

# CARACTERIZAÇÃO DO REGIME HIDROLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO MEIO ATRAVÉS DE UM MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUÍDO EM SIG

Walber Mendes Gama, Carlos Ruberto Fragoso Júnior e Rosângela Sampaio Reis

Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento (PPGRHS) \Centro de Tecnologia (CTEC), Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

**Abstract:** Human activities has resulted huge changes in watersheds increasing the incidence dry period and floods, leading to life-threatening and lost of materials for riverside populations. This situation is very common in developing countries, especially in Brazil. Here, we evaluated the spatial heterogeneity of quantitative hydrological regime of the river basin of Paraíba do Meio using a distributed hydrologic model rainfall-runoff applied to large basins (MGB-IPH) in order to contribute for the management of water resources. It was considered the spatial heterogeneity of soil type, use and land cover and meteorological and hydrological data. Model calibration has shown a reasonable correspondence between observed and simulated outflows. This study provided a better understanding of the spatial distribution of the hydrological regime in this basin.

Palavras-chave: calibração, modelagem hidrológica, SIG

## 1. Introdução

A crescente exploração e utilização dos recursos naturais têm provocado profundas alterações no meio ambiente principalmente em bacias hidrográficas que são afetadas de acordo com as atividades humanas, decorrentes principalmente: (a) da prática de culturas agrícolas com a utilização de grandes áreas irrigáveis, (b) da pecuária com a substituição da vegetação natural por pasto, (c) construção de barragens alterando o regime hídrico dos rios, (d) o lançamento de poluentes, efluentes domésticos e industriais alterando as propriedades físico-químicas da água, ou (e) de possíveis alterações climáticas decorrente da degradação das florestas e o aumento de emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera.

Estas atividades antrópicas têm contribuído e aumentado as pressões sobre os corpos hídricos, como também a alteração do regime hidrológico e em termos qualitativo tem contribuído para a contaminação dos corpos hídricos por pesticidas e defensivos agrícolas, trazendo mudanças nas propriedades naturais da água afetando negativamente a biota aquática e pessoas que venha a ingerir estas águas. No aspecto quantitativo, por exemplo, a ocorrências de secas ou chuvas intensas tem levado a risco de vida e materiais para populações que vivem as margens de rios e encostas, principalmente em países subdesenvolvidos que apresenta situações gritantes no nordeste brasileiro.

O conseqüente distúrbio do regime hidrológico de uma bacia, quando alterado pelas pressões antrópicas, pode trazer conseqüências negativas na capacidade de armazenamento de água nos canais de drenagens e posteriormente o comprometimento da disponibilidade hídrica e oferta de água na bacia de drenagem para as populações locais (Rebouças, 2003).

A vasta gama de fatores e processos que fazem parte do regime hidrológico dificulta a análise quantitativa em bacias hidrográficas. Além disso, o gerenciamento desses ecossistemas é, por característica, um campo de ação multidisciplinar, onde existe um grande número de alternativas no planejamento, considerando seus usos, disponibilidades e preservação (Tucci, 1998). Em razão dessa diversidade de alternativas, é necessário utilizar metodologias que melhor quantifiquem os processos, auxiliando nas etapas de análise e tomada de decisão. Uma dessas metodologias é a modelagem matemática aplicada nos Geossistemas. Segundo Nascimento & Sampaio (2004/2005), geossistema corresponde aos dados ecológicos relativamente estáveis superficiais, resulta do potencial ecológico, mormente: clima – temperatura e precipitação; fatores geomorfológicos - natureza das rochas, dos mantos superficiais, declive, dinâmica das vertentes e fatores hidrológicos - lençóis freáticos, nascentes, pH das águas, tempo de ressecamento do solo. Estas formulações são representações físicas do espaço e são levados em consideração na aplicação de modelos hidrológicos distribuídos.

Os modelos hidrológicos tem sido de grande relevância em estudos que buscam considerar cenários atuais e futuros em grandes bacias hidrográficas, sendo um avanço na área de estudo hidrológico, pela capacidade de processar grandes volumes de dados e simular o escoamento superficial nas bacias de drenagens, de forma que pode ser analisado e explicado pela distribuição espacial das variáveis hidrológicas e das características físicas da bacia através de mapas associado aos modelos hidrológicos. Na aplicação de modelos hidrológicos há que se ter cuidado nas análises de consistências das séries históricas de chuva, obtenção de dados climáticos e de vazões, são condições a serem considerada na

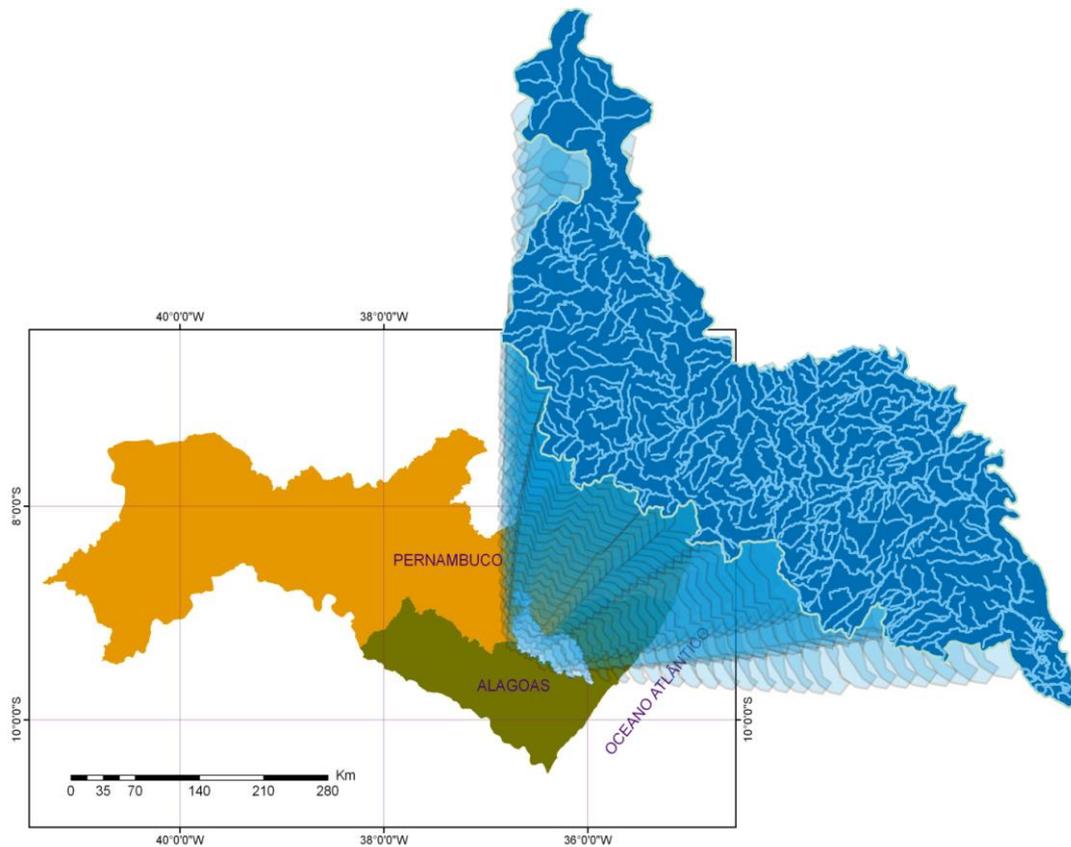
aplicação de modelos hidrológicos para a predição de vazões confiáveis para fins de planejamento e gestão de bacias hidrográficas. As vazões em bacias hidrográficas estão relacionadas, com as características espaciais: físicas-naturais e antrópicas. As feições do relevo, associado às taxas de declividade, os tipos de solo, clima, geologia são características heterogêneas das bacias, e estas características são condicionantes diretos para interferir e exercer mudanças no escoamento superficial. De acordo com Meller et al. (2005), entre os fatores naturais que influenciam os vários aspectos das vazões podem ser citadas a distribuição e as características de infiltração dos solos da bacia, a extensão e as características hidráulicas dos aquíferos, a taxa, quantidade e frequência de recarga, a evapotranspiração da bacia, a distribuição dos tipos de vegetação, topografia e principalmente o clima. As ações antrópicas nesses fatores naturais, com a retirada da cobertura vegetal e aumento de áreas impermeabilizadas, são condições para interferir nas vazões.

