	Sub	Area_(km²)	AreaM_(km²)	Ltr_(km)	Str_(m/km)	Lrl_(km)	Srl_(m/km)	Mini Jus	Ordem	Hdr	BLC_01	BLC_02	BLC_03	BLC_04	BLC_05	BLC_06	BLC_07	BLC_08	BLC_09				
167	78	-46.3719	-19.3674	5	48.72796	48.72796	4.14649	6.0292	12.15662	18.50844	228	1	0	15.29402	52.48472	0	30.51688	0	1.70438	0	0	0				
171	79	-47.4235	-19.3055	7	43.0933	43.0933	0.10109	0.01	11.0095	12.08048	212	1	0	5.37699	0	17.97954	0.05432	76.58915	0	0	0	0				
173	80	-47.4611	-19.3793	7	41.9393	41.9393	3.03969	4.60573	13.51527	10.7286	184	1	0	8.84288	0	28.06266	0	63.09446	0	0	0	0				
175	81	-46.2509	-19.3985	5	108.1638	108.1638	15.00299	8.66494	26.19601	9.77248	183	1	0	11.97211	27.69872	1.40586	11.30131	47.62199	0	0	0	0				
176	82	-46.4163	-19.3968	5	205.8609	205.8609	27.27965	4.50886	37.28039	8.66407	241	1	0	18.73921	34.9593	0	24.08453	2.25512	17.40976	2.55208	0	0	0			
177	83	-46.2106	-19.3556	5	90.79377	90.79377	13.59565	7.42885	24.79866	9.79892	183	1	0	11.7663	35.25869	1.12112	9.22673	41.5705	0	0	0.99224	0.06443	0			
179	84	-46.8223	-19.4194	5	76.13898	76.13898	6.82191	3.81125	18.49891	10.43305	214	1	0	25.16204	0	0	57.44859	0	0	17.38937	0	0	0			
181	85	-47.3583	-19.4044	7	195.5231	195.5231	21.79028	4.35974	32.88027	6.05226	184	1	0	15.97276	0	10.08767	0.07178	71.28344	0	2.58435	0	0	0			
182	86	-47.7395	-19.3468	7	43.18785	43.18785	4.79415	8.55208	16.37904	6.89906	266	1	0	83.61147	0	6.44713	0	9.69759	0	0	0	0.2438	0			
183	87	-47.5755	-19.3655	6	77.36895	77.36895	9.23999	10.38962	21.96577	11.60897	304	1	0	18.4936	0	0	9.027	20.3989	0	0	50.47734	0	1.60316	0		
185	88	-46.6865	-19.4345	5	68.9164	68.9164	5.6761	4.05208	17.05942	10.02379	273	1	0	25.2155	0	0	12.89669	0	0	61.8878	0	0	0			
188	89	-47.196	-19.4131	5	40.29322	40.29322	3.10531	6.76262	13.5611	22.34332	251	1	0	32.85978	8.82396	0.37738	0.05805	0	1.59648	56.28435	0	0	0	0		
190	90	-47.7317	-19.3915	7	36.47337	36.47337	1.90025	7.89369	12.36187	8.57476	260	1	0	4.93973	0	1.41121	0	93.64906	0	0	0	0	0	0		
191	91	-47.0766	-19.4279	4	37.26057	37.26057	0.88367	2.26328	11.19172	13.93888	250	1	0	21.68946	0	0	0	0	0	0	78.31054	0	0	0		
193	92	-46.5655	-19.4008	5	43.04503	43.04503	3.30002	3.93938	15.64146	18.98799	271	1	0	3.58716	0	0	54.72731	0	2.39106	39.29447	0	0	0	0		
194	93	-47.6977	-19.4652	7	91.049	91.049	10.9266	4.57599	26.34709	4.59254	253	1	0	20.05938	0	21.04646	0	56.77582	0	0	2.11834	0	0	0		
197	94	-47.124	-19.4708	5	70.51468	70.51468	3.21344	4.97908	15.43558	9.78259	242	1	0	23.1964	0	8.17495	16.4292	0	0	52.19945	0	0	0	0		
200	95	-47.5255	-19.4185	6	43.97608	43.97608	3.386	31.01008	17.30689	14.84958	302	1	0	11.32973	0	0	19.57422	22.28853	0	46.72775	0	0.07977	0	0		
203	96	-47.9004	-19.4269	7	102.2625	102.2625	10.84881	1.56699	24.90548	2.81063	186	1	0	31.81913	0	26.15322	0	42.02765	0	0	0	0	0	0		
206	97	-47.4559	-19.45	6	98.58811	98.58811	15.20007	11.05258	26.79305	11.49552	300	1	0	18.17127	0	0	29.45117	36.88788	0	15.41852	0	0.07115	0	0		
208	98	-46.7851	-19.5018	5	65.28768	65.28768	5.35979	6.34354	14.66107	16.64272	185	1	0	38.24459	0	0	26.75142	0	0	0	35.004	0	0	0		
209	99	-46.7349	-19.5233	5	78.4635	78.4635	8.89538	7.41959	20.22078	14.24277	185	1	0	32.72825	0	0	0	0	2.85903	64.41273	0	0	0	0	0	0
210	100	-46.2079	-19.4627	1	73.21916	73.21916	7.97249	16.30607	17.97303	12.40748	190	1	0	7.80849	28.0725	1.85271	6.94667	54.20193	1.11771	0	0	0	0	0	0	
211	101	-47.8649	-19.5029	7	50.07888	50.07888	3.38743	1.77126	12.68594	5.43909	186	1	0	6.20879	0	31.09444	0	62.69677	0	0	0	0	0	0	0	
216	102	-47.2603	-19.4695	5	54.27489	54.27489	0.34922	8.59048	12.6131	19.89995	187	1	0	29.04018	10.04065	0.19393	2.24035	4.56676	37.07317	16.84496	0	0	0	0	0	0
218	103	-47.719	-19.502	7	39.07904	39.07904	1.88485	5.30545	13.63237	7.55555	231	1	0	15.04786	0	26.9227	0	58.02943	0	0	0	0	0	0	0	

(Continua...)

(Continuação...)

