

## **Metodologia para simulação de vazão em bacias hidrográficas: o caso da sub-bacia hidrográfica Fazenda Letreiro - MG**

*Methodology for flow simulation in river basins: study case of the sub-basin of Fazenda Letreiro - MG*

*Mirna Karla Amorim da Silva*

Geógrafa, Professora Doutora do Instituto de Geografia da  
Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil  
[mirnakarla@ufu.br](mailto:mirnakarla@ufu.br)

*Roberto Rosa*

Geógrafo, Professor Titular do Instituto de Geografia da  
Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil  
[rrosa@ufu.br](mailto:rrosa@ufu.br)

### **Resumo**

A sub-bacia hidrográfica Fazenda Letreiro (SHFL), pertencente a bacia hidrográfica do rio Araguari (mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, Estado de Minas Gerais), situa-se em uma região de imensa riqueza de recursos hídricos ameaçada pela degradação ambiental causada por uma diversidade de atividades produtivas (agropecuária, energia, mineração, turismo, etc.). As constantes alterações de uso da terra relacionadas a tais atividades são potencialmente degradantes dos recursos hídricos e devem ser conhecidas e mensuradas para o planejamento da gestão dos ambientes. Neste contexto, o objetivo geral desta pesquisa é demonstrar a metodologia da modelagem hidrológica para o estudo da vazão da SHFL, em consequência das mudanças do uso da terra e cobertura vegetal nativa, no período de 1975 a 2010. Inicialmente, realizou-se a fase de coleta de dados espaciais (vetoriais e matriciais) para a elaboração da base cartográfica e mapas temáticos da área de estudo. Com o auxílio dos dados coletados, a simulação da vazão foi realizada a partir do modelo hidrológico MGB-IPH e foram gerados os hidrogramas para verificação e análise dos resultados da pesquisa. Verificou-se que a SHFL teve um aumento para todas as vazões indicadas (vazão máxima, mínima e média, lâmina escoada). Houve grande mudança 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) e um aumento para as vazões máxima (em 38,8 m<sup>3</sup>/s), mínima (em 2,29 m<sup>3</sup>/s), média (em 5,78 m<sup>3</sup>/s) e lâmina escoada anual (231,35 mm/ano). A utilização do modelo hidrológico escolhido e as análises realizadas foram consideradas satisfatórias para cumprir os objetivos desta pesquisa.

**Palavras-chave:** modelagem hidrológica, MGB, Rio Uberabinha.

### **Abstract**

The sub-basin of Fazenda Letreiro (SHFL), belonging to the riverbasin of Araguari River (middle region of Triângulo Mineiro and Alto Paranaíba, State of Minas Gerais), is located in a region of immense wealth of water resources threatened by environmental degradation caused by a variety of productive activities (agriculture, energy, mining, tourism, and the like.) The constant land use changes related to these activities are potentially degrading water resources and must be known and measured for the planning management of the environment. Therefore, the general objective of this research is to demonstrate the methodology of hydrologic modeling to study the flow of SHFL, as a result of changes in land use and native vegetation coverage from 1975 to 2010. Initially, we accomplished the phase of spatial data collection (vector and matrix) for the cartographic base and thematic maps elaboration of the study area. With the help of the collected data, the flow simulation

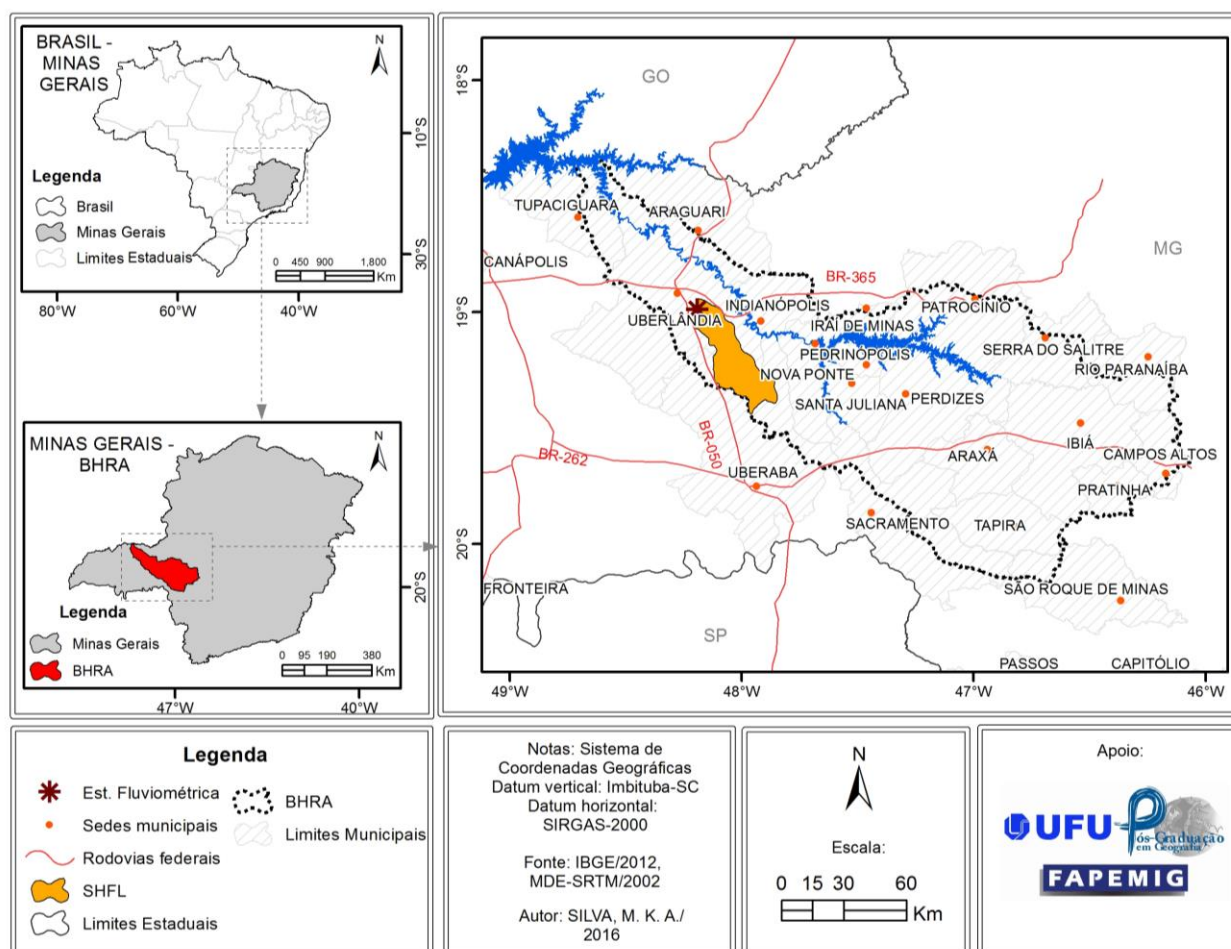
was performed from the hydrological model MGB-IPH and hydrograph were generated to verify and analyze the survey results. It was possible to verify that SHFL had an increase for all the indicated flow (maximum, minimum and average flows, drained blade). There was a great change of land use and native vegetation coverage in the period considered (replacement of 53.56% of native vegetation coverage areas for areas of agriculture and pasture) and an increase to the maximum flow (in 38.8 m<sup>3</sup>/s), minimum (in 2.29 m<sup>3</sup>/s), average (in 5.78 m<sup>3</sup>/s) and annual drained blade (231.35 mm/year). The use of the chosen hydrologic model and the analyzes accomplished were considered satisfactory to fulfill the objectives of this research.