O objetivo deste trabalho é avaliar a heterogeneidade espacial do regime hidrológico quantitativo da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio utilizando o modelo hidrológico distribuído denominado MGB-IPH (Collischonn, 2001). Esta bacia encontra-se entre dois domínios climáticos: tropical Semi-árido com chuvas de verão e tropical chuvoso com verão seco (Mascarenhas et al., 2005) apresentando freqüentes ocorrências de enchentes e secas em diferentes áreas da bacia ao longo dos anos. A modelagem hidrológica aplicada na bacia do rio Paraíba do Meio, além de fornecer mais informações sobre disponibilidade hídrica no tempo e no espaço, poderá também dar suporte a tomada de decisão em programas de gestão de recursos hídricos, com a previsão de vazão a curta e médio prazo, assim como ocorrência de enchentes, associado à variabilidade hidrológica e das conseqüências de mudanças do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica rio Paraíba do Meio. A aplicação do modelo hidrológico para grandes bacias MGB-IPH na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio pode possibilitar a realização prognósticos de vazão de curto, médio e longo prazo para: controle de cheias, horizontes sazonais a exemplo de regiões semi-áridas, previsão de fenômenos como a seca, avaliação de impactos de mudanças climáticas de acordo com a mudança de cenários de ocupação na bacia, e da disponibilidade hídrica, entre outras aplicações. Segundo Silva et al. (2004), a vantagem deste modelo é que, por ser distribuído, ele incorpora a variabilidade espacial da precipitação e das características físicas da bacia, podendo ser utilizado para previsão de vazões em tempo real, previsão de vazão sazonal, estimativa de disponibilidade hídrica em locais sem dados. O resultado final deste trabalho será de extrema relevância, dado que a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio terá um modelo adaptado para simular diversos cenários de disponibilidade hídrica, de acordo com a ocupação do solo e dos dados hidroclimáticos, possibilitando assim aprimorar o gerenciamento de recursos hídricos na bacia.

## **2. Metodologia**

### **2.1 Caracterização da área de estudo**

A bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Meio, possui uma área total de aproximadamente 3.117km<sup>2</sup>, compreendendo os Estados de Alagoas e Pernambuco e possui perímetro de 478 km (Alagoas, 1997). A bacia situa-se entre os paralelos 08°44' e 09°39' de latitude sul e entre os meridianos 35°45' e 36°45' de longitude oeste de Greenwich, e limita-se ao norte com a bacia do Rio Ipanema no Estado de Pernambuco, ao sul com as bacias dos rios São Miguel e Sumaúma, ao leste com a bacia do rio Mundaú, e ao oeste com as bacias dos rios Traipú e Coruripe. A Figura 1 mostra esquematicamente a localização geográfica da bacia em estudo. Os principais rios que contribuem para o canal principal são riacho Bálamo e o riacho Seco na margem direita, correspondente ao Estado de Pernambuco. Ainda encontram-se o principal rio no território alagoano rio Quebrangulinho, riacho Lunga, riacho do Canto, riacho Pedra de Fogo, riacho Riachão, riacho Itapicuru, riacho Isabel, riacho do Carapa e Rio Porongaba. O rio Paraíba Meio ao longo dos seus 171,98 km apresenta 126,57 km de extensão que percorre áreas do Estado de Alagoas com um regime fluvial perene e 45,41 km no Estado de Pernambuco com um regime fluvial intermitente. O sistema hidrográfico apresenta padrão de drenagem do tipo dendrítico. Este tipo de drenagem também é conhecido como arborescente pela sua semelhança com os galhos de uma árvore (Cunha, 1995).



**Figura 1 - Localização da bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Meio e sua hidrografia**

## Clima

A porção da Bacia do Rio Paraíba no Estado de Alagoas está situada numa região de clima tropical quente e chuvoso com verão seco do tipo  $As'$ , segundo a classificação de Köppen. Com estação chuvosa de abril a julho é adiantado para outono. A pluviosidade média anual na bacia é 1.400 mm. No Território pernambucano, o clima é classificado como subúmido, com curto período chuvoso (outono - inverno, correspondendo aos meses de março a setembro), segundo a classificação de Köppen,  $BShs'$ . As temperaturas são elevadas com média anual de 25o C, e a pluviosidade média anual e de 750 mm.

## Geologia

A Bacia do Rio Paraíba, no Estado de Pernambuco, é caracterizada por rochas do embasamento cristalino, de Idade Pré-Cambriana, compreendendo tanto o Pré-cambriano Superior (Unidade Quartzítica da Região de Garanhuns) como o Pré-cambriano Indiviso (Complexo Migmatítico-Granitóide e Complexo Gnaissico Migmatítico). Os terrenos cristalinos da Bacia do Rio Paraíba em Alagoas, como pertencentes ao Proterozóico Inferior, estando representados pelos Complexos Migmatítico-Granítico e Gnaissico-Migmatítico. Os terrenos sedimentares Terciários estão representados pela Formação Barreiras e os sedimentos Holocênicos incluídos na unidade Quaternária indiferenciado.

## Formas de Relevo

A Bacia do Rio Paraíba tem sua área definida no alto curso por uma superfície aplanada, com relevo ondulado com altitude entre 600 e 800 m. O médio curso caracteriza-se pela presença de formas estruturais e de dissecação homogênea e o baixo curso por uma superfície sedimentar dissecada em interflúvios tubuliformes e colinas.

## Solos

Predominam variada ocorrência de solos com propriedades bastante distintas, destacando-se em termos de extensão, Argissolos, Regossolos, Planossolos, Latossolos Vermelho Amarelo, Solos Aluviais e Gleysolos.

## 2.2 Modelo de Grandes bacias – MGB/IPH

Foi utilizado neste trabalho o modelo de Grandes Bacias - MGB/IPH (Collischonn, 2001) que permite simular o ciclo hidrológico em bacias hidrográficas, onde cada fase está representada pelos os seguintes módulos: balanço de água no solo; evapotranspiração; escoamentos: superficial, sub-superficial e subterrâneo na rede de drenagem (Figura 2). O MGB/IPH foi desenvolvido a partir dos modelos VIC-2L e LARSIM que buscam preencher o espaço intermediário entre os modelos de transformação chuva-vazão, adaptados para pequenas bacias, e os modelos de circulação global, de grande escala. O modelo tem sido usado para previsão hidrológica, o qual possibilita estudo de disponibilidade hídrica, gerenciamento de recursos hídricos e em menor escala, avaliação de impactos de mudança de uso do solo e mudanças climáticas (Collischonn, 2006).

O MGB/IPH possui subdivisões com características hidrológicas diferenciadas da bacia em blocos. Para esta versão atual são denominadas Unidades de Resposta Hidrológica – URH e são unidades representativas do balanço hídrico em diferentes unidades físicas da bacia hidrográfica.

