

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL
CENTRO DE TECNOLOGIA - CTEC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E
SANEAMENTO/PPGRHS**

MARCIAL DE ARAÚJO LIMA SOBRINHO

**AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA DISPONIBILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL
DOS DADOS HIDROLÓGICOS SOBRE A CALIBRAÇÃO DE UM MODELO
DISTRIBUÍDO NA BACIA DO RIO IPANEMA**

**MACEIÓ
2012**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL
CENTRO DE TECNOLOGIA - CTEC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E
SANEAMENTO/PPGRHS**

MARCIAL DE ARAÚJO LIMA SOBRINHO

**AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA DISPONIBILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL
DOS DADOS HIDROLÓGICOS SOBRE A CALIBRAÇÃO DE UM MODELO
DISTRIBUÍDO NA BACIA DO RIO IPANEMA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Vladimir Caramori
Borges de Souza

**MACEIÓ
2012**

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Fabiana Camargo dos Santos

- L732a Lima Sobrinho, Marcial de Araujo.
 Avaliação dos efeitos da disponibilidade espacial e temporal dos dados
 hidrológicos sobre a calibração de um modelo distribuído na bacia do rio Ipanema /
 Marcial de Araujo Lima Sobrinho. – 2012.
 113 f. : il.
- Orientador: Vladimir Caramori Borges de Souza.
Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade
Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2012.
- Bibliografia: f. 103-108.
Apêndices: f. 109-113.
1. MGB-IBH. 2. Grandes bacias hidrográficas. 3. Semiárido. 4. Calibração –
Modelo hidrológico. I. Título.

CDU: 624:556.51



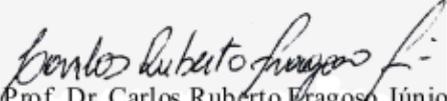
**AValiação DOS EFEITOS DA DISPONIBILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL
DOS DADOS HIDROLÓGICOS SOBRE A CALIBRAÇÃO DE UM MODELO
DISTRIBUÍDO NA BACIA DO RIO IPANEMA**

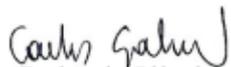
MARCIAL DE ARAÚJOLIMA SOBRINHO

Dissertação submetida à banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas e aprovada no dia 26 de outubro do ano de 2012.

Banca Examinadora:


Prof. Dr. Vladimir Caramori Borges de Souza
(Orientador/PPGRHS/UFAL)


Prof. Dr. Carlos Roberto Fragoso Júnior
(PPGRHS/UFAL)


Prof. Dr. Carlos de Oliveira Galvão
(UFCG)

Dedico a minha esposa, companheira e amiga D. Maria por ter “aguentado” tanto esse menino amarelo e ao velho “ZÉ”, meu pai, cujos passos cessaram no caminho em uma manhã de sábado, no início de dezembro do ano de 2010.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus colegas de trabalho da Coordenação de Estradas e Urbanização do Instituto Federal de Educação do Estado de Alagoas pela oportunidade e incentivo.

Agradeço aos meus colegas da turma de 2008. Ana Maria Camelo Travassos de Arruda, Antônio Vieira Batista de Nazaré, Francisco José Albuquerque Marques, João Paulo Ajala Sorgato, Keila Adiene Guimarães Gomes, Marcus Patrick Batista Accioly, Ricardo Ítalo Guimarães Souza, Vera Núbia Carvalho de Farias e Victor Cantalice de Souza pelos bons momentos juntos.

Agradeço aos meus professores Cleuda Custódio Freire, Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira, Nelia Henriques Callado, Roberaldo Carvalho de Souza, Rosangela Sampaio Reis, Selêude Wanderley da Nóbrega, Valmir de Albuquerque Pedrosa e Vladimir Caramori Borges de Souza pelo esforço em transmitir o conhecimento.

Agradeço aos técnicos administrativos, laboratoristas e demais colegas de outras turmas que em conjunto desenvolveram nossos trabalhos de campo, em especial à Geiza Thamirys por sua dedicação e carinho.

Agradeço ao INMET /ANA que gentilmente cederam os dados para a realização deste trabalho.

Agradecimento especial ao meu orientador Prof. Dr. Vladimir Caramori Borges de Souza e aos sempre presentes Prof^ª. Dr^ª. Cleuda Custódio Freire e Prof. Dr. Ruberto Fragoso Júnior pela paciência e respeito.

Ao PPGRHS pela oportunidade.

RESUMO

O desenvolvimento de modelos para simulação e previsão dos efeitos provenientes do binômio chuva-vazão, vem sendo aprimorado pela comunidade científica e utilizado como ferramenta confiável de custo operacional baixo quando comparado com outras tecnologias disponíveis. As diversas aplicações dos modelos e suas indicações para regiões específicas com “parâmetros” de uso, focados à área em estudo, aproximam de forma aceitável o modelo, do comportamento natural da bacia e servem como ponto de partida no estudo de bacias com condições semelhantes. Os estudos envolvendo modelos matemáticos aplicados a hidrologia no Brasil têm focado sua atenção em bacias, reservatórios e rios nas regiões sul e sudeste do país, no semiárido nordestino, devido em parte pela quantidade, distribuição espacial e qualidade dos dados necessários ao trabalho com modelos essa gama de estudo é bastante reduzida. O desafio deste estudo remonta a aquisição e formatação dos dados de entrada para aplicação “calibração” e determinação dos parâmetros que torne a aplicação do modelo de grandes bacias MGB-IPH no semiárido nordestino viável, especificamente quando utilizado na bacia do rio Ipanema. O estudo utilizou o modelo distribuído de grandes bacias MGB-IPH, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas IPH do Rio Grande do Sul. O modelo MGB-IPH apresenta interface que reúne informações geográficas, climatológicas, solo, vegetação, chuva e vazão, bem como parâmetros de calibração fixos e variáveis. As rotinas simulam os processos hidrológicos de balanço de água no solo nas minibacias, os escoamentos, o volume percolado, o fluxo ascendente, a evapotranspiração e na propagação dos volumes das minibacias. Na bacia do rio Ipanema utilizou-se das imagens de satélite da região, oriundas do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM / NASA) com o modelo digital de elevação MDE, obtendo então o perfil topográfico necessário para a definição do modelo numérico do terreno MDE, em conjunto com os dados fluviométricos, pluviométricos e climatológicos das séries históricas no período entre 1977 a 2008. Na calibração dos parâmetros para o MGB-IPH, os valores estatísticos alcançados de Nash 0,405 e Person 0,68 demonstram que os dados da bacia mostraram-se insuficientes para a definição dos valores de calibração no modelo isso ocorre em função da extensa área sem cobertura de postos para uma grande variabilidade espacial e temporal dos processos hidrológicos, o que influencia também nas análises hidrológicas da região. O incremento de volume das vazões nos dados calculados foi fruto principalmente dos picos simulados de forma errônea pelo modelo, gerando assim falsos volumes escoados. Tais inconsistências são fruto dos grandes vazios geográficos na bacia, produzidos pela falta de postos coletores dos dados fluviométricos, pluviométricos e climatológicos mantidos pelos órgãos oficiais, em destaque pode-se indicar a região noroeste da bacia do rio Ipanema.

Palavras-chave: MGB-IBH. Grandes bacias hidrográficas. Semiárido. Calibração – Modelo hidrológico.

ABSTRACT

The development of models for simulating and predicting the effects from the binomial rainfall-runoff has been improved by the scientific community and used as a reliable tool for operating cost low compared to other available technologies. The various applications of the models and their indications for specific regions with parameters of use, focused on the study area, close acceptably model, the natural behavior of the basin and serve as a starting point in the study of basins with similar conditions. Studies involving mathematical models applied hydrology in Brazil have focused their attention on watersheds, reservoirs and rivers in the south and southeast of the country, in the semiarid northeast, due in part by the amount, spatial distribution and quality of data needed to work with models that range of study is fairly small. The challenge of this study dates back to the acquisition and formatting of input data for application calibration and determining the factors that make the application of the model for large basins MGB-IPH feasible in the semiarid northeast, specifically when used in the river basin Ipanema. The study used a distributed model of large basins MGB-IPH; developed by the Institute of Hydraulic Research IPH Rio Grande do Sul. The MGB-IPH model presents interface that gathers information geographical, climatic, soil, vegetation, rainfall and runoff, as well as Fixed calibration parameters and variables. The routines simulate the hydrological processes of soil water balance in small basins, runoff, leachate volume, the upward flow, evapotranspiration and propagation of the small basins volumes. In Ipanema River basin was used satellite images of the region, derived from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM / NASA) with the digital elevation model DEM, then getting the topographic profile necessary for defining the digital terrain model MDE, together with data fluviometric, rainfall and climatological time series of the period between 1977 to 2008. In the calibration of the parameters for the MGB-IPH, the values achieved statistical Nash 0.405 and 0.68 Person data show that the basin proved insufficient to define the calibration values in the model this occurs due to the large area without coverage posts for a large spatial and temporal variability of hydrological processes, which also influences the hydrological analysis of the region. The increase in volume of flow data calculated was mainly the result of the simulated peaks erroneously by the model, thus creating false volumes disposed. Such inconsistencies are the result of large voids in the geographical basin, produced by a lack of jobs data collectors fluviometric, rainfall and climatological maintained by official organizations, highlighted may indicate the North West River Basin Ipanema.

Key-word: MGB-IBH. Large river basins. Semiarid. Calibration - Hydrological Model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Etapas de aplicação do MGB-IPH à bacia do rio Ipanema (a informação entre parênteses se refere ao nome do arquivo gerado).....	39
Figura 2- Localização da bacia do rio Ipanema.....	40
Figura 3- Imagem bruta SRTM 90m.....	48
Figura 4- Imagem da bacia do rio Ipanema delimitada.....	48
Figura 5- Bacia do rio Ipanema direções de fluxo.....	49
Figura 6- Bacia do rio Ipanema rede de drenagem.....	49
Figura 7- Minibacias da Bacia do rio Ipanema (CatIpanema.rst).....	50
Figura 8- Mapa de solos da bacia do rio São Francisco.....	51
Figura 9- Mapa de solos da bacia do rio Ipanema.....	52
Figura 10- Solos rasos e profundos da bacia do rio Ipanema.....	52
Figura 11- Mapa de vegetação da bacia do rio São Francisco.....	53
Figura 12- Mapa de vegetação da bacia do rio Ipanema.....	54
Figura 13- Mapa reclassificado de vegetação da bacia do rio Ipanema.....	55
Figura 14- Blocos formados pela vegetação e solos.....	56
Figura 15- Centróides da bacia do rio Ipanema.....	58
Figura 16- Interface Blocos do MGB-IPH.....	59
Figura 17- Postos fluviométricos.....	60
Figura 18- Disponibilidade temporal dos postos fluviométricos.....	60
Figura 19- Entrada de dados dos postos de vazão no MGB-IPH.....	61
Figura 20- Postos pluviométricos.....	63
Figura 21- Disponibilidade temporal dos postos pluviométricos.....	63
Figura 22- Entrada de dados da precipitação no MGB-IPH.....	64
Figura 23- Interface dos dados de clima no MGB-IPH.....	65
Figura 24- Postos clima.....	66
Figura 25- Interface dos parâmetros fixos no MGB-IPH.....	67
Figura 26- Parâmetros da calibração automática.....	69
Figura 27- Projeto no MapWindow da bacia do rio Ipanema.....	70
Figura 28- Simulando o projeto da bacia do rio Ipanema.....	71
Figura 29- Hidrogramas resultantes da primeira simulação.....	72
Figura 30- Postos pluviométricos, fluviométricos e climatológicos do cenário 1.....	78
Figura 31- Hidrograma observado x calcula do posto 49480000 do cenário 1.....	79
Figura 32- Curva de permanência do posto 49480000 do cenário 1.....	80
Figura 33- Relação entre a vazão observada e a calculada 49480000 do cenário 1.....	80
Figura 34- Hidrograma observado x calcula do posto 49490000 do cenário 1.....	81
Figura 35- Curva de permanência do posto 49490000 do cenário 1.....	81
Figura 36- Relação entre a vazão observada e a calculada 49490000 do cenário 1.....	82
Figura 37- Pluviométricos selecionados do cenário 2.....	83
Figura 38- Hidrograma observado x calcula do posto 49490000 do cenário 2.....	84
Figura 39- Curva de permanência do posto 49490000 do cenário 2.....	84
Figura 40- Relação entre a vazão observada e a calculada 49490000 do cenário 2.....	85
Figura 41- Postos climatológicos do cenário 3.....	87
Figura 42- Minibacias representadas por seus centróides no do cenário 3.....	88
Figura 43- Hidrograma observado x calculado do cenário 3.....	89
Figura 44- Curva de permanência do cenário 3.....	89

Figura 45- Relação entre a vazão observada e a calculada 49490000 do cenário 3	90
Figura 46- Hidrograma observado x calculado do cenário 4	91
Figura 47- Curva de permanência do cenário 4	92
Figura 48- Relação entre a vazão observada e a calculada 49490000 do cenário 4	92
Figura 49- Hidrograma observado x calculado do cenário 5	93
Figura 50- Curva de permanência do cenário 5	94
Figura 51- Relação entre a vazão observada e a calculada 49490000 do cenário 5	95
Figura 52- Parâmetros Fixos do Modelo MGB-IPH Cenário 6.....	96
Figura 53- Hidrograma observado x calculado do cenário 6	97
Figura 54- Curva de permanência do cenário 6	97
Figura 55- Relação entre a vazão observada e a calculada 49490000 do cenário 6	98
Figura 56- Isoietas da Bacia do Rio Ipanema.....	99
Figura 57- Postos Climatológicos da Bacia do Rio Ipanema.....	100
Figura 58- Arquivo Estação Pluviométrica	109
Figura 59- Arquivo Médias Clima	110
Figura 60- Arquivo Estação Fluviométrica.....	110
Figura 61- Arquivo Estação Pluviométrica	111
Figura 62- Arquivo Estação Climatológica	111
Figura 63- Arquivo Vazões Calculadas	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Arquivos de saída PrePro	57
Quadro 2- Arquivo MINI MGB-IPH	58
Quadro 3- Parâmetros fixos do MGB-IPH na bacia do rio Ipanema.....	67
Quadro 4- Dados de entrada do modelo para a bacia do rio Ipanema.....	74
Quadro 5- Parâmetros fixos do modelo para a bacia do rio Ipanema	75
Quadro 6- Parâmetros calibráveis do modelo MGB-IPH cenário 1	79
Quadro 7- Parâmetros fixos do modelo MGB-IPH	79
Quadro 8- Parâmetros calibráveis do modelo mgb-iph cenário 2.....	83
Quadro 9- Parâmetros calibráveis do modelo mgb-iph cenário 3.....	86
Quadro 10- Parâmetros calibráveis do modelo MGB-IPH cenário 4	91
Quadro 11- Parâmetros Calibráveis do Modelo MGB-IPH Cenário 5.....	93
Quadro 12- Parâmetros Calibráveis do Modelo MGB-IPH Cenário 6.....	96
Quadro 13- Arquivo Blocos da Bacia do Rio Ipanema	109
Quadro 14- Arquivo de Informações Gerais	112
Quadro 15- Resumo das Simulações Utilizando o MGB-IPH.....	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Relevo da bacia do rio Ipanema.....	43
Tabela 2- Solo da bacia do rio Ipanema.....	45
Tabela 3- Formato de projeto raster da bacia do rio Ipanema	50
Tabela 4- Classificação dos solos da bacia do rio Ipanema.....	52
Tabela 5- Reclassificação dos solos da bacia do rio Ipanema	52
Tabela 6- Classificação da vegetação na bacia do rio Ipanema	54
Tabela 7- Reclassificação da vegetação na bacia do rio Ipanema.....	55
Tabela 8- Definição dos blocos da bacia do rio Ipanema.....	55
Tabela 9- Arquivos de entrada PrePro	56
Tabela 10- Postos fluviométricos da bacia do rio Ipanema	60
Tabela 11- Postos pluviométricos da bacia do rio Ipanema	62
Tabela 12- Postos climatológicos da bacia do rio Ipanema	65
Tabela 13- Blocos e parâmetros calibráveis do MGB-IPH- valores iniciais.....	68
Tabela 14- Parâmetros calibráveis iniciais	68
Tabela 15- Síntese dos cenários utilizados na calibração do MGB-IPH.....	77
Tabela 16- Parâmetros de avaliação do ajuste no cenário 1	82
Tabela 17- Parâmetros de avaliação do ajuste no cenário 2	86
Tabela 18- Parâmetros de avaliação do ajuste no cenário 3	88
Tabela 19- Parâmetros de avaliação do ajuste no cenário 4	91
Tabela 20- Parâmetros de avaliação do ajuste no cenário 5	93
Tabela 21- Parâmetros de avaliação do ajuste no cenário 6	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AM	Areias Quartzosas Marinhas
ANA	Agência Nacional das Águas
AQ	Arenos Quartzosos
ARNO	Rainfall Runoff Model
ASC	Arquivo no Formato ASCII
ASCII	Código Padrão Americano para o Intercâmbio de Informação
b	Parâmetro do Modelo, Relação entre Armazenamento e Saturação
C P	Calor Específico do Ar Úmido
C1 , C2 e C3	Coeficientes
CAP	Parâmetro de Controle do Fluxo Ascendente da Água
CAT	Arquivo de Minibacias
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
D BAS	Drenagem Subterrânea ao Longo do Intervalo de Tempo
D CAP	Fluxo do Reservatório Subterrâneo para a Camada Superior do Solo
D INT	Drenagem Subsuperficial ao Longo do Intervalo de Tempo
D SUP	Drenagem Superficial ao Longo do Intervalo de Tempo
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DEM	Modelagem Digital de Terreno
DM CAP	Fluxo Máximo de Retorno para o Solo
E	Evapotranspiração da Água do Solo ao Longo do Intervalo de Tempo
e D	Pressão do Vapor
e S	Pressão de Saturação do Vapor
EI	Evaporação Real da Lâmina Precipitada
EIP	Evaporação Potencial da Lâmina Precipitada
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ET	Demanda de Evapotranspiração no Solo
FDE	Fração de Demanda de Evapotranspiração
Fdr	Arquivo Raster das Direções de Fluxo
Fill	Arquivo de MDE da Bacia

Flu	Arquivos de Dados Fluviométricos
G	Fluxo de Energia para o Solo
GIS	Sistema de Informações Geográficas
HidroWeb	Portal Eletrônico da Agência Nacional das Águas
URH	Unidade de Resposta Hidrológica
i	Célula
IAF	Índice de Área Foliar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas
IPH	Instituto de Pesquisas Hidráulicas
j	Bloco
K INT	Parâmetro de Drenagem Subsuperficial
LARSIM	Laboratoire des Recherches sur les Sciences de la Matière
LASCAM	Large Scale Catchment Model
LISFLOOD	Distributed Water Balance and Flood
MDE	Modelo Digital de Elevação
MGB-IPH	Modelo de Grandes Bacias Desenvolvido Pelo IPH
MOCOM-UA	Multiple Objective Complex Evolution Universidade do Arizona
n	Coeficiente de Rugosidade de Manning
OD	Demanda de Oxigênio
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PrePro	Software de Preparação dos Dados de Entrada MGB-IPH
Q BAS	Somatório dos Escoamentos Subterrâneos das Células
Q INT	Somatório dos Escoamentos Sub-superficiais das Células
Q SUP	Somatório dos Escoamentos Superficiais das Células
QR e	Vazão de Entrada
QR s	Vazão de Saída
r a	Resistência Aerodinâmica
R L	Radiação Líquida na Superfície
r s	Resistência Superficial da Vegetação

RADAMBRASIL	Projeto Levantamento dos Recursos Naturais do Território Brasileiro
REHISA	Rede Hidrológica do Semi-Árido
rst	Arquivo no Formato Raster
S MAXj	Reservatório de Armazenamento Máximo no Bloco
SF	Lâmina Interceptada
SIL	Capacidade do Reservatório de Interceptação
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
Str	Arquivo da Rede de Drenagem
TIFF	Tagged Image File Format
TM	Thematic Mapper
TOPKAPI	Topographic Kinematic Approximation and Integration
USDA	United States Department of Agriculture
VIC	Variable Infiltration Capacity Model
W	Armazenamento na Camada do Solo no Intervalo de Tempo
W K	Armazenamento na Camada Superficial ao Final do Intervalo de Tempo
W K-1	Armazenamento na Camada Superficial no Início do Intervalo de Tempo
W Z	Limite Inferior de Armazenamento do Solo
WC	Limite para a Existência do Fluxo Ascendente ou Descendente

LISTA DE SÍMBOLOS

ΔT	Intervalo de Tempo
Δ	Taxa de Variação da Pressão de Saturação do Vapor
α	Parâmetro da Lâmina de interceptação
γ	Constante Psicrométrica
λ	Calor Latente de Vaporização
ρ_A	Massa Específica do Ar
ρ_w	Calor Latente da Água
λ	Índice de Porosidade do Solo

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1- Balanço Hídrico.....	28
Equação 2- Lâmina de Água Interceptada	29
Equação 3- Precipitação que Atinge o Solo	29
Equação 4- Lâmina Interceptada	29
Equação 5- Área Saturada	29
Equação 6- Escoamento Superficial	30
Equação 7- Drenagem Superficial.....	30
Equação 8- Constante A	30
Equação 9- Drenagem Subsuperficial	31
Equação 10- Volume Percolado	31
Equação 11- Fluxo Ascendente	32
Equação 12- Taxa de Evaporação	32
Equação 13- Volume do Reservatório Superficial	33
Equação 14- Volume do Reservatório Subsuperficial	33
Equação 15- Volume do Reservatório Subterrâneo	33
Equação 16- Vazão no Reservatório Superficial	34
Equação 17- Vazão no Reservatório.....	34
Equação 18- Vazão no Reservatório Subterrâneo	34
Equação 19- Tempo de Retardo Superficial	34
Equação 20- Tempo de Retardo	34
Equação 21- Tempo de Concentração.....	35
Equação 22- Vazão no Trecho.....	35
Equação 23- Propagação da Vazão na.....	35
Equação 24- Coeficiente de Eficiência R^2 de Nash	36
Equação 25- Coeficiente de Correlação de Pearson	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	OBJETIVOS	24
2.1	Geral	24
2.2	Específicos	24
3	REVISÃO DA LITERATURA	25
3.1	Modelo de grandes bacias MGB-IPH	25
3.1.1	Características	25
3.1.2	Parâmetros do MGB-IPH	26
3.1.3	Os Processos hidrológicos simulados pelo MGB-IPH	28
3.2	Parâmetros estatísticos de avaliação na modelagem hidrológica utilizando o MGB-IPH	36
4	MATERIAL E MÉTODOS	38
4.1	A bacia do rio Ipanema	40
4.1.1	Características do clima da bacia do rio Ipanema	41
4.1.2	Características pluviométricas da bacia do rio Ipanema.....	42
4.1.3	Balanço hídrico da bacia do rio Ipanema.....	43
4.1.4	Uso e ocupação do solo na bacia do rio Ipanema	43
4.2	Aplicação do modelo MGB-IPH	46
4.3	Preparação dos dados para uso no MGB-IPH	47
4.3.1	Dados físicos da bacia do rio Ipanema	47
4.3.2	Unidades de resposta hidrológicas (URH).....	50
4.3.3	Geração dos dados físicos da bacia do rio Ipanema no PrePro MGB-IPH.....	56
4.4	Aplicação dos arquivos Prepro MGB-IPH no Mapwindow GIS	57
4.4.1	Determinação dos centroides das mini-bacias	57
4.4.2	Geração dos blocos representativos das URH's	59
4.4.3	Postos fluviométricos utilizados na modelagem	60
4.4.4	Postos pluviométricos utilizados na modelagem	62
4.4.5	Postos climatológicos utilizados na modelagem.....	64
4.4.6	Parâmetros fixos utilizados na modelagem	66
4.4.7	Parâmetros calibráveis utilizados a modelagem.....	67
4.4.8	Arquivo de projeto do MGB-IPH para a bacia do rio Ipanema	69
4.5	Simulação da bacia do rio Ipanema	70

5	RESULTADOS	73
5.1	Calibração do MGB-IPH	73
5.2	Cenários de calibração do mgb-iph à bacia do rio Ipanema	75
5.2.1	Cenário 1 – Todos os postos disponíveis no período de 01/01/ 1977 a 31/10/2008.....	78
5.2.2	Cenário 2 - Posto 49490000 com seleção dos postos disponíveis de precipitação e alteração nos parâmetros para o período de 01/01/ 1977 a 31/12/1989.....	83
5.2.3	Cenário 3 - Posto 49490000 com seleção dos postos disponíveis de clima, minibacias e alteração nos parâmetros para o período de 01/01/ 1977 a 31/12/1989.....	86
5.2.4	Cenário 4 - Alteração nos parâmetros de armazenamento, forma e controle da vazão nos períodos de estiagem para o intervalo de 01/01/ 1977 a 31/12/1989	90
5.2.5	Cenário 5 - Alteração nos parâmetros calibráveis para o intervalo de 01/01/1977 a 31/12/1989.....	92
5.2.6	Cenário 6 - Alteração nos parâmetros calibráveis e fixos para o intervalo de 01/01/1977 a 31/12/1989.....	95
5.3	Considerações sobre a calibração do modelo na bacia do rio Ipanema .	98
6	CONCLUSÕES	101
	REFERÊNCIAS	103
	APÊNDICES	109

1 INTRODUÇÃO

Com a evolução da hidrologia como área do conhecimento e a sua interação, abrangendo outras áreas do conhecimento como a matemática e a informática, tornaram os processos de quantificação dos principais sistemas envolvidos nos fenômenos hidrológicos mais ágeis e sistematizados. A representação em grande escala dos processos hidrológicos de uma bacia pode ser alcançada utilizando modelos matemáticos, formados por equações que definem os processos hidrológicos atuantes que têm em consideração as influências do solo, vegetação, topografia, clima, pluviometria, drenagem e a distribuição espacial. Os modelos matemáticos que consideram a distribuição espacial de suas variáveis e a influência causada pelas bacias vizinhas, são ditos distribuídos. Nos modelos distribuídos a variabilidade espacial de seus parâmetros deve estar unida a distribuição espacial pluviométrica da bacia, para tal seus parâmetros são calibrados de modo a obter vazões calculadas o mais fielmente possível às vazões observadas.

Segundo Perrin et al., (2009) o modelo hidrológico é a representação matemática simplificada dos processos de transformação de chuva em vazão envolvendo processos-chave como a infiltração, evapotranspiração e a rede de drenagem. Os valores adotados nas equações do modelo hidrológico (parâmetros) não podem apenas serem definidos a partir de medições em campo, portanto, uma otimização numérica é necessária na obtenção de uma vazão calculada compatível com a vazão estudada. A otimização dos valores requer dados observados em campo ao longo de um determinado período (vazões observadas) aliados a um grupo de parâmetros iniciais que serão alterados ao longo do ajuste (calibração), a fim de aproximar os valores observados dos calculados.

O número elevado de parâmetros presentes em um modelo hidrológico distribuído torna a calibração complexa devido ao número de combinações possíveis quando comparado, por exemplo, aos de um modelo concentrado, o qual a bacia hidrográfica é representada de forma uniforme para a geração do escoamento não levando em conta a variabilidade espacial.

Nos modelos hidrológicos distribuídos considerando a propagação da vazão e as acentuadas variações nas características físicas presentes em uma grande bacia hidrográfica, a forma de representação distribuída é a mais realista. A bacia na aplicação do modelo é dividida em minibacias onde o escoamento seccionado é

definido em relação ao relevo, tipo e uso do solo, formando as unidades de resposta hidrológicas URH. Dentre os modelos distribuídos e suas relações de propagação da vazão, podemos destacar o LASCAN, LISFLOOD e o ARNO.

O modelo LASCAN é distribuído em minibacias, sendo do tipo conceitual, o modelo alia variações de uso do solo com clima e suas interações nos recursos hídricos em termos da vazão e qualidade da água. O balanço da água é definido por três componentes em forma de reservatórios, representando o aquífero próximo ao rio, o aquífero profundo e a zona do solo não saturada. A relação entre volume armazenado e a velocidade do escoamento é utilizada na definição da propagação do escoamento. Os seus parâmetros calibrados são relacionados às propriedades do solo e vegetação inseridos em cada sub-bacia (VINEY et al., 2000).

O modelo hidrológico e hidrodinâmico LISFLOOD é distribuído, do tipo raster, com aplicação na avaliação de cheias e simulação de processos hidrológicos. O perfil de solo é inserido em duas camadas com o aquífero representado por dois reservatórios; sendo simulada ainda, a evapotranspiração, a infiltração, as relações entre neve, degelo e congelamento do solo (BATES ; DE ROO, 2000).

O modelo conceitual semi-distribuído em minibacias ARNO, tem aplicação no planejamento das intervenções em recursos hídricos, previsão em tempo real e análise de cheias na bacia. Os componentes de escoamento superficial e infiltração são determinados pela relação probabilística entre a umidade e saturação do solo. A evapotranspiração é estimada pelo método da radiação, utilizando uma equação simplificada que não leva em conta a velocidade do vento e pressão de vapor. A representação em cada minibacia do escoamento subterrâneo é feito através de reservatórios lineares cascadeados, sendo o escoamento propagado calculado de um modelo linear baseado no hidrograma unitário parabólico (TODINI, 1996).

O modelo Kineros2 foi desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos EUA (USDA) e vem sendo utilizado para modelar o escoamento e a erosão em bacias do semiárido. Em Alagoas o modelo Kineros2 foi aplicado a bacia hidrográfica do riacho Gravatá, de 125 km² e nas micro bacias do rio Ipanema com área em torno de 3,5 km² (ROCHA, 2008).