**Keywords:** hydrologic modeling, MGB, Uberabinha river.

## 1. INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado apresenta imensa riqueza de recursos hídricos. 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 sub-bacia hidrográfica Fazenda Letreiro (SHFL), pertence a bacia hidrográfica do rio Araguari e situa-se nessa região potencialmente ameaçada. Localiza-se nos municípios de Uberlândia e Uberaba, mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, estado de Minas Gerais (Figura 01).



**Figura 01** – Mapa de localização geográfica da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Araguari, se destaca pelo seu potencial econômico de grande diversidade nos setores agropastoril, de monoculturas, energético, de mineração, turismo e lazer, que também se colocam como fatores de possível degradação deste ambiente. As constantes alterações de uso da terra relacionadas a tais atividades são potencialmente degradantes dos recursos hídricos e devem ser conhecidas e mensuradas para que se possa planejar a gestão dos ambientes de forma coerente e eficiente, primando pela preservação dos cursos d'água existentes.

Neste contexto, frente a necessidade de gestão dos recursos hídricos, a modelagem hidrológica se coloca como uma ferramenta importante e eficiente no sentido de auxiliar o monitoramento e gestão das águas presentes nas bacias hidrográficas. 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 pertencentes a este ambiente.

Dentre os parâmetros utilizados para estudos hidrológicos destacam-se, de acordo com Tucci (1993), os parâmetros: 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); e c) Meio receptor: geologia, topografia, solos, vegetação, urbanização, etc.

Assim, o uso das geotecnologias para o planejamento do uso sustentável dos recursos naturais tem se difundido cada vez mais e facilitado o desenvolvimento de estudos ambientais.

Christofoletti (1999) destacou a importância do uso dos Sistemas de Informação Geográficas (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, em seus estudos, a atuação da obtenção de dados por sensores remotos. O autor enfatizou 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.

Deste modo, 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, em estudos na área ambiental, a exemplo dos estudos hidrológicos.

Com o auxílio das geotecnologias, a modelagem hidrológica surgiu para otimizar o gerenciamento dos recursos hídricos, além de avaliar os impactos de mudança do uso da terra 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. 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.

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”. Desta maneira, modelar o comportamento dos fenômenos hidrológicos permite testar e avaliar diferentes formulações para os processos analisados em um determinado ambiente.

Há diversos tipos de modelos hidrológicos existentes e diversas são as finalidades específicas de cada um deles. A modelagem de variações climáticas e uso da terra 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.

Neste contexto, o modelo hidrológico utilizado nesta pesquisa é o Modelo de Grandes Bacias (MGB), um modelo hidrológico semi-distribuído que foi desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Este modelo é disponibilizado pelo IPH a partir da URL: <<http://www.ufrgs.br/hge/mgb-iph/downloads/>>, para *download* gratuito.

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 (MDE).

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 exerceria 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.

Lorandi e Cançado (2005) apontaram como parâmetros físicos que alimentam os modelos e interferem no gerenciamento e análise das bacias hidrográficas: 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.

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).

Definidos todos os parâmetros necessários e calibrado adequadamente, 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 (TUCCI, 2005).

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 URHs 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 URHs distintas apresentam características bastante próprias e, conseqüentemente, respostas hidrológicas distintas (UFRGS, 2011).

A realização desta pesquisa justifica-se pelo fato de que esta 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 SHFL foi escolhida, para essa pesquisa, pelo motivo de estar inserida dentro da bacia hidrográfica do rio Araguari, que apresenta grande diversidade de usos da terra ao longo do período

de estudo e, ainda, pela quantidade e qualidade dos dados disponíveis, consideradas satisfatórias para a pesquisa.

Desta forma, este estudo foi conduzido a partir da hipótese de que, em um cenário de 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 (a exemplo da vazão) ocorridas em bacias hidrográficas, a partir de dados espaciais e geotecnologias disponíveis.

O objetivo geral desta pesquisa foi demonstrar a metodologia da modelagem hidrológica para o estudo da vazão da sub-bacia Fazenda Letreiro, em consequência das mudanças do uso da terra e cobertura vegetal nativa.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A partir de uma seleção dos dados disponíveis da área em estudo, foram utilizados:

- Dados vetoriais da classificação de solos, geomorfologia e geologia da área de estudo (CBH-ARAGUARI, 2011);
- Dados vetoriais do uso da terra e cobertura vegetal nativa da área de estudo (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) das séries históricas da ANA (1975 a 2010);
- Livros, periódicos especializados e páginas eletrônicas pertinentes ao tema da pesquisa.

Os arquivos vetoriais de classes de solos, unidades geomorfológicas e geologia foram adquiridos junto ao Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, disponibilizados pelo CBH-ARAGUARI para os usuários, via internet, a partir da URL: <[http://cbharaguari.com.br/site/modules/mastop\\_publish/?tac=Plano\\_Diretor](http://cbharaguari.com.br/site/modules/mastop_publish/?tac=Plano_Diretor)>.

Os dados de altimetria foram extraídos do 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](http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/SRTM_BR.php)>.

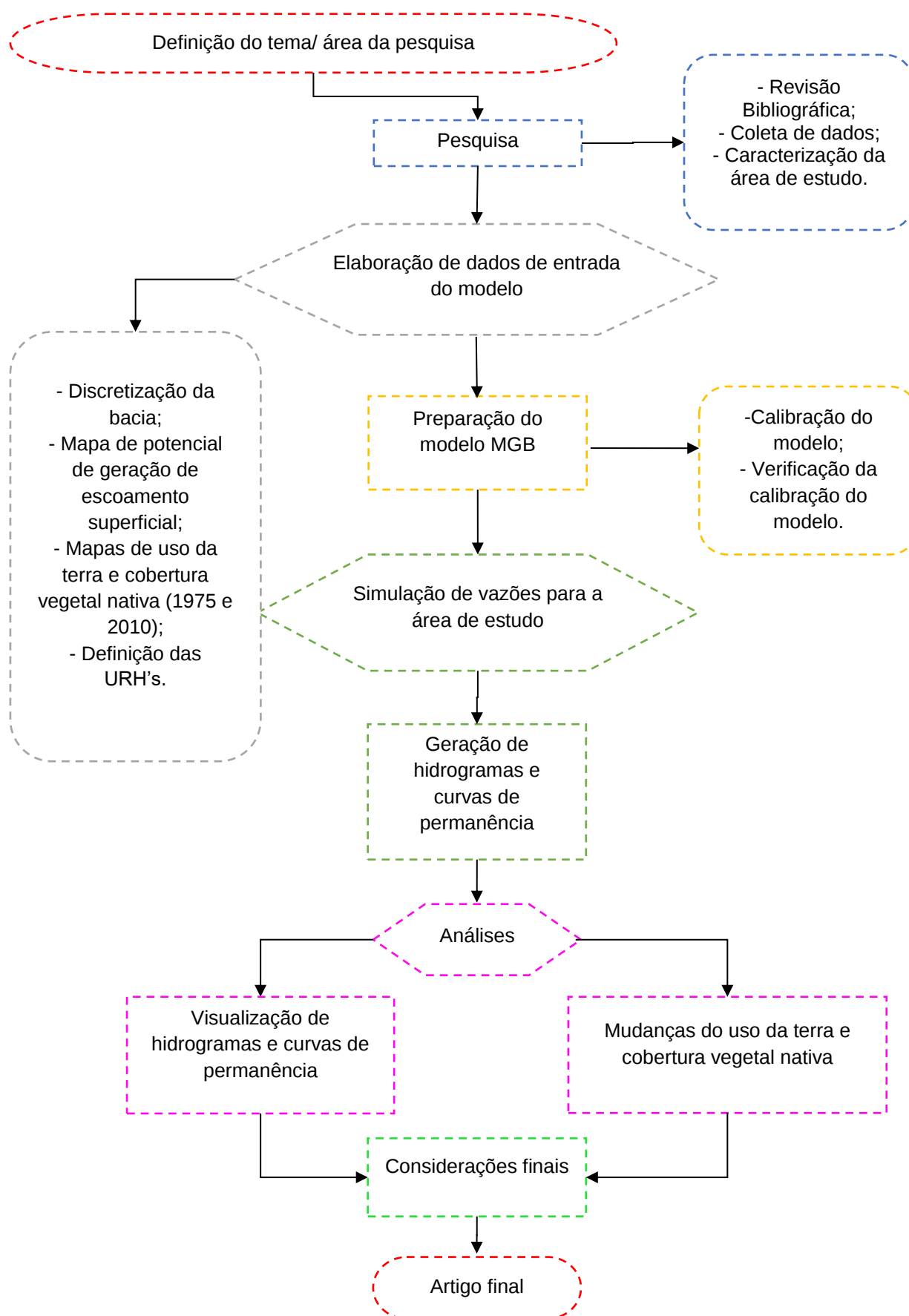
Estes dados altimétricos utilizados para este estudo foram elaborados pelo projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), uma missão espacial realizada pela Agência Nacional de Inteligência Geoespacial e pela NASA, dos Estados Unidos (WEBER, 2004).