Cat ID	Mini	Xcen	Ycen	Sub	Area_ (km ²)	AreaM_ (km ²)	Ltr_ (km)	Str_ (m/km)	Lrl_ (km)	Srl_ (m/km)	Mini Jus	Ordem	Hdr	BLC_01	BLC_02	BLC_03	BLC_04	BLC_05	BLC_06	BLC_07	BLC_08	BLC_09
219	104	-47.2472	-19.5131	5	41.48433	41.48433	2.67244	7.1096	12.10428	20.98431	187	1	0	23.218	0	0	13.58053	0	13.27134	49.93012	0	0
223	105	-46.3545	-19.4905	1	143.4909	143.4909	18.67449	5.51554	30.48862	10.69251	262	1	0	29.66411	19.75072	0.24446	4.25324	6.69022	39.39725	0	0	0
225	106	-46.1671	-19.5072	1	100.3539	100.3539	9.39599	5.10856	20.69775	10.62917	190	1	0	31.67538	37.18946	0	19.21871	4.70704	7.20941	0	0	0
226	107	-46.9345	-19.5555	4	100.6865	100.6865	11.52937	3.4694	25.02236	11.42978	188	1	0	18.36305	0	0	2.84416	0	1.18352	58.55581	19.05346	0
229	108	-46.984	-19.554	4	36.93976	36.93976	1.27176	3.14524	13.34967	12.95912	188	1	0	21.38611	0	0	9.20763	0	0.09489	57.29109	12.02027	0
230	109	-47.415	-19.4899	6	42.5073	42.5073	0.61583	3.24767	11.22271	17.5537	191	1	0	19.74706	0	0	32.09409	39.88044	0	8.27841	0	0
231	110	-46.6627	-19.5169	5	43.41203	43.41203	2.69236	9.65694	12.22636	15.4584	189	1	0	26.27957	0	0	11.81865	0	0	61.90178	0	0
232	111	-47.373	-19.528	6	76.56783	76.56783	6.59388	5.30795	16.66662	13.26003	191	1	0	14.5784	0	0	21.53891	46.0367	0	17.84599	0	0
235	112	-46.6799	-19.5798	5	97.00262	97.00262	12.76337	4.07416	23.11672	11.03098	189	1	0	33.02758	0	0	1.56578	0	10.77863	54.628	0	0
237	113	-46.7986	-19.5681	4	42.07799	42.07799	2.15326	4.17972	15.99877	14.68863	230	1	0	25.49314	0	0	38.71537	0	1.88796	33.90352	0	0
239	114	-47.3012	-19.5432	5	36.46304	36.46304	0.90627	9.93081	11.46436	19.62604	194	1	0	41.89072	0	0	3.10919	3.94235	24.10265	26.95509	0	0
243	115	-47.2947	-19.5879	5	43.49829	43.49829	3.22913	4.02586	12.23797	19.44766	194	1	0	19.01819	1.98744	0.40286	4.13584	5.47885	41.55125	27.42557	0	0
244	116	-47.2362	-19.6043	5	50.57351	50.57351	3.81716	3.40567	14.8032	21.00897	215	1	0	12.47492	5.151	0	7.04399	0	29.33329	45.9968	0	0
247	117	-46.2499	-19.6133	1	39.1926	39.1926	2.46313	6.9018	14.23039	20.30864	218	1	0	29.53518	27.57207	17.76349	0	0	20.50968	4.61958	0	0
250	118	-47.0054	-19.6568	4	115.2223	115.2223	16.59024	5.06322	27.82027	14.16234	193	1	0	30.9047	24.51276	9.65825	1.83532	0	0.45595	30.40283	2.2302	0
251	119	-46.9686	-19.6226	4	56.12804	56.12804	9.17741	5.99298	22.39726	16.38593	193	1	0	26.53415	0	8.73831	0	0	0.37466	61.43897	2.91391	0
253	120	-47.1461	-19.5768	4	66.50798	66.50798	8.11209	4.43782	19.74299	8.50935	192	1	0	4.35689	0	0	0.73804	0	0	94.90507	0	0
254	121	-47.5827	-19.6303	7	93.44502	93.44502	9.18106	2.723	18.69703	6.04374	196	1	0	1.62461	0	33.98886	0	61.89908	0	0.0125	2.47495	0
255	122	-47.5628	-19.5849	7	57.23936	57.23936	4.7901	2.71393	15.30014	6.9934	196	1	0	5.57312	0	17.41181	0.10205	76.91302	0	0	0	0
256	123	-46.4992	-19.6496	2	157.40111	157.40111	19.91532	5.02126	29.9402	11.79017	254	1	0	22.09878	2.45473	0.58589	3.50328	0	59.09351	12.2638	0	0
258	124	-46.7985	-19.6466	4	100.3849	100.3849	12.08391	7.44792	21.93126	20.83784	219	1	0	26.55121	2.68651	0.38381	0	0	5.61891	64.75957	0	0
259	125	-46.454	-19.6107	1	37.34745	37.34745	2.15085	7.90386	11.21431	22.73881	255	1	0	33.34429	0	0	0	0	49.17276	17.48295	0	0
260	126	-47.1156	-19.634	4	149.2399	149.2399	13.51492	3.62562	27.24034	12.07768	192	1	0	15.78661	21.12799	0.39128	8.70301	0	6.07306	47.91806	0	0
263	127	-46.8874	-19.6204	4	41.21175	41.21175	1.66908	5.39221	14.56934	17.50251	197	1	0	24.29104	0	0	0	0	0	75.70896	0	0
264	128	-46.8718	-19.6698	4	89.06645	89.06645	10.33869	5.60999	21.37644	14.59551	197	1	0	21.89651	7.47161	2.03187	0	0	4.75836	63.84166	0	0
265	129	-46.1528	-19.5785	1	38.47654	38.47654	1.95543	5.62536	14.49905	15.51826	195	1	0	17.52204	42.7278	0	24.93107	0	14.81909	0	0	0

(Continua...)

(Continuação...)

Cat ID	Mini	Xcen	Ycen	Sub	Area_ (km ²)	AreaM_ (km ²)	Ltr_ (km)	Str_ (m/km)	Lrl_ (km)	Srl_ (m/km)	Mini Jus	Ordem	Hdr	BLC_01	BLC_02	BLC_03	BLC_04	BLC_05	BLC_06	BLC_07	BLC_08	BLC_09
266	130	-47.3842	-19.5905	6	58.59268	58.59268	5.18928	15.80179	16.11202	19.17823	296	1	0	13.53925	0	0	19.70043	47.55758	0	19.20275	0	0
269	131	-46.416	-19.6499	1	40.0597	40.0597	2.7595	8.33486	13.10124	18.85317	234	1	0	24.63645	0	0	0	0	3.93663	71.42692	0	0
271	132	-46.383	-19.6881	1	77.18142	77.18142	7.90492	5.31315	17.61741	20.037	220	1	0	15.93143	0	9.10662	10.75374	0	1.3773	62.83091	0	0
272	133	-46.1498	-19.6349	1	104.0831	104.0831	10.45411	3.44362	20.19738	8.41693	195	1	0	24.88987	56.41347	3.13076	1.14493	0	12.60309	1.81787	0	0
273	134	-46.7114	-19.7112	2	351.6333	351.6333	31.00147	5.48361	44.96042	9.36379	245	1	0	22.54812	30.32076	4.23442	0	0	37.76613	5.13057	0	0
276	135	-47.7008	-19.6148	7	82.55482	82.55482	12.43001	2.81577	24.51319	4.28341	216	1	0	19.11469	0	12.95001	0	63.6468	0	0	4.2885	0
277	136	-47.298	-19.6388	6	39.7471	39.7471	1.69017	7.09986	12.56238	17.3534	199	1	0	9.81515	31.3247	6.55215	9.84412	22.92249	3.64392	15.89746	0	0
278	137	-47.3145	-19.6759	6	40.12335	40.12335	2.99538	10.68313	11.78255	16.88938	199	1	0	39.72578	0	0	7.9455	44.09123	0	8.2375	0	0
279	138	-46.3342	-19.7542	1	73.92853	73.92853	10.64942	10.42311	17.91251	17.0272	198	1	0	4.72119	55.35007	27.06199	5.71582	0	2.43083	4.19909	0.52101	0
280	139	-47.2336	-19.6812	6	48.30759	48.30759	4.64514	6.67364	11.80612	23.1236	200	1	0	4.59245	71.50087	15.01145	3.91655	1.32945	3.64924	0	0	0
281	140	-47.1681	-19.6997	6	72.83258	72.83258	6.83554	5.1203	17.63355	16.50264	200	1	0	0.03206	67.71563	0	1.53932	0	30.71299	0	0	0
282	141	-46.2335	-19.7132	1	156.7205	156.7205	14.54025	3.09486	29.74339	9.31299	198	1	0	12.4339	74.43227	3.68035	0	0	7.30037	0.17879	1.97432	0
284	142	-47.0871	-19.7543	6	119.5181	119.5181	14.08842	6.53019	27.25025	10.45862	203	1	0	1.4649	63.08566	0	0.13677	0	35.31266	0	0	0
287	143	-46.8662	-19.7426	6	52.38632	52.38632	4.94364	11.52996	15.66774	20.16883	204	1	0	0	92.3355	5.77024	0	0	1.89426	0	0	0
288	144	-46.9345	-19.7397	6	43.78446	43.78446	2.85122	16.13347	11.37424	20.48488	222	1	0	4.45266	78.11146	0	0	0	17.43588	0	0	0
289	145	-47.1389	-19.7372	6	51.33751	51.33751	3.48972	7.45046	16.72497	19.13307	203	1	0	3.36466	26.48974	0	0.36391	0	69.78168	0	0	0
291	146	-46.6594	-19.7857	2	44.01703	44.01703	5.46903	13.53073	15.95506	19.24155	201	1	0	4.93169	85.49989	9.56843	0	0	0	0	0	0
293	147	-46.638	-19.8428	2	158.3445	158.3445	15.78492	7.91895	27.15831	14.43389	201	1	0	0.97976	66.40358	20.7203	2.3347	0	6.76978	2.79188	0	0
294	148	-46.4263	-19.7885	2	150.3228	150.3228	18.00326	6.88764	27.6131	12.31299	221	1	0	9.83621	81.08231	6.50421	0.7608	0	1.58357	0.16303	0.06988	0
298	149	-46.8252	-19.8277	6	159.8526	159.8526	15.25594	6.22708	27.11302	11.02791	204	1	0	2.86048	66.63534	10.2312	0.25538	0	7.9702	0.69333	6.26063	5.09343
299	150	-46.5469	-19.8454	2	50.10154	50.10154	3.74801	12.80681	15.08527	18.56116	202	1	0	0.13965	83.59002	2.2579	0	0	13.52362	0.48881	0	0
302	151	-46.9678	-19.8457	6	45.26046	45.26046	3.21879	13.9804	14.3655	21.44025	236	1	0	2.62868	68.37655	0	0.23199	0	28.76277	0	0	0
304	152	-47.2387	-19.9176	6	113.0537	113.0537	11.57792	8.80987	22.36621	12.78715	288	1	0	32.52281	25.68562	21.57576	4.82631	0	0.23726	15.15223	0	0
306	153	-46.4403	-19.8453	2	113.7347	113.7347	16.27669	6.69669	29.37747	10.8927	202	1	0	1.62087	97.00475	0.76929	0.31792	0	0.28717	0	0	0
308	154	-47.1662	-19.9392	6	58.27965	58.27965	4.34211	5.52727	18.51242	14.58481	284	1	0	9.37856	66.67904	20.82087	0	0	3.12153	0	0	0
310	155	-46.754	-19.9009	3	85.56881	85.56881	6.11769	7.8461	15.58406	16.81206	205	1	0	0	84.88697	6.56905	8.54398	0	0	0	0	0

(Continua...)