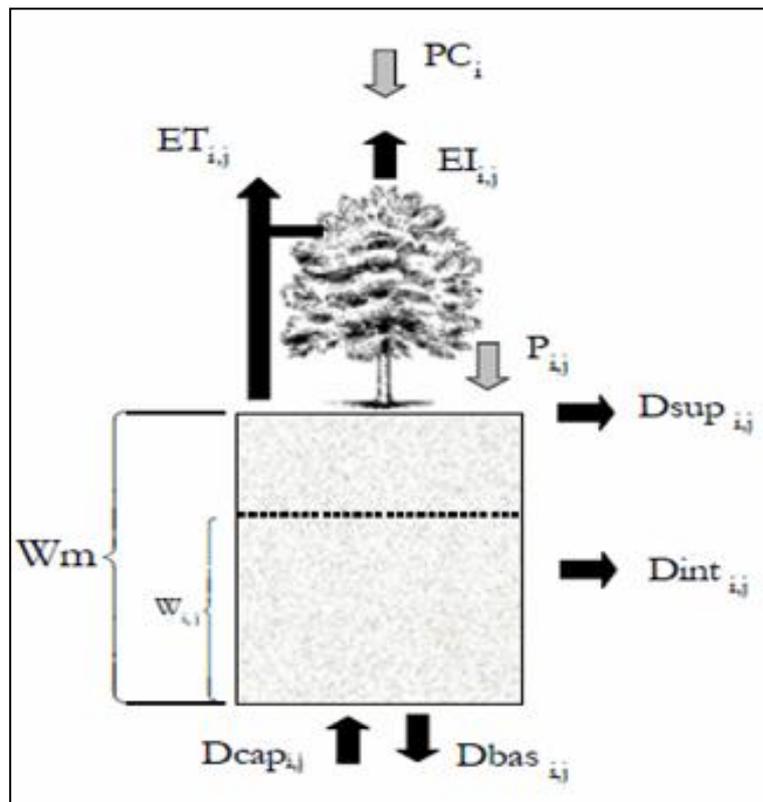


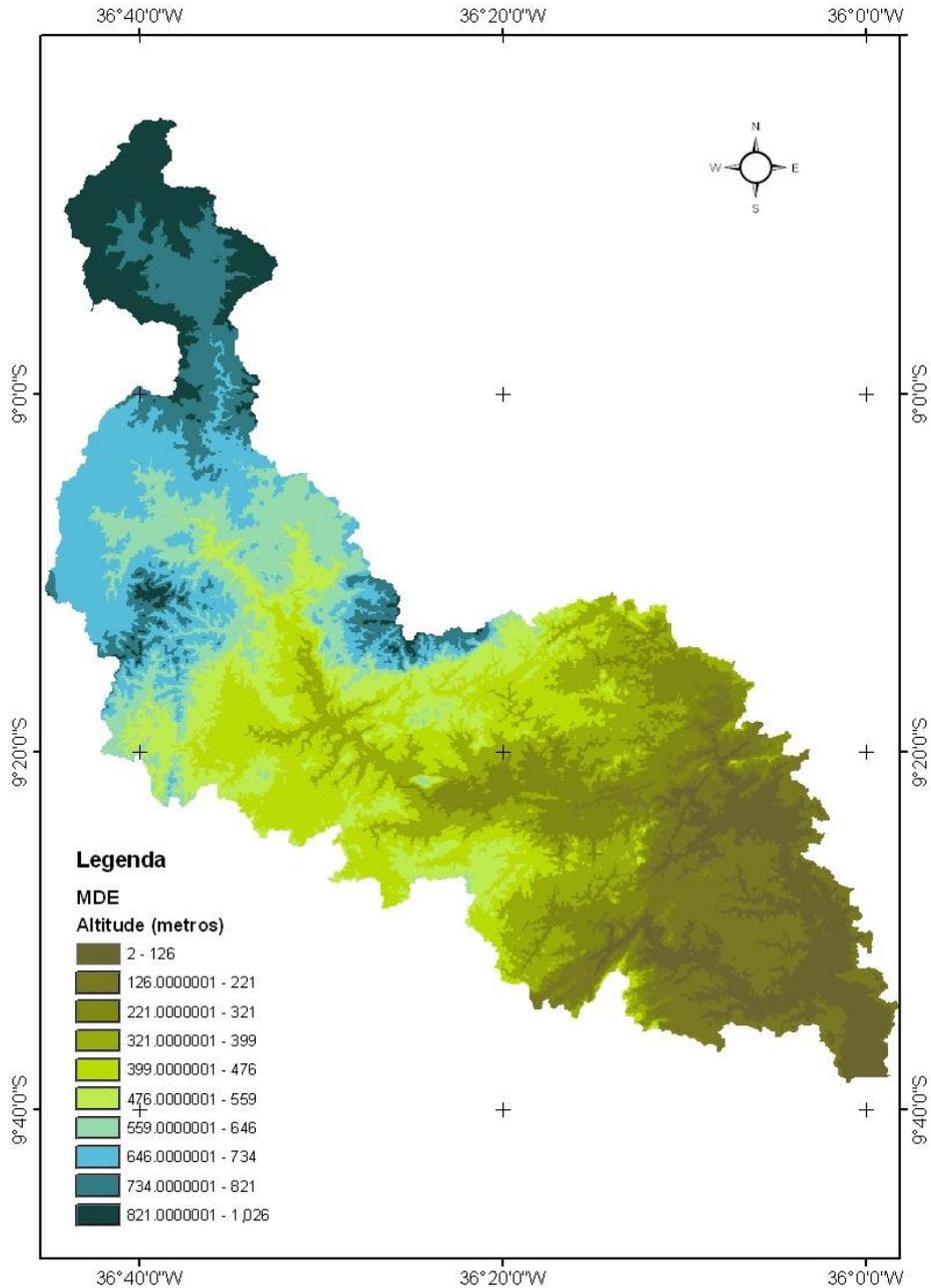
Figura 2 - Balanço hídrico para cada Unidade de Resposta Hidrológica MGB/IPH. Fonte: Paiva (2009) Apud (Collischonn, 2001)

Nesta versão do modelo hidrológico MGB-IPH, a bacia hidrográfica é discretizada em mini-bacias, que, segundo Paiva (2009), o MGB-IPH simula os processos hidrológicos em cada mini-bacia, escoamento gerado em cada uma delas fornece vazões no exutório das mini-bacias e adicionalmente variáveis hidrológicas secundárias como fluxos de energia e evapotranspiração, escoamentos superficial, subsuperficial, subterrâneo, e o armazenamento de água no solo são simulados em cada URH. As URH's são áreas com comportamento hidrológico semelhantes, associados ao tipo e cobertura dos solos similares. As etapas de simulação do ciclo hidrológico (interceptação, evapotranspiração, balanço de água no solo, geração de escoamentos superficial e subsuperficial e percolação ao aquífero) no modelo MGB/IPH estão associada a cada URH's distribuída espacialmente na bacia.

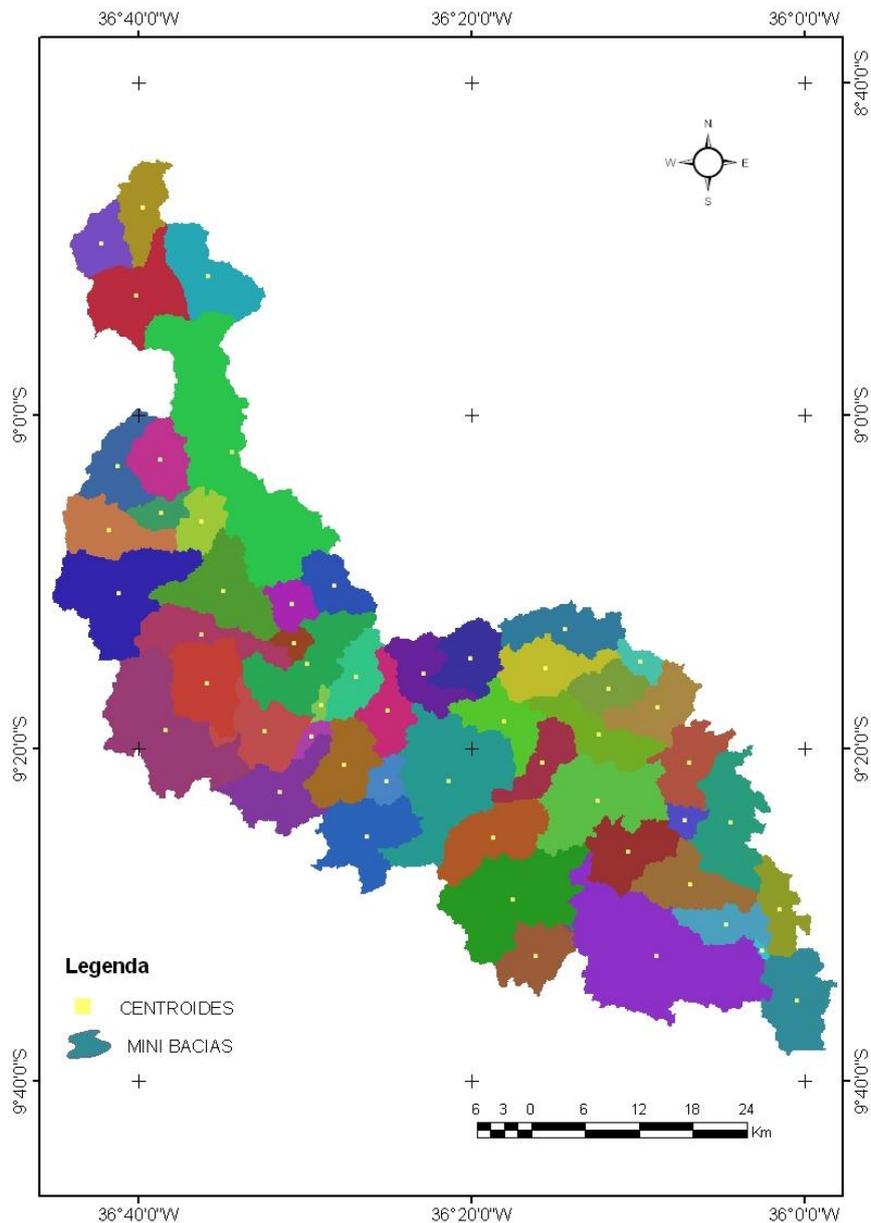
### Discretização da bacia

Foi utilizado o modelo MGB/IPH na versão de mini-bacias que permite discretizar a bacia hidrográfica em bacias menores do tamanho definido a critério do usuário. A discretização foi realizada através de técnicas de geoprocessamento através do software ArcGis versão 9.2, utilizando a extensão

ArcHydro desenvolvido no Centro de Pesquisas em Recursos Hídricos (Center for Research in Water Resources - CRWR) na University of Texas at Austin (EUA). A partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) (Figura 3), disponível pela Embrapa no formato RASTER, foi realizado a discretização da bacia do rio Paraíba do meio, assim como os dados necessários de entrada para a geração do arquivo de entrada do modelo pela ferramenta Prepo\_MGB.mxd (FAN et.al, 2010). Os dados necessários para a geração do arquivo de entrada estão listados na Tabela 1. Após este procedimento a bacia foi discretizada em 53 mini-bacias (Figura 4).