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 estão disponíveis pelo sistema 'Hidroweb', a partir da URL: <http://hidroweb.ana.gov.br>. As estações hidrometeorológicas (ANA), disponibilizaram os dados de vazão, chuva e clima (temperatura, evaporação, insolação, umidade relativa do ar, pressão atmosférica). Foram utilizados os dados das séries históricas, da área de estudo, 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 área de estudo.

Os dados diários de vazão, para a bacia em estudo, foram coletados a partir dos dados disponibilizados pela ANA. Os dados diários climáticos utilizados na pesquisa foram coletados a partir dos dados disponibilizados pela ANA, das estações climatológicas (de responsabilidade e operadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET).

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, sendo eles: *ArcGIS* 10.1, *MapWindows GIS* e *Manejo de Dados Hidroweb*.

O fluxograma, apresentado na Figura 02 mostra, de forma sintetizada e esquemática, as principais etapas do desenvolvimento desta pesquisa.



**Figura 02** – 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 sequenciais descritas, a seguir:

**1ª 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.

**2ª 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.

**3ª Etapa – Fase de coleta de dados espaciais.** A realização da fase de coleta dos dados espaciais procedeu à aquisição dos arquivos vetoriais 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.

**4ª Etapa – Elaboração da base cartográfica da área de estudo.** A base cartográfica foi montada com o auxílio das ferramentas do *software ArcGIS*.

**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 nativa.** Os mapas de solos, unidades de relevo e geológico foram elaborados/organizados a partir dos dados coletados do Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari. 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.

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.

**6ª 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.

**7ª Etapa – Discretização da área de estudo.** Por se tratar de um modelo semi-distribuído, o MBG necessita que a área de estudo seja discretizada em mini-bacias para sua correta e mais detalhada utilização no modelo hidrológico. Esta etapa começou com a utilização de um polígono que compreendesse uma área de segurança (*buffer*) além da área da bacia em estudo para o recorte do MDE. 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. 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 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 escoar 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, a partir da ferramenta ***Terrain Processing/Flow Accumulation***, do menu do *ArcHydro/ArcGIS*.

Em seguida, foi criado um arquivo raster de rede de drenagem 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*.

O próximo passo foi delimitar a área de estudo, 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. Para a definição da sub-bacia desta pesquisa, foi selecionado o ponto de interesse, correspondendo ao posto fluviométrico Fazenda Letreiro, que deu o nome para a área estudada. 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 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 através da ferramenta **Raster to line** do *ArcGIS*.

A partir do recorte dos arquivos de Direção de fluxo e de Rede de drenagem, dentro do limite da área de estudo, foi gerado o arquivo raster de mini-bacias da SHFL. 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*.

**8ª Etapa –Determinação das URHs da bacia em estudo.** Para a definição das URHs, 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 classes de URHs, representando uma classe de uso da terra e cobertura vegetal nativa combinada com os diferentes 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 URHs reduzido para melhor aplicação do MGB. Assim, foram reagrupadas as URHs menos frequentes na bacia em estudo. As unidades correspondentes ao uso de água foram reduzidas a uma URH apenas, independentemente do tipo de solo a ela associado.

Deste modo, após a etapa de reagrupamento das URHs, chegou-se ao resultado de uma combinação de sete unidades finais. O arquivo raster de URHs foi reclassificado utilizando-se a função **Reclassify** do *software 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 URHs, conforme indicado na Tabela 01.

**Tabela 01** – URHs da SHFL

| 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 + médio potencial de geração de escoamento superficial  |
| 3          | -          | Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado + baixo potencial de geração de escoamento superficial  |
| -          | 3          | Pastagem + alto potencial de geração de escoamento superficial                               |
| 4          | 4          | Pastagem + médio potencial de geração de escoamento superficial                              |
| 5          | 5          | Agricultura + baixo potencial de geração de escoamento superficial                           |
| 6          | 6          | Água                                                                                         |

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

**9ª Etapa – Preparação dos dados de entrada do PrePro-MGB.** O PrePro-MGB é um plugin, com interface criada pelos desenvolvedores do MGB, dentro do *MapWindow*. A sua função é gerar as informações de entrada do modelo hidrológico, referentes às características físicas e topológicas das mini-bacias, a partir de arquivos raster gerados pelas ferramentas do menu do *ArcHydro/ArcGIS*.

Os dados essenciais de entrada do PrePro-MGB foram os cinco arquivos: MDE, Direções de fluxo, Mini-bacias, Rede de drenagem, URHs, todos no formato ASCII (.txt).

Cada um destes arquivos foi ajustado/configurado de forma a conter os mesmos parâmetros de resolução (igual tamanho de cada pixel da imagem e mesmo retângulo envolvente de coordenadas geográficas) para o correto e eficaz funcionamento do PrePro-MGB. Desta forma, o PrePro-MGB resultou, de maneira eficaz, nos arquivos **Mini.mgb** e **Comprimento.txt**. O arquivo **Mini.mgb**, corresponde a um arquivo com uma tabela de atributos das mini-bacias, conforme demonstrado na Tabela 02.

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 organize a ordem em que são realizados os cálculos (de montante para jusante).

**Tabela 02** – Informações que compõem a tabela de atributos do arquivo Mini.mgb

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

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

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.

**10ª 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 de texto (.txt) obtidos através da ANA.

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.

**11ª 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.

**12ª 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.

**13ª Etapa – Preparação dos blocos (URHs).** A segunda ferramenta do menu **Preparar dados** do MGB, denominada **Blocos**, é a ferramenta de preparação do arquivo de blocos (URHs), 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 (**Tabela 03**).