(Continuação...)

Cat ID	Mini	Xcen	Ycen	Sub	Area_(km²)	AreaM_(km²)	Ltr_(km)	Str_(m/km)	Lrl_(km)	Srl_(m/km)	Mini Jus	Ordem	Hdr	BLC_01	BLC_02	BLC_03	BLC_04	BLC_05	BLC_06	BLC_07	BLC_08	BLC_09
311	156	-46.9726	-19.9055	6	154.5162	154.5162	20.31039	7.77927	28.23057	14.91291	282	1	0	1.18482	93.96939	0	0	0	4.83069	0	0.0151	0
312	157	-46.8244	-19.9141	3	44.32	44.32	3.29448	5.76722	11.52789	25.06964	205	1	0	9.31466	83.94927	0	0.71047	0	3.94723	0	2.07837	0
314	158	-46.6599	-19.9545	3	129.1844	129.1844	14.23543	7.65695	26.09564	10.84472	206	1	0	0.21658	51.24123	26.51237	12.76208	0	3.92542	5.34232	0	0
316	159	-47.1333	-20.0029	6	51.54389	51.54389	7.37371	9.6288	16.72924	16.07963	280	1	0	15.57501	49.96991	34.45507	0	0	0	0	0	0
318	160	-46.9368	-19.9671	3	65.04174	65.04174	5.40523	14.80048	13.69695	21.2456	274	1	0	0	99.80285	0	0	0	0.19715	0	0	0
319	161	-47.1076	-20.0378	6	47.68775	47.68775	7.82808	9.3254	17.62893	17.69818	278	1	0	3.46849	41.61465	54.89244	0	0	0	0	0.02443	0
321	162	-46.8687	-19.9611	3	67.73685	67.73685	7.23437	10.78187	20.12291	18.4367	268	1	0	0.86085	99.0875	0	0	0	0	0	0.05165	0
322	163	-46.7404	-19.97	3	58.9328	58.9328	6.1744	8.58383	16.14289	18.64598	223	1	0	1.95805	81.38543	7.37884	5.61859	0	2.47244	1.18664	0	0
324	164	-47.0539	-20.0582	6	56.97798	56.97798	2.48896	2.00887	13.44088	22.76636	276	1	0	28.49644	59.03259	12.47097	0	0	0	0	0	0
330	165	-46.7578	-20.0907	3	37.14281	37.14281	2.01406	9.93021	15.52771	23.24876	237	1	0	0.03135	98.2445	1.72415	0	0	0	0	0	0
332	166	-46.9275	-20.0925	3	111.0778	111.0778	9.61977	6.23716	22.3528	15.52378	272	1	0	10.71531	79.5664	9.69732	0	0	0	0.02097	0	0
334	167	-46.6684	-20.0931	3	103.9378	103.9378	8.71798	5.50586	18.96357	15.87254	206	1	0	0.14565	99.74233	0	0	0	0	0	0.11202	0
336	168	-46.7908	-20.1002	3	37.292	37.292	2.16698	4.61471	14.48755	23.60648	256	1	0	0.09367	77.83022	22.07611	0	0	0	0	0	0
337	169	-46.8314	-20.1095	3	43.48538	43.48538	3.94768	1.51988	15.82984	24.76336	263	1	0	0.24097	80.56018	19.19885	0	0	0	0	0	0
4	170	-48.6088	-18.5014	9	4.93898	95.46185	3.45975	4.91365	1.92055	14.05851	336	2	0	2.14281	0	0	0	0	0	71.90528	0	25.95191
34	171	-48.4992	-18.8103	9	54.55987	240.2746	8.58447	12.81384	9.56761	16.7231	207	2	0	35.15302	0	0	0	5.18431	0	0	59.66267	0
45	172	-48.0907	-18.8805	9	0.96215	84.75132	1.16927	7.6971	0.98632	140.9273	323	2	0	0	0	0	0	21.95162	0	0	68.29224	0
60	173	-47.8692	-18.9798	9	40.63272	204.4079	9.36747	11.10225	4.71518	21.63228	208	2	0	11.80386	0	0.25974	17.31579	59.88376	0	10.73685	0	0
61	174	-47.0998	-19.006	7	32.2549	164.6776	9.75043	2.87167	4.36914	24.26109	209	2	0	24.9742	0	0	0	57.36125	0	0	14.32068	0
70	175	-48.2382	-19.0932	9	221.9639	398.4938	23.74928	2.23165	11.11827	11.42264	248	2	0	8.54303	0	21.08725	0.01585	51.37353	0	18.2356	0	0.74475
91	176	-46.7726	-19.1132	5	15.9824	294.4554	4.53706	3.3061	5.26492	50.52305	211	2	0	32.11241	27.41998	26.46557	13.92874	0.07331	0	0	0	0
95	177	-47.5229	-19.0956	7	25.64016	203.7077	0.73701	0.01	15.45105	10.61416	310	2	0	8.59176	0	14.48762	27.97388	0.09143	0	8.72987	0	40.12544
98	178	-48.0833	-19.1904	8	105.5592	300.2358	17.81821	1.62755	7.8037	10.63598	210	2	0	6.15969	0	20.70474	0	73.13557	0	0	0	0
101	179	-47.4893	-19.1409	7	14.96053	350.8219	4.87762	0.82007	4.67453	41.71543	309	2	0	29.59947	0	0	4.07151	0	0	16.44421	0	49.88481
102	180	-47.4216	-19.0984	7	29.67084	186.7346	5.81507	1.37574	9.38577	2.34397	308	2	0	20.7342	0	36.17973	1.61962	0	0	11.41491	0	30.05155
127	181	-47.1241	-19.1511	5	25.85423	239.7088	4.27258	2.34051	9.62616	10.59612	299	2	0	5.43681	0	0.18121	0	0	0	78.16311	0	16.21888

(Continua...)

(Continuação...)