O modelo hidrológico adequado a ser utilizado em grandes bacias deve levar em consideração a escala adotada na representação da cobertura vegetal, das variações nas camadas do solo e no clima, o modelo deve também incorporar uma

metodologia de separação do escoamento que seja adequada às características da bacia e represente o domínio do escoamento subterrâneo e superficial de acordo com as características locais.

Modelos matemáticos distribuídos como o SWAT (Soil and Water Assessment Tool) e o MGB-IPH (Modelo de Grandes Bacias do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS) dividem a bacia hidrográfica em minibacias levando em conta características homogêneas da ocupação, uso e relevo do solo ao longo do tempo, preservando assim a distribuição espacial de seus parâmetros.

O modelo hidrológico SWAT simula diferentes processos físicos em bacias hidrográficas, objetivando a análise dos impactos sofridos por alterações no uso e ocupação do solo, em relação ao escoamento superficial e subterrâneo, a qualidade da água e a produção de sedimentos em bacias com utilização agrícola (SRINIVASAN ; ARNOLD, 1994 apud BALDISSERA, 2005).

O MGB-IPH é um modelo distribuído por minibacias, o que permite uma boa espacialização das informações relacionadas aos processos de chuva-vazão, por apresentar em suas características de estruturação o escoamento na rede de drenagem inter-relacionada ao relevo, armazenamento e tipo de solo, levando em conta as condições hidroclimáticas regionais, o que é útil na espacialização das informações hidrológicas em áreas como a do semiárido nordestino.

No semiárido nordestino a atividade humana convive com as adversidades impostas pela natureza, principalmente pelas precipitações irregulares em intensidade, distribuição temporal e espacial, somados a esses fatores tem-se ainda um solo raso e desfavorável ao armazenamento. Os estudos hidrológicos do semiárido produzem indicadores para um aproveitamento racional dos recursos hídricos disponíveis, reforçando o conceito de planejamento e uso racional pela formação do conhecimento da dinâmica e dos fenômenos no desenvolvimento de tecnologias próprias para a região (CABRAL JÚNIOR et al., 2011).

O estudo hidrológico em grande parte do semiárido brasileiro apresenta uma série de peculiaridades que tem dificultado análises mais aprofundadas do regime dos rios na região: grande variabilidade espacial e temporal da precipitação, formação cristalina do solo, baixa densidade de postos e descontinuidades no monitoramento hidrológico (chuva e vazão). Essas questões produzem desafios nas análises afetando a obtenção de resultados confiáveis e consistentes. Outro fator

determinante é a necessidade de utilização dos dados com variabilidade hidrológica de longa duração na análise, previsão e planejamento das ações relacionadas aos eventos hidrológicos.

No nordeste Brasileiro há iniciativas de caracterizar o regime hidrossedimentológico do semiárido como a da Rede de Hidrologia do Semiárido (REHISA) onde são reunidas várias instituições brasileiras de pesquisa em hidrologia num esforço para aumentar o conhecimento hidrológico nas bacias do semiárido brasileiro, incluindo monitoramento e modelagem dos processos hidrossedimentológicos. Nesse cenário diversas bacias experimentais e representativas foram instaladas, sendo que a Universidade Federal de Alagoas (UFAL) em seu Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento (PPGRHS) buscou, desde 2006, estudar a bacia do rio Ipanema onde foram desenvolvidos trabalhos utilizando o monitoramento hidrológico em pequena escala e a modelagem hidrossedimentológica com bacias experimentais (LIMA, 2007; ROCHA, 2008; VIEIRA et al., 2009). A modelagem de grandes bacias com o uso do MGB-IPH foi utilizada no rio Paraíba do Meio (GAMA et al., 2011) e no rio Mundaú (CHAVES et al., 2011). O modelo MGB-IPH (COLLISCHONN, 2001), na região nordeste também foi aplicado nas bacias dos rios Pajeú, Salitre e Moxotó (RIBEIRO NETO et al., 2007), desta forma o presente trabalho se refere a aplicação do modelo MGB-IPH na bacia do rio Ipanema, localizado nos Estados de Pernambuco e Alagoas como ferramenta para representação do regime hidrológico em rios do semiárido no nordeste Brasileiro. A bacia do rio Ipanema vem sendo estudada sistematicamente no contexto da REHISA pelas Universidades Federal Rural de Pernambuco e Federal de Alagoas (ROCHA, 2008; FALCÃO, 2009; VIEIRA et al., 2009; MOREIRA FILHO, 2011), a escolha do modelo MGB-IPH se deve à sua boa representação dos processos de transformação chuva-vazão em bacias no Brasil.

O semiárido brasileiro representa um bioma de grande interesse para os estudos de hidrologia, em função das suas características peculiares: o baixo índice pluviométrico, a alta variabilidade temporal das precipitações e a ocorrência de solos rasos, impossibilita o armazenamento subterrâneo de água em quantidade suficiente para manutenção da vazão de base dos rios, resultando em intermitência e situação de escassez hídrica (BARBALHO, 2001).

Apesar dos longos períodos de estiagem e da distribuição espacial irregular, a pluviometria no semiárido é de alta intensidade, a chuva que atinge o solo acarreta um processo acentuado de erosão. Os processos erosivos do semiárido são aumentados devido à parcela considerável de solo com pouca ou nenhuma cobertura vegetal, especialmente no início do período chuvoso. A erosão acarreta o arraste de partículas do solo contribuindo para diminuição de sua camada mais fértil e afetando diretamente a produção agrícola. Para tentar diminuir a deficiência encontrada no regime pluviométrico do semiárido é comum na região a utilização de açudes para o armazenamento da água precipitada nos períodos chuvosos, visando suprir as necessidades durante os períodos secos (FALCÃO, 2009).

O processo chuva-vazão no semiárido é dinâmico e repetitivo, cada evento de precipitação está relacionando ao escoamento na seção de controle. Quando o processo de chuva-vazão é representado por modelos hidrológicos, estes descrevem os sub-processos envolvidos, relacionando as dificuldades de linearidade, distribuição espacial e variação temporal presentes em suas variáveis como: cobertura, tipo de solo, uso do solo, forma e área da bacia. Os modelos também simulam os efeitos das mudanças nas características da bacia estudada como, por exemplo: as antrópicas ocorridas na construção de reservatórios ou variações naturais de sazonalidade da vegetação caatinga, típica do semiárido brasileiro (ROCHA, 2008).

Nos modelos mais complexos a formulação matemática que representa o processo de chuva-vazão demanda uma grande quantidade de parâmetros a serem ajustados, alguns não interferem significativamente no modelo e outros por sua relevância sofrem ajustes sistemáticos no processo de calibração (ALLASIA et al., 2006). Os modelos hidrológicos quando utilizados em regiões como a do semiárido são limitados quanto à qualidade e a quantidade dos dados hidrológicos disponíveis e têm a dificuldade em formular e simplificar alguns fenômenos para a forma matemática (TUCCI, 2005). O regime hidrológico no semiárido é definido pelas intervenções físicas na bacia que promovem modificações no uso e ocupação do solo, essas alterações nos cenários influenciam na estimativa e previsão da vazão. O intuito dos modelos de chuva-vazão em projetos de recursos hídricos é definir essa vazão utilizando de séries mais representativas e longas (MOORE et al., 2005).

A avaliação dos resultados alcançados pelos modelos hidrológicos quantifica a sua eficiência na representação da vazão relacionada aos objetivos da modelagem. Na possibilidade mais simples de avaliar um modelo hidrológico é utilizar meios gráficos de comparação visual dos valores das vazões observadas e simuladas, este tipo de avaliação a olho nu é considerado aproximado ou quantitativo em relação ao ajuste do modelo. Outra forma de avaliar e comparar os resultados dos modelos hidrológicos é utilizar critérios matemáticos que investigam o desvio e a relação entre os valores das vazões observadas das simuladas (calculadas) em um período de tempo. Esses critérios são quantitativos, podendo apresentar-se de forma absoluta pela diferença dimensional entre os valores observados e calculados, ou relativos a um ponto de referência adimensional (normaliza a diferença entre os valores) por uma quantidade padrão (PERRIN et al., 2009).

É proposta do estudo uma avaliação sistemática do MGB-IPH na representação do regime hidrológico para calibração em bacias do semiárido Brasileiro, considerando a influência da qualidade dados hidrológicos escassos que apresentam características peculiares: de rios intermitentes, solos rasos, grande variabilidade espacial, temporal dos processos hidrológicos interferem na definição dos parâmetros.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Esse trabalho de mestrado tem como objetivo geral analisar os efeitos da qualidade, variabilidade espacial e temporal dos dados hidrológicos na bacia do rio Ipanema sobre a calibração do modelo distribuído MGB-IPH;

2.2 Específicos

Para atingir o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Preparação dos dados de entrada no formato aceito pelo MGB-IPH;
- Calibrar o modelo MGB-IPH para a bacia hidrográfica do rio Ipanema, considerando a variabilidade hidroclimatológica (espacial e temporal) e as mudanças sazonais de solo e vegetação.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Modelo de grandes bacias MGB-IPH

3.1.1 Características

O modelo distribuído de grandes bacias MGB-IPH utiliza o conceito da bacia dividida em minibacias onde os processos simulam o ciclo hidrológico utilizando relações físicas e conceituais, abrangendo as etapas: terrestre, incluindo balanço de água no solo, evapotranspiração, interceptação, escoamento na rede de drenagem, escoamento superficial, sub-superficial e subterrâneo (COLLISCHONN et al., 2010).

Os processos hidrológicos são simulados como URHs onde os volumes gerados nas URHs são somados e propagados em nível de minibacias e posteriormente adicionados na rede de drenagem.

O MGB-IPH discretiza a bacia estudada em minibacias e cada uma possui um trecho de rio contribuinte a rede de drenagem, inseridas nas unidades de resposta hidrológica URH, onde as áreas apresentam um comportamento hidrológico similar pela combinação de tipos de solo e cobertura vegetal. O tempo de contribuição da rede de drenagem (retardo) na seção de controle da bacia é diário, estando interligado diretamente a intensidade da precipitação, a distribuição espacial e as características físicas da bacia, que são únicas quando aplicadas ao semiárido (COLLISCHONN, 2001).

O MGB-IPH permite a simulação de uma grande variedade de cenários, que servem de base para caracterizar os impactos causados por modificações antrópicas no uso e ocupação do solo, sendo consideradas as variações espaciais de seus parâmetros e variáveis. Os modelos distribuídos permitem que se aumente a eficácia da representação de determinados fenômenos físicos, devido a uma descrição mais detalhada da variação espacial dos parâmetros de entrada, porém, para isso, necessitam de um maior número de dados de entrada a serem estimados e medidos.

O desenvolvimento de modelos de chuva-vazão objetiva o melhor entendimento do comportamento dos fenômenos hidrológicos que afetam a bacia, propiciar o preenchimento de falhas em longas séries de dados, servir de parâmetro

no controle de cheias com a previsão de vazão, no planejamento de obras e no estudo dos efeitos das mudanças de uso e ocupação do solo (COLLISCHONN, 2006).

3.1.2 Parâmetros do MGB-IPH

O modelo MGB está estruturado em 15 parâmetros, associados aos processos hidrológico por ele representados, conforme descrito no item anterior. Esses parâmetros são divididos em fixos e calibráveis, e estão relacionados com as características representadas em função da sua variação e/ou de sua sensibilidade no modelo (COLLISCHONN, 2001).

Os parâmetros em quase sua totalidade são relacionados às características físicas da bacia, como topografia, tipo e cobertura vegetal do solo, e são obtidos via imagens de satélite, mapas digitalizados e modelo digital de elevação (MDE). Na etapa de otimização, utiliza-se o algoritmo global multiobjetivo MOCOM-UA na busca das melhores soluções na determinação dos valores referentes aos parâmetros (YAPO et al., 1998).

Da combinação entre as características físicas com o uso e cobertura do solo (URHs), são adicionadas as informações das variáveis hidroclimáticas: temperatura, umidade relativa do ar, pressão, insolação e velocidade do vento referente a cada minibacia.

Dos fenômenos representados pelo MGB-IPH, o principal é a chuva, definida espacialmente em intervalos diários ou horários, a interceptação pela vegetação, o armazenamento de água no solo, o escoamento difuso, o escoamento em afluentes e a evapotranspiração. Sendo um modelo distribuído, as variáveis e parâmetros no MGB-IPH são dependentes da distribuição espacial dos dados ao longo do tempo (COLLISCHONN, 2001).

Os parâmetros fixos são determinados por valores fornecidos pela literatura ou que não interferem profundamente nos resultados do modelo, variando de acordo com a posição geográfica, uso e cobertura do solo e o período do ano. No MGB-IPH os parâmetros fixos são:

- Albedo – tem sua variação de valor tabelado, sendo relacionado com a altura da vegetação e depende do período no ano;

- Índice de área foliar (IAF) – Dependente do tipo de vegetação e período do ano;
- Altura média das árvores (m) – Altura do dossel mês a mês durante todo o ano;
- Resistência superficial (s/m) – Relacionado ao tipo de vegetação, solo em boas condições de umidade ao longo do ano.

Os parâmetros calibráveis são ajustados durante o processo de calibração manual ou automático, visando uma melhora na resposta entre os dados calculados e observados, estando os mesmos associados as minibacias.

- Capacidade de armazenamento do solo (W_m)- Índice de absorção da água de chuva pelo solo gerando o mínimo ou nenhum escoamento superficial;
- Da relação entre armazenamento e saturação (b) - Controla a separação entre a saturação da capacidade de armazenamento do solo e o escoamento superficial;
- Armazenamento residual (W_z e W_c);
- Drenagem subsuperficial (KINT) – Parâmetro responsável pelo controle da água que escoar subsuperficialmente;
- Drenagem subterrânea (KBAS) - Controla a vazão durante a estiagem, escoamento subterrâneo;
- Forma da chuva de redução da drenagem (XL) – Relacionado à drenagem intermediária ou superficial da camada de solo;
- Fluxo do reservatório subterrâneo a camada superficial do solo (CAP) – Parâmetro de controle do fluxo ascendente da água do reservatório subterrâneo a camada superficial de solo;
- Parâmetro de limite do fluxo (W_c) – Armazenamento residual, limitante ao escoamento subsuperficial e subterrâneo;
- Propagação superficial (CS);
- Propagação subsuperficial (CI);
- Retardo do reservatório subterrâneo (CB);
- Vazão de base (QB).

3.1.3 Os Processos hidrológicos simulados pelo MGB-IPH

No modelo MGB-IPH (COLLISCHONN et al., 2010) , em cada minibacia, ocorre o processo de transformação chuva-escoamento. Os processos representados nessa transformação são: balanço hídrico no solo que ocorre de forma independente, armazenamento, interceptação, o escoamento, percolação, evapotranspiração e propagação na rede de drenagem.

O volume d'água armazenado no solo ao final de um determinado intervalo de tempo $W_{i,j}^t$ na minibacia "i" com a URH "j" é igual ao balanço entre a precipitação $P_{i,j}$, o componente da evapotranspiração $ET_{i,j}$, os escoamentos: subsuperficial $D_{INT\ i,j}$ e superficial $D_{SUP\ i,j}$, o volume percolado $D_{BAS\ i,j}$ e o fluxo ascendente do aquífero ao solo $D_{CAP\ i,j}$ (equação 1).

$$W_{i,j}^t = W_{i,j}^{t-1} + (P_{i,j} - ET_{i,j} - D_{sup\ i,j} - D_{int\ i,j} - D_{bas\ i,j} + D_{cap\ i,j}) \quad (01)$$

A interceptação, definida como o processo simulado de retenção da água precipitada pela camada vegetal agregada ao solo, no MGB-IPH a interceptação é representada pelo reservatório de armazenamento máximo S_{MAXj} dependente da cobertura vegetal indicado no índice de área foliar IAF_j , (equação 2)

$$S_{MAXj} = \alpha \cdot IAF_j \quad (02)$$

Sendo:

S_{MAXj} - Capacidade do reservatório de interceptação no intervalo de tempo i .

α – Parâmetro de lâmina de interceptação, valor fixo em 0,2mm.

IAF – Índice de área foliar da URH_j

Para o balanço hídrico no reservatório de interceptação em um intervalo de tempo, desprezando a resistência superficial, o MGB-IPH representa a lâmina interceptada calculada função da precipitação no topo do dossel vegetativo, da precipitação que atinge o solo, da evaporação real e do potencial da lâmina interceptada (equações 3, 4 e 5).

$$S_{i,j}^{t+1} = \min(S_{i,j}^t + PC_i, S_{max_j}) \quad (03)$$

$$P_{i,j} = PC_i - (S_{i,j}^{t+1} - S_{i,j}^t) \quad (04)$$

$$S_{i,j}^{t+1} = S_{i,j}^{t+1} - EI_{i,j} \quad \text{Sendo} \quad EI_{i,j} = \min(S_{i,j}^{t+1}, EPI_{i,j}) \quad (05)$$

Onde:

$S_{i,j}$ - Lâmina de água interceptada;

S_{MAXj} - Capacidade do reservatório de interceptação no intervalo de tempo;

PC_i - Precipitação no topo do dossel;

$P_{i,j}$ - Precipitação que atinge o solo;

$EI_{i,j}$ - Evaporação real da lâmina interceptada;

$EPI_{i,j}$ - Evaporação potencial da lâmina interceptada;

t - Intervalo de tempo.

O escoamento superficial sendo considerado somente em áreas saturadas, estimando as variáveis em função do nível geral de saturação da bacia, através de uma relação probabilística entre umidade do solo e as áreas onde a infiltração é nula configurando a saturação (equação 6).

$$X = 1 - \left(1 - \frac{W}{W_m}\right)^{\frac{b}{b+1}} \quad (06)$$

Onde:

X - Área saturada;

W - Volume armazenado no solo;

W_m - Armazenamento máximo da camada de solo para a URH (parâmetro);

b_j - Parâmetro do modelo.

Considerando a fração de área que está saturada em função do armazenamento, o escoamento superficial $D_{sup_{i,j}}$ nos intervalos de tempo $t-1$ e t , considerando a minibacia i e a URH j (equações 7, 8 e 9).

$$D_{sup_{i,j}} = \Delta T \cdot P_{i,j} - (W_{m_j} - W_{i,j}^{t-1}) \quad \text{para } A \leq 0 \quad (07)$$

$$D_{sup_{i,j}} = \Delta T \cdot P_{i,j} - (W_{m_j} - W_{i,j}^{t-1}) + W_{m_j} \cdot A^{b_j+1} \quad \text{para } A > 0 \quad (08)$$

Sendo:

$$A = \left[\left(1 - \frac{W_{i,j}^{t-1}}{W_{m_j}} \right)^{\frac{1}{b_j+1}} - \frac{\Delta T \cdot P_{i,j}}{W_{m_j}(b_j + 1)} \right] \quad (09)$$

Onde:

$D_{sup_{i,j}}$ - Drenagem superficial ao longo do intervalo de tempo;

i - minibacia ;

j - URH;

$W_{i,j}^{t-1}$ - Armazenamento na camada superficial no início do intervalo de tempo;

$P_{i,j}$ - Precipitação descontada a interceptação ao longo do intervalo de tempo;

W_{m_j} - Armazenamento máximo da camada do solo;

b_j - Parâmetro do modelo;

ΔT – Intervalo de tempo.

Simulado pelo MGB-IPH (COLLISCHONN, 2001), o escoamento subsuperficial, assim denominado através da relação não linear com o armazenamento de água no solo (equação 10).

$$Dint_{i,j} = Kint_j \left(\frac{W_{i,j}^{t-1} - Wz_j}{Wm_j - Wz_j} \right)^{3 + \frac{2}{\lambda}} \quad (10)$$

Sendo:

$Dint_{i,j}$ - Drenagem subsuperficial ao longo do intervalo de tempo;

$Kint_j$ - Parâmetro de drenagem subsuperficial;

λ - Índice de porosidade do solo;

Wm_j - Armazenamento máximo da camada superficial do solo;

Wz_j - Limite inferior de armazenamento do solo;

$W_{i,j}$ - Armazenamento na camada do solo no final do intervalo de tempo.

O volume de água percolado e armazenado no solo é simulado pelo modelo seguindo uma função linear $Dbas_{i,j}$ por unidade de tempo t (equação 11).

$$Dbas_{i,j} = Kbas_j \left(\frac{W_{i,j}^{t-1} - Wc_j}{Wm_j - Wc_j} \right) \quad (11)$$

Sendo:

$Dbas_{i,j}$ - Volume percolado;

$Kbas_j$ - Parâmetro de percolação máxima no solo saturado;

Wm_j - Armazenamento máximo da camada do solo;

Wc_j - Limite mínimo para não haver percolação;

$W_{i,j}^{t-1}$ - Armazenamento na camada do solo no início do intervalo de tempo.

O fluxo ascendente é determinado pela fluidez do aquífero nas baixas profundidades para as áreas não saturadas do solo quando a umidade se aproxima do ponto de murcha, o fluxo de água pode ser ascendente por diferencial de pressão ΔP , outro fator e a presença vegetativa de raízes profundas com capacidade de retirada d'água direto do aquífero (equação 12).

$$Dcap_{ij} = DMcap_j \left(\frac{Wc_j - W_{ij}^{t-1}}{Wc_j} \right) \quad (12)$$

Sendo:

$Dcap_{ij}$ - Fluxo ascendente;

$DMcap_j$ - Fluxo máximo ascendente do solo;

Wc_j - Limite máximo para haver fluxo ascendente;

W_{ij}^{t-1} - Armazenamento na camada do solo no início do intervalo de tempo.

De acordo com Collischonn (2001), o modelo MGB-IPH utiliza a equação de Penmann-Monteith, aplicada diretamente ao tipo de cobertura vegetal para o cálculo da evapotranspiração, considerando a resistência aerodinâmica e superficial. A equação utiliza separadamente a lâmina d'água interceptada e a água referente a camada superficial do solo quando considerado que a vegetação, utiliza toda a energia disponível, para a evaporação (equação 13).

$$ET = \frac{fc}{\rho_w \cdot \lambda} \left[\frac{\Delta(S_n - L_n - G) + \rho_a \cdot C_p \left(\frac{e_s - e_d}{r_a} \right)}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a} \right)} \right] \quad (13)$$

Onde:

ET – Taxa de evaporação da água;

Δ - Taxa de variação da pressão de saturação do vapor em relação a temperatura;

S_n – Radiação líquida de onda curta;

L_n – Radiação líquida de onda longa;

G - Fluxo de energia para o solo;

ρ_a - Massa específica do ar;

C_p - Calor específico do ar úmido;

e_s - Pressão de saturação do vapor;

e_d - Pressão do vapor;

r_a - Resistência aerodinâmica;

r_s - Resistência superficial da vegetação;

γ - Constante psicrométrica;

λ - Calor latente de vaporização;

ρ_w - Massa específica da água.

fc – fator de conversão igual a $8,64 \cdot 10^7$

As águas resultantes dos processos anteriormente descritos que escoam superficialmente e também a oriunda do aquífero são coletadas pela rede de drenagem. Ao longo do percurso, o escoamento sofre interferências, retardos e amortecimentos quanto aos escoamentos gerados em cada minibacia. O modelo MGB-IPH representa a propagação nas minibacias destes volumes, até o rio principal, utilizando três reservatórios lineares em cada minibacia, relacionados às respectivas URH (equações: 14, 15 e 16).

$$V_{sup_i}^{t'} = V_{sup_i}^{t-1} + \Delta t \cdot \sum_j D_{sup_{i,j}} \quad (14)$$

$$V_{int_i}^{t'} = V_{int_i}^{t-1} + \Delta t \cdot \sum_j D_{int_{i,j}} \quad (15)$$

$$V_{bas_i}^{t'} = V_{bas_i}^{t-1} + \Delta t \cdot \left(\sum_j D_{bas_{i,j}} - \sum_j D_{cap_{i,j}} \right) \quad (16)$$

Onde:

$V_{sup_i}^{t'}$ - Volume de água no reservatório superficial;

$V_{int_i}^{t'}$ - Volume de água no reservatório subsuperficial;

$V_{bas_i}^{t'}$ - Volume de água no reservatório subterrâneo;

$D_{sup_{i,j}}$ - Escoamento superficial;

$D_{int_{i,j}}$ - Escoamento subsuperficial;

$D_{cap_{i,j}}$ - Fluxo ascendente;

$D_{bas_{i,j}}$ - Escoamento subterrâneo;

Δt - Intervalo de tempo.

No MGB-IPH (COLLISCHONN, 2001), as vazões resultantes na saída de cada reservatório superficial, subsuperficial e subterrâneo, em função do armazenamento em cada um deles são dadas pelas equações 17, 18 e 19.

$$Q_{sup_i} = \frac{1}{TKS_i} V_{sup_i}^{tr} \quad (17)$$

$$Q_{int_i} = \frac{1}{TKI_i} V_{int_i}^{tr} \quad (18)$$

$$Q_{bas_i} = \frac{1}{TKB_i} V_{bas_i}^{tr} \quad (19)$$

Onde:

Q_{sup_i} -Vazão de saída do reservatório superficial;

Q_{int_i} -Vazão de saída do reservatório subsuperficial;

Q_{bas_i} -Vazão de saída do reservatório subterrâneo;

TKS_i - Tempo de retardo do reservatório superficial;

TKI_i - Tempo de retardo do reservatório subsuperficial;

TKB_i - Tempo de retardo do reservatório subterrâneo.

Os tempos de retardo dos reservatórios superficial (TKS_i) e subsuperficial (TKI_i) são aferidos pelos parâmetros calibráveis (C_S e C_I) no tempo de concentração (T_{ind_i}), conforme equações 20 e 21.

$$TKS_i = C_S \cdot T_{ind_i} \quad (20)$$

$$TKI_i = C_I \cdot T_{ind_i} \quad (21)$$

No MGB-IPH as variáveis do comprimento L em km e da declividade S em m/m referente ao afluente mais longo do trecho principal em cada minibacia, servem para determinar o valor do tempo de concentração (T_{ind}) na equação de Kirpich,

sendo utilizados os valores das constantes $a=239,04$; $b=0,77$ e $c=0,385$, conforme equação 22 (COLLISCHONN, 2001).

$$Tind_i = a \frac{L_i^b}{S_i^c} \quad (22)$$

Nos períodos de estiagem, as recessões dos hidrogramas servem para a determinação do tempo de retardo no reservatório subterrâneo, sendo, portanto o somatório das contribuições subterrâneas, superficiais e subsuperficiais a vazão do trecho de rio da minibacia (Q_{cel_i}) (equação 23).

$$Q_{cel_i} = Q_{sup_i} + Q_{int_i} + Q_{bas_i} \quad (23)$$

O MGB-IPH utiliza o método de Muskingum-Cunge na propagação das vazões nos trechos do rio para cada minibacia, sendo então estas discretizadas em subtrechos e relacionadas ao intervalo de tempo diário. Considerando o intervalo de tempo ideal durante o qual a propagação das vazões se correlaciona ao tempo de escoamento e ao amortecimento do hidrograma (equação 24).

$$Q_{i+1}^{t+1} = C_1 \cdot Q_i^t + C_2 \cdot Q_i^{t+1} + C_3 \cdot Q_{i+1}^t \quad (24)$$

Sendo:

Q – Vazão;

C_1 , C_2 e C_3 – Parâmetros calculados;

i – Seções a montante;

i+1 – Seções a jusante;

t – intervalo de tempo.

3.2 Parâmetros estatísticos de avaliação na modelagem hidrológica utilizando o MGB-IPH

O coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe “R²” é um dos parâmetros frequentemente utilizados na avaliação do desempenho de modelos hidrológicos, podendo variar a partir de negativo infinito até 1, sendo 1 um ajuste perfeito. O valor de R² é influenciado por diferenças nas vazões calculadas e observadas, principalmente as máximas, razão por que, quando R² é próximo de 1, o modelo está obtendo bom ajuste para as cheias. O desempenho de um modelo é considerado adequado e bom se o valor de R² supera 0,75, e é considerado aceitável se o valor de R² fica entre 0,36 e 0,75 (SILVA et al., 2008). O cálculo referente ao coeficiente R² é apresentado na equação 25.

$$\text{Nash} = 1 - \frac{\sum_i^n (Q_{obsi} - Q_{simu})^2}{\sum_i^n (Q_{obs} - \bar{Q})^2} \quad (25)$$

Sendo:

Qobs - vazão observada;

Qsimu - vazão simulada pelo modelo;

\bar{Q} - vazão média observada;

n - número de dados existentes em cada intervalo.

O coeficiente de correlação de Pearson define que o grau de relacionamento entre duas variáveis é uma medida de associação bivariada (força), essa correlação mensura o grau da relação linear com a direção entre duas variáveis quantitativas. Pode-se definir ainda o coeficiente de correlação de Pearson (r) como uma medida de associação linear entre variáveis. A faixa de trabalho do coeficiente de Pearson varia de -1 a 1. O sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor sugere a força da relação entre as variáveis. Uma correlação perfeita (-1 ou 1). Em contraponto, uma correlação de valor zero indica que não há relação linear entre as variáveis (FIGUEIREDO FILHO et al., 2009). A equação 26 se refere ao coeficiente de Pearson (r).

$$\text{Pearson} = \frac{1}{n-1} \sum \left(\frac{Q_{\text{simu } i} - \bar{Q}_s}{S_x} \right) - \left(\frac{Q_{\text{obs } i} - \bar{Q}}{S_y} \right) \quad (26)$$

Sendo:

$Q_{\text{simu } i}$ – Vazão simulada no instante i

$Q_{\text{obs } i}$ – Vazão observada no instante i

\bar{Q}_s - vazão média simulada;

\bar{Q} - vazão média observada;

n - número de dados existentes em cada intervalo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Na calibração do modelo MGB-IPH (COLLISCHONN et al, 2010) para a bacia do rio Ipanema, localizada nos estados de Alagoas e Pernambuco, produziu-se uma avaliação dos parâmetros relacionados a informação hidroclimatológica disponível, levando em conta o tamanho das séries, sua qualidade e a distribuição espacial.