**Tabela 03** – Blocos (URHs) de entrada do MGB para a SHFL

| Blocos (URHs) |      | Nome      | Descrição                                                                                    |
|---------------|------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1975          | 2010 |           |                                                                                              |
| 1             | 1    | Mata_med  | Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento + médio potencial de geração de escoamento superficial |
| 2             | 2    | Campo_med | Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado + médio potencial de geração de escoamento superficial  |
| 3             | -    | Campo_bai | Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado + baixo potencial de geração de escoamento superficial  |
| -             | 3    | Pasto_alt | Pastagem + alto potencial de geração de escoamento superficial                               |
| 4             | 4    | Pasto_med | Pastagem + médio potencial de geração de escoamento superficial                              |
| 5             | 5    | Agri_bai  | Agricultura + baixo potencial de geração de escoamento superficial                           |
| 6             | 6    | Água      | Água                                                                                         |

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

**14ª 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 centróides de cada mini-bacia da SHFL. 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, assim como a disponibilidade temporal dos dados pluviométricos para o período desejado. O intervalo do período definido para a interpolação de dados pluviométricos 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). Cada arquivo **Chuva.mgb** (arquivo de saída), para cada fase específica, foi gerado com os dados de chuva interpolada para o período considerado.

**15ª 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 da estação fluviométrica selecionada. O intervalo do período definido para a simulação dos dados de vazão observados 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 estudado.

**16ª 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) da estação climatológica. Ao selecionar a estação, uma tabela permitiu a visualização do número de anos em que existem dados de cada variável citada, em cada mês do ano, 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 pertencentes à proximidade da área de estudo, foi definida a utilização das estações climatológicas de Catalão (1847004) 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. Foram gerados ainda os arquivos com os dados diários de cada estação climatológica, cada um deles recebendo o nome do código da estação em questão e a extensão **.cli**.

**17ª 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 SHFL.

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

**18ª 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: *Wm* (Armazenamento máximo na camada superficial do solo), *b* (Parâmetro do modelo que define a forma da relação empírica entre

fração de área saturada e armazenamento médio de umidade no solo), Kbas (Parâmetro de escoamento subterrâneo), Kint (Parâmetro de escoamento sub-superficial), XL (Parâmetro que controla a forma da curva de redução da drenagem intermediária ou sub-superficial do solo), CAP (Parâmetro que controla a forma da curva de redução da drenagem intermediária ou sub-superficial do solo), Wc (Limite de armazenamento para haver fluxo ascendente ou descendente), CS (Parâmetro para calibração da propagação superficial nas células), Cl (Parâmetro para calibração da propagação sub-superficial nas células), CB (Parâmetro de retardo do reservatório subterrâneo ) e QB (Vazão de escoamento superficial). Da mesma forma realizada com os parâmetros fixos, os parâmetros calibráveis foram inseridos em uma tabela, com valores únicos para cada bloco/URH da SHFL. 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.

**19ª 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 **CalibrarSHFL.mgb**, **SimularSHFL75.mgb** e **SimularSHFL10.mgb**, com os arquivos de entrada: Mini.mgb, URH.mgb, Chuva.mgb, Vazao.mgb, Mediaclimatologica.mgb, arquivos de clima diário (.cli), Parametrosfixos.mgb e ParametrosCalibraveis.mgb.

**20ª Etapa – Calibração do MGB.** Após a criação dos projetos, procedeu-se a etapa de simulação da vazão na SHFL, 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 sub-bacia em estudo e ao gerar as informações de hidrogramas e curvas de permanência para a calibração da mesma. 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 da estação fluviométrica. 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  $W_m$ ,  $b$ ,  $K_{bas}$ ,  $K_{int}$ ,  $CS$ ,  $CI$ . 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 ( $R^2$ ), do coeficiente de Nash para os logaritmos das vazões ( $R_{log}$ ) e da relação entre volumes medidos e calculados ( $\Delta V$ ).

Os valores das funções objetivo obtidas para a simulação de vazão na SHFL (1975 a 2010) foram:  $R^2$  correspondente a 0,528;  $R_{log}$  igual a 0,635; e,  $\Delta V$  correspondente a 0,034%. Os valores dos coeficientes encontrados foram considerados satisfatórios, visto que, Collischonn (2001) destaca que os valores do coeficiente de Nash ( $R^2$ ) 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 ( $R^2$ ) entre 0,66 a 0,9, com valores de  $\Delta V$  atingindo um erro absoluto máximo de 6%. A SHFL apresentou um erro de volume muito bom, mas o valor de Nash ( $R^2$ ) ficou um pouco baixo 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.

Os aspectos 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. 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.

**21ª Etapa – Simulação da vazão na SHFL.** Nesta etapa, procedeu-se a simulação da vazão na SHFL, 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 **SimularSHFL75.mgb** e **SimularSHFL10.mgb**, criados em etapa anterior, para simulação da SHFL. 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 foi rodado satisfatoriamente e geradas as informações de hidrogramas e curvas de permanência para a simulação da vazão na sub-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 SHFL.

A simulação foi realizada tanto para as URHs geradas com as informações de uso da terra e cobertura vegetal nativa em 1975 (MGB-75), assim como para aquelas URHs 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 sub-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: vazão máxima ( $Q_{\text{máx}}$ ), vazão mínima ( $Q_{\text{mín}}$ ) e vazão média ( $Q_{\text{méd}}$ ), sendo estes medidos em  $\text{m}^3/\text{s}$ . São apresentados, ainda, os valores do total da precipitação (ANA), em  $\text{mm}/\text{ano}$  e os valores da lâmina escoada ( $Q_{\text{méd}}$ ), em  $\text{mm}/\text{ano}$ .

**22ª Etapa – Análise dos dados de uso da terra e cobertura vegetal nativa e vazão da SHFL, 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.