Cat ID	Mini	Xcen	Ycen	Sub	Area_(km²)	AreaM_(km²)	Ltr_(km)	Str_(m/km)	Lrl_(km)	Srl_(m/km)	Mini Jus	Ordem	Hdr	BLC_01	BLC_02	BLC_03	BLC_04	BLC_05	BLC_06	BLC_07	BLC_08	BLC_09		
143	182	-46.6608	-19.2645	5	46.24136	249.1453	11.67398	1.54189	4.91596	22.37611	277	2	0	8.88575	0	0	59.06504	1.62058	0	30.42862	0	0		
170	183	-46.3317	-19.3333	5	45.53173	244.4893	9.34192	2.24793	8.1792	27.26428	213	2	0	21.17727	48.18922	0	28.98872	0	1.64479	0	0	0		
172	184	-47.4545	-19.3278	7	0.16383	237.6262	0.35552	5.62562	0.50886	13.75625	212	2	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0		
180	185	-46.7554	-19.4055	5	86.15779	229.909	13.06224	1.7608	9.19633	15.00599	214	2	0	27.31393	0	0	4.90101	0	0	0	67.78507	0	0	
201	186	-47.8272	-19.4489	7	52.25869	204.6001	9.93465	1.30855	7.72625	9.18945	244	2	0	1.38732	0	41.44074	0	57.17194	0	0	0	0	0	
212	187	-47.202	-19.472	5	8.09083	103.8501	4.67791	3.42033	2.40462	43.666	229	2	0	24.56695	0	0	0	0	0	0	75.43305	0	0	
221	188	-47.0031	-19.4988	4	7.61022	145.2364	4.21547	2.60944	2.95079	29.48366	232	2	0	25.19238	0	0	12.74993	0	0	0	62.05769	0	0	
224	189	-46.6028	-19.5187	5	9.49116	149.9058	3.26491	1.83772	3.35073	31.63494	261	2	0	17.24184	0	0	0	0	0	0	82.75816	0	0	
227	190	-46.2661	-19.5199	1	32.98504	206.558	7.05936	7.08279	4.5069	52.36414	233	2	0	28.06587	38.34173	0.17721	1.3114	3.5799	28.27577	0.24811	0	0	0	
234	191	-47.4598	-19.5274	6	17.75407	136.8292	7.48943	9.07947	2.99436	47.0885	298	2	0	24.3579	0	0	34.36398	11.25735	0	29.03334	0.98744	0	0	
240	192	-47.0664	-19.5665	4	6.9527	222.7006	3.45572	2.60438	2.43518	40.65404	217	2	0	13.61322	0	0	1.34464	0	0	0	85.04214	0	0	
241	193	-47.0491	-19.5581	4	1.55421	172.9045	1.89666	3.6907	0.93098	74.11548	217	2	0	18.04509	0	0	0	0	0	0	81.95491	0	0	
242	194	-47.2428	-19.5565	5	10.17843	90.13977	4.95663	3.83325	2.35833	46.64309	215	2	0	43.62904	0	0	0.11482	0	0	0	56.25613	0	0	
248	195	-46.2178	-19.5759	1	47.40412	189.9637	7.54434	3.18119	8.20122	28.89814	218	2	0	10.77005	62.5352	5.52057	3.96902	0	15.60327	1.33075	0.27114	0	0	
249	196	-47.6724	-19.5622	7	103.3817	254.0661	14.81923	1.61952	13.14392	7.07552	216	2	0	2.37351	0	32.42888	0	65.19761	0	0	0	0	0	
257	197	-46.8525	-19.5826	4	5.52655	135.8048	2.64708	1.5111	1.88117	40.93205	219	2	0	38.26621	0	0	0	0	0	0	61.73379	0	0	
270	198	-46.3185	-19.6466	1	111.784	342.4331	14.30837	2.86545	10.04956	29.55352	220	2	0	26.59274	23.05833	17.36022	1.25316	0	26.2815	5.45406	0	0		
275	199	-47.3866	-19.6414	6	50.81893	130.6894	12.45904	8.34735	4.73897	35.87278	294	2	0	11.30779	0	0	10.89402	19.1682	0	58.62999	0	0		
283	200	-47.2517	-19.7453	6	61.08135	182.2215	8.66803	4.73003	7.46484	29.87339	292	2	0	9.02092	66.61197	3.76511	0.01911	2.90507	17.63958	0.03822	0	0		
285	201	-46.571	-19.783	2	23.89936	226.2609	6.26558	4.46886	9.21812	31.67675	235	2	0	19.53465	72.45554	0	0	0	8.0098	0	0	0		
292	202	-46.5425	-19.7844	2	8.57709	172.4133	3.9918	10.77208	3.14085	42.0268	221	2	0	17.27981	82.72019	0	0	0	0	0	0	0	0	
295	203	-47.1967	-19.7938	6	35.96333	206.8189	7.1532	3.91433	5.90759	29.45365	290	2	0	0	79.23228	0	0	0	20.76772	0	0	0	0	
297	204	-46.92	-19.8029	6	29.24044	241.4794	5.81203	1.89263	8.72707	35.98	222	2	0	0	80.12955	0	6.06541	0	13.80504	0	0	0	0	
315	205	-46.8061	-19.9794	3	46.79613	176.6849	10.544	5.02655	5.96601	29.16522	247	2	0	0.07471	99.92529	0	0	0	0	0	0	0	0	
331	206	-46.7187	-20.0516	3	86.73454	319.8567	10.61547	2.82607	11.53987	27.55663	223	2	0	0.51029	95.99625	3.10378	0	0	0.02687	0.36281	0	0	0	
27	207	-48.5136	-18.7352	9	24.69662	308.9478	8.16529	6.24595	4.20947	48.46218	224	3	0	25.77158	0	0	0	0	0	0	74.22842	0	0	0

(Continua...)

(Continuação...)

Cat ID	Mini	Xcen	Ycen	Sub	Area_ (km ²)	AreaM_ (km ²)	Ltr_ (km)	Str_ (m/km)	Lrl_ (km)	Srl_ (m/km)	Mini Jus	Ordem	Hdr	BLC_01	BLC_02	BLC_03	BLC_04	BLC_05	BLC_06	BLC_07	BLC_08	BLC_09
56	208	-47.9418	-18.9583	9	42.80761	490.1152	12.80898	6.40176	5.56981	38.78048	319	3	0	23.72544	0	0	40.35501	13.67313	0	17.23351	0	5.01291
73	209	-47.159	-19.0153	7	14.77242	312.2039	3.06261	1.63259	5.50005	26.72701	226	3	0	32.14345	0	15.31646	23.01635	0	0	17.54048	0	11.98326
88	210	-48.0535	-19.1058	8	7.48769	551.9073	2.75359	1.08949	3.80804	24.42201	225	3	0	34.74071	0	48.35741	0	16.90188	0	0	0	0
103	211	-46.808	-19.1443	5	79.75656	444.4514	7.12349	0.28076	13.31685	18.99848	227	3	0	14.14615	27.06446	3.92221	47.9489	1.29258	0	5.62571	0	0
138	212	-47.5449	-19.2681	7	248.9252	529.6447	33.07187	3.93083	9.9857	18.22606	312	3	0	14.93998	0.11284	16.70531	14.70448	42.45455	0	6.57147	1.05786	3.45352
166	213	-46.3784	-19.3061	5	0.64371	389.6713	0.69036	0.01	0.96552	82.85665	228	3	0	0	92.72708	0	7.27292	0	0	0	0	0
178	214	-46.8101	-19.3399	5	9.71212	315.7601	5.11798	2.93084	2.22539	39.09427	283	3	0	37.47037	0	0	0.60235	0	0	61.92728	0	0
213	215	-47.186	-19.524	5	58.34771	199.061	12.19021	2.54302	5.89163	20.87707	229	3	0	19.83264	0	0	0.68107	0	0	79.48628	0	0
217	216	-47.7783	-19.5232	7	61.29345	397.9144	9.77272	1.33023	9.85129	8.32378	231	3	0	0.74363	0	41.30563	0	56.17777	0	0	0	1.77297
220	217	-47.0643	-19.528	4	85.76625	481.3714	11.3946	1.14089	10.45585	12.91143	232	3	0	17.63428	0	0	23.82068	0	0	0	58.54504	0
245	218	-46.265	-19.5538	1	2.81635	231.9727	2.34053	4.69978	1.34794	66.02688	233	3	0	7.05403	28.63073	0	0	0	64.31524	0	0	
246	219	-46.8379	-19.5681	4	4.37022	240.5599	2.24271	0.44589	2.40343	47.84818	230	3	0	33.95702	0	0	22.19293	0	0	0	43.85005	0
268	220	-46.3717	-19.6009	1	3.18939	422.8039	2.01804	5.45085	2.63383	46.3203	234	3	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0
286	221	-46.5548	-19.7644	2	8.11131	330.8474	3.30686	3.32641	4.34481	44.42085	235	3	0	45.18024	51.3662	0	0	0	3.45356	0	0	0
296	222	-46.9721	-19.7802	6	74.48841	359.7522	5.62196	4.44685	12.93297	25.82548	236	3	0	0	79.35419	0	3.94719	0	16.69862	0	0	0
328	223	-46.7688	-20.0252	3	0.12817	378.9177	0.49532	4.03781	0.25414	90.50259	237	3	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0
24	224	-48.514	-18.6914	9	2.11437	382.757	1.73674	4.03054	1.24519	89.94579	238	4	0	6.66689	0	0	4.44457	0	0	0	88.88855	0
62	225	-48.1104	-19.0258	8	114.4791	728.1413	22.6888	2.20373	9.15834	12.22929	239	4	0	26.28619	0	17.40795	11.74951	28.80444	0	15.0349	0	0.71701
75	226	-47.1564	-19.0599	7	12.45946	483.1061	2.68702	3.34944	4.59567	24.15316	240	4	0	21.73089	0	6.67997	0	0	0	60.4878	0	11.10134
121	227	-46.8951	-19.1955	5	137.1186	621.0679	21.33974	2.7648	14.44997	28.37377	289	4	0	12.75233	16.81232	1.0167	10.99116	0	14.6408	43.35126	0	0.43543
156	228	-46.4562	-19.2935	5	102.474	540.8732	19.56158	3.42508	13.34006	19.71505	241	4	0	8.63498	74.27613	0.79977	6.88733	0	6.45456	2.94724	0	0
196	229	-47.1833	-19.4484	5	32.40307	335.3141	8.09378	1.72972	8.82843	25.59913	242	4	0	20.24601	1.94891	16.63639	0	0	4.18634	56.98235	0	0
202	230	-46.9149	-19.4802	4	197.8297	480.4675	31.88377	2.28957	9.29332	15.495	243	4	0	27.92429	0	0	13.33075	0	0	58.74495	0	0
204	231	-47.7779	-19.4623	7	21.70155	458.695	5.47587	0.9131	4.96866	15.09461	244	4	0	33.02873	0	38.95493	0	28.01634	0	0	0	0
207	232	-47.0322	-19.4746	4	17.52597	644.1338	4.95444	2.01839	5.1308	25.14226	243	4	0	18.01262	0	0	0.26683	0	0	81.72055	0	0
238	233	-46.3335	-19.562	1	84.81353	523.3443	16.73878	1.97147	8.07787	27.60629	246	4	0	24.73183	2.72759	0.22039	0	0	72.32018	0	0	0

(Continua...)