**Figura 3 - Modelo Digital de Elevação (MDE) para a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio**



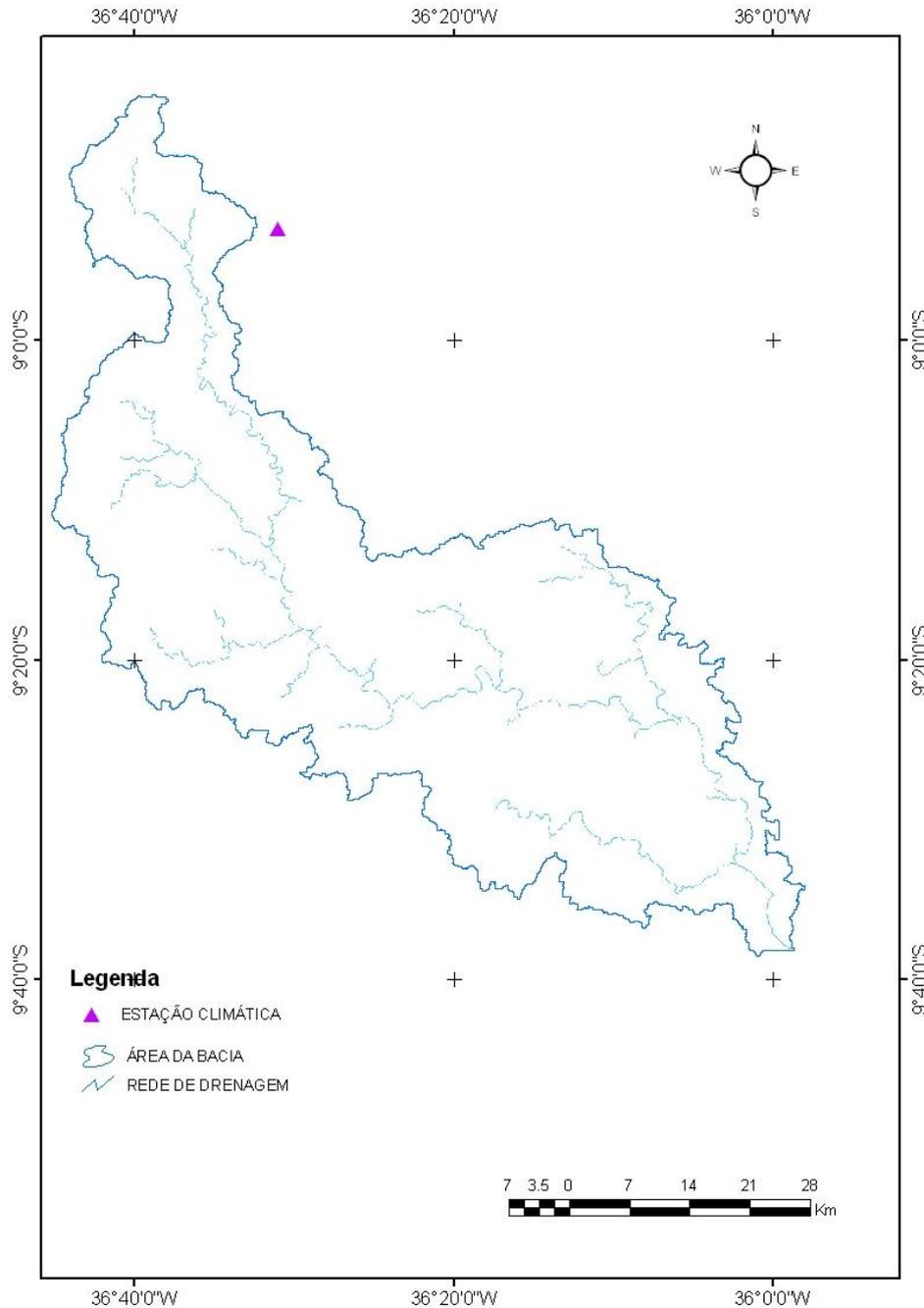
**Figura 4 - Mini-bacias geradas na fase de pré-processamento para a utilização do modelo MGB-IPH**

**Tabela 1 - Dados de entrada necessários para o programa PrePro\_MGB que gera o arquivo de entrada do modelo MGB-IPH .Fonte: Adaptado de (Collischonn, 2009)**

<b>Planos de informação</b>	<b>de</b>	<b>Caráter</b>	<b>Tipo</b>	<b>Possível fonte</b>
Modelo Digital de Elevacao (MDE)		Obrigatório	RASTER	SRTM
Rede de drenagem		Obrigatório	RASTER	Operação ArchHydro
Mini-bacias		Obrigatório	RASTER	Operação ArchHydro
Direções de fluxo		Obrigatório	RASTER	Operação ArchHydro
Unidades de resposta hidrológica ou Bloco	(URH)	Obrigatório	RASTER	Definição de unidades de paisagem

## Dados Climáticos

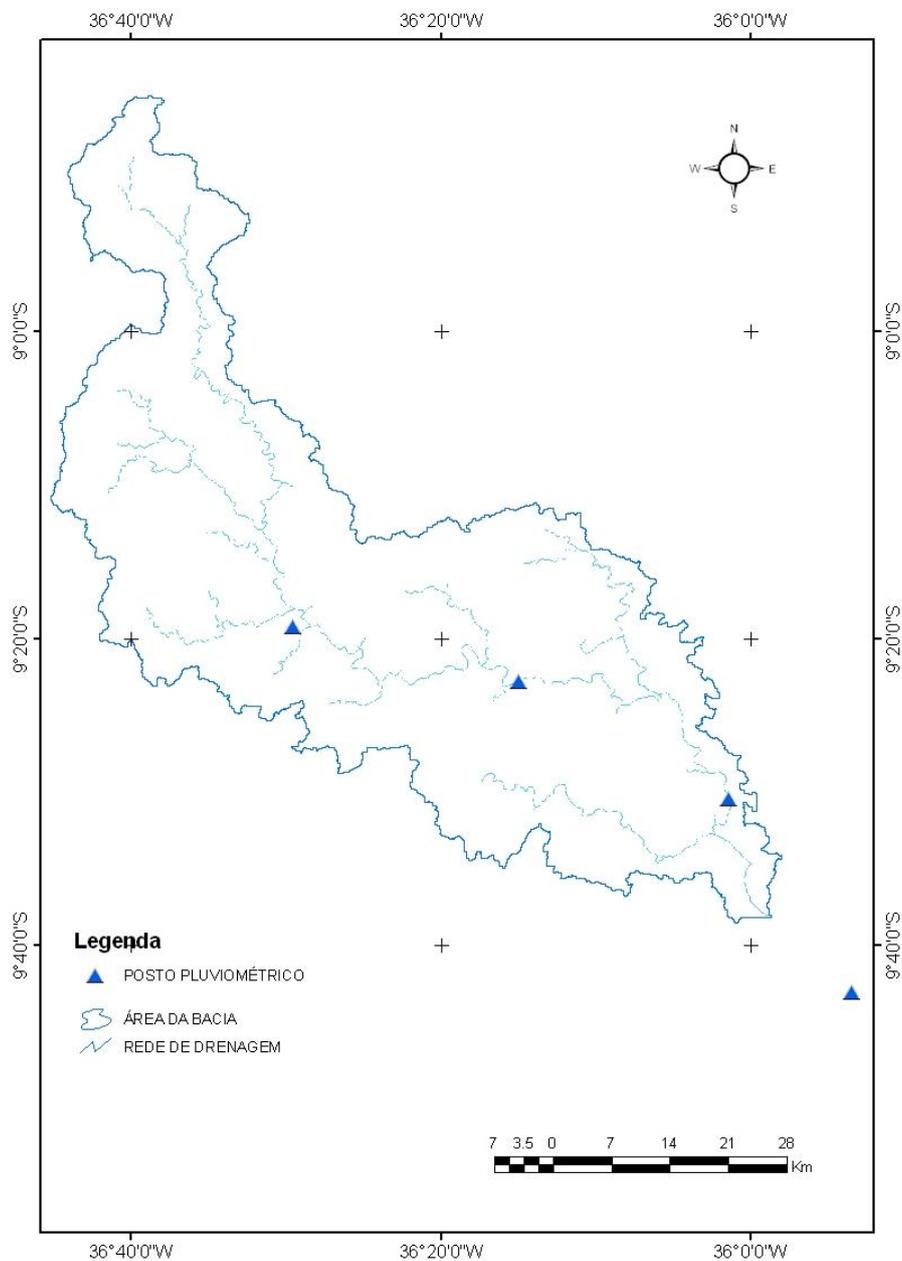
Foram utilizados os dados climáticos das Plataformas de Coleta de Dados (PCD's) provenientes da estação operada pelo INMET em Garanhuns (Figura 5) e dados disponíveis no Sistema de informação da Agência Nacional de Águas (Hidroweb, ANA). Destaca-se que a estação do INMET localizada no município de Garanhuns, mesmo estando fora do perímetro da bacia, está próxima do limite da bacia do rio Paraíba do meio e foi considerada nesta análise, decorrente da carência de registros de séries climatológicas na porção da bacia referente ao Estado de Pernambuco. Os parâmetros climáticos monitorados de entrada para o modelo MGB/IPH são: radiação solar; temperatura; umidade relativa do ar; insolação; velocidade do vento; pressão atmosférica. Estes dados são utilizados pelo modelo para o cálculo de evapotranspiração em cada unidade de resposta hidrológica.