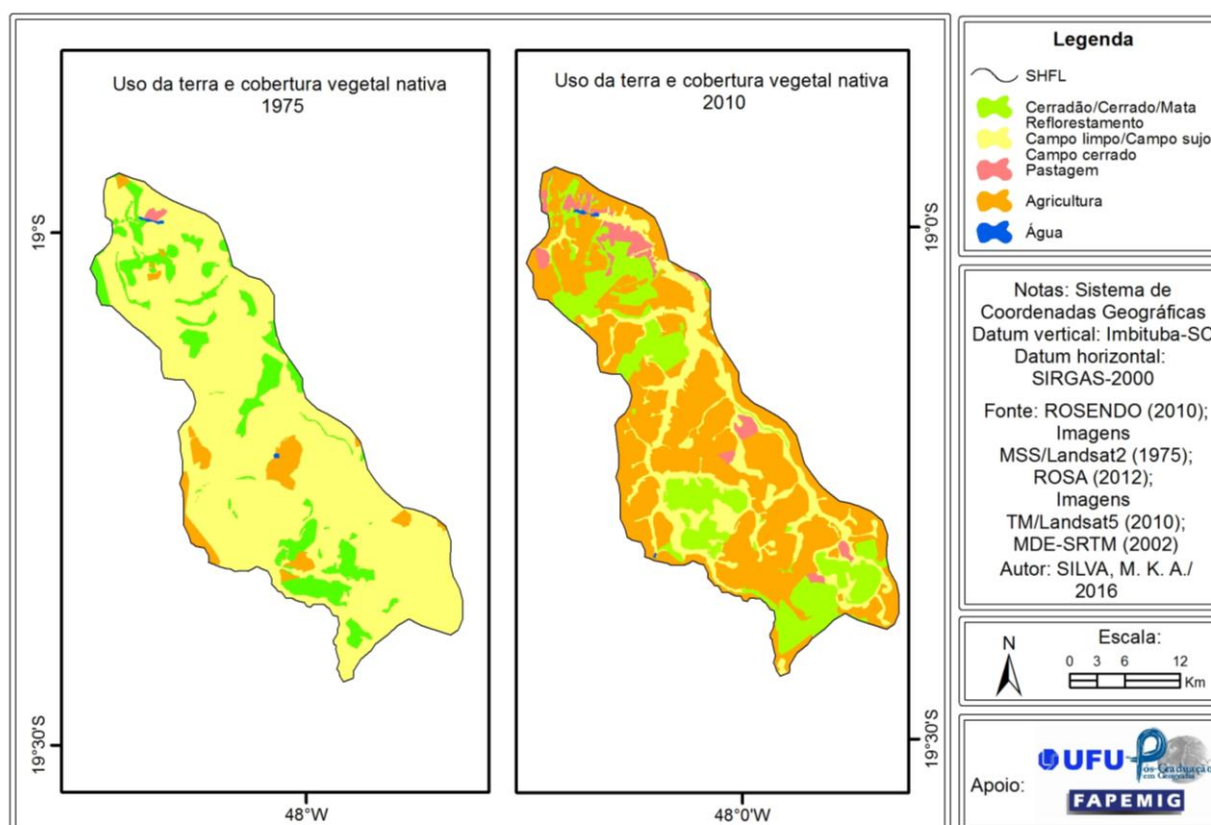
**23ª Etapa – Elaboração do texto final da pesquisa.** Após o desenvolvimento de todas as etapas descritas para a execução da pesquisa, os resultados gerados e as análises concluídas, foi realizada a elaboração da apresentação final da pesquisa em forma de texto, figuras (mapas, esquemas ilustrativos, etc.), gráficos, tabelas, a fim de finalizar a realização e a apresentação da pesquisa.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal nativa foram consideradas 4 classes de interesse predominantes para a aplicação do MGB, sendo elas:

- Cerradão/Cerrado/Mata/Reflorestamento:** compreende 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 com espécies de *pinnus*, *eucalypto*, etc.;
- Campo limpo/Campo sujo/Campo cerrado:** compreende 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;
- Pastagem:** compreende as áreas destinadas ao pastoreio do gado, composta por pastos naturais ou artificiais, degradados ou melhorados;
- Agricultura:** compreende as áreas de culturas agrícolas permanentes (café, banana, etc.), temporárias (soja, milho, cana-de-açúcar, etc.), irrigadas por pivô central ou por irrigação tradicional, com fins comerciais ou de consumo.

As classes de mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal nativa verificadas na área de estudo podem ser visualizadas e são descritas na Figura 03 e na Tabela 04, a seguir.



**Figura 03** – Uso da terra e cobertura vegetal nativa (1975 e 2010)

**Tabela 04** – Área das classes de uso da terra e cobertura vegetal nativa da sub-bacia Fazenda Letreiro (1975 e 2010)

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

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

Nesta sub-bacia houve grande 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.

A partir dos mapas de geologia, geomorfologia e solos foram identificadas classes de Potencial de Geração de Escoamento Superficial (PGES). 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, geomorfologia e geologia da área de estudo, permitiram identificar as classes de baixo e médio potencial de geração de escoamento superficial na SHFL, conforme Tabela 05.

**Tabela 05** – Características das classes de potencial de geração de escoamento superficial presentes na área de estudo

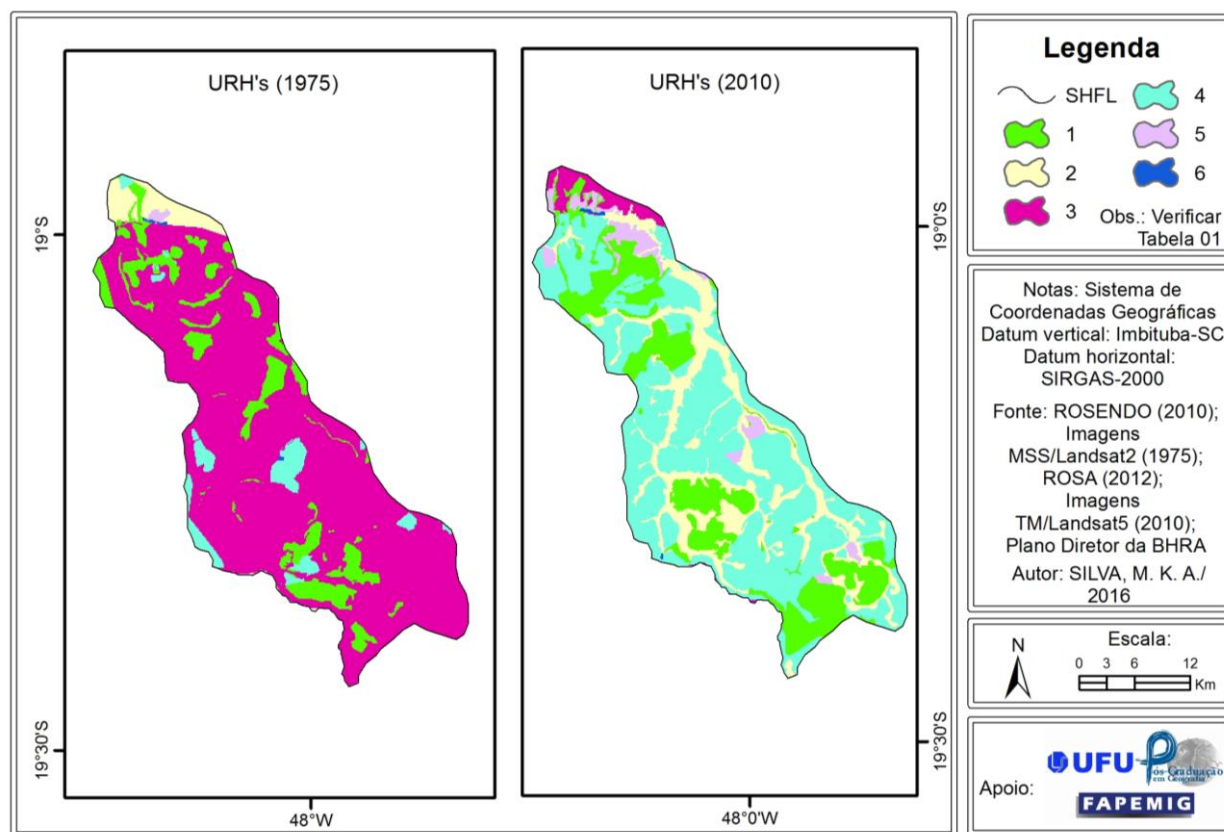
| PGES         | Solos           | Profundidade | Drenagem                              | Textura                          | Relevo                 | Geologia                                                             |
|--------------|-----------------|--------------|---------------------------------------|----------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>Médio</b> | LVd, LVAw       | profundo     | bem drenado                           | média argilosa ou muito argilosa | plano a suave ondulado | Formação Serra Geral, Formação Marília, Cobertura detrito-laterítica |
| <b>Baixo</b> | 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                               |

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

Para a definição das URHs, foram utilizadas e cruzadas as informações de uso da terra e cobertura vegetal nativa e de potencial de geração de escoamento superficial da área de estudo.