(Continuação...)

Cat ID	Mini	Xcen	Ycen	Sub	Area_ (km ²)	AreaM_ (km ²)	Ltr_ (km)	Str_ (m/km)	Lrl_ (km)	Srl_ (m/km)	Mini Jus	Ordem	Hdr	BLC_01	BLC_02	BLC_03	BLC_04	BLC_05	BLC_06	BLC_07	BLC_08	BLC_09				
262	234	-46.3917	-19.5968	1	7.00982	469.8734	2.88818	0.01	2.35878	45.36252	246	4	0	12.16663	0	0	0	0	87.83337	0	0	0				
274	235	-46.5657	-19.7044	2	147.6341	704.7424	17.73887	1.91669	11.63545	26.47082	245	4	0	29.72744	6.43557	0	0	0	63.82908	0.00791	0	0				
301	236	-47.0717	-19.8287	6	162.8498	567.8625	23.36995	4.06505	10.67323	24.17264	286	4	0	0.13608	88.58052	0	0	0	11.2834	0	0	0				
326	237	-46.7821	-20.03	3	8.43578	424.4963	3.44174	3.77716	3.68581	45.85156	247	4	0	15.19475	84.80525	0	0	0	0	0	0	0	0			
22	238	-48.512	-18.6819	9	0.6226	422.1668	0.93787	30.92126	0.55912	153.8137	264	5	0	30.18862	0	0	0	26.41508	0	0	43.3963	0	0			
64	239	-48.2129	-18.9788	9	71.60314	844.2192	10.76627	2.60072	8.18843	16.48668	248	5	0	17.277788	0	0.131	35.62395	10.67613	0	30.8041	5.48694	0	0			
77	240	-47.1883	-19.072	7	19.77196	607.8994	6.4473	0.1551	3.95967	25.25461	249	5	0	13.39639	0	21.10413	0	0	0	42.32247	0	23.17701	0			
174	241	-46.5374	-19.3482	5	73.70302	820.4371	6.25461	0.79941	10.80137	22.77488	252	5	0	2.84125	11.87886	0.04764	63.70478	0	4.07934	17.44813	0	0	0			
189	242	-47.1318	-19.4008	5	21.62779	427.4566	4.5257	2.65152	6.00029	23.49888	251	5	0	28.77302	0	0	0	0	0	71.22698	0	0	0			
192	243	-47.0365	-19.4326	4	45.11837	1169.72	6.74944	0.59264	9.24689	17.73569	250	5	0	23.58779	0	0	0	1.32205	0	0	75.09016	0	0	0		
195	244	-47.7828	-19.43	7	4.81832	668.1134	2.17627	2.29751	2.88822	22.15894	253	5	0	26.94081	0	39.32022	0	0	33.73896	0	0	0	0			
252	245	-46.5825	-19.6064	2	35.71291	1092.089	7.06296	0.01	7.66735	16.04204	254	5	0	22.66949	0	0	0	2.15916	0	44.32103	30.85032	0	0	0		
261	246	-46.4173	-19.5986	1	12.83951	1006.057	3.20419	3.433	6.28054	31.2075	255	5	0	41.03653	0	0	0	0	40.039	18.92448	0	0	0			
329	247	-46.8054	-20.0384	3	14.42395	615.6052	4.2331	2.1261	3.62817	62.56601	256	5	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
54	248	-48.3042	-18.9759	9	64.75588	1307.469	8.26261	1.08924	8.82965	11.43873	257	6	0	30.7661	0	0	33.1754	0.61558	0	13.76331	21.6796	0	0	0		
89	249	-47.2096	-19.0954	7	1.957	724.825	0.88443	0.01	2.16893	28.58549	258	6	0	0	0	25.1501	0	0	0	20.35919	0	54.49071	0	0		
139	250	-47.0589	-19.3179	4	157.0763	1364.057	25.86351	1.04394	8.84811	19.66521	295	6	0	22.63495	0	0	0	10.03488	0	0	64.84796	0	2.48221	0	0	
160	251	-47.1719	-19.3548	5	120.7937	588.5435	11.1316	2.06619	12.80058	23.74891	259	6	0	25.92969	0	27.62697	3.11861	0	0.12588	43.19885	0	0	0			
169	252	-46.6077	-19.3086	5	80.57899	965.7909	11.18825	0.53628	14.91175	18.77714	275	6	0	16.23823	8.28154	0.7555	46.94006	0	1.19137	26.5933	0	0	0			
187	253	-47.7863	-19.4066	7	14.10612	773.2685	4.48552	1.1147	4.02535	19.62563	260	6	0	1.98976	0	37.31347	0	60.69676	0	0	0	0	0	0		
228	254	-46.5658	-19.5421	2	68.96468	1318.454	9.23661	0.54132	10.12629	19.84932	261	6	0	21.45443	0	0	0	0	36.29831	41.28111	0.96615	0	0	0		
236	255	-46.4555	-19.5461	1	81.42097	1124.826	10.75122	1.58122	11.0119	20.0692	262	6	0	25.30524	0	0	0	0	74.69476	0	0	0	0	0	0	
335	256	-46.8227	-20.0476	3	0.86212	653.7593	1.1918	2.51719	0.97663	147.4451	263	6	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
47	257	-48.3823	-18.8234	9	333.7073	1690.773	40.07377	5.51483	8.91388	23.78313	264	7	0	14.639	0	0	5.0779	0	0	60.06831	20.10227	0.11252	0	0	0	
93	258	-47.2721	-19.0938	7	78.96035	839.1499	13.45841	0.22291	11.37383	18.02383	307	7	0	3.13116	0	18.8648	0	0	0	58.60916	0	19.39488	0	0	0	
130	259	-47.1593	-19.2594	5	100.4931	726.8981	16.42345	1.5831	8.66486	19.50407	265	7	0	10.67126	0	35.68451	27.59696	0	0	0	20.39584	0	5.65143	0	0	0

(Continua...)

(Continuação...)