Para a condução do estudo, foram realizadas as etapas metodológicas:

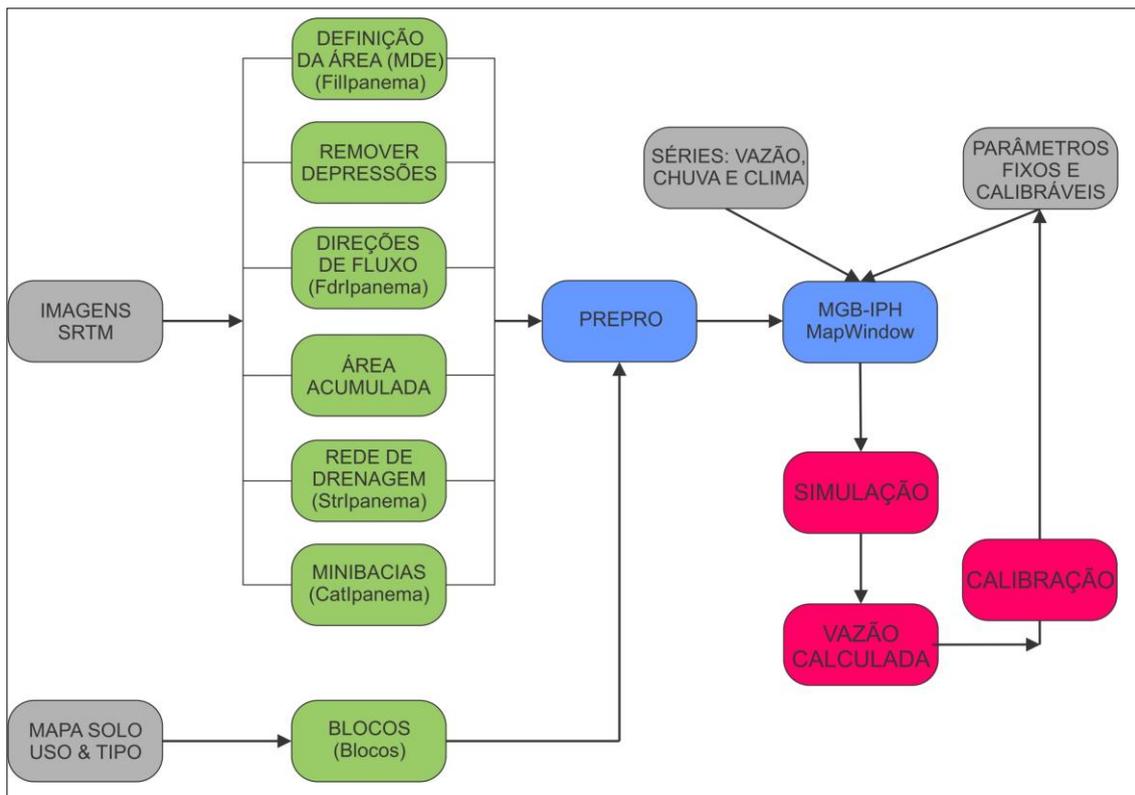
1. Caracterização física da bacia hidrográfica do rio Ipanema. A partir do MDE (SRTM, 2009) foram levantados os parâmetros de caracterização: área da bacia, direções de fluxo, área acumulada, rede de drenagem e minibacias;
2. Caracterização do uso e ocupação do solo: foram utilizadas imagens LANDSAT 5 TM (ANA, 2010 e EMBRAPA, 1999) e o MapWindow (MAPWINDOW, 2010) para levantamento dos padrões de uso e ocupação do solo, com classificação supervisionada determinando as unidades de resposta hidrológica URH's;
3. Seleção inicial dos postos hidroclimatológicos e das séries de dados: foram selecionados todos os postos de chuva, vazão, climatologia existentes dentro da bacia e no entorno (para o caso da chuva e de clima). As fontes de informação foram: HidroWeb (HIDROWEB, 2012) e (INMET, 2011);
4. Preparação dos dados de forma da bacia para a entrada no modelo MGB-IPH: foram utilizadas as rotinas de preparação de dados do modelo, conforme rotina PREPRO MGB 4.1, gerando os dados com as características físicas das minibacias (COLLISCHONN et al., 2010);
5. Na formatação dos dados de blocos, vazão, chuva e clima para o MGB-IPH, utilizou-se a interface Mapwindow 4.8.1. Agregados a esses dados, os arquivos com os parâmetros fixos e calibráveis formam o projeto do modelo;
6. Calibração do modelo e análise dos dados hidroclimatológicos: nessa etapa, foram feitas várias tentativas de calibração do modelo considerando os postos e as séries disponíveis. Para cada tentativa, foram analisados os parâmetros de avaliação do ajuste (R^2 e r), para diferentes períodos de dados (considerando os postos disponíveis) e, conseqüentemente, diferentes postos usados em cada tentativa de calibração;
7. As alterações no período de calibração de 01/01/1977 a 31/10/2008 para 01/01/1977 a 31/12/1989 em cada rodada de simulação envolveram a

seleção dos postos de controle de vazão 49480000 e 49490000 (HIDROWEB, 2012) para o posto 49490000 localizado em Santana do Ipanema – AL levando em conta período e qualidade dos dados;

8. Definidos os postos com melhor representação no modelo, passou-se a intervir nos parâmetros calibráveis de forma sistemática e repetitiva até a melhora na correlação entre as vazões observadas e calculadas;
9. A partir do melhor ajuste, verificado em todas as rodadas de simulação, foram analisadas as séries de vazões (observadas e calculadas) e a curva de permanência (observada e calculada). A resposta do melhor ajuste, para cada cenário de simulação (definidos mais adiante, se referem aos postos utilizados e ao período das séries), foi analisada em relação aos dados utilizados.

A organização dos dados de entrada, das atividades GIS e dos processos no MGB-IPH para simulação e calibração, estão apresentados na figura 1.

Figura 1- Etapas de aplicação do MGB-IPH à bacia do rio Ipanema (a informação entre parênteses se refere ao nome do arquivo gerado)

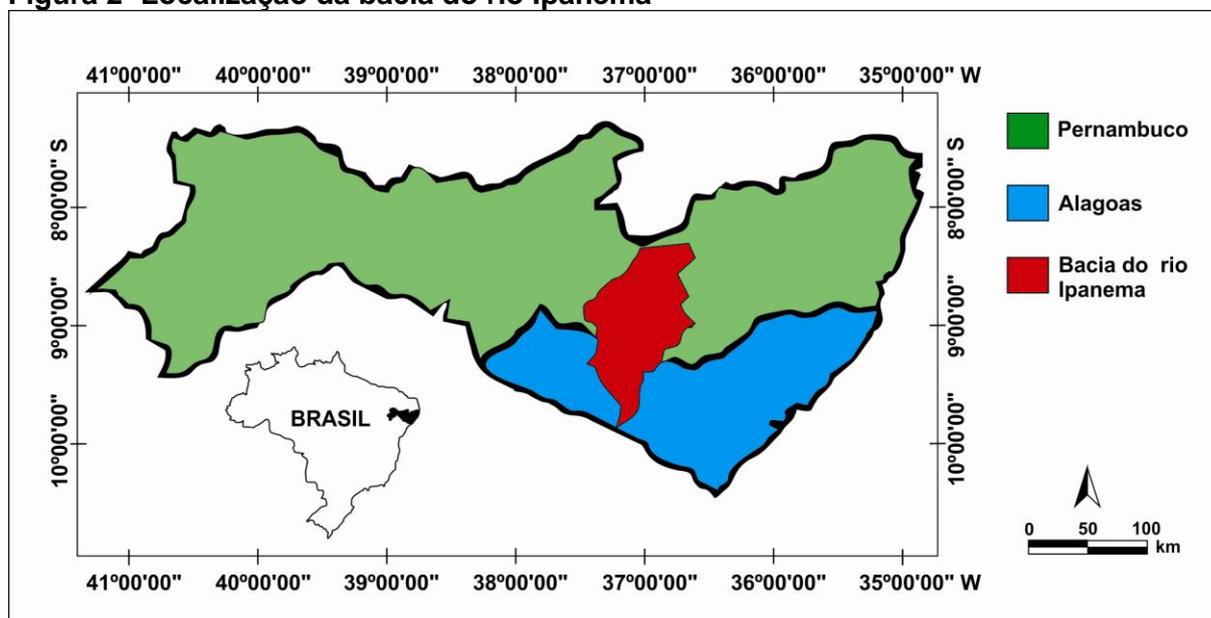


Fonte: Autor, 2012

4.1 A bacia do rio Ipanema

O rio Ipanema tem suas nascentes em território pernambucano, atravessa o estado de Alagoas e deságua na margem esquerda do rio São Francisco. Sua bacia hidrográfica está inserida entre as coordenadas extremas 8°18'04" e 9°52'24" de latitude sul, e 36°36'28" e 37°27'54" de longitude oeste, compreendendo 34 municípios, sendo 18 alagoanos e 16 pernambucanos, com uma população aproximada de 750 mil habitantes. Faz fronteira com a bacia do rio Ipojuca, ao norte, o rio São Francisco, ao Sul, as bacias dos rios Capiá e Moxotó, ao oeste, e a bacia do rio Traipú, a leste. A bacia do rio Ipanema contempla como características gerais uma área de 7.845,1 km², sendo 1.670,8 km² em Alagoas (21,3%) e 6.174,3 km² em Pernambuco (78,7%) conforme a figura 2.

Figura 2- Localização da bacia do rio Ipanema



Fonte: Adaptado de Moreira Filho (2011)

As nascentes do rio Ipanema estão situadas no município de Pesqueira – PE e seu curso percorre em Pernambuco aproximadamente 139 km e 87 km em Alagoas, na direção norte para sul, até desaguar no rio São Francisco (IBGE, 2009). O rio Ipanema apresenta 226 km de extensão, nascendo a uma altitude de 950 m, na localidade denominada serra do Ororoba, próximo ao município de Pesqueira em pernambucano, segue o seu curso até a cidade de Poço das Trincheiras, divisa com Alagoas onde seu curso é orientado no sentido sudoeste e a partir daí segue a

orientação para o sudeste até sua confluência com o rio Dois Riachos, quando rumam para o sul até a sua foz, próximo à cidade de Belo Monte em Alagoas, margens do Rio São Francisco (ALAGOAS, 1998 apud ROCHA, 2009).

A bacia hidrográfica do rio Ipanema está inserida no semiárido nordestino do Brasil e faz parte da porção referente à cerca de 40% da superfície terrestre que é composta por zonas áridas onde habitam aproximadamente 20% da população humana (GRAF, 1988, apud MALTCHIK, 1999).

O semiárido brasileiro propriamente dito ocupa uma área de aproximadamente 880.000 km² na região nordeste e 104.000 km² em Minas Gerais (BRASIL, 2005), equivalentes a aproximadamente 10% do território nacional. O semiárido brasileiro é um dos mais populosos do mundo, aproximando-se dos 21 milhões de pessoas (BRASIL, 2005). Sua densidade populacional também é uma das maiores dentre as regiões áridas e semiáridas, com quase 21,3 hab./km² (DUARTE, 2000). Essa região é caracterizada como sujeita a períodos críticos de estiagem, o que não corresponde efetivamente ao semiárido brasileiro, pois apresentam em diferentes zonas geográficas algumas áreas de seca e outras com balanço hídrico positivo (PICCIN et al., 2005).

4.1.1 Características do clima da bacia do rio Ipanema

O clima na bacia do rio Ipanema é tropical semiúmido (ALAGOAS, 1998 apud LIMA, 2007) onde a seca na região é diminuída quando comparada a outras regiões nordestinas devido à sua posição geográfica, confrontando com o planalto Borborema, ao sul com o rio São Francisco e recebendo influência também do oceano Atlântico. O vento que vem do oceano passa pelo vale do São Francisco, choca-se com massas de ar frio vindos do polo sul e é impulsionado para cima em contato com as serras da região, condensando-se e formando nuvens (ALAGOAS, 1998 apud ROCHA, 2009). A região de Santana do Ipanema, destaque na ocupação urbana da bacia, apresenta clima do tipo semiárido quente, com temperaturas do mês mais frio superiores a 18° C, com índice xerotérmico entre 100 e 150, com 5 a 6 meses secos, e tem o mês mais frio apresentando temperaturas superiores a 15° C (CPRM, 2005).

4.1.2 Características pluviométricas da bacia do rio Ipanema

A bacia hidrográfica do rio Ipanema confere uma precipitação média anual variando espacialmente de 500 a 1.300 mm (IBGE, 2009). Tem déficit hídrico considerado elevado, atingindo valores máximos no extremo sudoeste, da ordem de 965 mm anuais, e mínimo no extremo nordeste, menores que 400 mm anuais. Apresenta excedentes hídricos nos meses de junho a agosto, na região nordeste da bacia, entre outubro e novembro no sudoeste e no mês de maio na parte noroeste. No sudeste, não há excedente hídrico durante o ano. As temperaturas são sempre superiores a 18° C, com amplitude térmica mensal menor que 5° C, a média anual varia entre 21° C no extremo norte até 26° C no extremo sul para uma insolação média de 2.800 h (ALAGOAS, 1998 apud ROCHA, 2009).

Segundo Falcão (2009) os eventos pluviométricos no semiárido alagoano concentram-se nos meses de fevereiro a maio, somente nesses quatro meses, ocorreram 59,5% do total de eventos pluviométricos erosivos monitorados na região. Em oposição, temos os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro que não apresentaram registro de evento pluviométrico expressivos.

De acordo com o Plano Diretor de Recursos Hídricos da bacia do rio Ipanema Alagoas (1998) a estação seca e a chuvosa são bem definidas, e o trimestre mais chuvoso ocorre em cinco períodos distintos, dependendo da localização, na parte sul da bacia ele ocorre entre setembro e novembro, na parte central entre abril e junho e na parte norte em três períodos distintos: entre fevereiro e abril, entre março e maio, e entre maio e julho.

A escassez de água e a salinidade do binômio solo água são dois pontos levantados como limitantes para o desenvolvimento do semiárido brasileiro. Todavia, mesmo nas áreas mais críticas desta região, constituídas pelo cristalino, o potencial explorável de água subterrânea pode ser estimado pelos poços salobros utilizados no dessedentamento dos caprinos e ovinos, animais predominantes nos sistemas de produção dos agricultores de base familiar desta região (PORTO et al., 2002).

4.1.3 Balanço hídrico da bacia do rio Ipanema

Tendo abundância em recursos hídricos, o Brasil é um país ao qual essa distribuição se apresenta de forma bastante irregular. A Agência Nacional de Águas (ANA, 2007) analisou o balanço hídrico nas diversas regiões do país, e apresentou como exemplo um valor médio de 34,2 L/s/km² para o escoamento superficial na bacia Amazônica e em contraponto um valor equivalente a 8,2% desse valor, apenas 2,81 L/s/km², para a região semiárida. A delimitação do Polígono das Secas brasileiro como é definida a porção do semiárido nordestino, cobre uma área de 936.993km² e foi definido pelo Governo Federal através da lei nº. 1348 de 1951 (REBOUÇAS, 1997).

A bacia do rio Ipanema apresenta um balanço hídrico positivo nas regiões nordeste e sudoeste da bacia nos meses de junho a agosto, outubro e novembro respectivamente, na região sudeste em nenhum período do ano existe excedente hídrico (ALAGOAS, 1998 apud ROCHA, 2009).

4.1.4 Uso e ocupação do solo na bacia do rio Ipanema

No uso e ocupação do solo em um relevo que oscila de suavemente ondulado a ondulado e tem altitude variando entre 250 m a 1.500 m (tabela 1), sua cobertura vegetal é caracterizada por: pastagem, culturas, vegetação nativa (caatinga, mata atlântica, manguezais e restingas) e áreas desmatadas e ou degradadas, seu solo é em quase totalidade raso com eventuais florações rochosas, o planossolo háplico eutrófico é o tipo de solo predominante na bacia com cerca de 70% de cobertura, caracterizado por dificuldade de drenagem, perda de argila, textura arenosa e de baixo armazenamento pluviométrico (IBGE, 2009).

Tabela 1- Relevo da bacia do rio Ipanema

RELEVO	ÁREA (km ²)	%
Suavemente ondulado a montanhoso	2.417,49	38,70
Suavemente ondulado	1.645,76	26,35
Plano a suavemente ondulado	1.409,94	22,57
Fortemente ondulado a montanhoso	709,27	11,36
Fortemente ondulado	47,12	0,75
Ondulado a fortemente ondulado	16,36	0,26

Fonte: PERH (1998)

A vegetação predominante na bacia do rio Ipanema é a caatinga, caracterizada por uma grande variação em seu regime foliar durante o ano, incluída na bacia no seu trecho mais alto, pastagem plantada associada à própria vegetação natural, parcelas cultivadas com forrageiras, tais como milho e palma, utilizada na alimentação animal durante os períodos de seca e a restinga na região próxima a foz do rio Ipanema.

Na bacia do rio Ipanema a agricultura familiar de subsistência faz-se presente, destacando-se como culturas o feijão e o milho. Sendo em menor escala, o algodão, o amendoim e a mandioca. Apresenta-se também em locais de serra e na foz do rio Ipanema algumas pequenas culturas frutíferas, como o caju, a pinha, a manga, a jabuticaba, a laranja, umbu e a mangaba (LOPES et al., 2005).

O solo cristalino do semiárido é composto por rochas ígneas e metamórficas do período pré-cambriano, propiciando um aquífero de potencial muito inferior ao sedimentar nas fendas, fissuras ou fraturas produzidas por forças tectônicas, os poços perfurados no cristalino do semiárido apresentam variações expressivas tanto em quantidade como em qualidade, o que põe em dúvida a viabilidade de exploração (SALAZAR et al., 1985). Os solos predominantes da região semiárida do Nordeste do Brasileiro são pouco férteis, devido principalmente, a baixa disponibilidade de Nitrogênio e Fósforo (SAMPAIO et al., 1995); a região é caracterizada pela predominância de pequenas propriedades com mão-de-obra familiar, cultivos agrícolas de subsistência e pecuária baseada no pastoreio da vegetação nativa. Os tipos de solos componentes da bacia do rio Ipanema vão do Planossolo ao Arenosos Quartzosos, tendo na bacia a predominância do Planossolo Háplico Eutrófico, com mais de 70% da área. (tabela 2). O Planossolo Háplico é caracterizado por apresentar áreas mal drenadas, com horizonte superficial notadamente marcado por perdas de argila por iluviação e uma textura arenosa. A consistência do solo quando seco é solta, desagregada e quando molhado é não plástica e não pegajosa (CARDOSO et al. 2002).

Tabela 2- Solo da bacia do rio Ipanema

SOLO	ÁREA (km²)	%
Planossolo Háptico (Planossolos)	5.548,50	70,41%
Neossolo Regolítico (Regossolos)	1.180,03	14,97%
Neossolo Litólico (Litólicos) + Brunos não Calcicos	1.061,60	13,47%
Areno Quartzosos	90,60	1,15%

Fonte: IBGE (2009)

O Neossolo Regolítico é um tipo de solo com textura arenosa e de baixa capacidade de adsorção dos nutrientes, quando comparado com solos do tipo argiloso (TITO et al., 1997); naturalmente, possui teor baixo de matéria orgânica e nitrogênio que diminuem, após alguns anos de uso (JACOMINE, 1996).

Os Neossolos Litólicos, anteriormente classificados como Solos Litólicos, Solo raso, ocorre em regiões onde o intemperismo químico é menos eficiente, sobretudo em zonas desérticas e semiáridas, também possuem limitação física para o enraizamento das plantas em profundidade, além de serem erosivos pelo declive acentuado e/ou pela dificuldade da infiltração da água no perfil. A principal recomendação para o uso agrícola nos Neossolos Litólicos são as pastagens porque são solos rasos, e com limitação para o crescimento radicular em profundidade da maioria das plantas (CARVALHO, 2005).

O solo Bruno não cálcico, classe de solo mineral, não hidromórfico, geralmente com horizonte fraco e avermelhado eutrófico, com CTC > 27 cmol.kg⁻¹ de argila (Ta) sem desconto para matéria orgânica textural na nomenclatura de (CAMARGO et al, 1987) e textural da ordem dos Luvisolos na nova nomenclatura (EMBRAPA, 1999).

Os Arenos Quartzosos (AQ) são solos profundos, muito arenosos distróficos, sendo o quartzo o mineral predominante. Ocupam área bastante significativa do território brasileiro. Na faixa costeira recebem o nome de Areias Quartzosas Marinhas (AM), que podem ser antigas dunas colonizadas pela vegetação (EMBRAPA, 1999).

4.2 Aplicação do modelo MGB-IPH

O modelo MGB-IPH está estruturado em 6 rotinas e 15 parâmetros, representando os processos de balanço hídrico, do armazenamento, da interceptação, do escoamento, da percolação, evapotranspiração e a propagação na rede de drenagem.

Em sua versão atual, a discretização espacial é realizada em minibacias, conforme descrito por Collischonn et al, (2010). Para a aplicação do modelo é necessário o desenvolvimento das seguintes etapas de preparação dos dados relevantes à bacia em estudo, conforme foi mostrado na figura 1.

- Seleção do modelo digital de elevação (MDE) referente a área da bacia e efetuar as operações GIS de preparação dos dados de entrada referentes: a delimitação da área da bacia, direções de fluxo, área acumulada, rede de drenagem e as minibacias;
- Preparação dos dados uso e ocupação do solo da bacia: utilizam-se imagens e mapas com as informações do comportamento hidrológico gerando as unidades de resposta hidrológica da bacia URH's;
- Com os arquivos anteriormente descritos faz-se a aplicação da rotina MGB-IPH PrePro 4.1 formando um arquivo mesclando as informações físicas da bacia com as unidades de resposta hidrológicas URH's;
- No MGB faz-se necessário formatar um arquivo de blocos informando as classes de informações geradas no PrePro 4.1;
- Os dados de chuva, vazão e clima são preparados no MGB-IPH em formato ASCII, ressaltando que o período de observações deve ser coincidente;
- Carrega-se o MGB-IPH com os dados referentes aos parâmetros fixos e calibráveis, indicando a forma de calibração;
- Gera-se uma rotina de projeto com toda a informação anteriormente descrita a qual será seguida na calibração pelo modelo MGB-IPH;
- A calibração do modelo: pode ser feita de forma manual ou automática. Nesse estudo, será utilizada a calibração manual;
- Efetuar a simulação comparando as vazões de controle observadas com as calculadas pelo MGB-IPH, visualizado pela curva de permanência;

- A verificação da qualidade do ajuste: considerando os parâmetros de Nash-Sutcliffe (R^2) e coeficiente de correlação de Pearson (r), anteriormente descritos das interações entre as vazões observadas e calculadas.

Nesse trabalho, a aplicação do modelo exigiu uma fase adicional referente à seleção dos postos hidroclimatológicos, uma vez que a grande variabilidade espacial e temporal da chuva e a qualidade e duração das séries não permitia calibração adequada, desta forma foram selecionados inicialmente um conjunto de postos com o período de dados disponível. De acordo com a qualidade do ajuste, novos postos foram inseridos ou excluídos, considerando novos períodos de dados. Esse processo foi repetido até o final do trabalho.

A principal fonte de dados hidrológicos utilizados neste trabalho foi o Hidroweb (HIDROWEB, 2012) onde foram obtidas as séries de chuva, vazão e clima. Dados adicionais de clima do INMET (INMET, 2011) complementaram o estudo. Para o uso e cobertura do solo utilizou-se a coletânea de imagens LANDSAT 5 TM do mapa de solos nacional e cobertura vegetal do convênio ANA, EMBRAPA e Projeto RADAMBRASIL (EMBRAPA, 1999). Para a caracterização física, foi usado o MDE obtido do SRTM (2009).

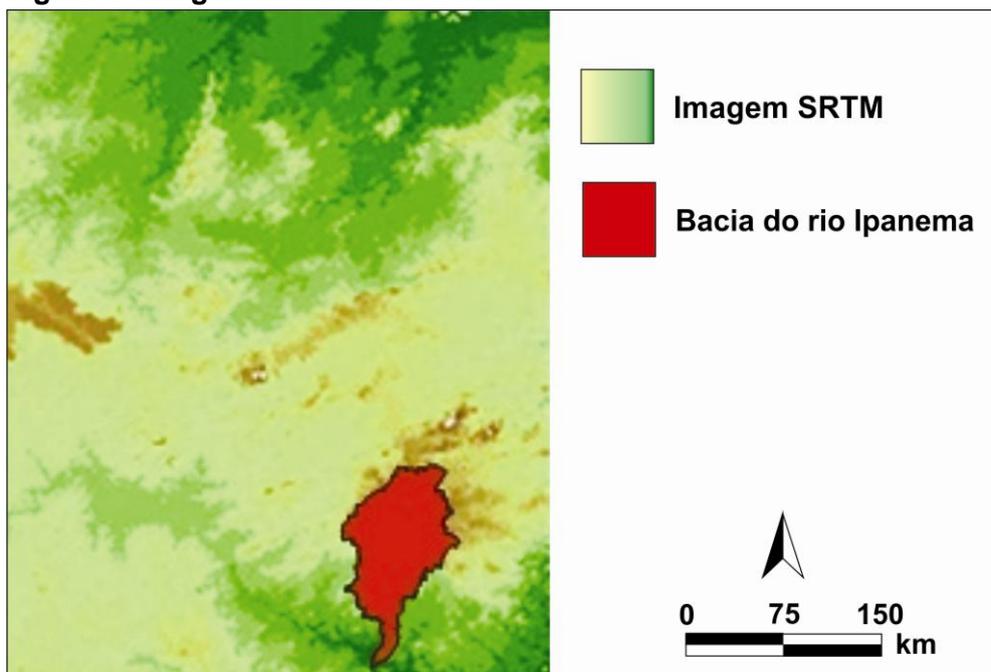
4.3 Preparação dos dados para uso no MGB-IPH

4.3.1 Dados físicos da bacia do rio Ipanema

Para a preparação dos dados físicos e de uso e ocupação do solo, foram utilizadas ferramentas de geoprocessamento com o MDE obtido das imagens SRTM (SRTM, 2009). Inicialmente, buscou-se a cena que contem a área desejada, com os limites que envolvem a bacia em estudo. Os dados foram obtidos em formato ASCII e o processamento inicial destas imagens foi realizado através das rotinas do ArcHydro (ESRI, 2010).

A imagem bruta obtida do SRTM e que contem a bacia em estudos é apresentada na figura 3 e possui uma resolução de 90 m (0,0008333°).

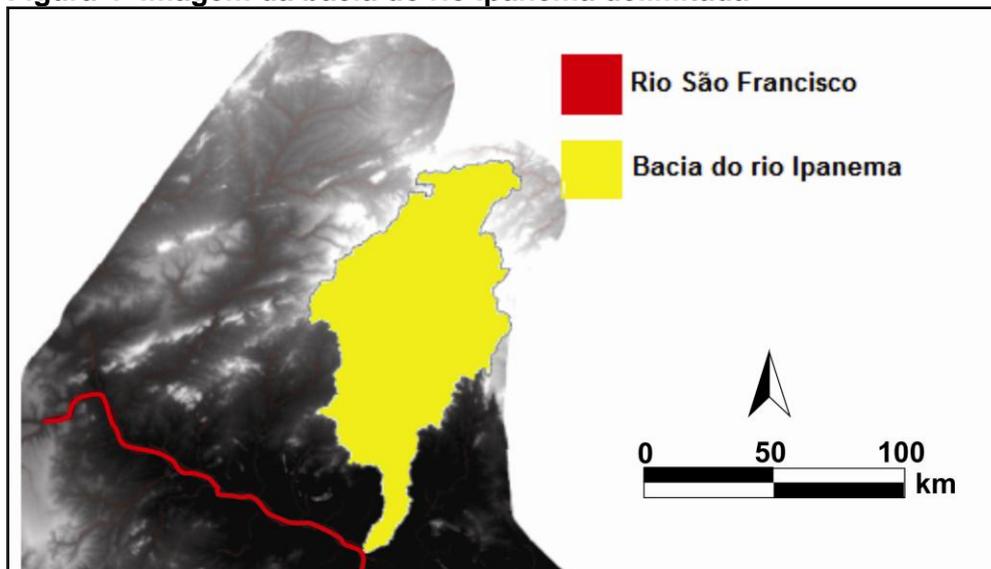
Figura 3- Imagem bruta SRTM 90m



Fonte: (SRTM, 2009)

O recorte da sub-bacia do rio São Francisco que contém a bacia do rio Ipanema é apresentada na figura 4, sendo definida com a resolução compatível a do projeto abrangendo toda a bacia de interesse.