As URHs espacializadas, para os anos de 1975 e 2010, estão apresentados conforme Figura 04, a seguir. As séries históricas, obtidas a partir das estações fluviométricas da ANA, permitiram a obtenção de dados diários de vazão para a SHFL, no período de 1975 a 2010. No entanto, há alguns períodos com falhas de dados de vazão coletados para as estações fluviométricas e pluviométricas (ANA) presentes na área de estudo. Deste modo, 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.

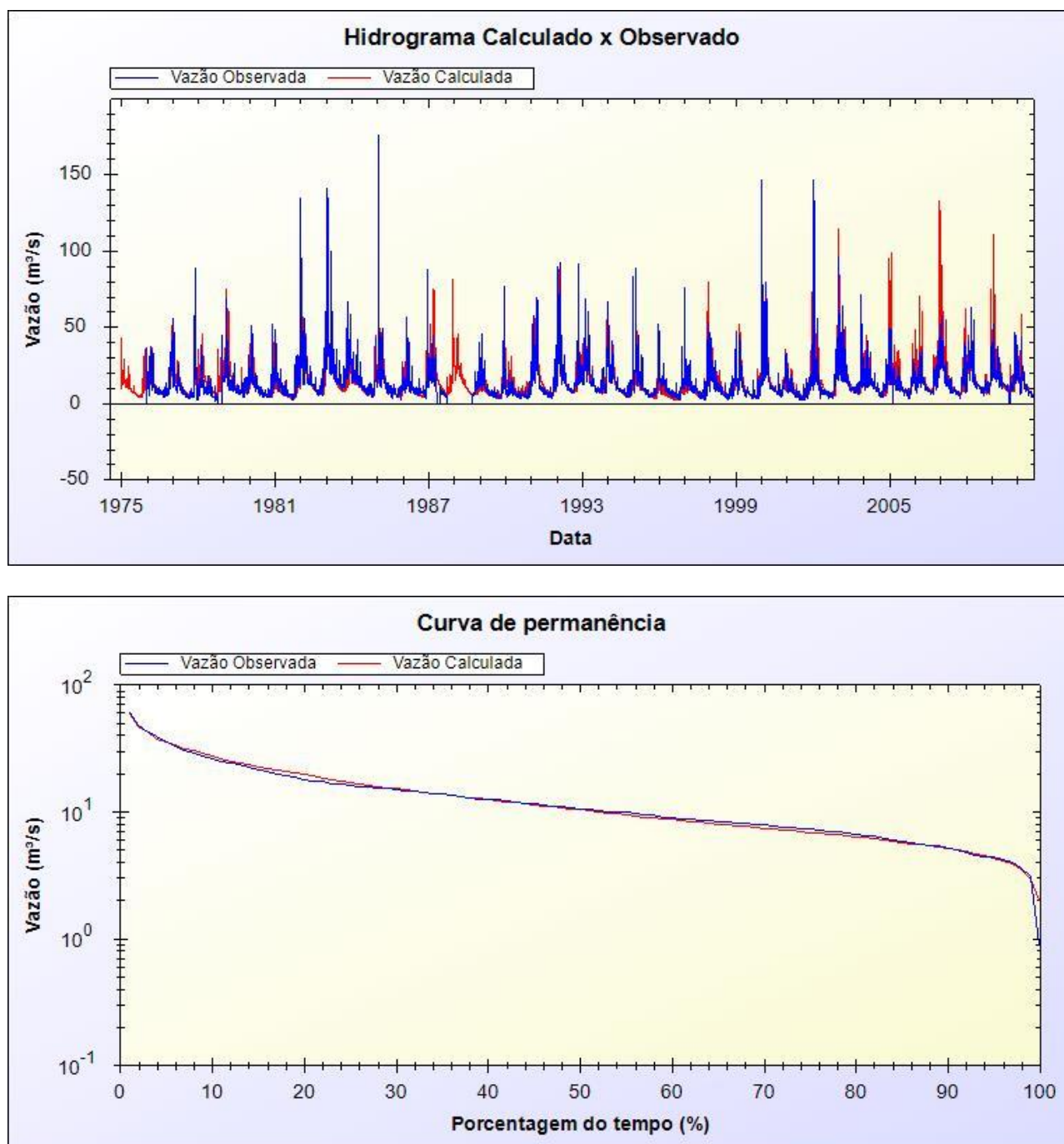


**Figura 04** – Unidades de Resposta Hidrológica (1975 e 2010)

Além da observação e análise considerada, a partir dos dados coletados pela ANA, o MGB permitiu a verificação da vazão diária na SHFL para todo o período considerado na pesquisa, a partir de dados calculados pelo modelo, para análise das vazões na bacia em estudo.

Considerando o ajuste do MGB à simulação da SHFL 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, os hidrogramas tiveram um ajuste aceitável em relação a medida da vazão diária (observada e calculada) da sub-bacia estudada.

O hidrograma e curva de permanência de vazões diárias do rio Uberabinha, SFL, mostram o ajuste entre os dados observados (ANA) e calculados (MGB) (Figura 05).



**Figura 05** – Hidrograma e curva de permanência da vazão diária (observada e calculada) do rio Uberabinha, sub-bacia Fazenda Letreiro (1975 a 2010)  
Fonte: MGB.

Pode-se verificar pelo hidrograma de dados observados e calculados que, para aquele período de ausência de dados de vazão observada (ANA), o MGB simulou a vazão a partir dos dados calculados pelo modelo.

As Tabelas 06 e 07, permitem verificar os valores da vazão diária máxima ( $Q_{\text{máx}}$ ), mínima ( $Q_{\text{mín}}$ ) e média ( $Q_{\text{méd}}$ ) para cada um dos anos de 1975 a 2010, os valores do total da precipitação anual e da lâmina escoada ( $Q_{\text{méd}}$  em mm/ano), para a sub-bacia Fazenda Letreiro, rio Uberabinha (Dados da ANA e MGB).

**Tabela 06** – Vazão máxima, mínima, média, lâmina escoada e precipitação anual, para a sub-bacia Fazenda Letreiro, (1975 a 2010) - Dados da ANA