Cat ID	Mini	Xcen	Ycen	Sub	Area_(km²)	AreaM_(km²)	Ltr_(km)	Str_(m/km)	Lrl_(km)	Srl_(m/km)	Mini Jus	Ordem	Hdr	BLC_01	BLC_02	BLC_03	BLC_04	BLC_05	BLC_06	BLC_07	BLC_08	BLC_09		
184	260	-47.8217	-19.3811	7	22.227	831.9688	2.45162	1.22368	8.32933	10.44501	266	7	0	9.47367	0	16.00012	0	74.5262	0	0	0	0		
205	261	-46.6139	-19.4769	5	40.55818	1508.918	8.38056	0.23865	9.19684	15.44008	267	7	0	26.17517	0	0	0	0	22.57168	51.25315	0	0		
222	262	-46.5044	-19.4694	1	137.2891	1405.606	15.11637	1.25692	11.41883	15.85101	267	7	0	16.41186	0	0	14.03631	0	38.49194	27.54291	3.51697	0		
333	263	-46.8526	-20.05	3	48.2899	745.5346	6.776	1.18064	8.85619	34.32627	268	7	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0		
16	264	-48.5219	-18.6525	9	28.9265	2141.866	8.86728	3.72155	4.15725	59.89532	269	8	0	24.77804	0	0	32.21019	0	0	0	43.01177	0	0	
128	265	-47.1788	-19.1688	5	0.32798	763.8412	0.44213	0.01	0.50591	1.97662	301	8	0	0	0	0	0	0	0	39.28557	0	60.71443		
148	266	-47.7804	-19.3067	7	111.8756	987.0323	15.75839	2.09412	13.01123	10.45251	270	8	0	57.57134	0.11509	24.30119	0.46036	17.33232	0	0.2197	0	0		
199	267	-46.6201	-19.4354	5	50.82456	2965.348	8.30811	0.36109	9.82084	13.74627	271	8	0	19.81158	0	0	4.4642	0	0.09203	75.6322	0	0		
327	268	-46.9048	-20.027	3	34.12826	847.3997	6.82694	0.14648	6.94523	36.28388	272	8	0	1.63884	98.36116	0	0	0	0	0	0	0		
13	269	-48.5282	-18.6097	9	4.24251	2200.18	3.30956	2.41724	1.97175	64.40968	333	9	0	20.22141	0	55.67924	11.07983	0	0	0	9.69519	0	3.32432	
90	270	-47.82	-19.1833	7	108.2576	1142.58	19.64906	8.14288	6.1188	31.86898	316	9	0	15.34239	0	29.76294	14.47779	35.73088	0	3.85255	0	0.83346		
186	271	-46.6257	-19.3887	5	11.07789	3019.471	3.06617	0.01	5.76758	18.89874	273	9	0	26.61036	0	0	48.259	0	0	0	25.13063	0	0	
325	272	-46.9618	-20.0325	3	17.27909	975.7566	4.10859	0.01	5.96468	18.60955	274	9	0	4.92237	95.07763	0	0	0	0	0	0	0		
168	273	-46.6673	-19.3632	5	48.76432	3137.152	11.1195	0.80939	8.91506	14.91858	275	10	0	27.25597	0	0	10.12421	0	0	0	62.61982	0	0	
323	274	-46.9993	-20.0266	3	65.06407	1105.862	8.24352	2.30484	12.27283	27.86642	276	10	0	10.25967	82.71998	2.29144	0	0	4.40654	0	0.32237	0		
164	275	-46.6863	-19.3239	5	42.64381	4145.587	7.62233	0.78716	8.38993	17.04424	277	11	0	18.96292	0	0	9.9086	0	0	0	71.12848	0	0	
320	276	-47.0487	-20.0007	6	28.54009	1191.381	4.92421	0.60924	6.51056	23.50028	278	11	0	1.46993	87.50401	0	0	0	11.02606	0	0	0		
159	277	-46.7199	-19.309	5	18.77246	4413.505	4.28869	0.46634	6.85892	18.95341	279	12	0	17.7683	0	0	34.60167	0	0	0	47.63004	0	0	
317	278	-47.0602	-19.9705	6	1.39872	1240.467	1.55843	0.01	1.30579	130.1891	280	12	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0		
157	279	-46.7532	-19.3182	5	36.10337	4525.359	8.35293	1.07747	8.5953	17.21872	281	13	0	20.58369	0	0	43.86169	0	0	0	35.55462	0	0	
313	280	-47.0725	-19.9574	6	50.17144	1342.182	5.51511	1.45056	8.79226	21.15496	282	13	0	0.81317	96.12023	0	0	0	3.0666	0	0	0		
163	281	-46.7941	-19.2939	5	35.53515	4600.725	6.13331	0.97826	9.32367	15.65907	283	14	0	19.4324	0	0	15.15381	0	0	0	65.41379	0	0	
309	282	-47.113	-19.9025	6	61.45314	1558.152	11.54087	0.86649	6.31557	30.87606	284	14	0	0	70.87492	0	1.29019	0	27.8349	0	0	0		
161	283	-46.833	-19.3286	5	31.57238	4948.058	4.06448	2.46034	10.51531	13.31392	285	15	0	19.53266	0	0	38.57957	0	0	0	41.88777	0	0	
307	284	-47.1827	-19.8817	6	20.60755	1637.039	5.41526	3.32394	7.06631	19.5293	286	15	0	0	71.93127	0	0	0	28.06873	0	0	0		
155	285	-46.8453	-19.2845	5	20.94071	5040.958	4.35721	0.01	7.94025	17.75763	287	16	0	17.71937	0	0	0	22.75096	0	0	0	59.52967	0	0

(Continua...)

(Continuação...)

Cat ID	Mini	Xcen	Ycen	Sub	Area_ (km ²)	AreaM_ (km ²)	Ltr_ (km)	Str_ (m/km)	Lrl_ (km)	Srl_ (m/km)	Mini Jus	Ordem	Hdr	BLC_01	BLC_02	BLC_03	BLC_04	BLC_05	BLC_06	BLC_07	BLC_08	BLC_09	
305	286	-47.1932	-19.8586	6	0.86315	2205.764	0.91781	3.26865	1.29823	73.94661	288	16	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	
151	287	-46.9139	-19.298	5	92.11289	5186.088	12.89569	2.4039	10.48914	13.2518	289	17	0	28.14535	0	0	11.71734	0	0	54.64766	0	5.48965	
303	288	-47.217	-19.8392	6	30.31874	2349.137	7.66384	0.52193	5.93663	43.79592	290	17	0	0	96.6527	0	0	0	3.3473	0	0	0	
150	289	-46.9799	-19.2608	5	31.45652	5838.613	7.34508	0.01	7.20593	31.0855	291	18	0	18.19817	0.11167	0	0	0	1.67507	58.0208	0	21.99429	
300	290	-47.2648	-19.8202	6	53.99448	2609.95	9.12467	0.32878	8.57783	29.96096	292	18	0	4.14814	72.30187	14.28242	0	0	0	1.64182	7.62575	0	0
144	291	-47.0084	-19.2423	5	17.50382	5977.669	2.76805	1.08379	6.77081	28.35702	293	19	0	9.56454	0	16.25588	0	0	0	56.11941	0	18.06017	
290	292	-47.3837	-19.7315	6	296.0824	3088.254	28.9801	1.03519	15.83598	18.37587	294	19	0	23.88465	1.17072	6.32641	18.08648	9.00301	0	41.52874	0	0	
140	293	-47.0236	-19.2316	5	1.61584	6022.992	1.55349	3.86227	2.61226	31.00758	295	20	0	0	0	40.58007	0	0	0	25.36202	0	34.05791	
267	294	-47.4619	-19.6187	6	33.39729	3252.341	5.76274	2.60293	7.24647	26.90965	296	20	0	15.77484	0	0	31.68962	6.82054	0	45.715	0	0	
136	295	-47.0749	-19.2094	5	74.94756	7461.996	13.57232	0.01	12.15357	29.04497	297	21	0	33.32697	0.23442	5.12534	0.39059	0	0	42.18773	0	18.73496	
233	296	-47.4846	-19.5657	6	80.75682	3391.69	11.38548	0.70265	8.08716	23.98863	298	21	0	13.16765	0	0	55.34659	8.49345	0	22.99231	0	0	
132	297	-47.1272	-19.1839	5	0.36308	7526.214	0.85558	12.85677	1.71994	8.72122	299	22	0	35.48367	0	6.45163	0	0	0	0	0	58.0647	
215	298	-47.5216	-19.5066	6	72.87225	3601.392	8.27421	4.8343	8.69646	23.91777	300	22	0	35.13031	0	0	33.12273	3.52889	0	28.08973	0	0.12835	
131	299	-47.1491	-19.1849	5	21.94881	7787.871	5.3207	0.01	6.13389	23.15006	301	23	0	48.87567	0	1.01366	0	0	0	23.48225	0	26.62842	
214	300	-47.5849	-19.4931	6	52.19785	3752.178	5.52747	0.01	9.35297	24.91187	302	23	0	21.27705	0	0	4.74734	5.48559	0	64.30121	0	4.18881	
120	301	-47.2048	-19.1612	5	71.46677	8623.179	8.96409	1.33867	10.0077	14.78862	303	24	0	16.61907	0	0	3.65384	0	0	61.13892	0.13114	18.45704	
198	302	-47.6461	-19.4026	6	178.72825	3974.882	18.73665	0.01	9.43741	22.35784	304	24	0	17.22119	0	0.01308	5.96677	4.09622	0	67.46667	0	5.23607	
115	303	-47.2834	-19.1701	7	44.8737	8761.423	9.48682	0.73787	7.77504	20.45005	305	25	0	28.91801	0	0	0	0	0	37.43312	0	33.64887	
134	304	-47.6364	-19.2799	6	104.1797	4156.431	14.47017	0.34554	12.78402	16.50497	306	25	0	29.08972	0	0	6.23614	2.88744	0	49.40347	0	12.38323	
108	305	-47.322	-19.1435	7	12.28923	8842.052	2.87306	0.01	4.4376	16.90102	307	26	0	35.65212	0	0	0	0	0	21.06713	0	43.28075	
123	306	-47.6514	-19.1824	7	1.28837	4206.675	4.92758	0.81176	1.04034	117.2689	313	26	0	0.90903	0	24.5451	0	0	0	32.72571	0	41.82016	
105	307	-47.3684	-19.1486	7	26.35835	9707.56	12.36687	0.32344	9.0873	11.11442	308	27	0	40.3095	0	0	0	0	0	18.66545	0	41.02505	
100	308	-47.4173	-19.1399	7	13.97651	9908.271	5.35527	1.86732	9.70204	9.37947	309	28	0	27.07391	0	0	0	0	0	11.31486	0	61.61123	
97	309	-47.5286	-19.1349	7	49.1946	10308.29	8.02651	0.01	11.74294	3.91725	310	29	0	27.45861	0	0	13.43058	7.3099	0	21.52853	0	30.27238	
96	310	-47.6032	-19.1137	7	50.24366	10562.24	6.64147	0.01	7.65751	24.42047	311	30	0	11.49597	0	25.35081	35.12333	0	0	1.35266	0	26.67723	
118	311	-47.6281	-19.1498	7	3.52614	10615.92	2.50336	0.01	3.17429	4.09541	312	31	0	2.98999	0	41.5291	0	0	0	0	0	55.48091	

(Continua...)