Figura 4- Imagem da bacia do rio Ipanema delimitada

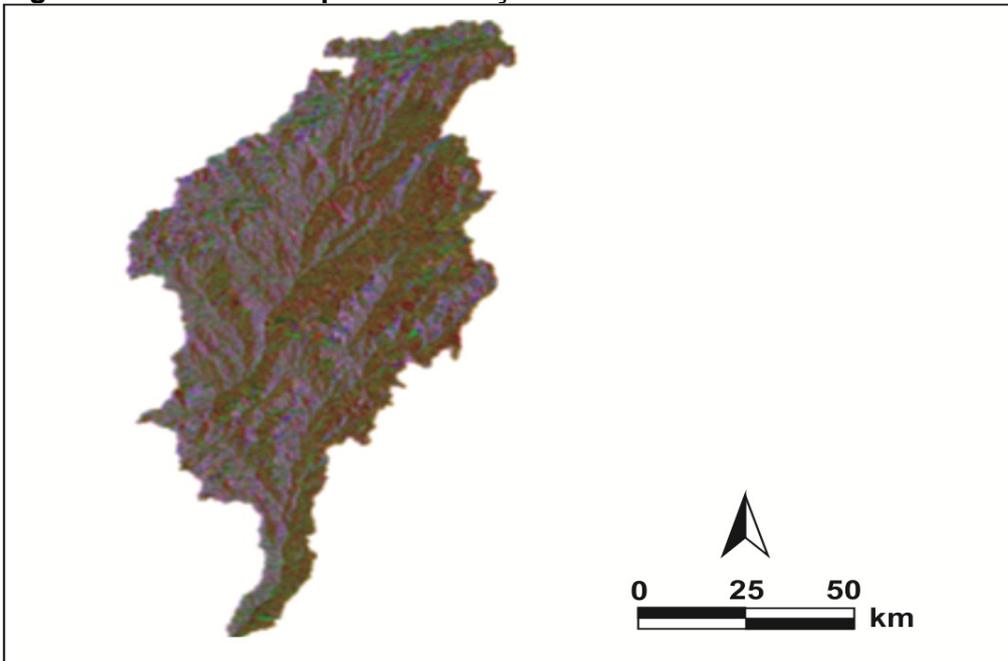


Fonte: Autor, 2012

Geradoras de erros nos processos que envolvem a concepção do MDE, as depressões no terreno devem ser corrigidas com o preenchimento e a determinação das áreas acumuladas. A remoção das depressões e definição das áreas

acumuladas, obrigatoriamente precede o processo de determinação das direções de fluxo (figura 5).

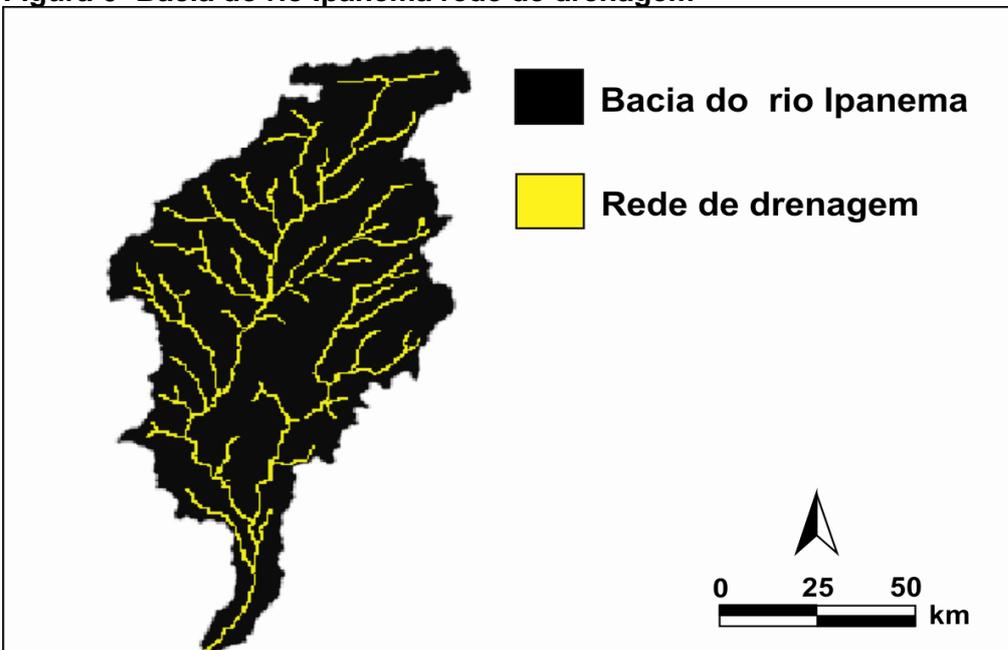
Figura 5- Bacia do rio Ipanema direções de fluxo



Fonte: Autor, 2012

Das direções de fluxo definidas obtêm-se a rede de drenagem que incorpora a informação espacial relevante do escoamento na área da bacia, conforme mostrado na figura 6.

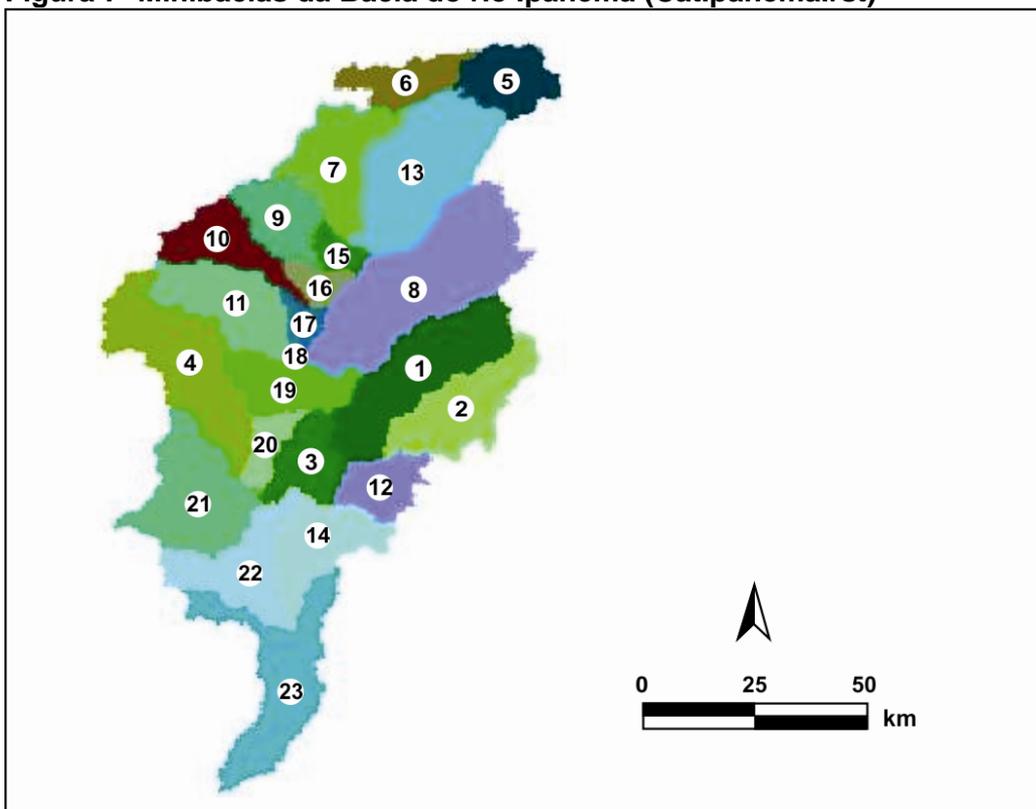
Figura 6- Bacia do rio Ipanema rede de drenagem



Fonte: Autor, 2012

Com a rede de drenagem raster da bacia definida, passa-se a segmentação dessa rede em trechos individuais por área acumulada, estando os trechos de rio segmentados individualmente, extraem-se então as minibacias hidrográficas de cada trecho (figura 7), gerando um arquivo raster da bacia do rio Ipanema dividida em minibacias, utilizando como critério as características físicas da bacia aliadas ao comportamento hidrológico da rotina GIS (ArcHidro) em 22 minibacias. Fez-se posteriormente uma subdivisão para que o posto fluviométrico 4949000 coincidissem com o exutório de uma das minibacias (21), totalizando então 23 minibacias.

Figura 7- Minibacias da Bacia do rio Ipanema (CatIpanema.rst)



Fonte: Autor, 2012

Todos os arquivos oriundos da discretização da bacia, bem como as unidades de resposta hidrológica URH a serem definidas posteriormente seguem o formato único de projeto raster quanto a tamanho, resolução e referência espacial conforme a tabela 3.

Tabela 3- Formato de projeto raster da bacia do rio Ipanema

RESOLUÇÃO		COORDENADAS (°)		DATUM
Linhas	Colunas	-08.3104N	-09.8845S	WGS84
1889	1012	-37.4616W	-36.6183E	

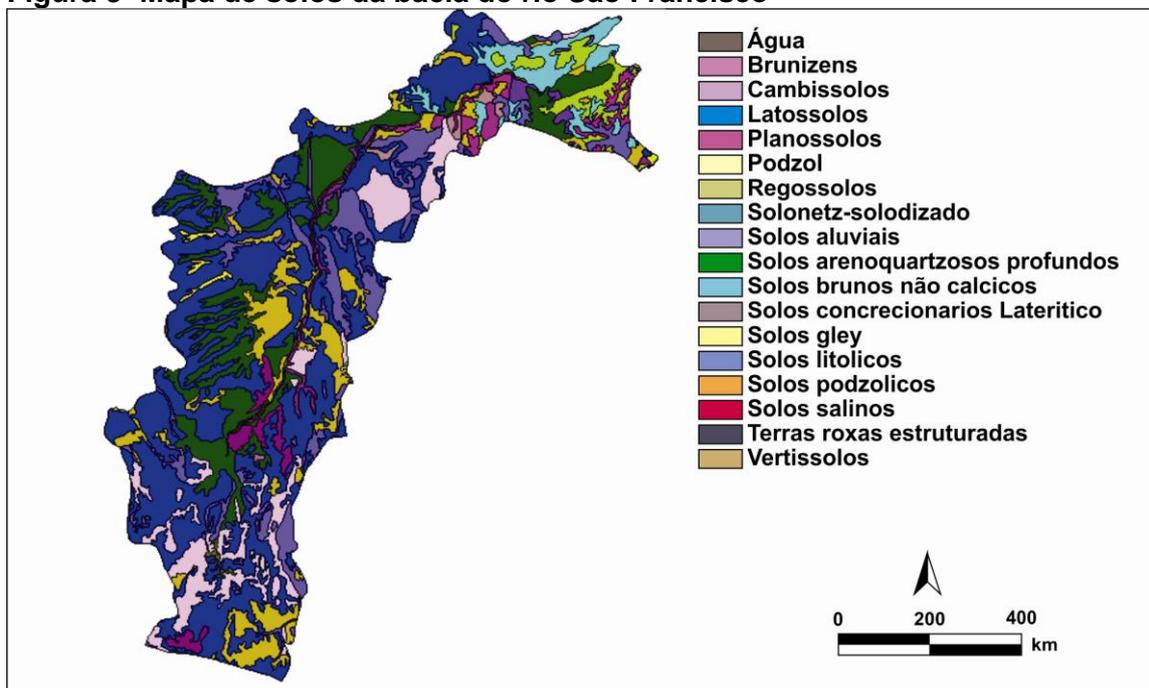
Fonte: Autor, 2012

4.3.2 Unidades de resposta hidrológicas (URH)

Definidas como blocos, as unidades de respostas hidrológicas URH são a resultante da interação dos componentes tipos de solos e a cobertura vegetal aliado a bacia em estudo. Os tipos de solo são classificados conforme as suas respostas hidrológicas em relação a precipitação: tipo raso, gerando mais escoamento superficial, ou tipo profundo, que gera menos escoamento superficial. A cobertura vegetal em cada trecho da bacia é classificada quanto a altura e área foliar.

O mapa de solos utilizados foi o proveniente da bacia do rio São Francisco, obtido no portal da Agência Nacional de Águas (ANA, 2010 e EMBRAPA, 1999) mostrado na figura 8.

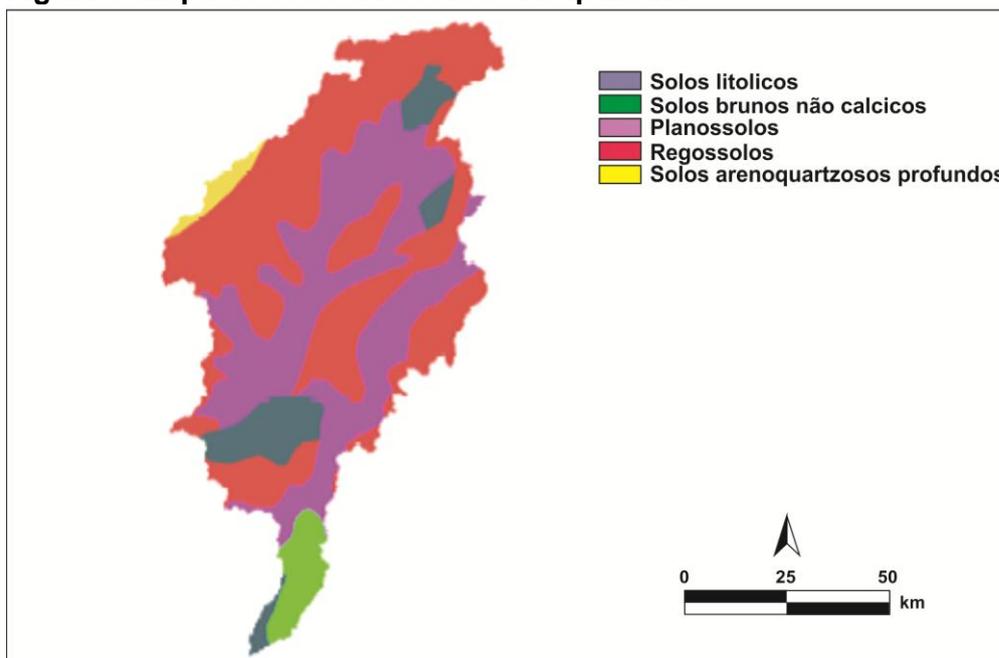
Figura 8- Mapa de solos da bacia do rio São Francisco



Fonte: (ANA, 2010)

Com o mapa de solos da bacia do rio São Francisco, recortou-se a bacia do rio Ipanema e efetuou-se a classificação dos solos como esta mostrada na figura 9, apresentando solos litólicos, brunos não cálcicos, planossolos, regossolos e areno quartzosos profundos. Os solos foram classificados conforme apresentado na tabela 4.

Figura 9- Mapa de solos da bacia do rio Ipanema



Fonte: Autor, 2012

Tabela 4- Classificação dos solos da bacia do rio Ipanema

VALOR	TIPO DE SOLO
1	Litolico
2	Brunos não cálcicos
3	Planossolos
4	Regossolos
5	Areno quartzosos profundos

Fonte: Autor, 2012

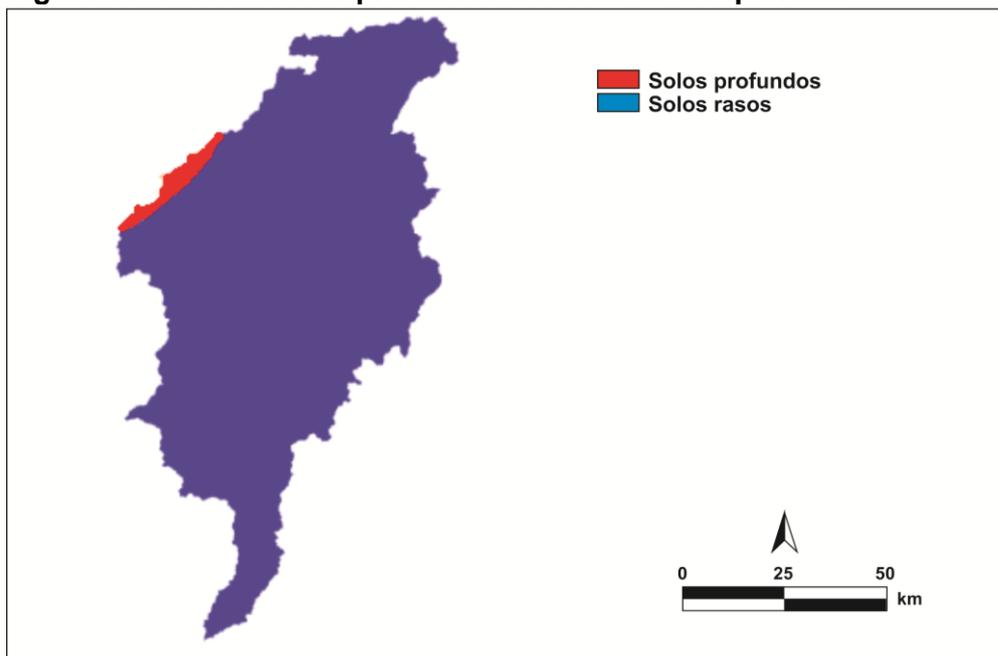
O mapa de solos gerado (solos litólicos, brunos não cálcicos, planossolos, regossolos e areno quartzosos profundos) foi reclassificado para representar o comportamento dos solos em relação a resposta aos eventos pluviométricos. A classificação adotou como tendência de geração do escoamento superficial nos solos rasos e pouco escoamento superficial nos solos profundos conforme mostrado na tabela 5 e figura 10.

Tabela 5- Reclassificação dos solos da bacia do rio Ipanema

VALOR	CONDIÇÃO	TIPO DE SOLO
2	Raso	Litolico
2	Raso	Brunos Não Calcicos
2	Raso	Planossolos
2	Raso	Regossolos
1	Profundo	Areno Quartzosos Profundos

Fonte: Autor, 2012

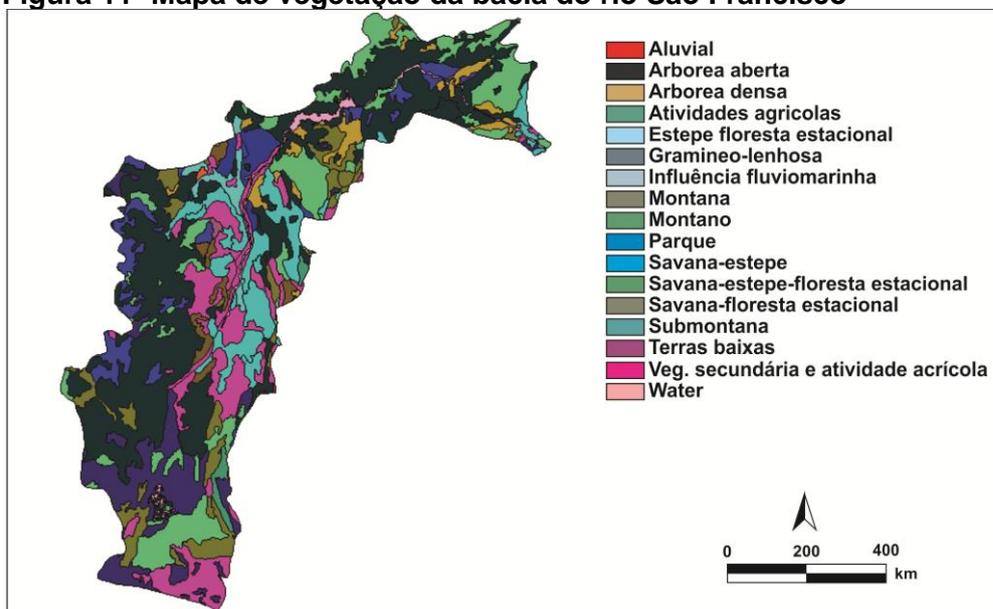
Figura 10- Solos rasos e profundos da bacia do rio Ipanema



Fonte: Autor, 2012

Uma vez concluída a preparação do mapa de solos classificado em relação a sua resposta hidrológica, passa-se a preparação do mapa representativo da vegetação na bacia, para tanto, utiliza-se um mapa digital da vegetação no formato Shape proveniente da bacia do rio São Francisco fornecido pelo portal da Agência Nacional de Águas (ANA, 2010 e EMBRAPA, 1999) proveniente do convênio com o RADAMBRASIL que utilizou imagens do satélite Landsat 5 TM conforme mostrado na figura 11.

Figura 11- Mapa de vegetação da bacia do rio São Francisco



Fonte: (ANA, 2010)

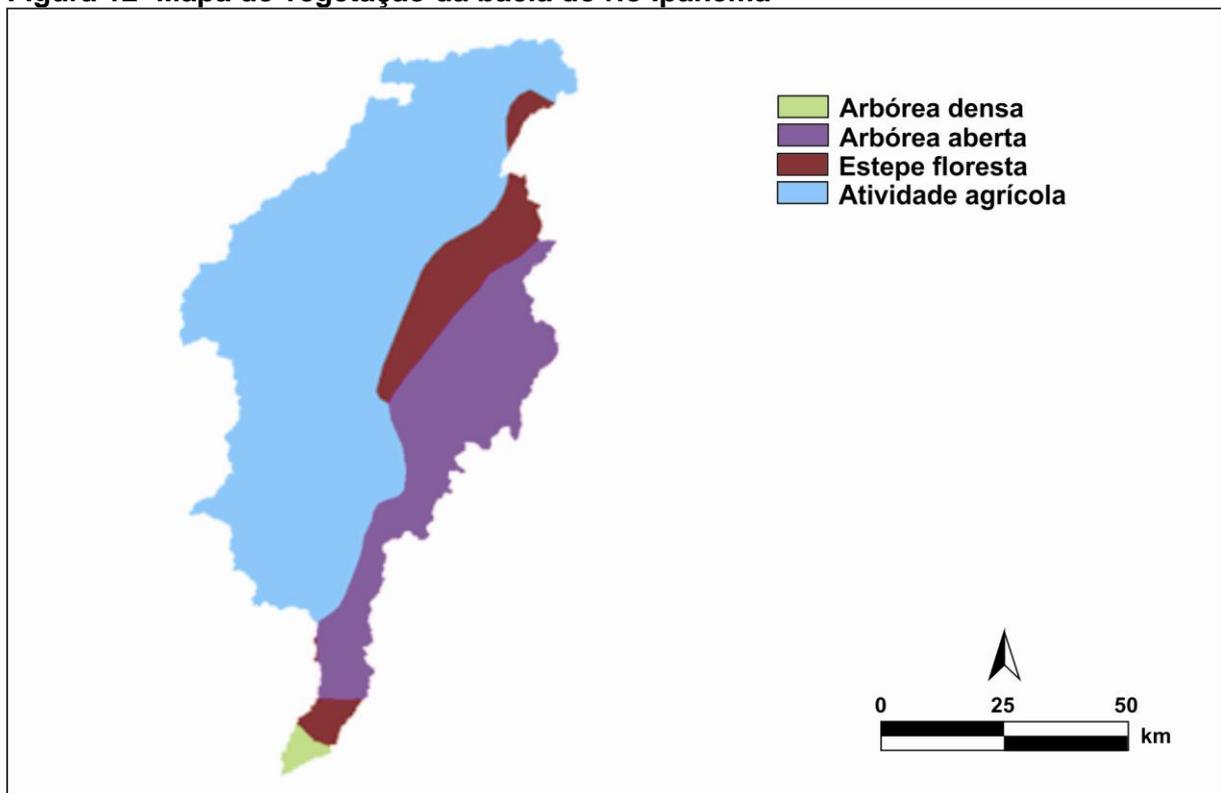
O mapa de vegetação da bacia do rio Ipanema, apresenta como variedades de cobertura a Arbórea Densa, Arbórea Aberta, Estepe – Floresta Estacional e Atividades Agrícolas classifica-se a vegetação conforme a tabela 6 e a figura 12.

Tabela 6- Classificação da vegetação na bacia do rio Ipanema

VALOR	TIPO DE VEGETAÇÃO
1	Arbórea Densa
2	Estepe-Floresta Estacional
3	Arbórea Aberta
4	Atividade Agrícola

Fonte: Autor, 2012

Figura 12- Mapa de vegetação da bacia do rio Ipanema



Fonte: Autor, 2012

A diminuição do número de classes de vegetação faz-se necessária para que a combinação entre vegetação e solo não produza um número elevado de classes na representação dos blocos. No estudo da bacia do rio das Almas (COLLISCHONN et al., 2010), as classes iniciais de vegetação (pastagem, agricultura, floresta, cerrado e vegetação pioneira) foram reduzidas a apenas duas classes no arquivo de blocos: agricultura e cerrado. O arquivo de vegetação inicial é condensado,

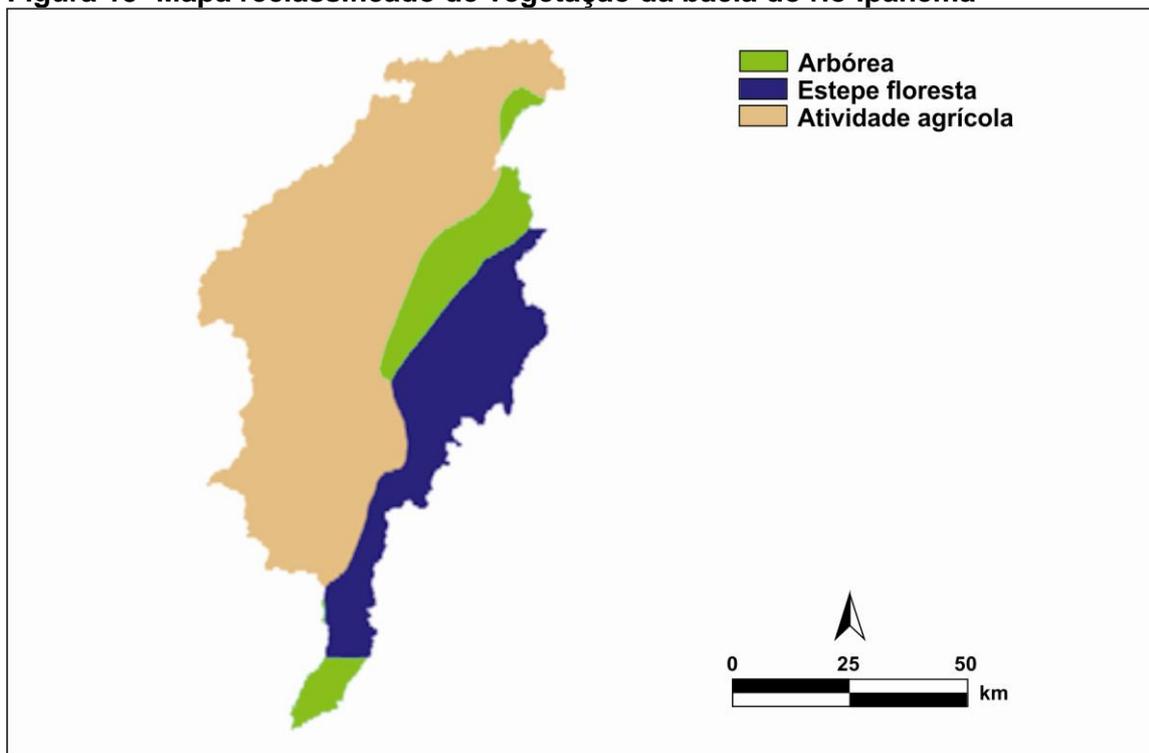
reclassificado e renomeado para conter agora apenas três classes de acordo com a tabela 7 e a figura 13.

Tabela 7- Reclassificação da vegetação na bacia do rio Ipanema

VALOR	TIPO DE VEGETAÇÃO
1	Estepe-Floresta Estacional
2	Arbórea
3	Atividade Agrícola

Fonte: Autor, 2012

Figura 13- Mapa reclassificado de vegetação da bacia do rio Ipanema



Fonte: Autor, 2012

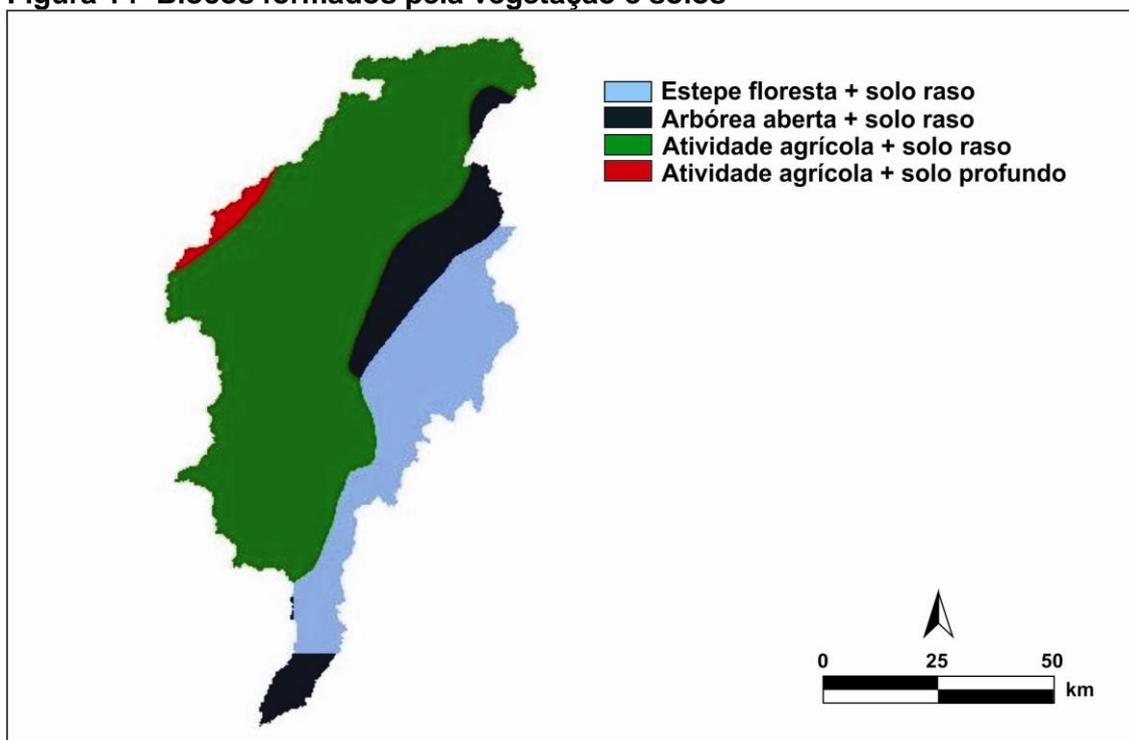
Os blocos foram obtidos pela união dos mapas digitais de solos com duas classes (raso e profundo, conforme tabela 5), vegetação com três classes (arbórea, estepe floresta e agricultura, conforme tabela 7), a representação final apresenta quatro classes de blocos, conforme mostrado na tabela 8 e na figura 14.