| Ano                 | ANA            |                |                |                                            |                  |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------------------|------------------|
|                     | Qmáx<br>(m³/s) | Qmín<br>(m³/s) | Qméd<br>(m³/s) | Total de<br>precipitação anual<br>(mm/ano) | Qméd<br>(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           |
| 1978                | 44,25          | 0,90           | 10,38          | 781,20                                     | 415,72           |
| 1979                | 68,06          | 3,97           | 12,31          | 1.140,30                                   | 492,82           |
| 1980                | 51,30          | 3,97           | 11,76          | 1.119,50                                   | 470,71           |
| 1981                | 50,50          | 1,82           | 11,67          | 1.326,30                                   | 467,09           |
| 1982                | 134,05         | 4,92           | 18,77          | 1.845,90                                   | 751,53           |
| 1983                | 140,53         | 8,35           | 26,39          | 1.875,90                                   | 1.056,68         |
| 1984                | 42,72          | 4,15           | 13,33          | 1.273,90                                   | 533,88           |
| 1985                | 175,47         | 2,11           | 14,62          | 1.200,20                                   | 585,42           |
| 1986                | 87,59          | 3,08           | 11,90          | 1.312,90                                   | 476,48           |
| 1987**              | 44,63          | 3,79           | 13,27          | 803,00                                     | 531,36           |
| 1988**              | 39,35          | 4,53           | 10,64          | 304,30                                     | 426,12           |
| 1989                | 76,05          | 3,25           | 10,41          | 1.516,80                                   | 416,81           |
| 1990                | 22,29          | 2,91           | 7,29           | 1.096,10                                   | 291,72           |
| 1991                | 69,37          | 3,25           | 15,24          | 1.273,80                                   | 610,28           |
| 1992                | 91,87          | 6,56           | 19,58          | 2.059,90                                   | 784,20           |
| 1993                | 68,50          | 6,56           | 15,67          | 1.543,40                                   | 627,33           |
| 1994                | 82,92          | 3,61           | 14,30          | 1.284,40                                   | 572,53           |
| 1995                | 88,54          | 3,79           | 12,80          | 1.462,90                                   | 512,71           |
| 1996                | 47,34          | 2,11           | 10,32          | 1.219,20                                   | 413,10           |
| 1997                | 75,15          | 2,42           | 12,38          | 1.671,40                                   | 495,61           |
| 1998                | 45,79          | 1,96           | 10,95          | 1.231,90                                   | 438,53           |
| 1999                | 46,17          | 2,91           | 10,31          | 1.274,40                                   | 412,90           |
| 2000                | 146,01         | 3,61           | 17,41          | 1.547,90                                   | 697,19           |
| 2001                | 37,88          | 2,04           | 8,46           | 1.461,60                                   | 338,85           |
| 2002                | 146,01         | 3,17           | 15,22          | 1.431,40                                   | 609,42           |
| 2003                | 95,96          | 5,83           | 20,01          | 1.937,70                                   | 801,29           |
| 2004                | 49,11          | 3,52           | 13,37          | 1.437,70                                   | 535,16           |
| 2005                | 48,13          | 3,17           | 12,65          | 1.565,30                                   | 506,36           |
| 2006                | 42,34          | 5,72           | 14,15          | 2.284,60                                   | 566,69           |
| 2007                | 57,21          | 3,25           | 15,01          | 1.626,00                                   | 601,20           |
| 2008                | 62,46          | 5,02           | 15,53          | 1.749,70                                   | 621,84           |
| 2009                | 51,50          | 8,23           | 17,29          | 2.039,70                                   | 692,49           |
| 2010                | 43,86          | 2,83           | 12,95          | 1.287,20                                   | 518,43           |
| 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 07** – Vazão máxima, mínima, média e lâmina escoada, para a sub-bacia Fazenda Letreiro (1975 a 2010) – Dados do MGB

| Ano                       | MGB-75 (URHs 1975)          |                             |                             |                  | MGB-10 (URHs 2010)          |                             |                             |                  |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------|
|                           | Qmáx<br>(m <sup>3</sup> /s) | Qmín<br>(m <sup>3</sup> /s) | Qméd<br>(m <sup>3</sup> /s) | Qméd<br>(mm/ano) | Qmáx<br>(m <sup>3</sup> /s) | Qmín<br>(m <sup>3</sup> /s) | Qméd<br>(m <sup>3</sup> /s) | Qméd<br>(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           | 50,78                       | 4,60                        | 11,81                       | 473,03           |
| 1977                      | 31,77                       | 3,53                        | 9,31                        | 372,95           | 43,55                       | 4,26                        | 12,56                       | 502,74           |
| 1978                      | 36,21                       | 4,70                        | 11,68                       | 467,77           | 45,28                       | 5,23                        | 14,91                       | 597,16           |
| 1979                      | 62,34                       | 5,02                        | 13,62                       | 545,43           | 74,49                       | 6,10                        | 16,28                       | 651,89           |
| 1980                      | 33,07                       | 2,85                        | 7,97                        | 319,25           | 39,92                       | 3,54                        | 10,56                       | 422,81           |
| 1981                      | 28,68                       | 1,71                        | 5,54                        | 221,81           | 34,33                       | 2,39                        | 7,98                        | 319,58           |
| 1982                      | 60,81                       | 4,69                        | 13,71                       | 549,13           | 87,06                       | 5,45                        | 16,95                       | 678,73           |
| 1983                      | 93,71                       | 6,68                        | 16,15                       | 646,81           | 130,10                      | 7,46                        | 19,75                       | 790,82           |
| 1984                      | 30,66                       | 3,61                        | 9,21                        | 368,72           | 44,63                       | 4,59                        | 11,50                       | 460,59           |
| 1985                      | 63,07                       | 3,60                        | 10,65                       | 426,53           | 92,76                       | 4,16                        | 13,24                       | 530,06           |
| 1986                      | 44,81                       | 2,91                        | 7,84                        | 313,84           | 71,39                       | 3,98                        | 11,15                       | 446,46           |
| 1987                      | 63,89                       | 5,11                        | 13,78                       | 551,80           | 80,92                       | 5,98                        | 18,41                       | 736,98           |
| 1988                      | 41,22                       | 4,28                        | 12,15                       | 486,47           | 45,11                       | 4,97                        | 14,17                       | 567,41           |
| 1989                      | 29,35                       | 2,11                        | 5,76                        | 230,77           | 40,30                       | 2,81                        | 8,04                        | 321,83           |
| 1990                      | 28,93                       | 3,80                        | 7,83                        | 313,47           | 35,98                       | 5,11                        | 10,34                       | 414,06           |
| 1991                      | 46,67                       | 4,26                        | 12,25                       | 490,58           | 55,36                       | 5,25                        | 15,96                       | 639,06           |
| 1992                      | 62,61                       | 5,70                        | 14,18                       | 567,82           | 87,66                       | 6,43                        | 18,21                       | 729,25           |
| 1993                      | 42,36                       | 5,45                        | 13,42                       | 537,21           | 54,34                       | 6,20                        | 15,74                       | 630,10           |
| 1994                      | 39,00                       | 3,49                        | 9,64                        | 386,14           | 49,05                       | 3,95                        | 12,15                       | 486,46           |
| 1995                      | 44,00                       | 2,43                        | 6,94                        | 277,90           | 62,62                       | 3,11                        | 9,31                        | 372,93           |
| 1996                      | 18,69                       | 1,35                        | 3,97                        | 159,11           | 25,99                       | 1,98                        | 5,66                        | 226,73           |
| 1997                      | 54,18                       | 2,29                        | 6,74                        | 269,89           | 78,87                       | 3,05                        | 9,89                        | 396,18           |
| 1998                      | 34,10                       | 4,04                        | 8,78                        | 351,64           | 36,20                       | 4,68                        | 10,89                       | 436,17           |
| 1999                      | 40,39                       | 2,85                        | 7,94                        | 317,76           | 52,00                       | 3,52                        | 10,95                       | 438,64           |
| 2000                      | 61,04                       | 4,52                        | 13,12                       | 525,46           | 79,34                       | 5,39                        | 16,92                       | 677,68           |
| 2001                      | 48,77                       | 2,88                        | 7,54                        | 301,90           | 72,31                       | 4,00                        | 10,27                       | 411,25           |
| 2002                      | 84,93                       | 3,60                        | 12,58                       | 503,90           | 99,99                       | 4,13                        | 16,01                       | 641,04           |
| 2003                      | 78,71                       | 5,24                        | 17,92                       | 717,44           | 114,05                      | 5,91                        | 21,60                       | 864,94           |
| 2004                      | 54,60                       | 3,74                        | 10,58                       | 423,56           | 95,03                       | 4,31                        | 13,63                       | 545,65           |
| 2005                      | 79,03                       | 4,66                        | 12,48                       | 499,56           | 98,81                       | 4,97                        | 15,98                       | 639,72           |
| 2006                      | 90,77                       | 5,66                        | 14,70                       | 588,48           | 132,51                      | 6,21                        | 18,87                       | 755,64           |
| 2007                      | 105,39                      | 4,83                        | 17,15                       | 686,79           | 125,80                      | 5,00                        | 19,24                       | 770,41           |
| 2008                      | 49,34                       | 4,65                        | 12,79                       | 512,19           | 74,34                       | 5,88                        | 16,11                       | 644,97           |
| 2009                      | 79,90                       | 6,37                        | 15,69                       | 628,15           | 110,24                      | 6,98                        | 19,08                       | 764,04           |
| 2010                      | 55,57                       | 3,61                        | 9,71                        | 388,63           | 58,07                       | 4,11                        | 12,42                       | 497,32           |
| Média<br>(1975 a<br>2010) | 53,00                       | 4,01                        | 10,92                       | 437,32           | 70,83                       | 4,73                        | 13,90                       | 556,64           |
| Desvio<br>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 06 e 07, pode-se perceber que, na SHFL, rio Uberabinha, a vazão média, para o período de 1975 a 2010, foi de 13,77 m<sup>3</sup>/s (ANA), 10,92 m<sup>3</sup>/s (MGB-75) e 13,90 m<sup>3</sup>/s (MGB-10). A vazão mínima foi de 3,8 m<sup>3</sup>/s (ANA), 4,01 m<sup>3</sup>/s (MGB-75) e 4,73 m<sup>3</sup>/s (MGB-10) e, por fim, a vazão máxima de 71,48 m<sup>3</sup>/s (ANA), 53,00 m<sup>3</sup>/s (MGB-75) e 70,83 m<sup>3</sup>/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.