(Conclusão)

Cat ID	Mini	Xcen	Ycen	Sub	Area_(km ²)	AreaM_(km ²)	Ltr_(km)	Str_(m/km)	Lrl_(km)	Srl_(m/km)	Mini Jus	Ordem	Hdr	BLC_01	BLC_02	BLC_03	BLC_04	BLC_05	BLC_06	BLC_07	BLC_08	BLC_09		
124	312	-47.6462	-19.1742	7	3.06881	11148.63	0.73691	0.01	5.0347	1.58897	313	32	0	0	0	6.10771	0	0	0	0	0	93.89229		
104	313	-47.6691	-19.1379	7	64.10762	15419.41	9.94476	8.24555	7.85244	22.54077	314	33	0	8.7528	0	35.04761	7.98789	0	0	0	18.29614	4.80546	25.1101	
99	314	-47.738	-19.1406	7	13.37897	15472.57	2.66105	6.01266	5.51153	43.18224	315	34	0	0	0	55.34233	24.25419	3.32713	0	0	13.74866	0	3.32769	
87	315	-47.7797	-19.0862	7	183.5343	15735.78	18.26345	0.21902	12.88861	24.75053	316	35	0	30.14439	0	9.07191	10.22911	22.98818	0	0	23.21186	0	4.35454	
85	316	-47.8776	-19.0881	7	64.95874	16943.32	8.38947	1.54956	7.72867	33.3822	317	36	0	27.67579	0	0	28.35523	7.16193	0	0	29.7895	0	7.01755	
83	317	-47.9263	-19.0988	7	11.01522	17152.86	2.81753	0.01	5.05011	36.63288	318	37	0	33.61674	0	0	33.51089	11.16852	0	0	12.34177	0	9.36208	
78	318	-47.9562	-19.0439	7	171.0848	17371.35	16.05195	0.99676	13.65599	18.59989	319	38	0	16.17739	0	2.97949	41.94777	9.65171	0	0	20.62404	0.74686	7.87272	
68	319	-48.0247	-19.0243	9	33.40031	17894.87	2.67195	0.01	8.35569	24.77352	320	39	0	16.77761	0	0.07019	12.84688	7.68667	0	0	54.47428	0	8.14436	
52	320	-47.9906	-18.9406	9	79.34898	18010.54	10.34204	0.01	11.42212	23.02549	321	40	0	21.36054	0	0	33.25963	13.55623	0	0	13.40578	0	18.41782	
51	321	-48.0435	-18.9152	9	36.87085	18139.62	9.84132	8.23061	8.37705	32.94715	322	41	0	22.8135	0	0.76368	15.1151	1.40031	0	0	47.05267	0	12.85474	
50	322	-48.0715	-18.9067	9	19.86175	18223.77	3.4319	1.16553	7.41965	37.46807	323	42	0	32.19233	0	0	0	15.65046	0	0	0	48.02208	0	4.13513
42	323	-48.0995	-18.846	9	93.89883	18402.42	16.27252	0.73744	13.86142	23.22994	324	43	0	17.38452	0	0	0	12.77308	8.476	0	51.09255	0.64971	9.62415	
38	324	-48.1329	-18.7916	9	49.15388	18489.82	13.57674	1.91504	9.20383	36.07196	325	44	0	24.33604	0	0	0	29.0696	7.83579	0	0	19.12751	0	19.63106
36	325	-48.1745	-18.7807	9	24.69004	18576.14	10.66592	0.28127	5.30598	64.45559	326	45	0	37.51946	0	0	0	4.56539	0.09512	8.41611	39.75125	0	9.65267	
32	326	-48.1945	-18.7362	9	20.83288	18640.79	2.95075	0.01	8.0929	46.83117	327	46	0	22.20847	0	0	0	0.67656	3.55199	34.83715	36.92226	0	1.80358	
31	327	-48.2759	-18.7915	9	103.1915	18805.06	12.55458	1.35409	12.71865	28.30489	328	47	0	24.41548	0	0	0	3.59497	0	1.331	66.99524	1.10314	2.56018	
28	328	-48.3145	-18.7336	9	85.08259	18938.47	10.87606	0.36778	10.4227	36.4589	329	48	0	33.60985	0	0	0	0.98006	0	0.77316	60.79948	0.26226	3.5752	
21	329	-48.3175	-18.6638	9	92.71849	19070.08	12.54519	1.03625	11.93243	27.82334	330	49	0	22.18568	0	0	0	4.30927	2.80093	19.35118	41.86228	0.038	9.45267	
20	330	-48.3516	-18.626	9	8.61348	19134.38	4.069	0.01	3.63084	74.36289	331	50	0	54.4335	0	0	0	0	0	0	0	19.10074	0	26.46576
19	331	-48.426	-18.6536	9	169.5749	19340.28	23.03199	1.08545	10.55905	38.35574	332	51	0	18.04356	0	1.24743	3.02896	0	0	0	65.99122	0	11.68882	
12	332	-48.499	-18.5921	9	20.49778	19411.89	4.9871	0.80207	4.88427	60.60273	333	52	0	26.20501	0	21.27121	12.38316	0	26.83733	8.14286	0	5.16043		
10	333	-48.5378	-18.5943	9	8.33299	21620.41	2.7472	0.72801	3.72817	46.13524	334	53	0	25.3875	0	2.96221	0	0	0	60.50741	0	11.14288		
8	334	-48.5263	-18.5577	9	15.59975	21672.49	5.26834	1.13888	6.84124	53.79143	335	54	0	8.74197	0	8.59037	2.18566	0	10.47438	50.79193	0	19.21568		
7	335	-48.5816	-18.5511	9	115.0217	21854.56	13.44309	0.01	12.71793	30.82262	336	55	0	14.8099	0.22484	4.89567	15.22965	0	27.2665	28.79307	0	8.78035		
2	336	-48.6004	-18.4812	9	72.55269	22022.58	13.1285	0.01	8.90131	39.76942	337	56	0	10.79595	0	0	0	2.05879	0	21.05561	46.63837	0	19.45128	
1	337	-48.6375	-18.3923	9	142.3084	22206.5	25.09452	0.27895	12.64926	28.85544	-1	57	0	3.24917	0	0	0	0.61175	0	14.13976	62.0886	0	19.91073	

APÊNDICE B – Parâmetros climáticos usados na simulação da BHRA com o MGB

Temperatura média mensal

Estação	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1846018 Patos de Minas	23.1	23.4	23.3	22.2	20.5	19.3	19.3	21.1	22.8	23.2	23.1	22.7
1847004 Catalão	23.8	23.8	23.9	22.9	21.2	20.3	20.2	22.3	23.7	24	23.6	23.4
1946015 Araxá	22.7	23.1	22.9	21.4	19.9	18.6	18.5	20.4	21.8	22.4	21.7	22.1
1947016 Uberaba	24.4	24.5	24.5	23.3	21	19.8	19.6	21.7	23.5	24.2	24.1	24.2

Umidade Relativa (%)

Estação	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1846018 Patos de Minas	66	64.3	61.2	57.8	51.2	45.4	42.3	35.1	39	53.6	62.7	67.2
1847004 Catalão	63.7	64.5	59.3	56.2	50.6	45.2	41.2	35.2	38.9	52.2	60.6	65.4
1946015 Araxá	68.5	69.7	67.4	63.8	60.8	57.1	52.6	47.3	56.4	66.4	72.9	76.3
1947016 Uberaba	62.8	62	58.1	53.6	48.3	48.6	40.7	35.5	40.1	52.2	59.1	64.3

Insolação (h/dia)

Estação	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1846018 Patos de Minas	6.1	6.4	6.8	7.7	8.1	8.3	8.4	8.9	7.7	6.2	5.9	5.5
1847004 Catalão	6.3	6.2	7	7.6	8.2	8.6	8.7	8.9	7.5	6.1	6.4	5.6
1946015 Araxá	6.8	6.8	6.9	7.8	8.2	8.4	8.7	8.9	7.2	6.8	5.8	5.5
1947016 Uberaba	6.9	7.1	7.3	8.1	8.8	8.6	9.2	9.1	8.3	7.5	7.7	5.8

Vento (m/s)

Estação	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1846018 Patos de Minas	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	1.2	0.8	0.4
1847004 Catalão	0.2	0.2	1.2	0.6	1.1	0.2	1.6	0.3	0.3	0.5	0.2	0.3
1946015 Araxá	1	0.9	1.4	1.1	1	1.1	0.9	1.4	1.6	2	1.2	0.8
1947016 Uberaba	0.5	0.6	0.3	0.3	0.6	0.5	0.4	0.8	0.6	0.7	0.4	0.4

Pressão (kPa)