Tabela 8- Definição dos blocos da bacia do rio Ipanema

VALOR	SOLO	VEGETAÇÃO	BLOCOS	% ÁREA
1	2	1	Estepe-Floresta + Solo Raso	16,57
2	2	2	Arbórea + Solo Raso	5,44
3	2	3	Atividade Agrícola + Solo Raso	76,36
4	1	3	Atividade Agrícola + Solo Profundo	1,63

Fonte: Autor, 2012

Figura 14- Blocos formados pela vegetação e solos



Fonte: Autor, 2012

4.3.3 Geração dos dados físicos da bacia do rio Ipanema no PrePro MGB-IPH

As etapas GIS descritas anteriormente, incluindo os arquivos de blocos servem como alimentação da rotina PrePro MGB-IPH (COLLISCHONN et al., 2010), que no caso deste estudo foi utilizada a versão 4.1. Os arquivos de entrada necessários são: modelo digital de elevação, direções de fluxo, minibacias, rede de drenagem e blocos, podendo estar formatados em Raster ou Ascii. Como opcional tem-se os arquivos referentes as sub-bacias da área em estudo. Os parâmetros a serem selecionados pelo usuário no PrePro MGB-IPH são: distâncias entre pixel, comprimentos acumulados e declividade mínima. Os arquivos utilizados encontram-se na tabela 9.

Tabela 9- Arquivos de entrada PrePro

ARQUIVO	DESCRIÇÃO
Fillpanema	MDE da bacia
Fdrlpanema	Direções de fluxo
Strlpanema	Rede de drenagem
Catlpanema	Minibacias
Blocos	Blocos

Fonte: Autor, 2012

Ao executar a rotina PrePro MGB-IPH após o carregamento dos arquivos de entrada e as definições requeridas na interface, tem-se como produto uma série de arquivos de informações físicas relevantes a bacia em estudo, representando a interação dos dados de entrada GIS e as definições da interface.

Nos arquivos gerados em formato texto (.txt), são apresentadas as características da bacia quanto ao número de minibacias, sub-bacias e blocos, as áreas por minibacias, as declividades, os percentuais de blocos, e as distâncias da rede de drenagem. A lista dos arquivos processados está apresentada no quadro 1.

Quadro 1- Arquivos de saída PrePro

ARQUIVO	
bloco.txt	mini_exut_trechos.txt
catchment.txt	mini_trechos.txt
comprimento.txt	minibacias_MGB-IPH.txt
dir.txt	MDE.txt
mini_afluentes.txt	parametros.txt
mini_centroides.txt	rede.txt
mini_exut_afluentes.txt	mini.txt

Fonte: Autor, 2012

4.4 Aplicação dos arquivos Prepro MGB-IPH no Mapwindow GIS

Concluída a etapa PrePro MGB-IPH, as informações GIS estão prontas a serem utilizadas no modelo MGB-IPH (COLLISCHONN et al., 2010) na interface do MapWindow GIS versão 4.8.1 (MAPWINDOW, 2010), onde são inseridas as informações pluviométricas, fluviométricas e climatológicas. Os arquivos citados contendo as informações das séries históricas foram obtidos no portal HidroWeb (HIDROWEB, 2012).

4.4.1 Determinação dos centroides das minibacias

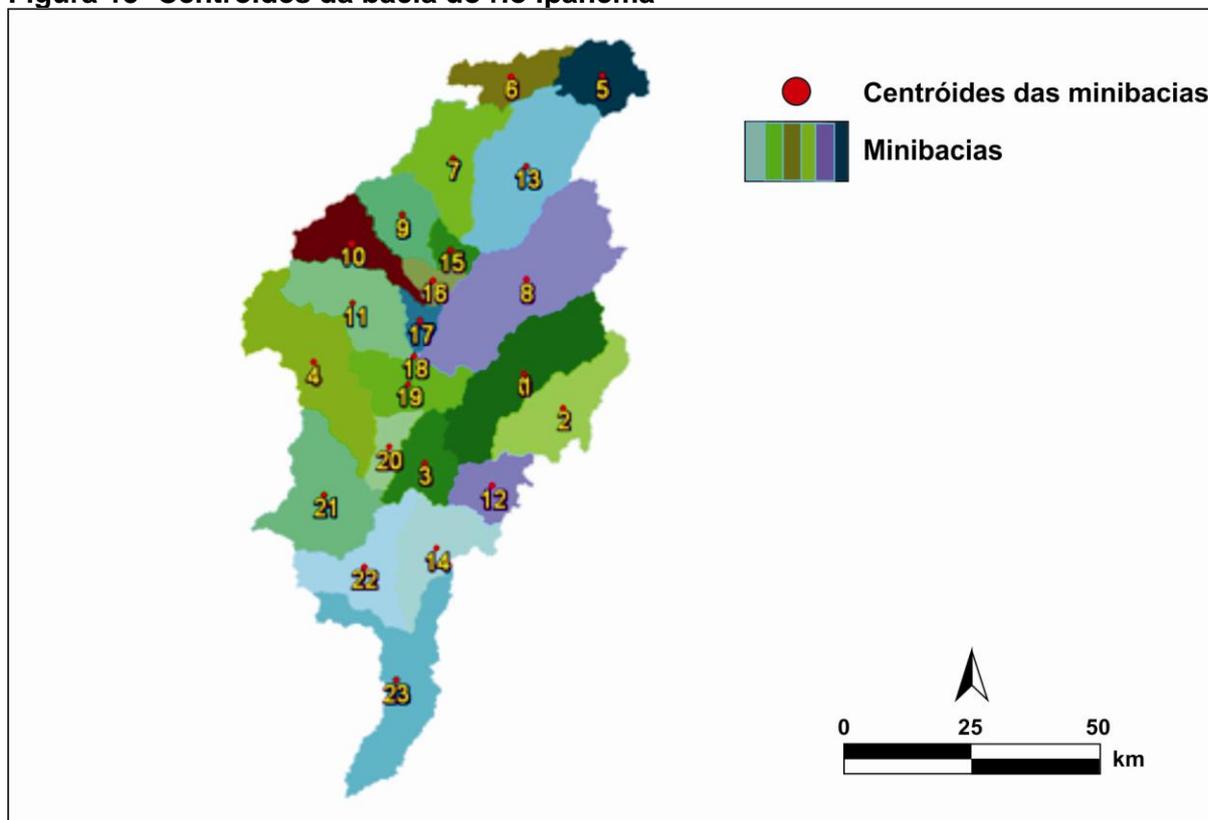
Utilizando a interface MGB-IPH no Mapwindow, o passo inicial é a preparação dos dados para o projeto de simulação. O arquivo previamente formatado na rotina PrePró-MGB com o nome de MINI.txt deve ser renomeado para MINI.MGB (quadro 2). O MGB-IPH gera então um Shapefile contendo os centroides da bacia conforme mostrado na figura 15.

Quadro 2- Arquivo MINI MGB-IPH

CatID	Mini	Xcen	Ycen	Sub	Area_(km2)
1	1	-36.87938	-9.00240	1	597.93992
2	2	-36.79885	-9.07290	1	411.55378
3	3	-37.08332	-9.18749	1	231.48192
4	4	-37.31216	-8.97970	1	603.37521
5	5	-36.71654	-8.38661	1	253.62063
6	6	-36.90582	-8.38742	1	213.44757
7	7	-37.02542	-8.55590	1	402.97304
8	8	-36.87442	-8.80872	1	919.28857
9	9	-37.13074	-8.67395	1	262.12801
10	10	-37.23489	-8.73378	1	277.45899
11	11	-37.23155	-8.85679	1	402.61948
12	12	-36.94552	-9.23589	1	202.48111
13	13	-36.87290	-8.57364	1	671.60194
14	14	-37.05996	-9.36461	1	349.94574
15	15	-37.02870	-8.74653	1	80.41490
16	16	-37.06717	-8.80983	1	89.85934
17	17	-37.09401	-8.89455	1	78.34226
18	18	-37.10465	-8.96640	1	2.26148
19	19	-37.11768	-9.02395	1	279.67360
20	20	-37.15673	-9.15499	1	118.82748
21	21	-37.29055	-9.25324	1	521.52839
22	22	-37.20855	-9.40326	1	377.03740
23	23	-37.14304	-9.63753	1	563.38208

Fonte: Autor, 2012

Figura 15- Centróides da bacia do rio Ipanema

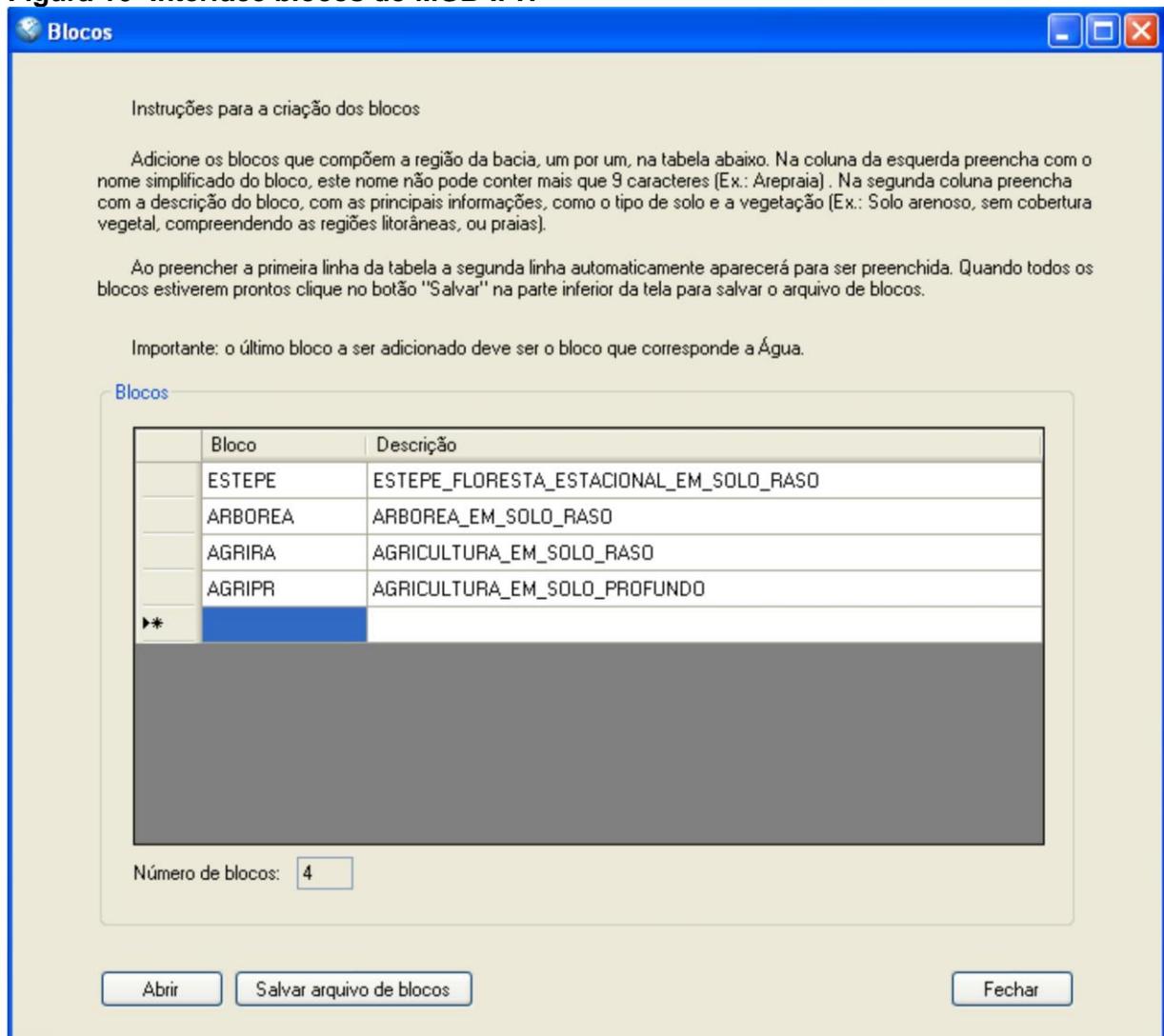


Fonte: Autor, 2012

4.4.2 Geração dos blocos representativos das URH's

No Mapwindow torna-se conveniente antes da criação do arquivo de blocos, adicionar o *layer* que expresse as minibacias e os referidos centroides. Cada bloco tem sua informação inserida na tabela com no máximo 9 caracteres, determinando o nome simplificado. Na coluna de descrição pode-se fornecer a informação mais detalhada sobre cada bloco. Completada a tabela, será mostrado o número de blocos constantes, com a sequência idêntica ao produzido no arquivo Blocos.rst criado na etapa GIS (COLLISCHONN et al., 2010). A figura 16 mostra o arquivo de blocos, salvo na pasta do projeto como Blocos.MGB-IPH (Apêndice A).

Figura 16- Interface blocos do MGB-IPH



Fonte: Autor, 2012

4.4.3 Postos fluviométricos utilizados na modelagem

Os postos fluviométricos da bacia do rio Ipanema são adicionados nesta etapa, apresentando o código de cada uma das estações e suas respectivas coordenadas geográficas (tabela 10).

Tabela 10- Postos fluviométricos da bacia do rio Ipanema

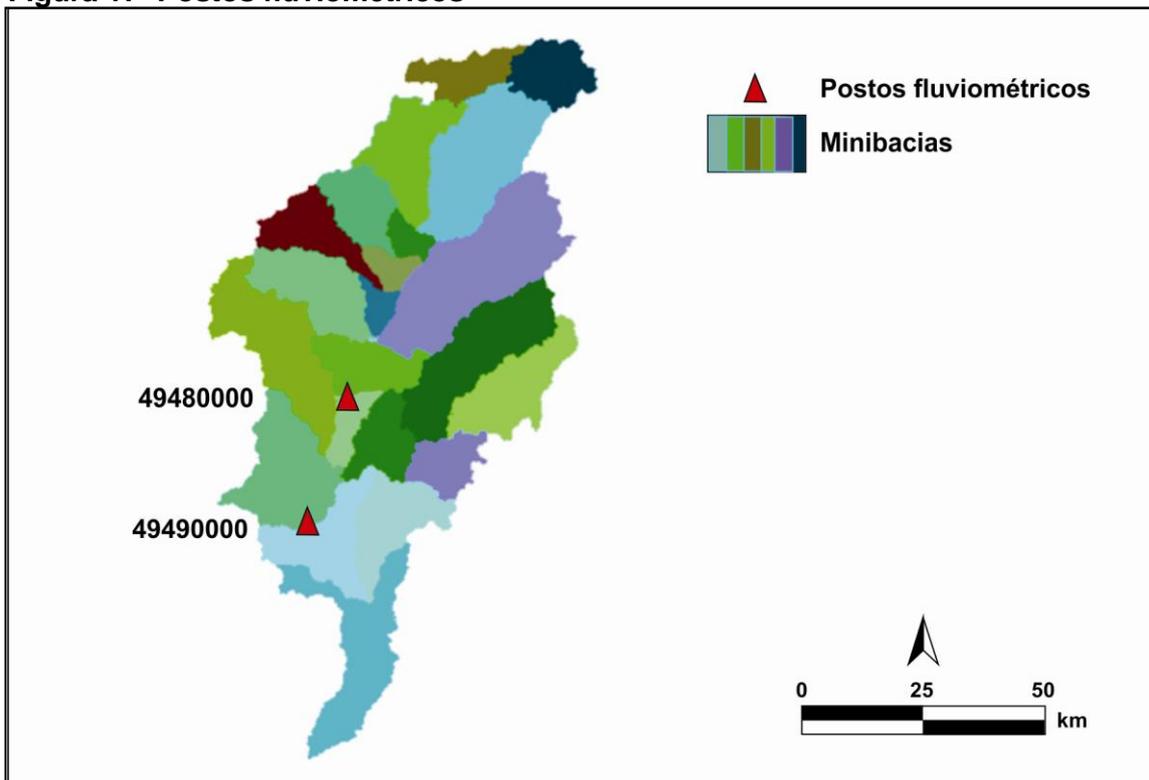
Código Posto	Município	Longitude (W)	Longitude (S)
49480000	ÁGUAS BELAS - PE	37.16	9.09
49490000	SANTANA DO IPANEMA - AL	37.25	9.37

Fonte: Autor, 2012

O posicionamento geográfico das estações fluviométricas da bacia do rio Ipanema é mostrado na figura 17 e a disponibilidade temporal dos dados que foram inseridos no MGB-IPH é mostrada na figura 18.

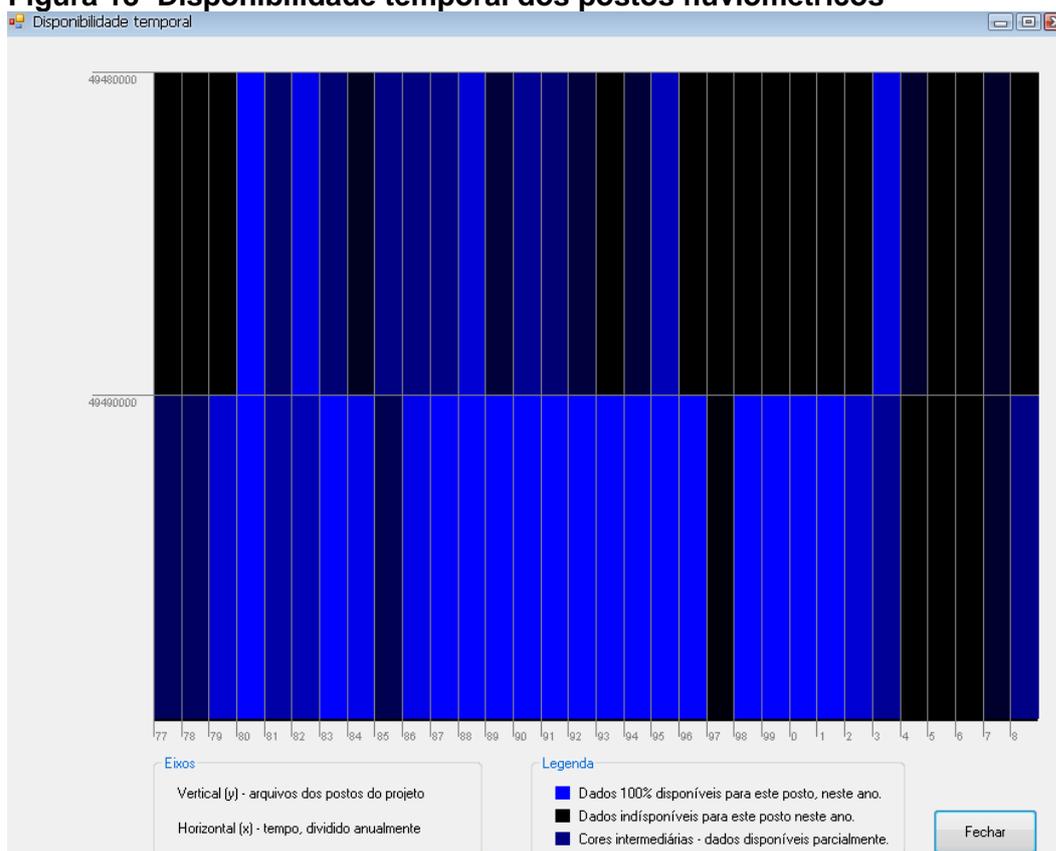
Ao inserir nesta etapa do MGB-IPH (COLLISCHONN et al., 2010) as vazões observadas, são escolhidos os postos a serem utilizados para simulação e suas respectivas ações: “O” para observado e “S” para substituir os calculados (figura 19).

Figura 17- Postos fluviométricos



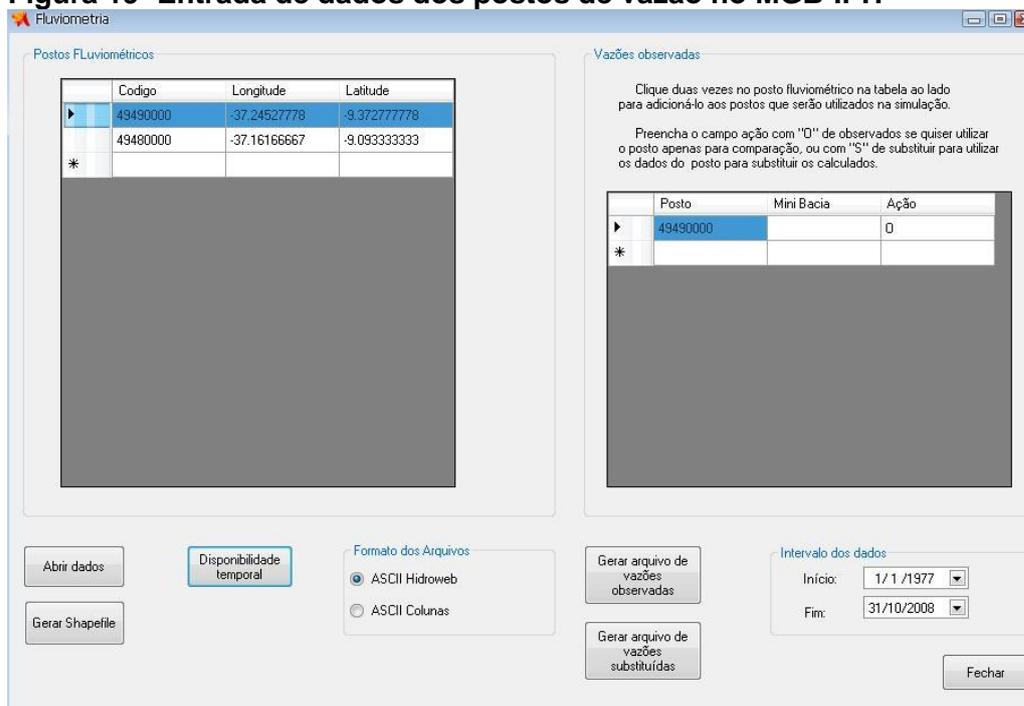
Fonte: Autor, 2012

Figura 18- Disponibilidade temporal dos postos fluviométricos



Fonte: Autor, 2012

Figura 19- Entrada de dados dos postos de vazão no MGB-IPH



Fonte: Autor, 2012

4.4.4 Postos pluviométricos utilizados na modelagem

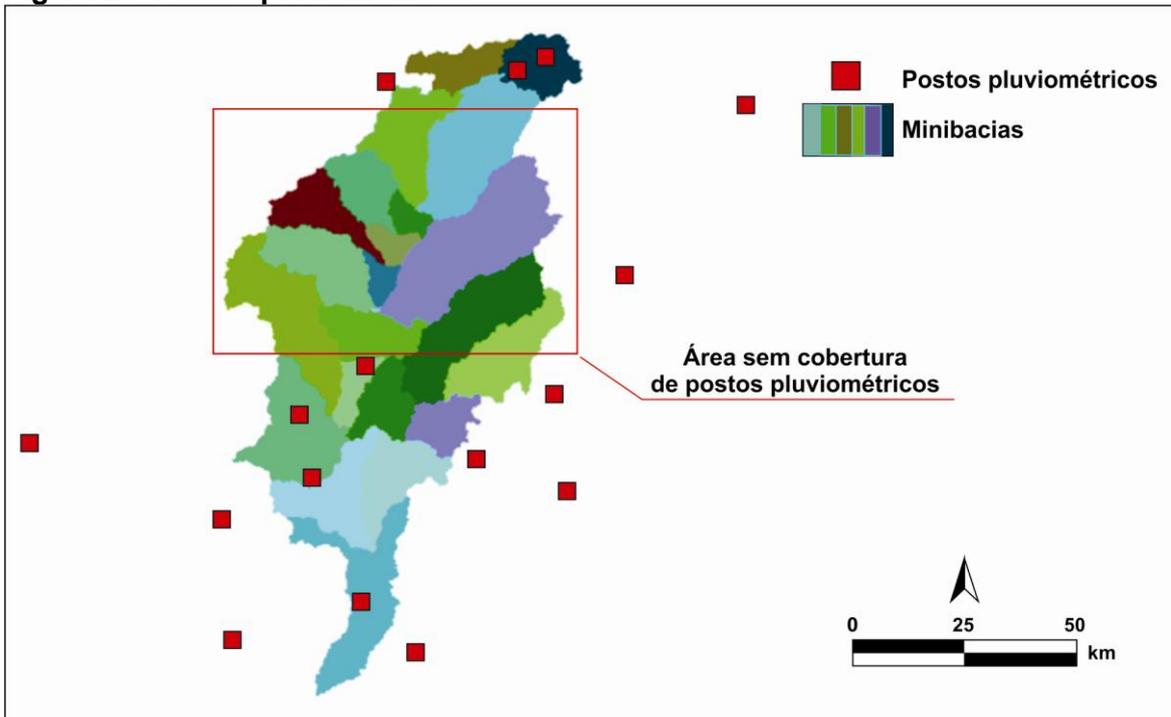
Os postos pluviométricos disponíveis para o estudo da bacia do rio Ipanema são mostrados na tabela 11, totalizando 24 postos, definidos por codificação, município e coordenadas geográficas. A figura 20 nomeada Postos_Plu.shp apresenta a localização espacial dos postos pluviométricos e a área sem cobertura da série de dados, na representação aparecem apenas 16 postos devido as sobreposições pontuais das coordenadas. Cada posto pluviométrico tem a sua disponibilidade temporal mostrada na figura 21.