A Tabela 08 apresenta os valores da vazão diária máxima (Q<sub>máx</sub>), mínima (Q<sub>mín</sub>) e média (Q<sub>méd</sub>) 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 (Q<sub>méd</sub> em mm/ano) para os mesmos períodos.

**Tabela 08** – Vazão diária máxima, mínima e média, total de precipitação anual e lâmina escoada, para períodos distintos na sub-bacia Fazenda Letreiro – Dados da ANA e MGB

|              | Q <sub>máx</sub><br>(m <sup>3</sup> /s) | Q <sub>mín</sub><br>(m <sup>3</sup> /s) | Q <sub>méd</sub><br>(m <sup>3</sup> /s) | Total de<br>precipitação<br>(mm/ano) | Q <sub>méd</sub><br>(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                       |
| 1993 a 2000  | 146,01                                  | 1,96                                    | 13,01                                   | 1404,44                              | 521,24                       |
| 2001 a 2010  | 146,01                                  | 2,04                                    | 14,46                                   | 1682,09                              | 579,17                       |
| Ano          | MGB-75 (URHs 1975)                      |                                         |                                         |                                      |                              |
| 1975 a 1984  | 93,71                                   | 1,71                                    | 10,54                                   | -                                    | 422,15                       |
| 1985 a 1992  | 63,89                                   | 2,11                                    | 10,74                                   | -                                    | 422,66                       |
| 1993 a 2000  | 61,04                                   | 1,35                                    | 8,82                                    | -                                    | 353,14                       |
| 2001 a 2010  | 105,39                                  | 2,88                                    | 13,11                                   | -                                    | 525,06                       |
| Ano          | MGB-10 (URHs 2010)                      |                                         |                                         |                                      |                              |
| 1975 a 1984  | 130,10                                  | 2,39                                    | 13,27                                   | -                                    | 531,49                       |
| 1985 a 1992  | 92,76                                   | 2,81                                    | 13,91                                   | -                                    | 548,14                       |
| 1993 a 2000  | 79,34                                   | 1,98                                    | 11,44                                   | -                                    | 458,11                       |
| 2001 a 2010  | 132,51                                  | 4,00                                    | 16,32                                   | -                                    | 653,50                       |

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

Fonte: ANA e MGB.

Conforme Tabela 08, 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 SHFL. Ao verificar o total da precipitação anual no período de 1975 a 1984 (1.305,46 mm/ano), constata-se que este foi menor em relação ao período de 2001 a 2010

(1.682,09 mm/ano). O aumento da precipitação influencia no regime hidrológico da área de estudo. No entanto, verificou-se 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.

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 SHFL, 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 m<sup>3</sup>/s (1975 a 1984) para 14,46 m<sup>3</sup>/s (2001 a 2010). De acordo com os dados calculados pelo MGB-75, no entanto, ocorreu um aumento da vazão média de 10,54 m<sup>3</sup>/s (1975 a 1984) para 16,32 m<sup>3</sup>/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 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 SHFL 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 SHFL 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. Os municípios que, em parte, são pertencentes a esta sub-bacia (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 nativa, e substituição pelas classes de uso agropecuário, influenciaram no aumento da vazão máxima, mínima e média para esta sub-bacia.

Notou-se, então, que as vazões máximas e mínimas também se alteraram nos anos considerados, para a SHFL. Pode-se verificar que a vazão mínima da sub-bacia Fazenda Letreiro, de acordo com dados da ANA, aumentou de 0,90 m<sup>3</sup>/s (1975 a 1984) para 2,04 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/s (1975 a 1984) para 4,00 m<sup>3</sup>/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 na vazão máxima na SHFL, 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 m<sup>3</sup>/s (1975 a 1984) para 146,01 m<sup>3</sup>/s (2001 a 2010). De acordo com os dados calculados pelo MGB-75, estes mostram o aumento da vazão máxima de 93,71 m<sup>3</sup>/s (1975 a 1984) para 132,51 m<sup>3</sup>/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 SHFL, 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 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.

#### 4. 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 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 projetos de irrigação ou de aproveitamento hidrelétrico, entre outros.

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 a SHFL teve um aumento para todas as vazões indicadas (vazão máxima, mínima e média, lâmina escoada). Houve grande mudança 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) e um aumento para as vazões máxima (em 38,8 m<sup>3</sup>/s), mínima (em 2,29 m<sup>3</sup>/s), média (em 5,78 m<sup>3</sup>/s) e lâmina escoada anual (231,35 mm/ano), no período de 1975 a 2010.

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. Neste sentido, a modelagem hidrológica se coloca como uma ferramenta adicional, importante e eficiente no sentido de aperfeiçoar e auxiliar o monitoramento e gestão das bacias hidrográficas. A utilização do modelo hidrológico escolhido e as análises realizadas foram consideradas satisfatórias para cumprir os objetivos desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ANA. **Agência Nacional de Águas**. Disponível em: <<http://ana.gov.br>> Acesso em: mar. 2015.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Hidroweb – Sistema de Informações hidrológicas**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>> Acesso em: mar. 2015.

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.

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

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.

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

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.

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.

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.; 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.

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.

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.

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. **Modelos hidrológicos** / Carlos E. M. Tucci. 2. ed. rev. ampl. Porto Alegre: Ed. da UFRGS; ABRH, 2005. 678 p.

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.

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. 2015.

Trabalho enviado em 08/03/2016

Trabalho aceito em 04/11/2016