**Figura 5 - Localização do estação climática de Garanhuns**

## Dados de precipitação

Foram utilizados apenas quatro postos pluviométricos (Tabela 2), com anos hidrológicos comuns, localizados na bacia do rio Paraíba do Meio. Estes postos são operados pela CPRM - Companhia de pesquisa de Recursos minerais/Serviço Geológico do Brasil e pela ANA- Agência Nacional de Águas, responsáveis pelas estas estações (Figura 6).



**Figura 6 - Localização dos postos pluviométricos na bacia**

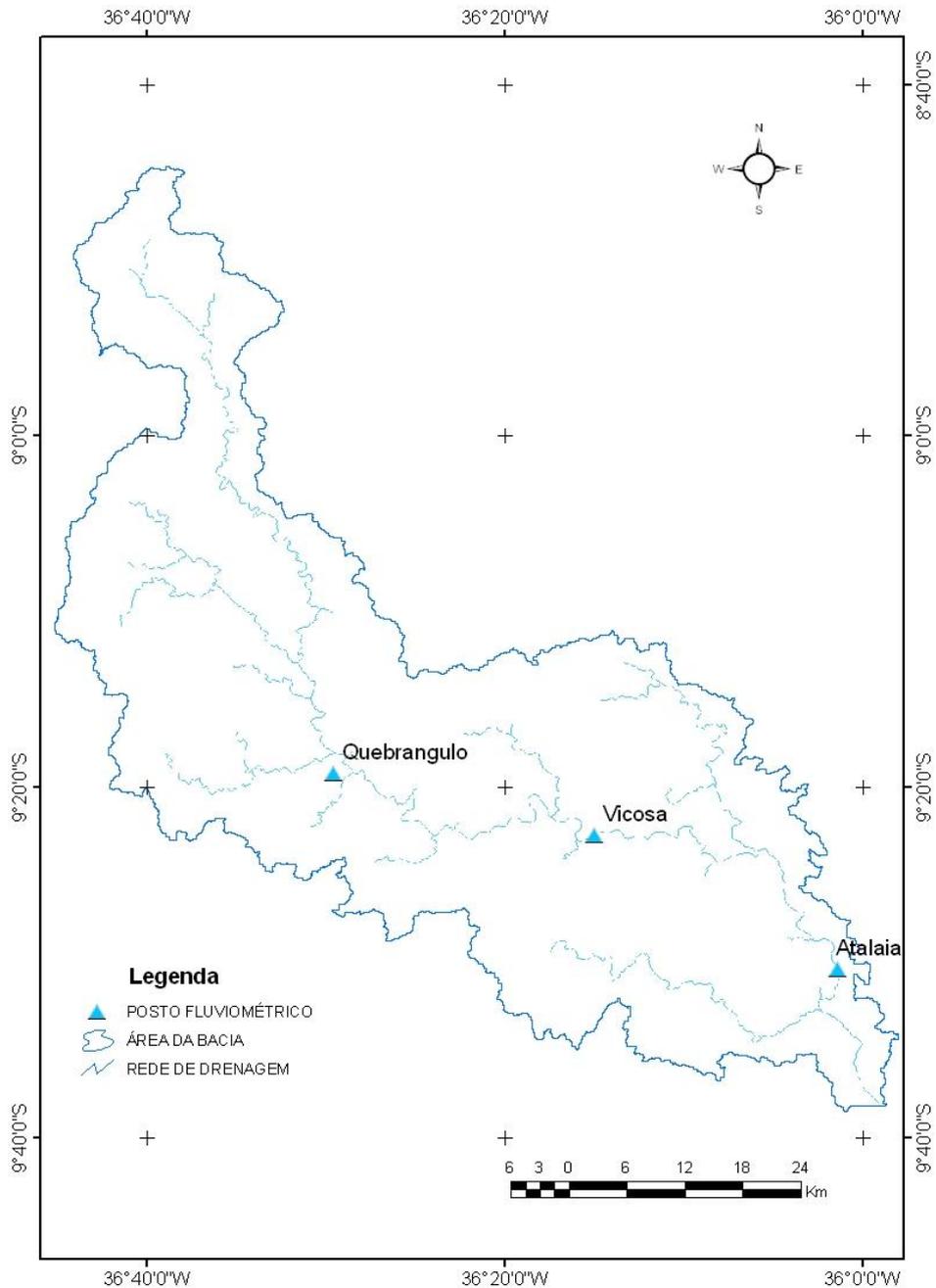
**Tabela 2 - Estações pluviométricas utilizadas no estudo**

Responsável	Operadora	Código	Município
*ANA	**CPRM	00936115	Quebrangulo (AL)
ANA	CPRM	00936111	Viçosa
ANA	CPRM	00936110	Atalaia
ANA	CPRM	00935057	Marechal Deodoro

\*ANA- Agência Nacional de águas, \*\*CPRM – Companhia de pesquisa de Recursos minerais

## Dados de vazão

As séries históricas de vazão estão disponíveis em três postos fluviométricos localizados nos municípios de Atalaia, Viçosa e Quebrangulo (Figura 7). O posto de Atalaia apresentou a maior série histórica em relação aos demais postos, contemplando uma série de 31 anos (Tabela 3). Os postos Viçosa e Quebrangulo apresentaram séries menores, com 20 anos de dados. Os postos com informações de vazão estão situados apenas na porção da bacia referente apenas ao território alagoano. Estes postos são representativos de distintas regiões climáticas com posto de Viçosa e Atalaia na zona da mata alagoana, onde prevalece o clima do tipo As' quente úmido da classificação de Koppen, enquanto que no posto em Quebrangulo predomina outro regime climático do tipo Bshs' tropical quente e seco (período de outono inverno) da mesma classificação climática.



**Figura 7 - Localização do posto de vazão utilizada na modelagem**



características físicas da bacia, tipo de solos (raso ou profundo) e uso e cobertura vegetal referente a cada Unidade de resposta hidrológica (URH) (Figura 9).