Tabela 11- Postos pluviométricos da bacia do rio Ipanema

Código Posto	Município	Longitude (W)	Longitude (S)
836007	CACHOEIRINHA - PE	36.23	8.48
836014	GARANHUNS-PE	36.52	8.88
836031	PESQUEIRA-PE	36.77	8.40
836032	PESQUEIRA-PE	36.70	8.37
837042	ARCOVERDE-PE	37.08	8.42
936001	BOM CONSELHO - PE	36.68	9.17
936032	PALMEIRA DOS ÍNDIOS - AL	36.87	9.32
936034	PALMEIRA DOS ÍNDIOS - AL	36.65	9.40
936035	PALMEIRA DOS ÍNDIOS - AL	36.70	9.45
937004	POÇO DAS TRINCHEIRAS - AL	37.28	9.22
937005	SANTANA DO IPANEMA - AL	37.47	9.47
937006	SANTANA DO IPANEMA - AL	37.25	9.37
937007	ÁGUA BRANCA – AL	37.93	9.28
937008	ÁGUA BRANCA – AL	37.90	9.28
937010	BATALHA – AL	37.13	9.67
937018	PÃO DE AÇÚCAR - AL	37.45	9.75
937031	ÁGUAS BELAS – PE	37.13	9.11
937032	SANTANA DO IPANEMA - AL	37.25	9.37
937034	PÃO DE AÇÚCAR - AL	37.43	9.75
937040	BATALHA – AL	37.01	9.78

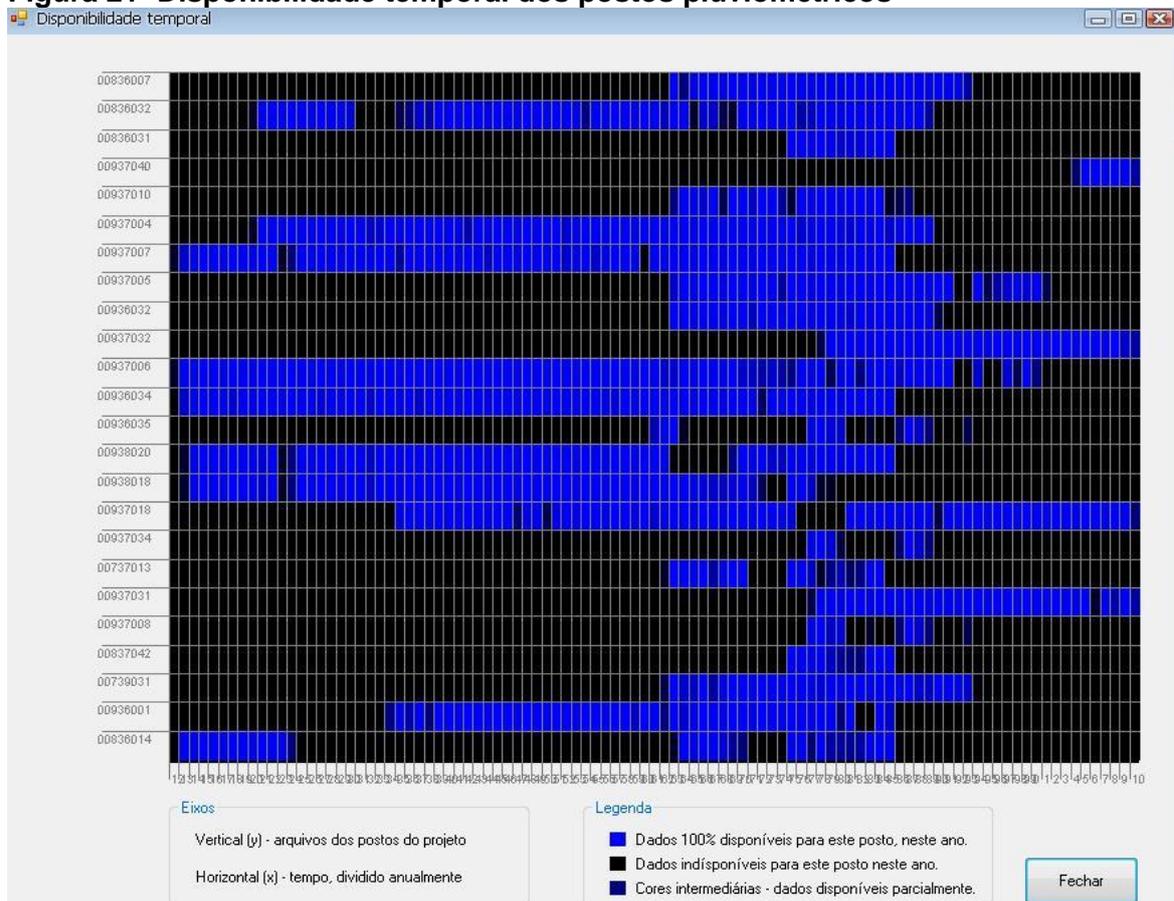
Fonte: Autor, 2012

Figura 20- Postos pluviométricos



Fonte: Autor, 2012

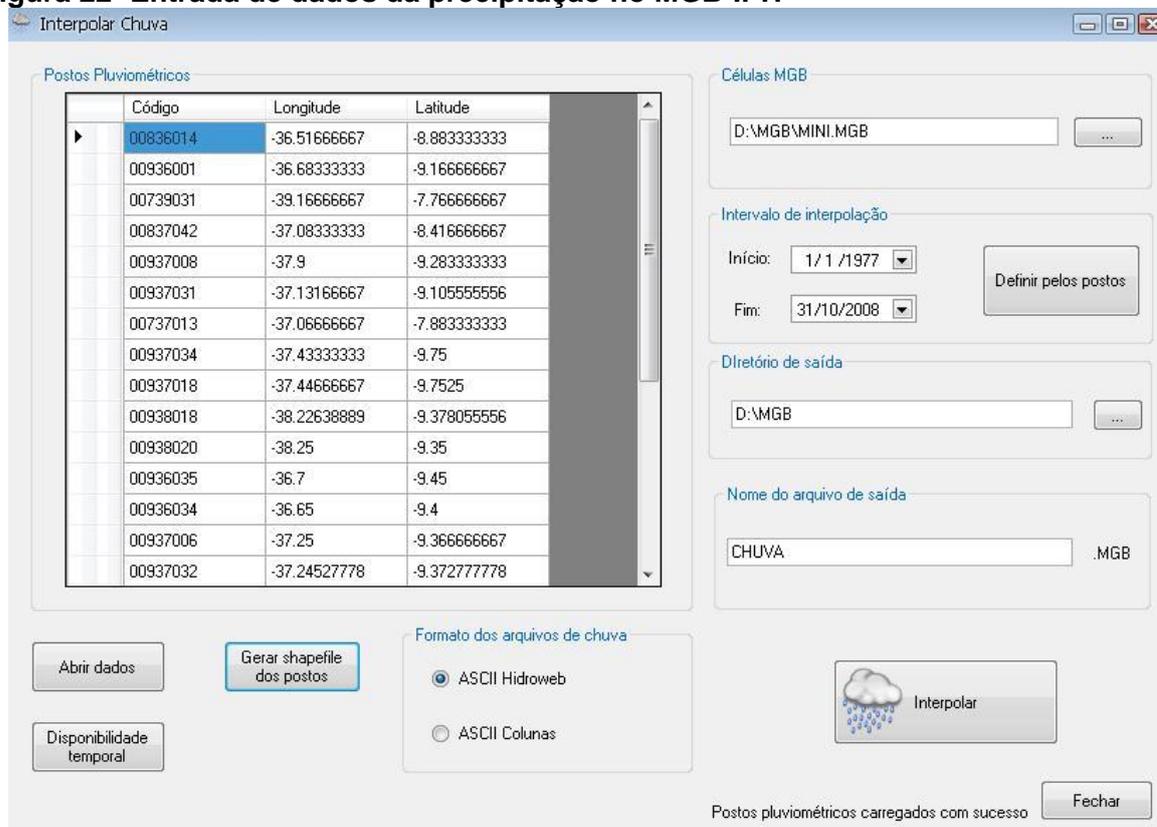
Figura 21- Disponibilidade temporal dos postos pluviométricos



Fonte: Autor, 2012

Na interpolação da precipitação com as minibacias, indica-se no espaço destinado as “Células MGB-IPH” o arquivo de informação MINI.MGB (figura 22). Este procedimento relaciona a distribuição espacial dos postos com as minibacias no intervalo de tempo do projeto de 01/01/1977 a 31/10/2008, o arquivo, de saída é nomeado “CHUVA.MGB” (Apêndice B).

Figura 22- Entrada de dados da precipitação no MGB-IPH



Fonte: Autor, 2012

4.4.5 Postos climatológicos utilizados na modelagem

Utilizando os dados disponíveis de clima da bacia do rio Ipanema (tabela 12) do portal Hidroweb (HIDROWEB, 2012 e INMET, 2011), acessando o MGB-IPH (COLLISCHONN et al., 2010) no Mapwindow (MAPWINDOW, 2010), disponibilizam-se as estações climatológicas contendo dados mensais de temperatura, umidade relativa, insolação, pressão e velocidade do vento de cada um dos postos selecionados no intervalo de tempo do projeto, conforme figura 23. Cada posto

apresenta codificação, nome e coordenadas, o usuário tem como opção a seleção de cada um dos postos para a simulação.

Tabela 12- Postos climatológicos da bacia do rio Ipanema

Código Posto	Município	Longitude (W)	Longitude (S)
837042	ARCOVERDE-PE	37.083	8.417
937008	ÁGUA BRANCA-AL	37.900	9.283
937034	PÃO DE AÇÚCAR-AL	37.433	9.750
936035	PALMEIRA DOS ÍNDIOS-AL	36.700	9.450
937035	SANTANA DO IPANEMA-AL	37.083	9.400
836031	PESQUEIRA-PE	36.767	8.400
836014	GARANHUNS –PE	36.517	8.883

Fonte: Autor, 2012

Figura 23- Interface dos dados de clima no MGB-IPH

Carregar dados

Formato dos dados

ASCII Hidroweb

ASCII Colunas

Calcular médias climatológicas

Gerar arquivos de clima diários

Gerar Shapefile dos postos

Intervalo dos dados diários

Início: 1/10/1912

Fim: 31/12/2002

Entre com o mesmo intervalo utilizado para as vazões observadas pois, se os dados de clima não estiverem disponíveis no dia, as médias serão usadas.

Estação Climatológica: Nome: ARCOVERDE

Latitude: -37.08333333 Longitude: -8.41666667

Número de anos com dados

Mês	Temperatura	Umidade Relativa	Insolação	Vento	Pressão
Janeiro	9	5	8	0	9
Fevereiro	10	6	8	0	9
Março	10	6	8	0	9
Abril	10	6	8	0	10
Mai	10	6	8	0	10
Junho	10	6	8	0	10
Julho	10	6	8	0	10
Agosto	10	6	9	0	10
Setembro	11	6	10	0	11
Outubro	11	6	10	0	11
Novembro	11	6	10	0	11
Dezembro	11	6	10	0	11
*					

Utilizar posto?

Sim Não

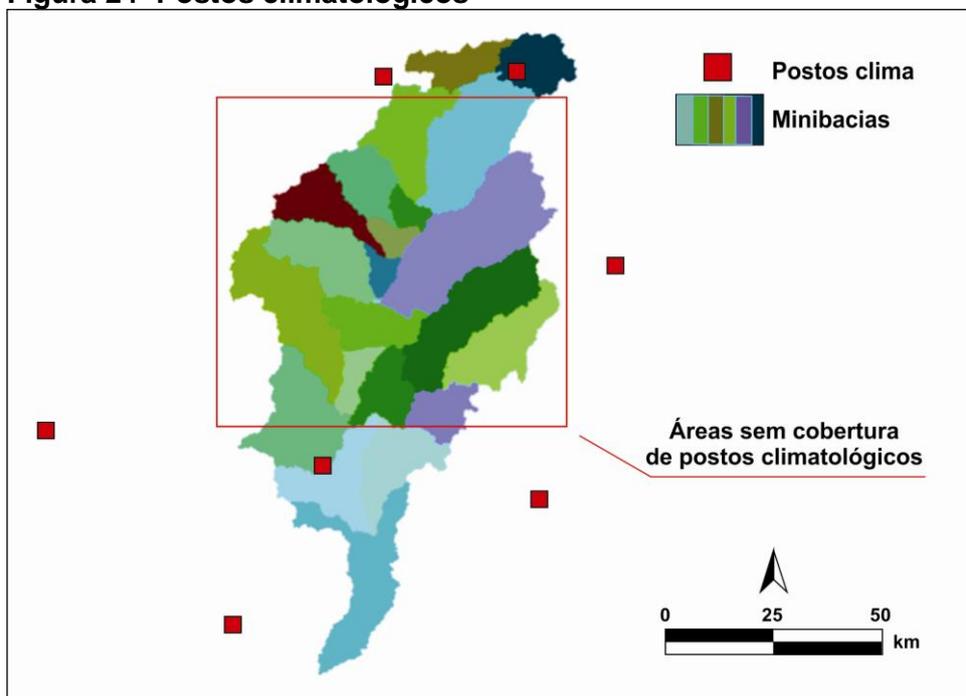
1

Fechar

Fonte: Autor, 2012

Os arquivos gerados na fase clima são: o *shape file* dos postos climatológicos figura 24 com a localização geográfica na bacia e seu entorno, mostrando ainda a área sem cobertura de dados; as médias climatológicas (Apêndice C) e os arquivos de clima diários (Apêndice D).

Figura 24- Postos climatológicos



Fonte: Autor, 2012

4.4.6 Parâmetros fixos utilizados na modelagem

Com os dados de vazão, precipitação e clima colocados no arquivo de projeto do MGB-IPH, passa-se então aos parâmetros fixos (quadro 3) a serem utilizados na simulação abrangem o albedo (medida adimensional da razão entre a irradiância eletromagnética refletida e a quantidade incidente) (CONTI, 2008), o índice de área foliar (a razão entre a área foliar do dossel e a unidade de superfície projetada no solo (m^2/m^2)) (WATSON, 1947), a altura média das árvores em metros (LIMA *et al.*, 1996) e a resistência superficial s/m (a resistência do fluxo de vapor através da área total das folhas e na superfície do solo) (GOERGEN, 2010), conforme mostrado na figura 25. Os dados dos parâmetros fixos representam valores médios para a área da região ou próxima que possua características semelhantes em faixa de variação

anual, dispostos mensalmente e relacionados ao arquivo de blocos do modelo (SILVA, 2005; BEZERRA, 2006 apud SANTOS, 2009; SANTOS *et al.*, 2011).

Quadro 3- Parâmetros fixos do MGB-IPH na bacia do rio Ipanema

albedo												
uso	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
ESTEPE	0.24	0.24	0.22	0.22	0.22	0.20	0.18	0.20	0.22	0.22	0.22	0.24
ARBOREA	0.26	0.26	0.24	0.24	0.24	0.22	0.20	0.22	0.24	0.24	0.24	0.26
AGRIRA	0.40	0.40	0.38	0.38	0.38	0.34	0.30	0.34	0.38	0.38	0.38	0.40
AGRIPR	0.38	0.38	0.35	0.35	0.35	0.30	0.28	0.30	0.35	0.35	0.35	0.38
IAF !índice de área foliar												
uso	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
ESTEPE	3.00	4.00	4.00	4.50	5.00	5.00	5.00	5.00	4.50	4.00	3.00	3.00
ARBOREA	2.00	3.00	3.00	3.50	4.00	4.00	4.00	4.00	3.50	3.00	2.00	2.00
AGRIRA	1.00	1.00	1.00	1.50	2.00	2.00	2.00	2.00	1.50	1.00	1.00	1.00
AGRIPR	1.00	2.00	2.00	2.50	3.00	3.00	3.00	3.00	2.50	2.00	1.00	1.00
Z !altura das arvores												
uso	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
ESTEPE	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
ARBOREA	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
AGRIRA	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
AGRIPR	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
RS !resistência superficial												
uso	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
ESTEPE	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0
ARBOREA	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
AGRIRA	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
AGRIPR	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0

Fonte: Autor, 2012

Figura 25- Interface dos parâmetros fixos no MGB-IPH

Bloco	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
ESTEPE	0.24	0.24	0.22	0.22	0.22	0.20	0.18	0.20	0.22	0.22	0.22	0.24
ARBOREA	0.26	0.26	0.24	0.24	0.24	0.22	0.20	0.22	0.24	0.24	0.24	0.26
AGRIRA	0.40	0.40	0.38	0.38	0.38	0.34	0.30	0.34	0.38	0.38	0.38	0.40
AGRIPR	0.38	0.38	0.35	0.35	0.35	0.30	0.28	0.30	0.35	0.35	0.35	0.38

Valores típicos:			
Albedo			
	mínimo	médio	máximo
Floresta		0.11	0.16
Cerrado		0.13	0.18
Pastagem		0.18	0.26
Agricultura		0.15	0.26
Água			0.08

Fonte: Autor, 2012

4.4.7 Parâmetros calibráveis utilizados na modelagem

A criação do arquivo de parâmetros calibráveis no MGB-IPH (COLLISCHONN et al., 2010) utilizado no Mapwindow (MAPWINDOW, 2010) permite a atuação do usuário, relacionando o arquivo de blocos com a capacidade de armazenamento do solo (W_m), o escoamento superficial, a saturação (b), o controle de vazão na estiagem (K_{bas}), o escoamento subsuperficial (K_{int}), a curva de redução da drenagem intermediária (XL), a vazão do reservatório subterrâneo para a superfície ao longo do tempo (Cap), o armazenamento residual (W_c), a propagação superficial (C_s), a propagação subsuperficial (C_i), o retardo da vazão do reservatório subterrâneo (C_b) e a vazão de base (QB) em cada minibacia da simulação individualmente, os valores calibráveis adotados na partida do modelo (COLLISCHONN et al., 2010) estão mostradas nas tabelas 13 e 14.

Tabela 13- Blocos e parâmetros calibráveis do MGB-IPH: valores iniciais

BLOCOS	Wm	B	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
ESTEPE	800	0,1	1	2	0,6	0	0,1
ARBOREA	800	0,1	1	2	0,6	0	0,1
AGRIRA	200	0,1	1	2	0,6	0	0,1
AGRIPR	400	0,1	1	2	0,6	0	0,1

Fonte: Autor, 2012

Tabela 14- Parâmetros calibráveis iniciais

PARÂMETROS	VALOR	DESCRIÇÃO
CS	13	Valores entre 1 e 20
CI	100	Valores entre 50 e 200
CB	2300	Utilizar filtro de vazão de base
QB	0,0001	Rio intermitente – vazão de base
BLOCOS	4	Número de blocos utilizados
BACIAS	1	Número de sub-bacias da simulação

Fonte: Autor, 2012

Os parâmetros calibráveis no MGB-IPH (COLLISCHONN et al., 2010) apresentam a opção de seleção por parte usuário entre a manual ou automática (não disponível na versão utilizada). Na calibração manual são necessários apenas os arquivos dos parâmetros calibráveis iniciais, anteriormente descritos, cabendo ao usuário as alterações necessárias no arquivo de parâmetros calibráveis a cada ciclo de simulação, buscando a melhor resposta para os dados simulados em relação ao observado.

observadas e substituídas), climatológicos (clima médias e diários), parâmetros (fixos e calibráveis) e a calibração automática (apêndice E).

Figura 27- Projeto no MapWindow da bacia do rio Ipanema



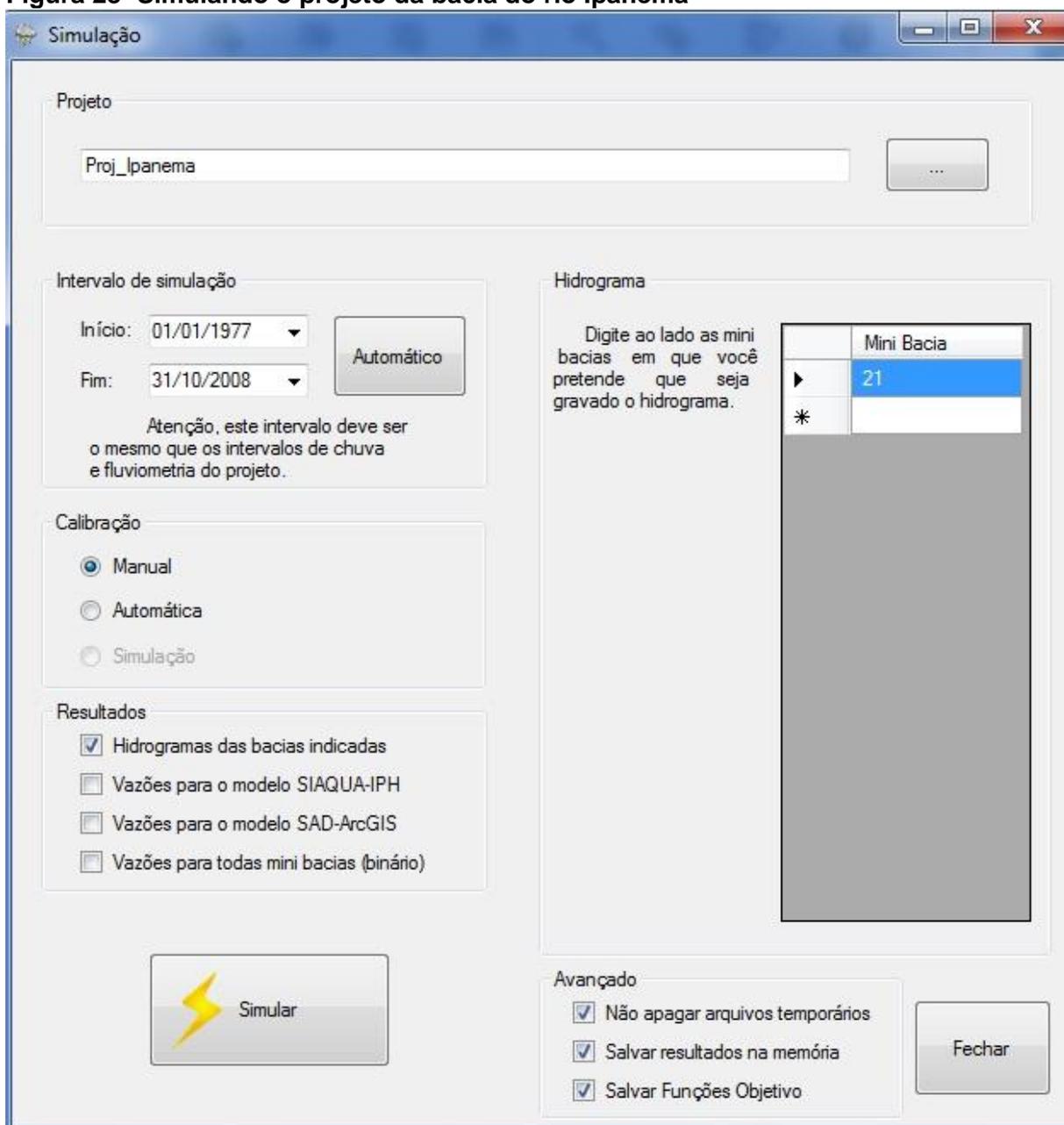
Fonte: Autor, 2012

4.5 Simulação da bacia do rio Ipanema

Na simulação da bacia do rio Ipanema foram considerados 6 cenários de simulação para a calibração dos parâmetros, construídos a partir da avaliação da disponibilidade espacial e temporal da precipitação, clima e vazão.

Com o arquivo de projeto “Proj_Ipanema” definido, passa-se a determinação dos parâmetros através da comparação entre o hidrograma simulado com o observado. Na simulação, o intervalo de dados utilizados pelo projeto deve ser comum a pluviometria, fluviometria e ao clima (01/01/1977 a 30/10/2008). É relevante a informação da minibacia onde vai ser gravado o hidrograma das vazões simuladas e a curva de permanência, conforme mostrado na figura 28.

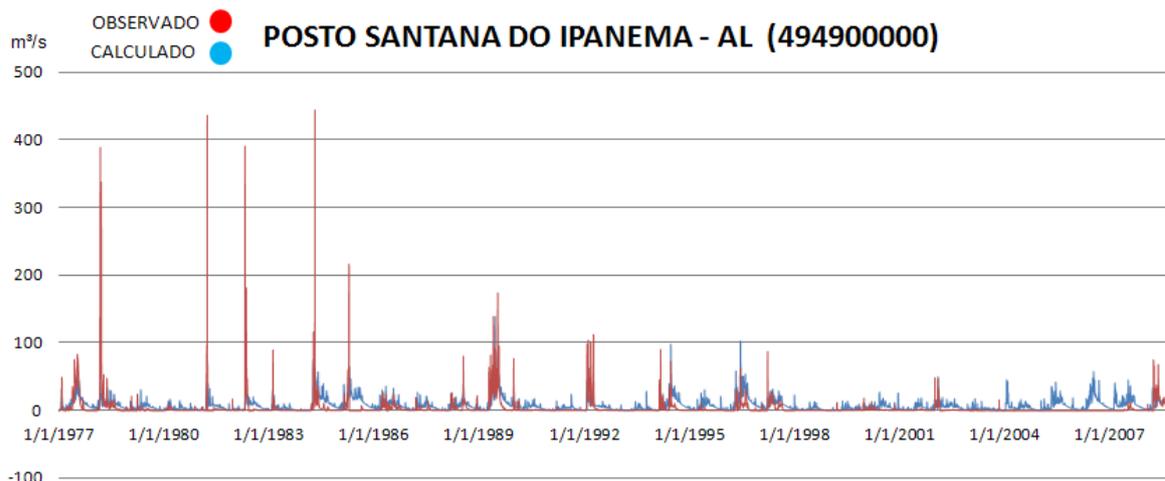
Figura 28- Simulando o projeto da bacia do rio Ipanema



Fonte: Autor, 2012

Realizada a simulação, formam-se os arquivos na pasta que contém o projeto, com as vazões simuladas diárias conforme exemplo do apêndice F, a propagação da vazão superficial nas minibacias e a propagação da vazão no solo nosolo.hig. Os hidrogramas observado e calculado no período de simulação do projeto são mostrados na figura 29.

Figura 29- Hidrogramas resultantes da primeira simulação



Fonte: Autor, 2012

Na fase de calibração do modelo, otimiza-se os parâmetros calibráveis, após sucessivos passos de alterações das variáveis do arquivo “calibráveis.MGB-IPH” em conjunto com a geração de novos resultados da simulação, os arquivos de vazão calculada gerados “vazões.hig” são avaliados pelo coeficiente de eficiência R^2 de Nash em conjunto com o de correlação Pearson (r) que relaciona as vazões observadas das séries históricas com as calculadas pelo MGB-IPH no posto 49490000 na minibacia 21, exemplificado no apêndice G .

5 RESULTADOS

Esse trabalho consistiu na tentativa de calibração do modelo MGB-IPH para a bacia do rio Ipanema, considerando alguns fatores:

- Grande variabilidade espacial e temporal das características da bacia e dos processos hidrológicos: a pequena quantidade de postos não conseguiu representar essa variabilidade;
- Pouca disponibilidade de dados hidroclimatológicos e distribuição espacial irregular dos postos na bacia;
- Séries de chuva e vazão com muitas falhas, apenas dois postos de vazão em todo trecho de rio e somente um (49490000) com dados suficientes para a modelagem;
- Períodos não coincidentes entre os postos pluviométricos e fluviométricos: resultou na redução do tamanho da série que inicialmente iria de 1977-2008, passando a 1977-1989.

Desta forma, os resultados que serão apresentados mostram o processo de calibração e análise dos dados disponíveis, em relação aos parâmetros de análise do ajuste. Os resultados da calibração foram agrupados em 6 cenários, considerando diferentes agrupamentos de informação de acordo com sua disponibilidade (temporal) e distribuição espacial dos postos, conforme será detalhado mais adiante.

5.1 Calibração do MGB-IPH

Para a calibração no MGB-IPH faz-se o arquivo com o conjunto de dados de entrada referentes ao projeto da bacia do rio Ipanema contendo a geometria, chuva, blocos, parâmetros, clima, e vazões é mostrado no quadro 4; determina-se os parâmetros fixos e calibráveis.

Quadro 4- Dados de entrada do modelo para a bacia do rio Ipanema

-Arquivo de Projeto do MGB
Projeto: Bacia do Ipanema
-Dados de Entrada-
Geometria: D:\MGB\Projeto_Maio_2011\Maio_001\MINI.MGB
Chuva: D:\MGB\Projeto_Maio_2011\Maio_001\CHUVA.MGB
Blocos: D:\MGB\Projeto_Maio_2011\Maio_001\BLOCOS.mgb
Parâmetros Fixos: D:\MGB\Projeto_Maio_2011\Maio_001\FIXOS.MGB
Parâmetros Calibráveis: D:\MGB\Projeto_Maio_2011\Maio_001\calibraveis.MGB
Clima: D:\MGB\Projeto_Maio_2011\Maio_001\mediasclima.MGB
Qobs: D:\MGB\Projeto_Maio_2011\Maio_001\vazoesob.MGB
Qsubst: Não Possui
InLet Points: Não Possui
Condições Iniciais: Não Possui
Clima diário: D:\MGB\Projeto_Maio_2011\Maio_001\Clima_Diario
Calibração Automática: Não Possui

Fonte: Autor, 2012

A gama dos parâmetros calibráveis no projeto do MGB-IPH para a bacia do rio Ipanema correspondem aos indicadores de armazenamento na bacia, forma entre o armazenamento e a saturação, controle da vazão durante a estiagem, controle da vazão subsuperficial, controle da drenagem intermediária, fluxo do reservatório subterrâneo, armazenamento residual, propagação superficial e subsuperficial, retardo do reservatório subterrâneo e a vazão de base. Tais parâmetros foram ajustados em relação a resposta obtida em cada simulação ou as mudanças do cenário.

Foram testados os diferentes níveis de situações, em face aos resultados comparados com as vazões observadas, sendo analisados pelo coeficiente de eficiência R^2 Nash em conjunto com o de correlação Pearson (r), objetivando a otimização na representação das variáveis. Entre as variáveis ajustadas o armazenamento (Wm) e forma (b) apresentaram uma maior sensibilidade na amplitude das correções em comparação com as demais.

No quadro 5 são mostrados os valores utilizados para os parâmetros fixos englobando o albedo, o índice de área foliar, a altura média vegetativa e a tensão superficial.

Quadro 5- Parâmetros fixos do modelo para a bacia do rio Ipanema

Albedo												
uso	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
ESTEPE	0.24	0.24	0.22	0.22	0.22	0.20	0.18	0.20	0.22	0.22	0.22	0.24
ARBOREA	0.26	0.26	0.24	0.24	0.24	0.22	0.20	0.22	0.24	0.24	0.24	0.26
AGRIRA	0.40	0.40	0.38	0.38	0.38	0.34	0.30	0.34	0.38	0.38	0.38	0.40
AGRIPR	0.38	0.38	0.35	0.35	0.35	0.30	0.28	0.30	0.35	0.35	0.35	0.38
IAF !ndice de area foliar												
uso	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
ESTEPE	3.00	4.00	4.00	4.50	5.00	5.00	5.00	5.00	4.50	4.00	3.00	3.00
ARBOREA	2.00	3.00	3.00	3.50	4.00	4.00	4.00	4.00	3.50	3.00	2.00	2.00
AGRIRA	1.00	1.00	1.00	1.50	2.00	2.00	2.00	2.00	1.50	1.00	1.00	1.00
AGRIPR	1.00	2.00	2.00	2.50	3.00	3.00	3.00	3.00	2.50	2.00	1.00	1.00
Z !altura das arvores												
uso	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
ESTEPE	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
ARBOREA	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
AGRIRA	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
AGRIPR	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
RS !resistência superficial												
uso	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
ESTEPE	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0
ARBOREA	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
AGRIRA	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
AGRIPR	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0

Fonte: Autor, 2012

5.2 Cenários de calibração do MGB-IPH à bacia do rio Ipanema

Os cenários de calibração representam o processo de tentativa da calibração do modelo MGB-IPH na bacia do rio Ipanema, considerando diferentes conjuntos de postos pluviométricos, fluviométricos e climatológicos em diferentes períodos da série temporal. Essas interações entre postos e períodos fizeram-se necessário para alcançar os resultados de calibração satisfatórios, considerando que:

- A variabilidade espacial e temporal dos processos hidrológicos na bacia é grande;
- Há muitas falhas e discontinuidades nas séries históricas de dados na região;
- Há redundância de postos (postos na mesma coordenada geográfica);
- As séries históricas de pluviometria, fluviometria e climatologia não são coincidentes para todos os postos.