Estação	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1846018 Patos de Minas	90.5	90.6	90.6	90.7	90.8	91	91	90.9	90.8	90.6	90.5	90.5
1847004 Catalão	91.5	91.6	91.6	91.7	91.9	92	92	91.9	91.7	91.6	91.5	91.5
1946015 Araxá	89.9	90	89.9	90	90.2	90.4	90.4	90.1	90.2	90	89.9	89.9
1947016 Uberaba	92.9	93	93	93	93.2	93.4	93.4	93.3	93.1	93	92.9	92.8

APÊNDICE C – Parâmetros fixos usados na simulação da BHRA com o MGB

Albedo

IAF

Altura das árvores (m)

Resistência superficial

APÊNDICE D – Parâmetros calibráveis usados na simulação da BHRA com o MGB

Sub-bacia 1

URH	Wm (mm)	B (-)	Kbas (mm/dia)	Kint (mm/dia)	XL	Cap (mm/dia)	Wc (mm)
Mata_med	950	0.48	3.86	24	0.67	0	0.1
Campo_alt	521	0.41	3	21	0.67	0	0.1
Campo_med	950	0.24	4.05	60	0.67	0	0.1
Pasto_alt	455	0.83	1.32	33	0.67	0	0.1
Pasto_med	652	0.68	4.8	30	0.67	0	0.1
Agri_med	950	0.16	3.5	42	0.67	0	0.1
Agri_bai	1000	0.76	6.4	38	0.67	0	0.1
Urbano	113	0.27	6.26	15	0.67	0	0.1
Agua	0	0	0	0	0	0	0
CS (-)	20						
CI (-)	182						
CB (dias)	3387						
QB (m³/s)	0.01						

Sub-bacia 2

URH	Wm (mm)	B (-)	Kbas (mm/dia)	Kint (mm/dia)	XL	Cap (mm/dia)	Wc (mm)
Mata_med	960	0.48	4.6	21	0.67	0	0.1
Campo_alt	307	0.41	5	17	0.67	0	0.1
Campo_med	1027	0.24	4.9	52	0.67	0	0.1
Pasto_alt	267	0.83	1.5	27	0.67	0	0.1
Pasto_med	412	0.68	5.5	26	0.67	0	0.1
Agri_med	854	0.16	4.9	36	0.67	0	0.1
Agri_bai	900	0.76	8	34	0.67	0	0.1
Urbano	113	0.27	7.9	12	0.67	0	0.1
Agua	0	0	0	0	0	0	0
CS (-)	20						
CI (-)	182						
CB (dias)	3725						
QB (m³/s)	0.01						

Sub-bacia 3

URH	Wm (mm)	B (-)	Kbas (mm/dia)	Kint (mm/dia)	XL	Cap (mm/dia)	Wc (mm)
Mata_med	848	0.48	5.47	24	0.67	0	0.1
Campo_alt	264	0.41	5.84	21	0.67	0	0.1
Campo_med	908	0.24	5.74	60	0.67	0	0.1
Pasto_alt	230	0.83	1.9	33	0.67	0	0.1
Pasto_med	364	0.68	6.79	30	0.67	0	0.1
Agri_med	612	0.16	5.52	43	0.67	0	0.1
Agri_bai	186	0.7	8.75	38	0.67	0	0.1
Urbano	113	0.27	8.57	15	0.67	0	0.1
Agua	0	0	0	0	0	0	0
CS (-)	13						
CI (-)	182						
CB (dias)	3387						
QB (m³/s)	0.01						

Sub-bacia 4

URH	Wm (mm)	B (-)	Kbas (mm/dia)	Kint (mm/dia)	XL	Cap (mm/dia)	Wc (mm)
Mata_med	850	0.5	3.8	30	0.67	0	0.1
Campo_alt	750	0.5	3.6	25	0.67	0	0.1
Campo_med	850	0.5	3.8	30	0.67	0	0.1
Pasto_alt	750	0.5	3.6	25	0.67	0	0.1
Pasto_med	850	0.5	3.8	30	0.67	0	0.1
Agri_med	750	0.5	3.8	25	0.67	0	0.1
Agri_bai	850	0.5	4	22	0.67	0	0.1
Urbano	100	0.5	4	25	0.67	0	0.1
Agua	0	0	0	0	0	0	0
CS (-)	16						
CI (-)	200						
CB (dias)	3300						
QB (m³/s)	0.01						

Sub-bacia 5

URH	Wm (mm)	B (-)	Kbas (mm/dia)	Kint (mm/dia)	XL	Cap (mm/dia)	Wc (mm)
Mata_med	360	0.5	4.8	35	0.67	0	0.1
Campo_alt	260	0.5	4.5	30	0.67	0	0.1
Campo_med	360	0.5	4.8	35	0.67	0	0.1
Pasto_alt	260	0.5	4.5	30	0.67	0	0.1
Pasto_med	360	0.5	4.8	35	0.67	0	0.1
Agri_med	260	0.5	4.8	30	0.67	0	0.1
Agri_bai	380	0.5	5	28	0.67	0	0.1
Urbano	100	0.5	5	25	0.67	0	0.1
Agua	0	0	0	0	0	0	0
CS (-)	16						
CI (-)	200						
CB (dias)	3000						
QB (m³/s)	0.01						

Sub-bacia 6

URH	Wm (mm)	B (-)	Kbas (mm/dia)	Kint (mm/dia)	XL	Cap (mm/dia)	Wc (mm)
Mata_med	550	0.3	3.8	35	0.67	0	0.1
Campo_alt	450	0.3	3.6	30	0.67	0	0.1
Campo_med	550	0.3	3.8	35	0.67	0	0.1
Pasto_alt	450	0.3	3.6	30	0.67	0	0.1
Pasto_med	550	0.3	3.8	35	0.67	0	0.1
Agri_med	550	0.3	3.8	30	0.67	0	0.1
Agri_bai	570	0.3	4	25	0.67	0	0.1
Urbano	100	0.3	4	30	0.67	0	0.1
Agua	0	0	0	0	0	0	0
CS (-)	14						
CI (-)	200						
CB (dias)	3000						
QB (m³/s)	0.01						

Sub-bacia 7

URH	Wm (mm)	B (-)	Kbas (mm/dia)	Kint (mm/dia)	XL	Cap (mm/dia)	Wc (mm)
Mata_med	970	0.15	3.8	30	0.67	0	0.1
Campo_alt	850	0.15	3.9	25	0.67	0	0.1
Campo_med	950	0.15	4.1	30	0.67	0	0.1
Pasto_alt	850	0.15	3.9	25	0.67	0	0.1
Pasto_med	950	0.15	4.1	30	0.67	0	0.1
Agri_med	850	0.15	3.9	25	0.67	0	0.1
Agri_bai	970	0.15	4.2	22	0.67	0	0.1
Urbano	100	0.15	4.2	25	0.67	0	0.1
Agua	0	0	0	0	0	0	0
CS (-)	13						
CI (-)	200						
CB (dias)	3000						
QB (m³/s)	0.01						

Sub-bacia 8

URH	Wm (mm)	B (-)	Kbas (mm/dia)	Kint (mm/dia)	XL	Cap (mm/dia)	Wc (mm)
Mata_med	770	0.29	5	33	0.67	0	0.1
Campo_alt	808	0.53	5.9	44	0.67	0	0.1
Campo_med	1200	0.65	1.7	27	0.67	0	0.1
Pasto_alt	850	0.19	2.4	17	0.67	0	0.1
Pasto_med	210	0.43	6.8	53	0.67	0	0.1
Agri_med	572	0.72	3.5	18	0.67	0	0.1
Agri_bai	1240	0.45	6.9	30	0.67	0	0.1
Urbano	60	0.84	7.4	28	0.67	0	0.1
Agua	0	0	0	0	0	0	0
CS (-)	15.5						
CI (-)	116						
CB (dias)	3300						
QB (m³/s)	0.01						

Sub-bacia 9

URH	Wm (mm)	B (-)	Kbas (mm/dia)	Kint (mm/dia)	XL	Cap (mm/dia)	Wc (mm)
Mata_med	950	0.5	3.8	30	0.67	0	0.1
Campo_alt	850	0.5	3.6	25	0.67	0	0.1
Campo_med	950	0.5	3.8	30	0.67	0	0.1
Pasto_alt	850	0.5	3.6	25	0.67	0	0.1
Pasto_med	950	0.5	3.8	30	0.67	0	0.1
Agri_med	850	0.5	3.8	25	0.67	0	0.1
Agri_bai	950	0.5	4	22	0.67	0	0.1
Urbano	100	0.5	4	25	0.67	0	0.1
Agua	0	0	0	0	0	0	0
CS (-)	16						
CI (-)	200						
CB (dias)	3000						
QB (m³/s)	0.01						