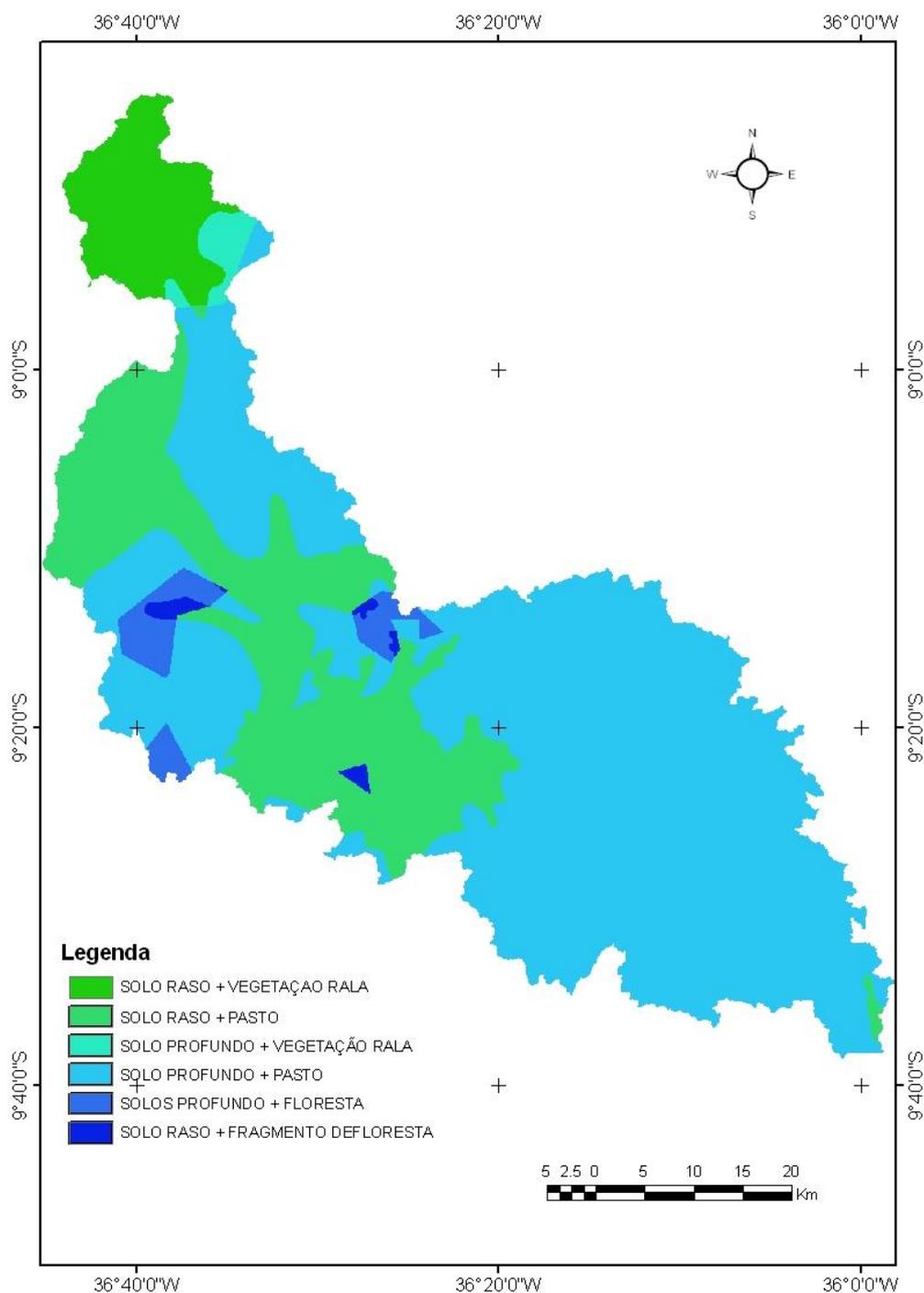


Figura 9 - Mapa das unidades de resposta hidrológica (URH's) utilizado no estudo

### 3. Descobertas e Discussões

#### 3.1 Calibração e validação do MGB-IPH

Após o processo de calibração, os valores dos parâmetros calibrados podem ser observados na Tabela 4 e 5. Os valores dos parâmetros foram diferenciados para os blocos hidrológicos. Outros parâmetros, como os que controlam a evapotranspiração (Albedo, índice de área foliar, altura média das árvores e resistência superficial), denominados parâmetros fixos, foram fixados em valores sugeridos pelo próprio modelo MGB/IPH, variando de acordo com o tipo de solos e cobertura vegetal. Os parâmetros fixos foram considerados diferentemente para cada bloco.

**Tabela 4 - Valores calibrados dos parâmetros nos blocos/URH**

BLOCOS		Wm	B	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
SOLO RASO + VEGETAÇÃO DISPERSA	1	600	0.10	0.1	10	0.08	0	1.70
SOLO RASO + PASTO	2	550	0.20	0.1	10	0.16	0	0.60
SOLO PROFUNDO + VEGETAÇÃO DISPERSA	3	590	0.10	0.1	10	0.10	0	0.62
SOLO PROFUNDO + PASTO	4	2000	0.12	0.1	40	0.70	0	0.80
SOLO PROFUNDO + FLORESTA	5	2000	0.12	0.05	50	0.10	0	2.0
SOLORASO + FLORESTA	6	200	0.12	0.07	12	0.18	0	0.5

O parâmetro Wm, que representa o armazenamento máximo no solo, recebeu maior valor de 2000 mm no bloco 4 e 5 (Solo profundo c/ pasto e Solo profundo c/ floresta), e de 600 mm no bloco 1 (Raso/vegetação rala). Os parâmetros CS, CI e Cb foram estabelecidos na fase final ajudando no ajuste das vazões calculadas na calibração e alcançaram os valores expostos na tabela 5, esse foi o parâmetro principal par ajuste, e foi iniciado de acordo de resultados de calibração aplicação do MGB em outras bacias como, por exemplo, bacias do rio Taquari, São Francisco e Uruguai.

**Tabela 5 – Valores calibrados dos parâmetros de propagação**

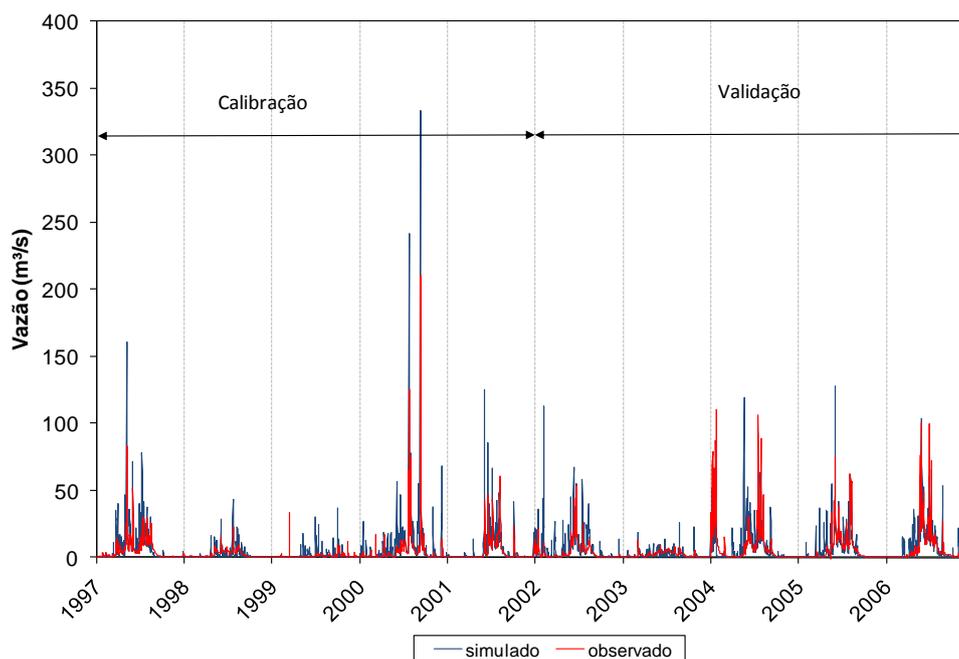
Blocos	CS	CI	CB	QB_M3/SKM2
Todos	12.5	50	3200	0

As correlações com as vazões observadas para calibração e validação do modelo estão apresentadas na tabela 6. Os valores obtidos das correlações entre os dados de vazões calculadas e observadas foram melhores no período de calibração do modelo. As correlações para os postos Quebrangulo, Viçosa e Atalaia no período de calibração foram de 0,89, 0,84 e 0,85, respectivamente. De acordo com tabela 6 pode observar queda nas correlações para os coeficientes Pearson no período de validação em relação ao período de calibração, onde o maior valor alcançado foi para o posto Viçosa (0,78), e os demais diminuíram a correlação para 0,73 e 0,76 no postos de Quebrangulo e Atalaia, respectivamente.

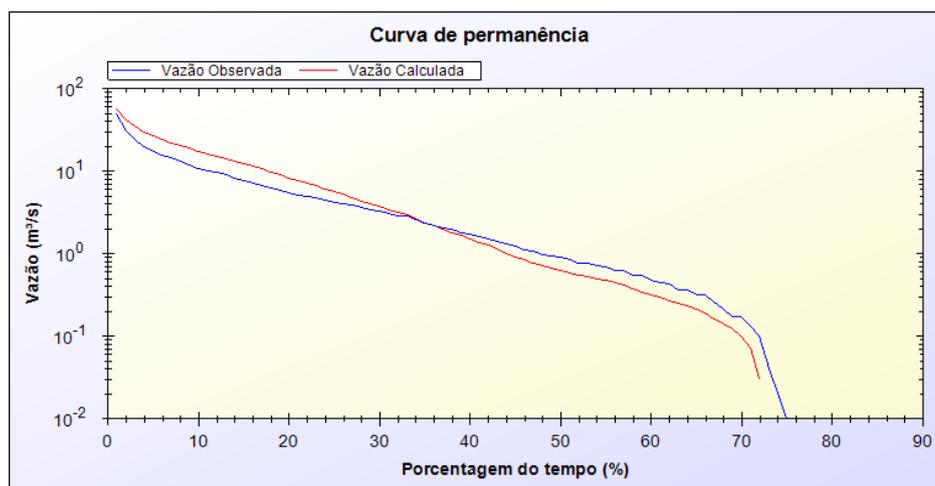
**Tabela 6 - Correlações entre a vazão observada e calculada no período de calibração e validação do modelo.**

Postos de Vazão	Local	Coeficiente de Pearson (R)	
		Calibração (1997-2001)	Validação (2002-2006)
39850000	Quebrangulo	0,89	0,73
39870000	Viçosa	0,84	0,78
39890000	Atalaia	0,85	0,76

A comparação das séries temporais de vazões nos postos fluviométricos, nos períodos de calibração e validação do modelo, pode ser observada nas Figuras 10, 11 e 12. De maneira geral o modelo representou adequadamente a variabilidade das vazões (ascensões e recessões do hidrograma) nos períodos de calibração e validação para o posto Quebrangulo (Figura 10a). As vazões máximas calculadas (com permanência no tempo entre 0% e 35%) no período de calibração e validação foram superestimadas, em geral. Esta diferença pode ser vista nos picos de vazões calculados e observados para os anos de 2001 e 2002, por exemplo, ou na curva de permanência do posto (Figura 10b). As mínimas estimadas pelo modelo também foram menores do que as vazões mínimas observadas (Figura 10b). O modelo representou razoavelmente o período seco de vazões entre os anos de 1997 e 1998, no período de calibração. As mínimas também foram representadas significativamente entre final de 2004 e 2005, período de validação. Os valores da  $Q_{50}$  que representa a mediana das vazões calculada pelo modelo foram de  $0,61 \text{ m}^3/\text{s}$  e a observada  $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$ .