Na calibração dos parâmetros no MGB-IPH para a bacia do rio Ipanema, utilizou-se 6 cenários representativos das modificações executadas ao longo das simulações conforme mostrado na tabela 15. Os cenários foram dispostos da seguinte forma:

- Cenário 1 – Utilizados todos os postos disponíveis nos período de 01/01/1977 a 31/10/2008;
- Cenário 2 - Efetuada a seleção dos postos pluviométricos para os mais próximos da bacia com menos falhas, sendo alterados os parâmetros calibráveis no período de 01/01/1977 a 31/12/1989;
- Cenário 3 – Selecionados os postos climatológicos e mantidos os pluviométricos da simulação 2, alterados os parâmetros calibráveis no período de 01/01/1977 a 31/12/1989;
- No cenário 4 foram alterados os parâmetros W_m , b e K_{bas} ; mantidos os postos climatológicos, fluviométricos e pluviométricos do cenário 3 (quadro 10);
- No cenário 5 foram modificados os parâmetros K_{int} e XI , mantidos os postos climatológicos, fluviométricos e pluviométricos do cenário 3 (quadro 11);
- No cenário 6 foram alterados os parâmetros calibráveis (quadro 12) para a variação dos parâmetros fixos de albedo e IAF ao longo do ano (figura 52).

Tabela 15- Síntese da caracterização dos cenários utilizados na calibração do MGB-IPH

CÓDIGO POSTO	MUNICÍPIO	Long (W)	Lat (S)	Tipo	CENÁRIOS					
					1	2	3	4	5	6
836007	Cachoeirinha – Pe	36.23	8.48	Pluv.	S	N	N	N	N	N
836014	Garanhuns-Pe	36.52	8.88	Pluv.	S	S	S	S	S	S
836031	Pesqueira-Pe	36.77	8.40	Pluv.	S	S	S	S	S	S
836032	Pesqueira-Pe	36.70	8.37	Pluv.	S	S	S	S	S	S
837042	Arcoverde-Pe	37.08	8.42	Pluv.	S	S	S	S	S	S
936001	Bom Conselho – Pe	36.68	9.17	Pluv.	S	S	S	S	S	S
936032	Palmeira dos Índios – Al	36.87	9.32	Pluv.	S	S	S	S	S	S
936034	Palmeira dos Índios – Al	36.65	9.40	Pluv.	S	S	S	S	S	S
936035	Palmeira dos Índios – Al	36.70	9.45	Pluv.	S	S	S	S	S	S
937004	Poço das Trincheiras - Al	37.28	9.22	Pluv.	S	S	S	S	S	S
937005	Santana do Ipanema - Al	37.47	9.47	Pluv.	S	S	S	S	S	S
937006	Santana do Ipanema - Al	37.25	9.37	Pluv.	S	S	S	S	S	S
937032	Santana Do Ipanema - Al	37.25	9.37	Pluv.	S	S	S	S	S	S
937007	Água Branca – Al	37.93	9.28	Pluv.	S	N	N	N	N	N
937008	Água Branca – Al	37.90	9.28	Pluv.	S	N	N	N	N	N
937040	Batalha – Al	37.01	9.78	Pluv.	S	S	S	S	S	S
937010	Batalha – Al	37.13	9.67	Pluv.	S	S	S	S	S	S
937034	Pão De Açúcar – Al	37.43	9.75	Pluv.	S	S	S	S	S	S
937018	Pão De Açúcar - Al	37.45	9.75	Pluv.	S	S	S	S	S	S
937031	Águas Belas - Pe	37.13	9.11	Pluv.	S	S	S	S	S	S
49480000	Águas Belas – Pe	37.13	9.11	Fluv.	S	N	N	N	N	N
49490000	Santana do Ipanema - Al	37.47	9.47	Fluv.	S	S	S	S	S	S
836014	Garanhuns-Pe	36.52	8.88	Clim.	S	S	S	S	S	S
836031	Pesqueira-Pe	36.77	8.40	Clim.	S	S	S	S	S	S
837042	Arcoverde-Pe	37.08	8.42	Clim.	S	S	S	S	S	S
936035	Palmeira dos Índios - Al	36.87	9.32	Clim.	S	S	S	S	S	S
937035	Santana do Ipanema - Al	37.47	9.47	Clim.	S	S	S	S	S	S
937008	Água Branca - Al	37.93	9.28	Clim.	S	S	N	N	N	N
937034	Pão de Açúcar - Al	37.45	9.75	Clim.	S	S	S	S	S	S
Período de 01/01/ 1977 a 31/10/2008					S	N	N	N	N	N
Período de 01/01/ 1977 a 31/12/1989					N	S	S	S	S	S
Alteração nos parâmetros Calibráveis e/ou Fixos					N	S	S	S	S	S

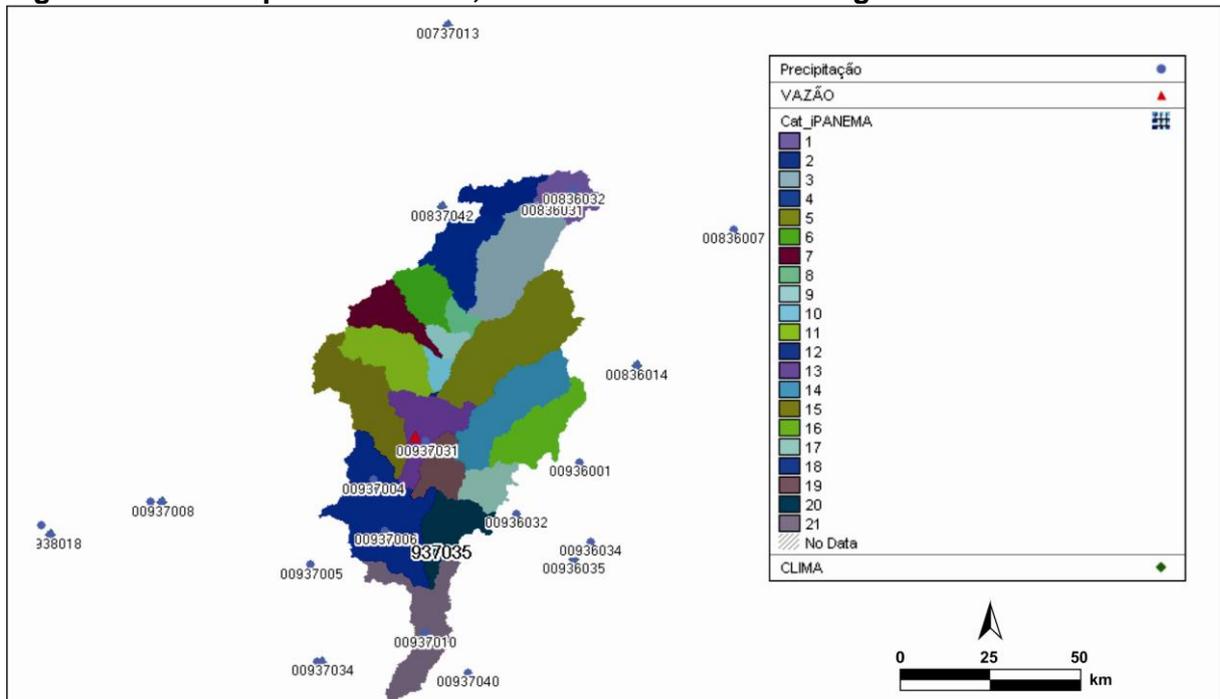
Fonte: Autor, 2012

Legenda: “S”=foi utilizado no cenário; “N”=não foi utilizado no cenário

5.2.1 Cenário 1 – Todos os postos disponíveis no período de 01/01/ 1977 a 31/10/2008

Efetuada a calibração considerando as séries de dados no período de 01/01/ 1977 a 31/10/2008 utilizando todos os postos pluviométricos, fluviométricos e climatológicos disponíveis conforme mostrado na figura 30.

Figura 30- Postos pluviométricos, fluviométricos e climatológicos do cenário 1



Fonte: Autor, 2012

No cenário 1 optou-se por gerar dados de saída do modelo utilizando observações de postos pluviométricos e climatológicos, um tanto distantes da bacia em estudo, pelo fato da carência de postos na região e para aferir a resposta do modelo a essa situação.

Os postos fluviométricos utilizados para entrada do modelo MGB-IPH, foram 49480000 e 49490000, no período de projeto variando entre 01/01/1977 a 31/10/2008. O posto 49480000 apresenta maior quantidade de falhas quando comparado ao posto 49490000. Após calibração do modelo, os parâmetros calibráveis obtidos são mostrados no quadro 6 e os parâmetros fixos para este cenário correspondem à média dos valores apresentados no quadro 7, ou seja, não foram considerados os efeitos sazonais. Os hidrogramas e curvas de permanência geradas são apresentados nas figuras 31 a 36.

Quadro 6- Parâmetros calibráveis do modelo MGB-IPH cenário 1

Blocos	Wm	b	Kbas	Kint	XI	Cap	Wc	Cs	Ci	Cb	Qb
ESTEPE	95	0,1	0,05	12	0,52	0	0	10	50	1200	0,0001
ARBOREA	95	0,1	0,05	12	0,52	0	0				
AGRIRA	80	0,1	0,05	12	0,52	0	0				
AGRIPR	80	0,1	0,05	12	0,52	0	0				

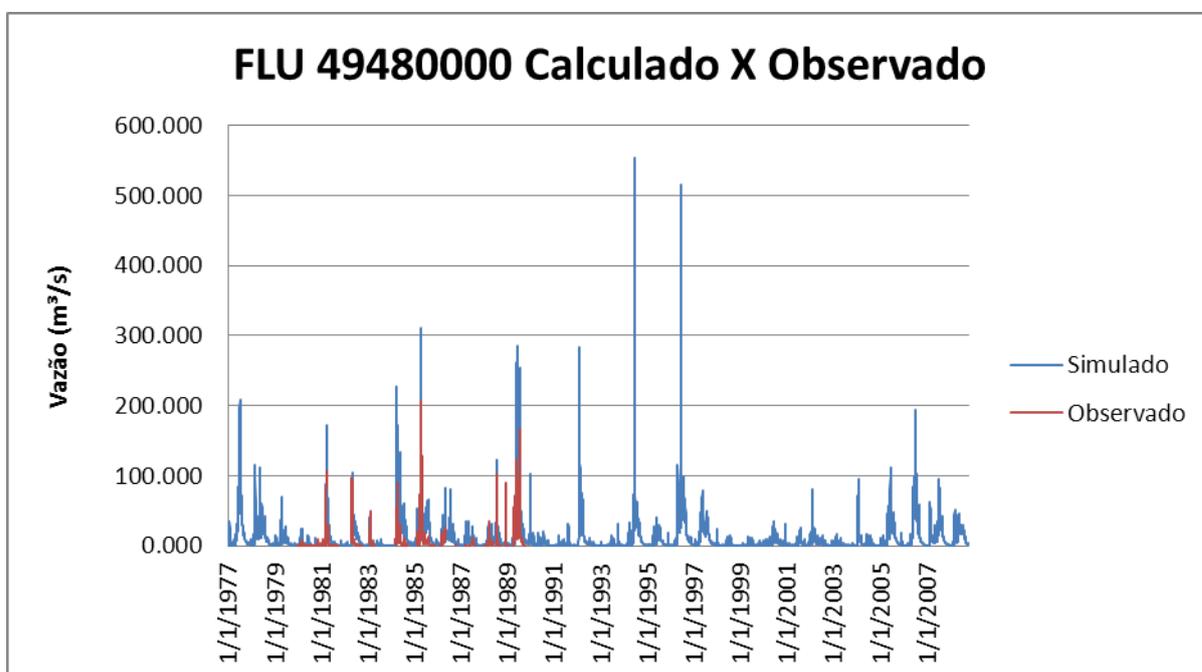
Fonte: Autor, 2012

Quadro 7- Parâmetros fixos do modelo MGB-IPH

Blocos	Albedo (%)		IAF		Altura(m)	RS
	Min.	Max.	Min.	Max.	Média	Média
ESTEPE	18	24	3	5	6	70
ARBOREA	20	26	2	4	3	50
AGRIRA	30	40	1	2	1	40
AGRIPR	28	38	1	3	1	40

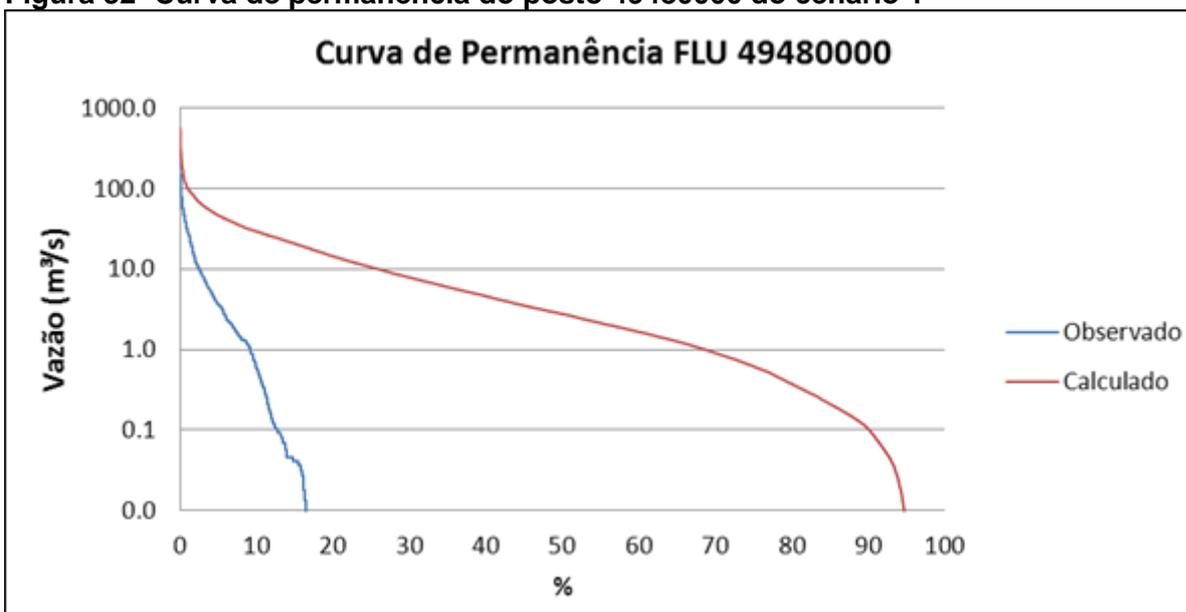
Fonte: Autor, 2012

Figura 31- Hidrograma observado x calcula do posto 49480000 do cenário 1



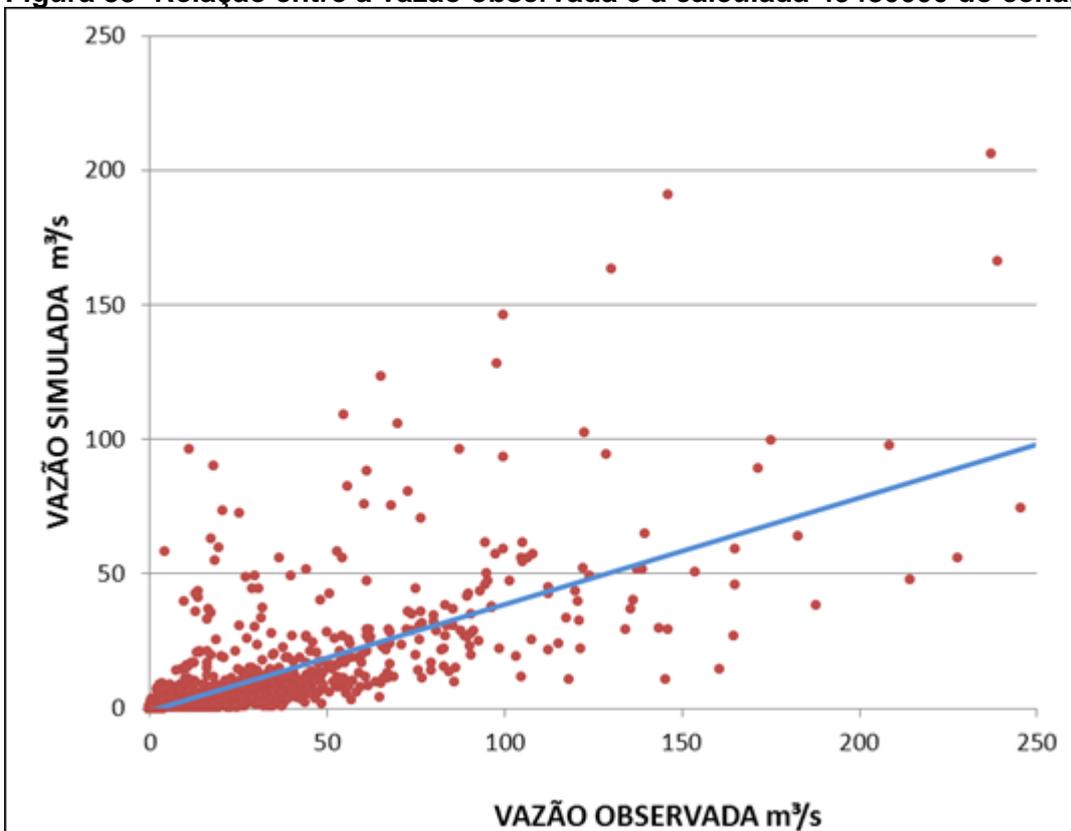
Fonte: Autor, 2012

Figura 32- Curva de permanência do posto 49480000 do cenário 1



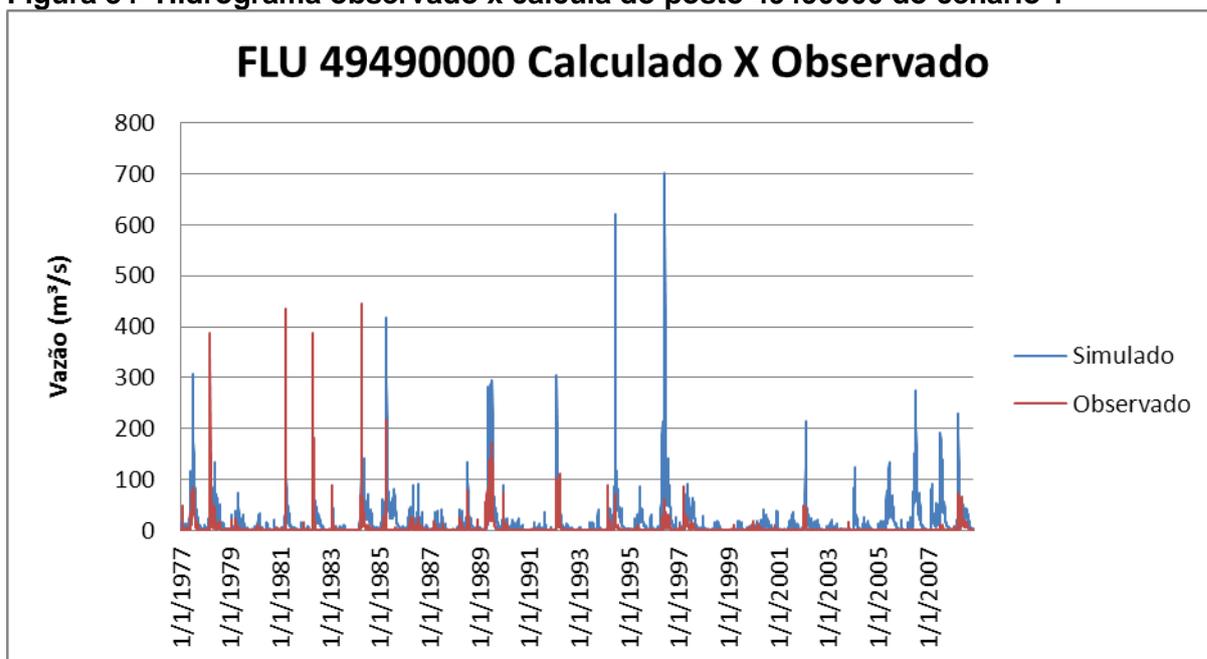
Fonte: Autor, 2012

Figura 33- Relação entre a vazão observada e a calculada 49480000 do cenário 1



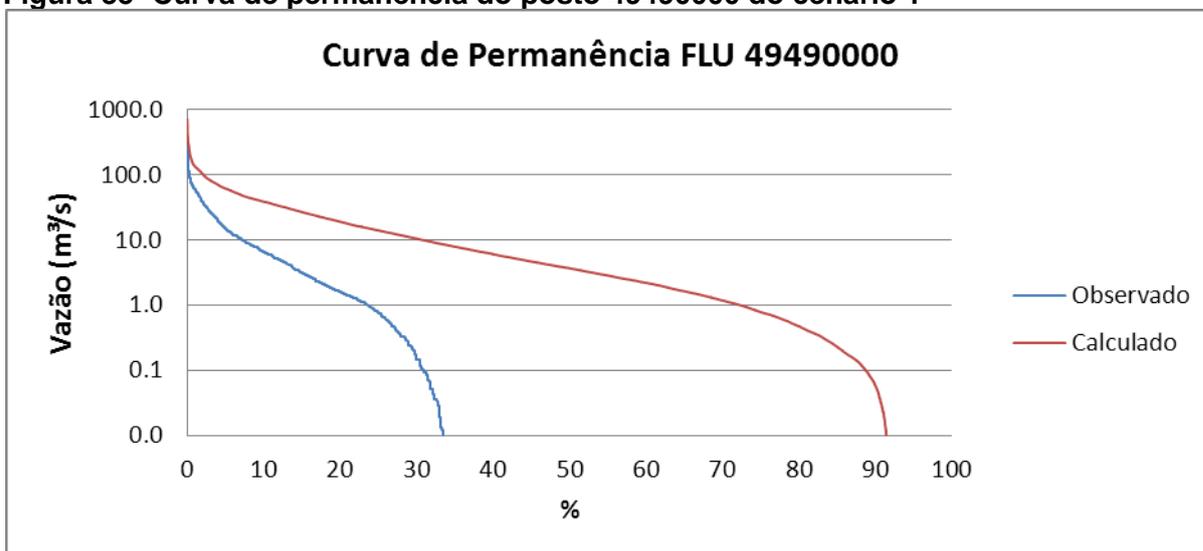
Fonte: Autor, 2012

Figura 34- Hidrograma observado x calcula do posto 49490000 do cenário 1



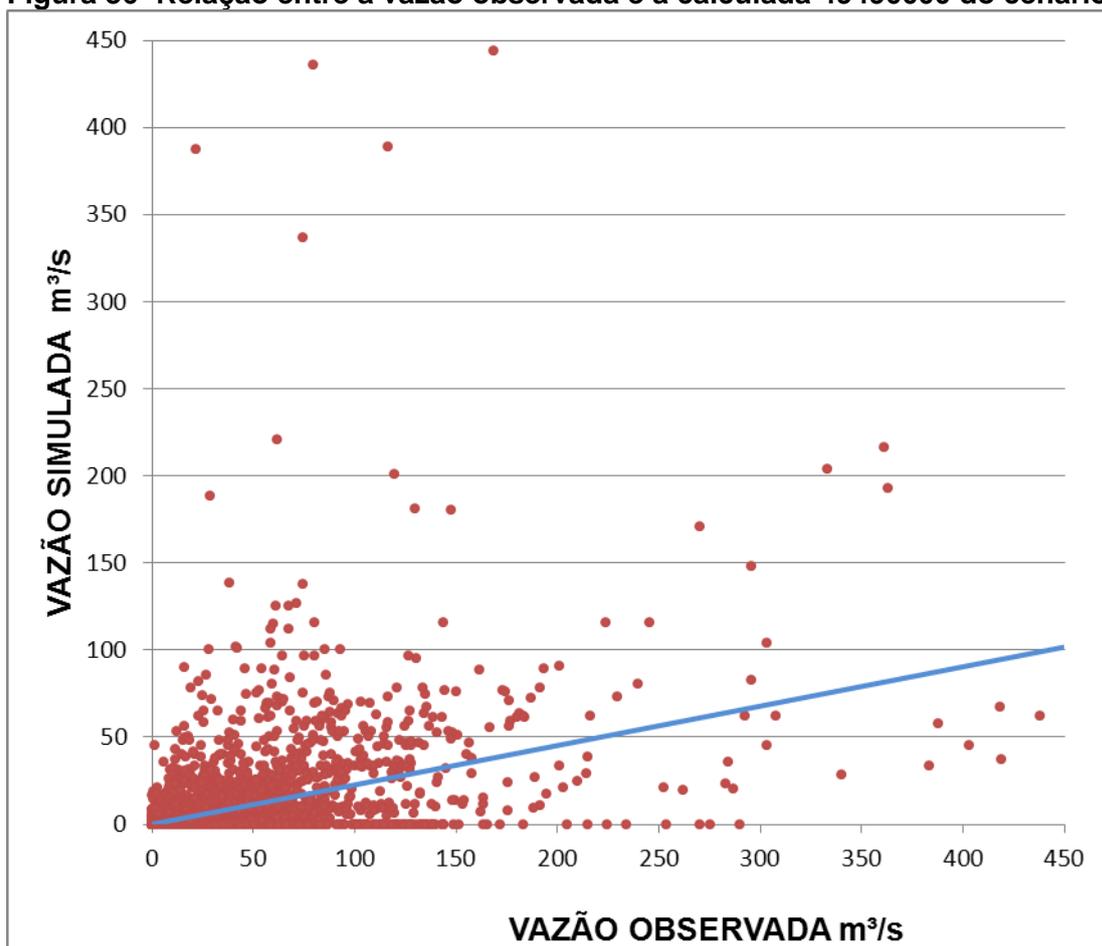
Fonte: Autor, 2012

Figura 35- Curva de permanência do posto 49490000 do cenário 1



Fonte: Autor, 2012

Figura 36- Relação entre a vazão observada e a calculada 49490000 do cenário 1



Fonte: Autor, 2012

Como indicadores dos resultados obtidos na simulação inicial, foram utilizados os coeficientes de Eficiência de Nash (R^2), aliados ao Coeficiente de Correlação de Pearson (r). Obtiveram-se valores menores que 0,2 para Nash e 0,6 para Pearson no posto 49490000, considerados insatisfatórios (tabela 16).

Tabela 16- Parâmetros de avaliação do ajuste no cenário 1

POSTOS	VAZÃO MÉDIA (m³/s)		Nash-Sutcliffe (R^2)	Pearson (r)	VOLUME (m³)	
	OBS.	SIMUL.			OBS.	SIMUL.
49480000	6,79	2,932	0,194	0,734	13073,82	123927,36
49490000	4,103	7,844	0,1993	0,535	36897,20	91195,04

Fonte: Autor, 2012

5.2.2 Cenário 2 - Posto 49490000 com seleção dos postos disponíveis de precipitação e alteração nos parâmetros para o período de 01/01/ 1977 a 31/12/1989

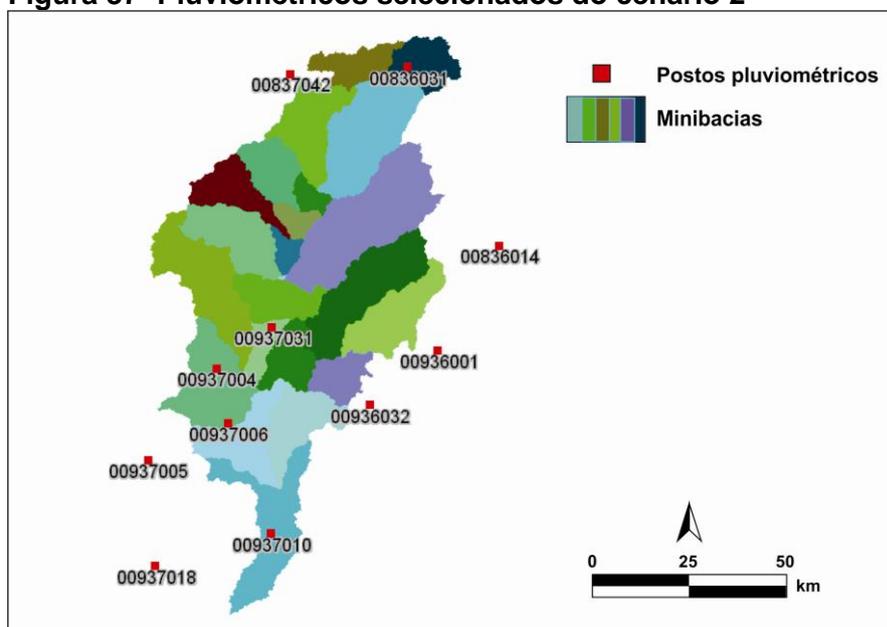
Para o cenário 2, em análise a simulação do cenário 1, fez-se necessário selecionar os dados de entrada do modelo, em relação aos dados pluviométricos, bem como alteração no período das observações que passou ao intervalo de 01/01/1977 a 31/12/1989 a fim de evitar longos intervalos de dados com falhas. A restrição dos postos somada a alteração no período de simulação contribuíram para uma mudança nos parâmetros de calibração do modelo. Os parâmetros calibráveis foram definidos conforme o quadro 8, os parâmetros fixos para este cenário correspondem à média dos valores apresentados no quadro 7, ou seja, não foram considerados os efeitos sazonais. Utilizados os postos pluviométricos mostrados na figura 37. O hidrograma juntamente com a curva de permanência do grupo de simulações, é apresentado nas figuras 38 e 40.