(a)

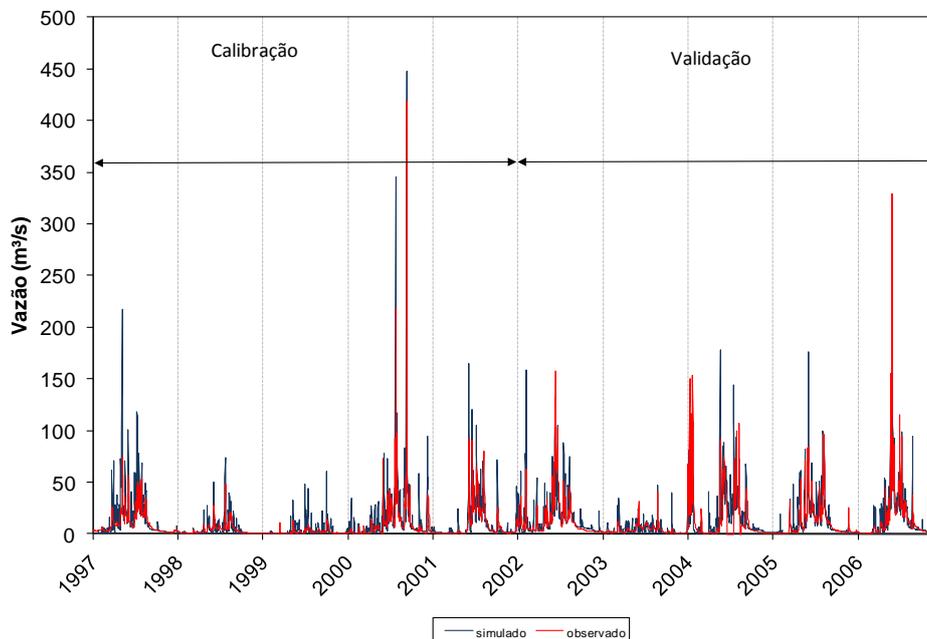


(b)

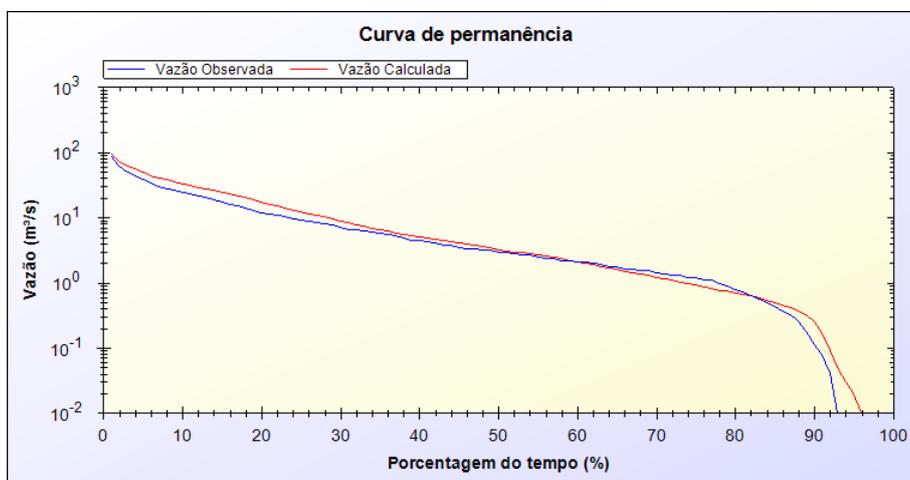
**Figura 10 – (a) Hidrograma do posto Quebrangulo 39850000, (b) Curva de Permanência calculada e observada posto 39850000 Quebrangulo**

Quanto ao posto Viçosa, de maneira geral o modelo mostra tendências em superestimar as vazões máximas para os dois períodos e representaram bem as vazões extremas, principalmente no ano

2000 (Figura 11a), no período de calibração e validação as vazões mínimas ajustam-se adequadamente as observadas praticamente em todo o período modelado, a mediana das vazões,  $Q_{50}$  calculada com  $3,21\text{m}^3/\text{s}$  enquanto que a observada foi de  $2,95\text{m}^3/\text{s}$ . A  $Q_{90}$  foi obtido 0,25 para a calculada e a observada  $0,11\text{m}^3/\text{s}$ . Essa diferença mostra que na maioria do tempo a curva de permanência calculada pelo modelo superestimou as freqüências das vazões mínimas. Foram superestimadas na maioria do tempo de freqüência, as vazões calculadas pelo modelo, em aproximadamente 60% do tempo. Há significativa representatividade do modelo quanto à variabilidade (recessão e ascensão) entre os hidrogramas calculados e observados.



(a)

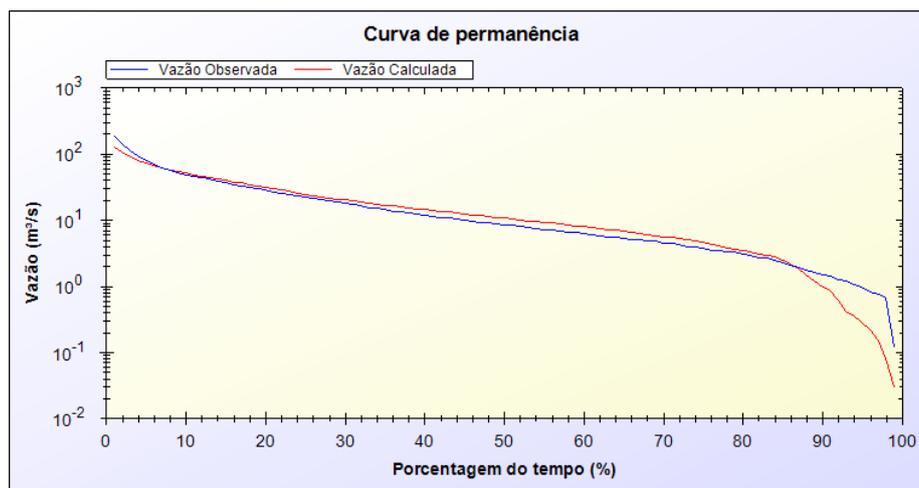
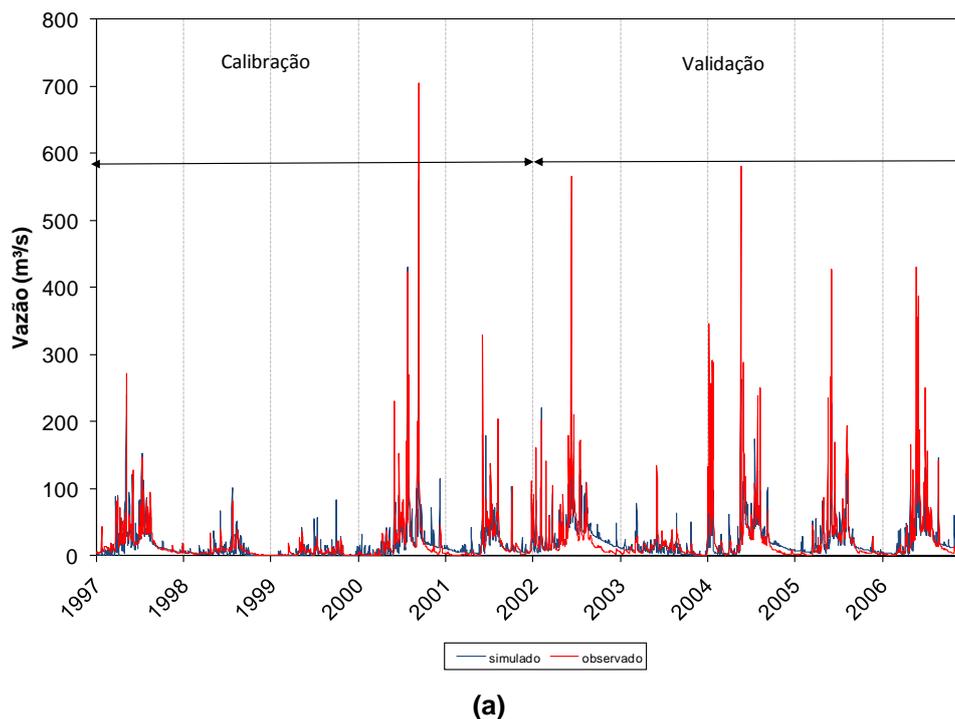


(b)

**Figura 11 – (a) Hidrograma do posto Viçosa, (b) Curva de Permanência calculada e observada posto 39890000 Viçosa.**

No posto Atalaia percebe-se no hidrograma (Figura 12a) que a modelagem subestimou as vazões de pico, em 9 aos 86% do tempo de freqüência das vazões da curva de permanência calculada pelo modelo (Figura 12b). As vazões mínimas calculadas no período de calibração foram muito bem ajustadas com as observadas, exceção no final do ano 2000 e início de 2001 períodos em que as mínimas foram superestimadas. Entre 50 a 87% do tempo, as mínimas foram subestimadas pelo modelo, e entre 88 a 100% subestimadas. A  $Q_{50}$  foi subestimada obtendo o valor de  $10,59\text{m}^3/\text{s}$  para a calculada, enquanto que a curva de permanência observada obteve  $8,44\text{m}^3/\text{s}$  e a  $Q_{90}$  comportamento inverso, a calculada foi subestimada em  $0,97\text{m}^3/\text{s}$  e a observada com valor de  $1,44\text{m}^3/\text{s}$  igualada ou superada em 90% das vazões (Figura 12b). O modelo na calibração representou bem as ascensões e recessões do hidrograma e de forma geral as vazões máximas (Figura 12a). No período de validação superestimou as vazões mínimas

dificultando a representatividade da recessão do hidrograma, isto é evidente no final do ano 2002, 2004 e 2006 (Figura 12a).



**Figura 12 – (a) Hidrograma do posto Atalaia 3987000, (b) Curva de Permanência calculada e observada posto 39890000 Atalaia**

Quanto à calibração e validação, a carência dos dados distribuídos espacialmente e séries temporais dos dados hidrológicos e climáticos na bacia do rio Paraíba do Meio, pode ter dificultado e limitado a calibração manual do modelo MGB/IPH. Dos quatro postos de precipitação utilizados na modelagem, três estavam localizados da porção média e baixa da bacia. Um dos postos estava localizado fora da bacia, no município de Marechal Deodoro. Os postos de vazões observadas também estão situados na porção média e baixa da bacia, o que limitou a calibração das vazões na parte alta da bacia. A bacia não possui estação meteorológica e apenas uma estação situada fora dos limites da bacia, próxima a cabeceira (Garanhuns, INMET), cujos dados não possuíam valores de medições de ventos. Além do mais, esta série climatológica não estava compatível com as séries hidrológica (chuva e vazão). Estes dados de clima são importantes para o cálculo de evapotranspiração para toda bacia, lembrando que esta bacia está entre dois regimes climáticos (Zona da mata e semi-árido nordestino). Para tanto seria conveniente pelo menos dois postos climáticos que representassem os dois tipos de clima na bacia. Outro fator que pode ter limitado a calibração foi o curto período das séries temporais disponíveis para os postos existentes. O período comum

disponível dos dados hidrológicos (i.e. precipitação e vazão) utilizado na calibração foi apenas de cinco anos e outros cinco para a validação.

Diante das dificuldades encontradas na modelagem pode ser sugerido um maior monitoramento dos dados climáticos e hidrológicos na bacia com a finalidade de representar o comportamento espacial hidrológico para toda a bacia hidrográfica e favorecer a calibração e validação dos modelos hidrológicos aplicados na bacia do rio Paraíba do Meio.

Os mapas de solos e uso e cobertura vegetal utilizados na modelagem são mapas com grandes classes e generalizações das informações da bacia, quanto ao uso e tipos de solos. Desta forma um melhor detalhamento destas informações dos mapas poderia refletir em um melhor ajuste do modelo MGB/IPH. Sendo assim, a aquisição de mapa de solos da bacia com mais detalhes, e elaboração do mapa de uso e cobertura vegetal a partir de classificações de imagens orbitais com melhor resolução espacial e escala, poderia contribuir com maior representatividade das dimensões espaciais nas URH's\Blocos da Bacia do rio Paraíba do Meio (AL/PE). e validação dos mapas através do reconhecimento da área de estudo.

Outra recomendação para melhorar o ajuste do modelo seria realizar medições de campos através de experimentos para estimativa in loco dos parâmetros do modelo tais como, absorção do solo, porosidade, saturação entre outros parâmetros calibráveis. Vale ressaltar que as definições iniciais dos parâmetros calibravam utilizadas na modelagem foi baseado na literatura disponível no próprio modelo MGB/IPH.

As correlações obtidas na fase de calibração e validação foram razoáveis, entre os dados de vazões calculados pelo modelo e os observados. Apenas o posto Quebrangulo, localizado na porção da bacia do semi-árido teve menores correlações entre os três postos simulados. Collischonn (2005) obteve coeficientes de correlação na fase de calibração do modelo MGB/IPH para os postos de Vazão Caru no rio Canoas, posto Barra do Chapecó, no rio Chapecó e posto Passo Rio da Várzea no rio Da Várzea, todos esses postos inseridos na bacia do rio Uruguai e foram alcançados respectivamente 0,78, 0,87 e 0,87 de correlação entre os dados calculados e observados, em geral, R estão próximo dos alcançados neste estudo na fase de calibração, onde houve semelhança quanto à carência dos postos de chuva distribuídos espacialmente na bacia do rio Uruguai. Diferentemente, Collischonn (2006) ao aplicar o MGB/IPH na bacia do rio São Francisco da cabeceira a UHE Três Marias, obteve coeficiente de avaliação de correlação, o R na fase de calibração, nos postos de vazão: Andorinha (0,97), Velho da Taipa (0,92) e ponte da Taquara (0,92), Vale destacar que foram utilizados sete postos pluviométricos distribuído para toda a bacia. Diferente da malha de postos disponível neste estudo, e que mesmo com essa deficiência de dados, obteve correlação R não muito distante dos obtidos na fase de calibração alcançada na aplicação do MGB/IPH em outras bacias. Isto mostra que mesmo havendo limitação dos dados hidrológico e climáticos utilizados na modelagem por meio do modelo MGB/IPH, foram alcançadas razoáveis correlações.

#### 4. Conclusões

Os resultados mostram que foi possível, mesmo com carência de dados de chuva para toda a bacia, poder reproduzir satisfatoriamente os hidrogramas utilizando modelagem hidrológica desenvolvida na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio. As correlações entre os hidrogramas observados e calculados foram razoáveis o torna viável a utilização do modelo MGB/IPH para outros propósitos na bacia (i.e. avaliação de cenários de cheias, mudanças climáticas). E torna a sua utilização como ferramenta de auxílio para o gerenciamento dos recursos hídricos na bacia, melhoria das informações para a tomada de decisão quanto à outorga do uso da água, alerta de inundações ribeirinhas, impactos da mudança no uso do solo na bacia, e principalmente a associação com modelos meteorológicos para previsões de vazões, tornando uma tecnologia auxiliadora no sistema de alerta de enchentes da defesa civil dos Estados de Alagoas e de Pernambuco.

#### Referências

- ALAGOAS. 1997. **Plano Diretor de Recursos Hídricos das Bacias dos rios Paraíba, Sumaúma e Remédios**. Documento.
- REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. 2003. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Editora Rima 2003.

TUCCI, C. E. M. 1998. **Modelos hidrológicos**. ABRH Editora da UFRGS. Porto Alegre.

NASCIMENTO, F. R; SAMPAIO, J. L. F. 2010. **Geografia Física, Geossistemas e Estudos Integrados da Paisagem**. *Revista da Casa de Geografia de Sobral*. Sobral, v. 6/7, n. 1, p. 167-179, 2004/2005. Disponível em: < <http://dialnet.unirioja.es>>. Acesso em: Set/2010.

MASCARENHAS, J, C. BELTRÃO, B, A. SOUZA JUNIOR, L, C. GALVÃO, M, Julio, T. G. PEREIRA, SIMEONES, N, P. FORTUNATO J, L. 2005. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: Diagnóstico do município de Bom Conselho, Estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/PRODEEM.

MASCARENHAS, J, C, BELTRÃO, B, A. SOUZA JUNIOR, L, C. 2005b. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: Diagnóstico do município de Pilar, Estado de Alagoas**. Recife: CPRM/PRODEEM.

COLLISCHONN, W. 2001. **Simulação hidrológica de grandes bacias**. Tese de D.Sc. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. 93p.

COLLISCHONN, B. 2006. **Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído**. Dissertação de Ms. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. 01p. 2006.

COLLISCHONN, W. TUCCI C. E. M. 2005. Previsão Sazonal de Vazão na Bacia do Rio Uruguai 1: Ajuste e Verificação do Modelo Hidrológico Distribuído. **Revista Brasileira de recursos Hídricos**, ABRH.

PAIVA, R. C. D. 2009. **Modelagem Hidrológica e Hidrodinâmica de grandes bacias. Estudo de caso: bacia do rio Solimões**. Universidade Federal do rio Grande do Sul- Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Dissertação de Ms. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. 85 p.

FAN, F, M. BUARQUE, D, C. COLLISHONN, W. 2010. **Manual do Prepro\_Mgb para aplicação do modelo MGB-IPH versão 1.2 janeiro de 2010**. Projeto Integrado de Cooperação Amazônica e de Modernização do Monitoramento Hidrológico. Disponível em: <<http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/>>. Acesso em: Abril/2010.

SILVA, B. C.; COLLISCHONN, W. ; TUCCI, C. E. M. 2004. Simulação da bacia do rio São Francisco através do modelo hidrológico MGB-IPH. In: **Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, 2004, São Luís MA. Anais do Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2004.