Quadro 8- Parâmetros calibráveis do modelo MGB-IPH cenário 2

Blocos	Wm	b	Kbas	Kint	XI	Cap	Wc	Cs	Ci	Cb	Qb
ESTEPE	10	0.05	0.2	4	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001
ARBOREA	10	0.05	0.2	4	0.3	0	0				
AGRIRA	40	0.05	0.2	4	0.3	0	0				
AGRIPR	40	0.05	0.2	4	0.3	0	0				

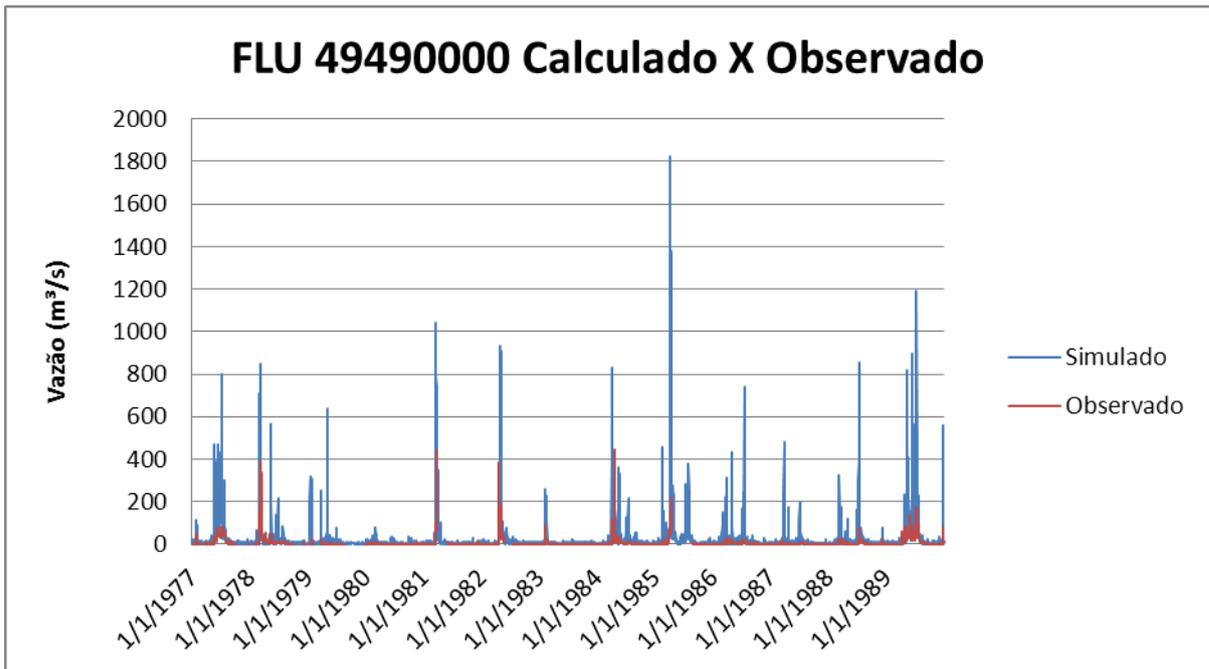
Fonte: Autor, 2012

Figura 37- Pluviométricos selecionados do cenário 2



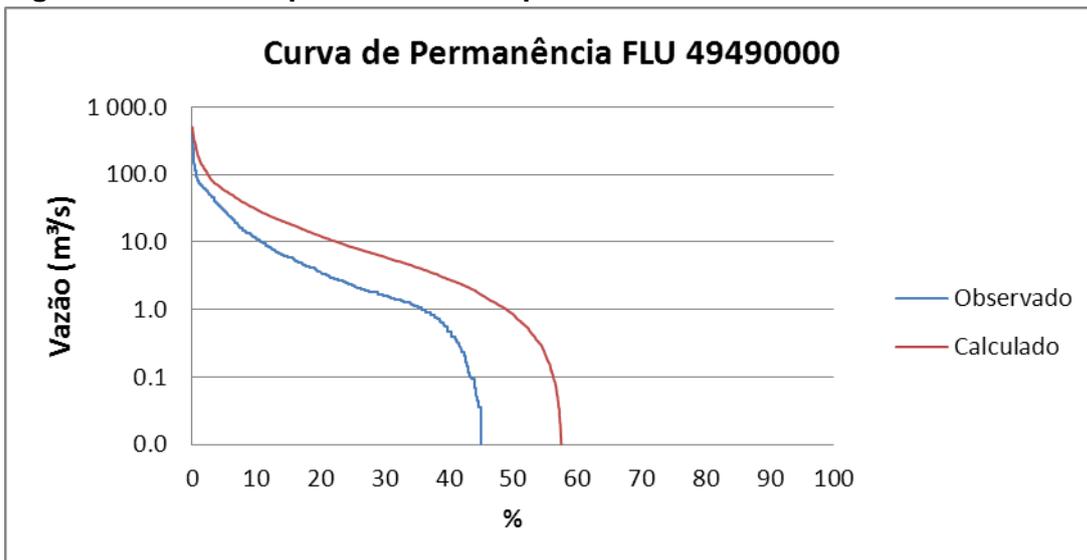
Fonte: Autor, 2012

Figura 38- Hidrograma observado x calcula do posto 49490000 do cenário 2



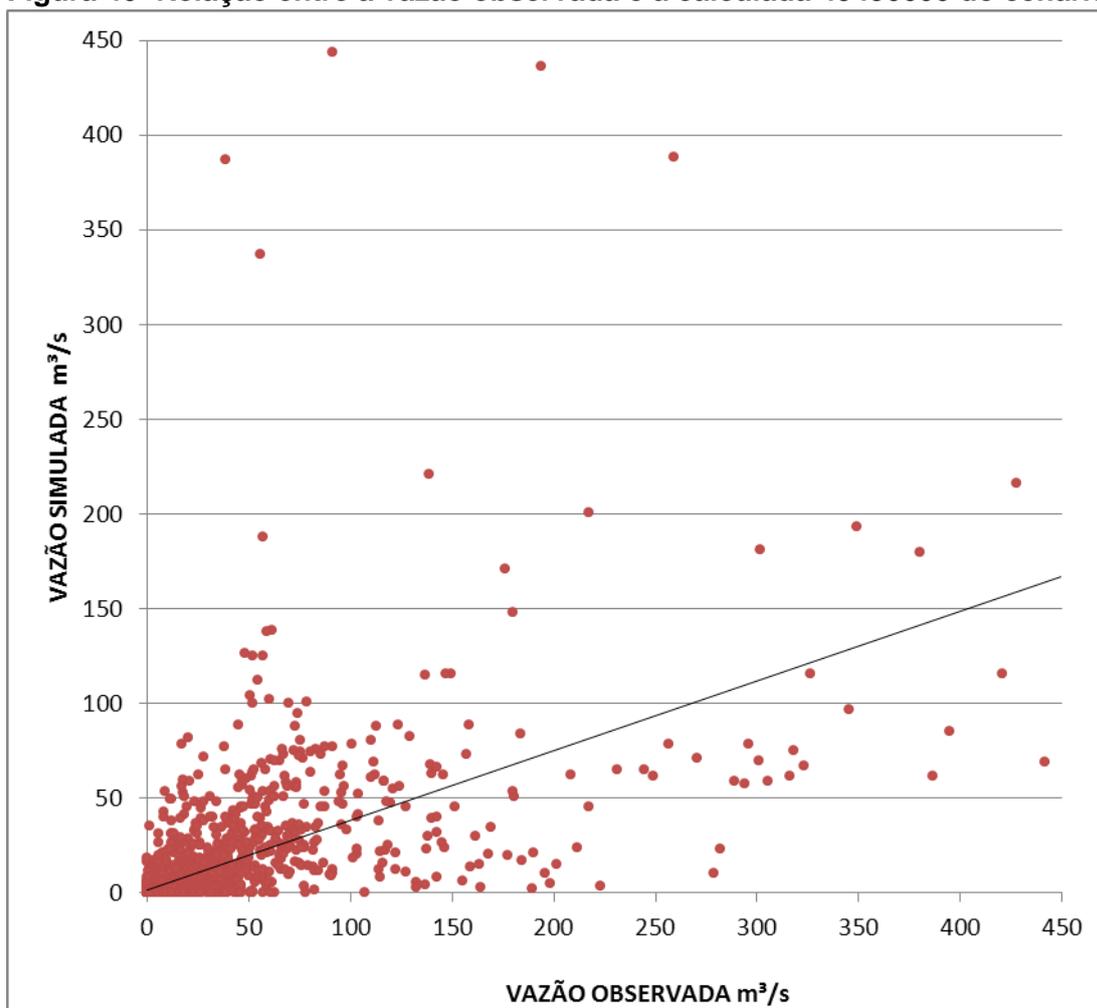
Fonte: Autor, 2012

Figura 39- Curva de permanência do posto 49490000 do cenário 2



Fonte: Autor, 2012

Figura 40- Relação entre a vazão observada e a calculada 49490000 do cenário 2



Fonte: Autor, 2012

No cenário 2, utilizou-se o posto fluviométrico 49490000 para a obtenção das vazões observadas no período de 01/01/1977 a 31/12/1989, sendo a gravação do hidrograma referente à minibacia deste posto. Com os dados de vazão calculada e simulada, obteve-se um coeficiente de eficiência Nash igual a 0,19 e uma correlação de Pearson 0,52. Aparentemente a resposta do modelo MGB-IPH quando da escolha de postos pluviométricos mais próximos possíveis à bacia acarretou numa sensível melhora tanto na sintonia quanto na resposta da simulação (tabela 17).

A alteração do intervalo da simulação, excluindo o período de 01/01/1990 a 31/10/2008, influenciou positivamente na resposta do modelo e na análise do hidrograma.

Tabela 17- Parâmetros de avaliação do ajuste no cenário 2

POSTO	MÉDIAS OBS. (m ³ /s)	MÉDIAS SIM. (m ³ /s)	Nash-Sutcliffe (R ²)	Pearson (r)	VOL. OBS. (m ³)	VOL. SIMUL. (m ³)
49490000	6,329	28,986	0,19	0,521	25527,50	137594,90

Fonte: Autor, 2012

A curva de permanência apresenta um comportamento divergente quando se trata do armazenamento compatível entre os dados observados e calculados, ainda que em relação a simulação do cenário 1 tenha tido uma leve aproximação entre os valores.

5.2.3 Cenário 3 - Posto 49490000 com seleção dos postos disponíveis de clima, minibacias e alteração nos parâmetros para o período de 01/01/ 1977 a 31/12/1989

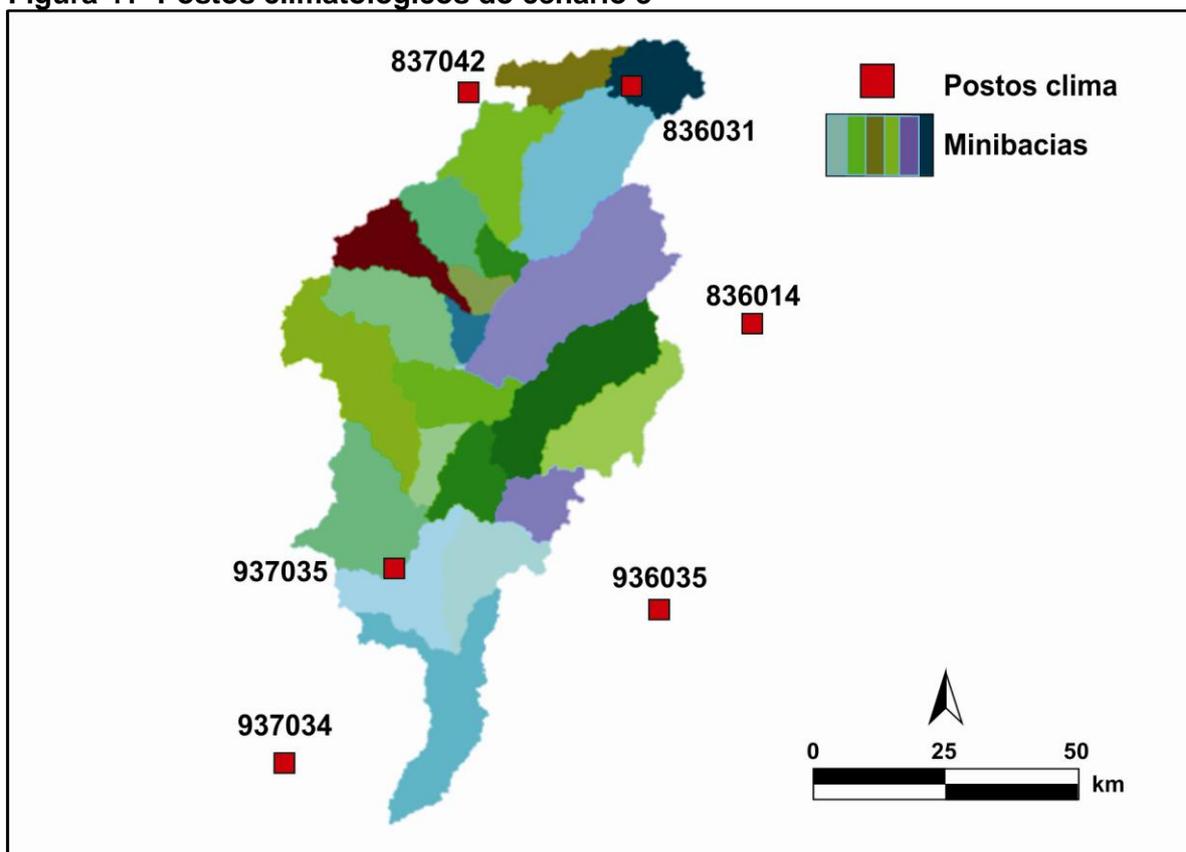
Na tentativa de melhorar as respostas do modelo, utilizou-se os mesmos postos pluviométricos do cenário 2 com o posto das vazões observadas 49490000. As alterações foram feitas nos postos de clima, restringindo-os aos mais próximos da bacia (figura 41). Os postos de clima selecionados: 836014, 836031, 837042, 936035, 937035 e 937034. Os parâmetros calibráveis são definidos em uma faixa de operação onde as modificações foram pontuais no parâmetro de armazenamento (wm) (quadro 9). Os parâmetros fixos para este cenário correspondem à média dos valores apresentados no quadro 7, ou seja, não foram considerados os efeitos sazonais.

Quadro 9- Parâmetros calibráveis do modelo MGB-IPH cenário 3

Blocos	Wm	b	Kbas	Kint	XI	Cap	Wc	Cs	Ci	Cb	Qb
ESTEPE	120	0.05	0.2	4	0.3	0	0	10	50	1200	0.001
ARBOREA	120	0.05	0.2	4	0.3	0	0				
AGRIRA	100	0.05	0.2	4	0.3	0	0				
AGRIPR	100	0.05	0.2	4	0.3	0	0				

Fonte: Autor, 2012

Figura 41- Postos climatológicos do cenário 3

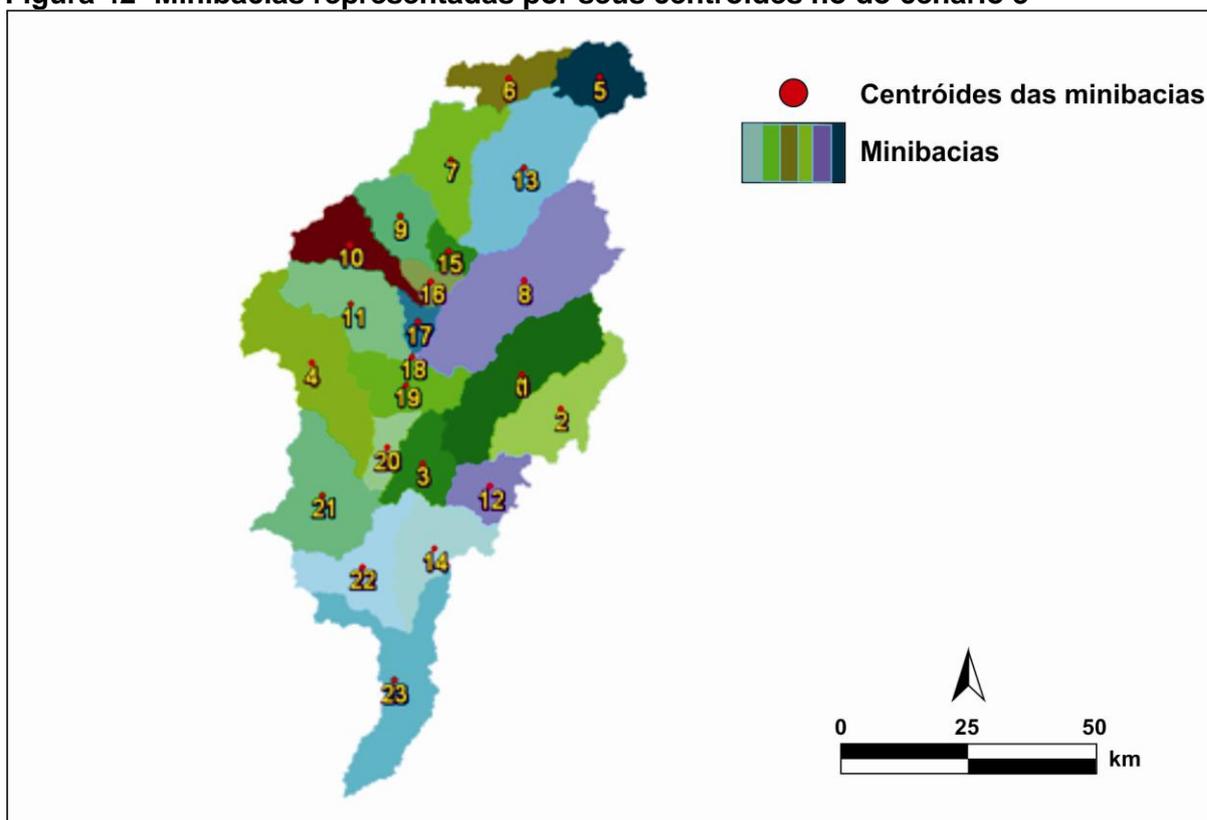


Fonte: Autor, 2012

No cenário 3, foram alterados além dos fatores descritos anteriormente, a quantidade de minibacias, sendo subdivididas a 19 em 19 e 20 e a 20 em 21 e 22 (figura 42). Tal alteração no número de centroides das minibacias posicionou os postos fluviométricos 49480000 e 49490000 nos exutórios dos centroides 19 e 21 respectivamente na configuração simulada da bacia do rio Ipanema. A distribuição das áreas em relação aos postos fluviométricos e as minibacias tornaram-se uniformes quanto aos escoamentos e o volume.

A contribuição de cada minibacia no diagrama da rede de drenagem foi reajustada proporcionalmente a cada posto fluviométrico, contudo devido a curta série de dados disponíveis do posto 49480000, o referido posto não foi utilizado na calibração.

Figura 42- Minibacias representadas por seus centróides no do cenário 3



Fonte: Autor, 2012

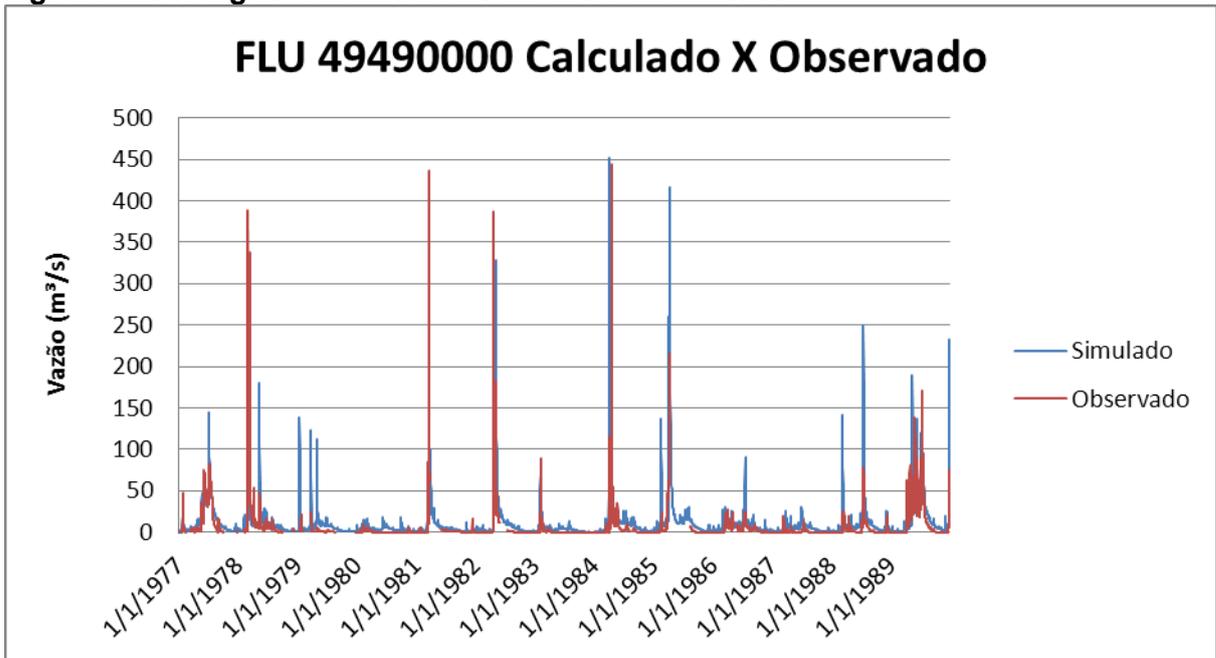
Em resposta a simulação do cenário 3, após alteração do parâmetro de capacidade de armazenamento (wm) para 120, modificação no número de postos pluviométricos e nos centróides, obteve-se os coeficientes de Nash $R^2 = 0,30$ e Pearson $0,60$, valores muito melhores que nas simulações anteriores (tabela 18). Tal comportamento é comprovado pelo hidrograma, cujos picos são agora acompanhados em sua fase e as distorções não são tão evidentes. A curva de permanência apresenta ainda um desvio no armazenamento (figuras 43 a 45).

Tabela 18- Parâmetros de avaliação do ajuste no cenário 3

POSTO	MÉDIAS OBS. (m ³ /s)	MÉDIAS SIM. (m ³ /s)	Nash-Sutcliffe (R ²)	Pearson (r)	VOL. OBS. (m ³)	VOL. SIMUL. (m ³)
49490000	6,329	11,060	0,303	0,604	25527,50	52513,19

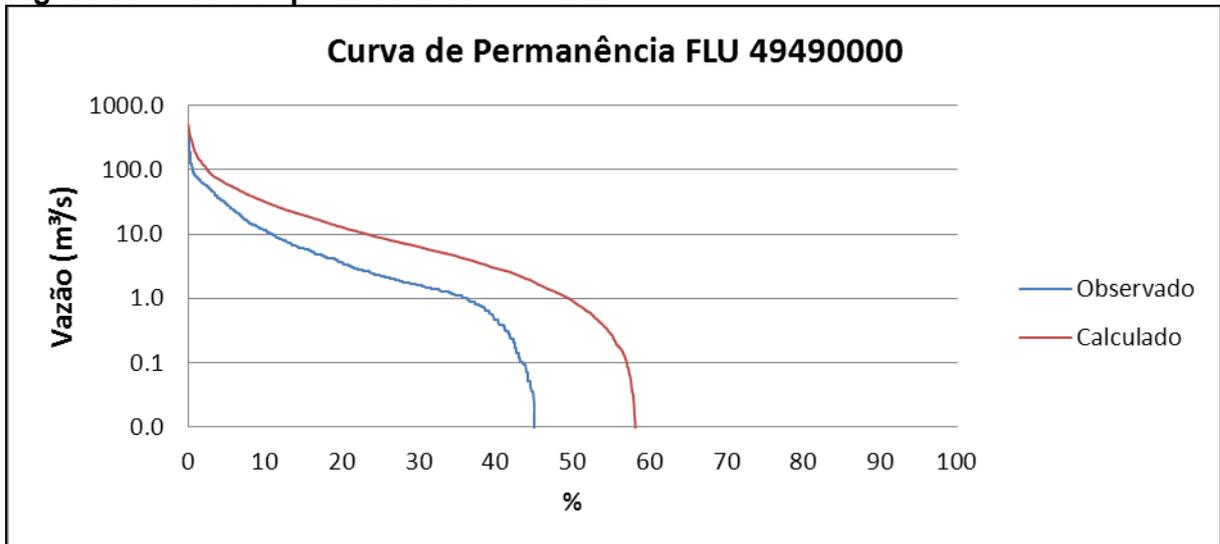
Fonte: Autor, 2012

Figura 43- Hidrograma observado x calculado do cenário 3



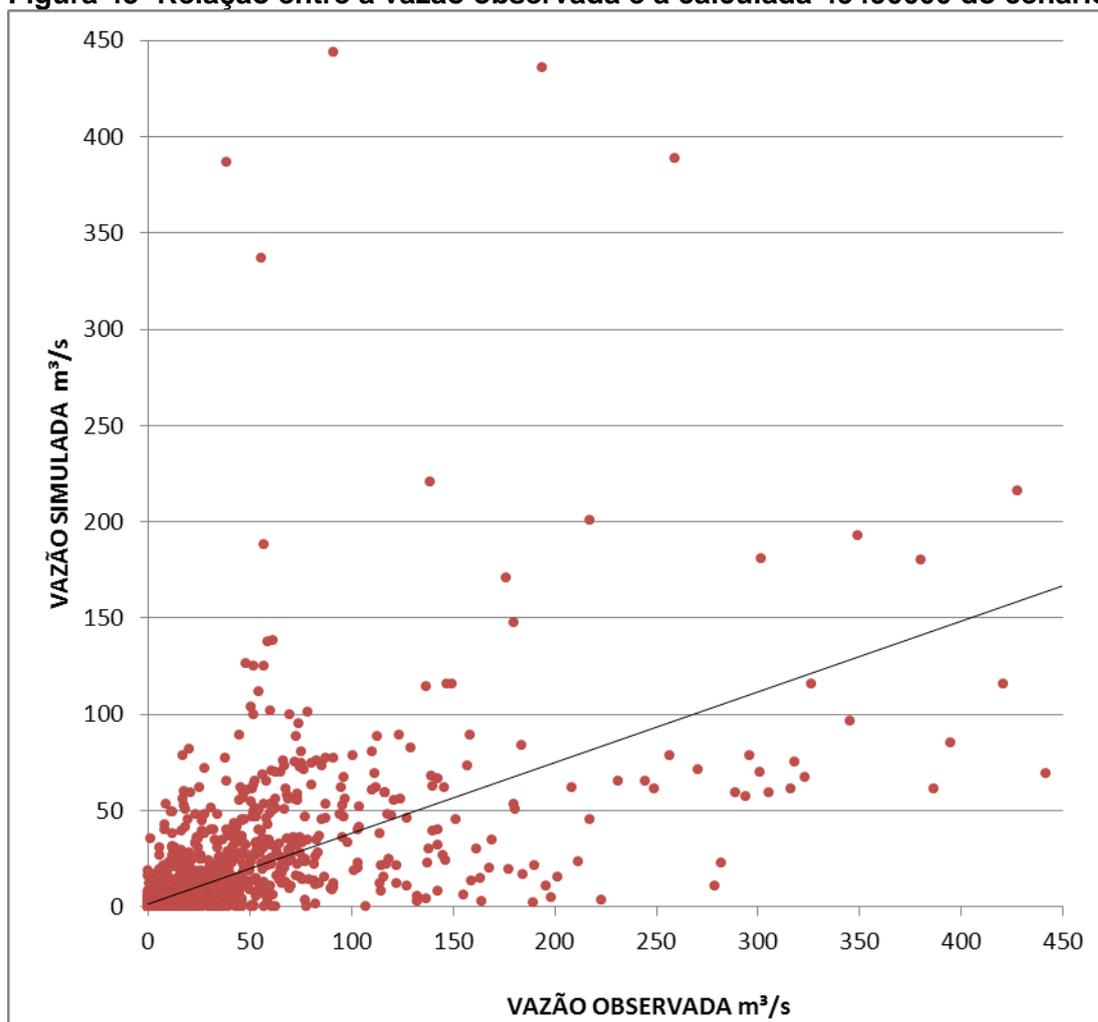
Fonte: Autor, 2012

Figura 44- Curva de permanência do cenário 3



Fonte: Autor, 2012

Figura 45- Relação entre a vazão observada e a calculada 49490000 do cenário 3



Fonte: Autor, 2012

5.2.4 Cenário 4 - Alteração nos parâmetros de armazenamento, forma e controle da vazão nos períodos de estiagem para o intervalo de 01/01/ 1977 a 31/12/1989

Na simulação do cenário 4 manteve-se os arquivos dos postos pluviométricos, fluviométricos e climatológicos determinados no cenário 3, passando-se a realizar alterações nos parâmetros calibráveis em busca de uma melhor resposta do simulado ao desvio no armazenamento. As intervenções foram concentradas nos parâmetros de armazenamento (w_m) cujo valor encontrado 90 e 95, o parâmetro de forma (b) alterado para 0,1 e o controle de vazão durante a estiagem (k_{bas}) para 0,05. Os parâmetros fixos para este cenário correspondem à média dos valores apresentados no quadro 7, ou seja, não foram considerados os efeitos sazonais, no período de estiagem as vazões para o rio Ipanema é mínima ou inexistente (quadro 10).

Quadro 10- Parâmetros calibráveis do modelo MGB-IPH cenário 4

Blocos	Wm	B	Kbas	Kint	XI	Cap	Wc	Cs	Ci	Cb	Qb
ESTEPE	95	0.1	0.05	4	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001
ARBOREA	95	0.1	0.05	4	0.3	0	0				
AGRIRA	90	0.1	0.05	4	0.3	0	0				
AGRIPR	90	0.1	0.05	4	0.3	0	0				

Fonte: Autor, 2012

O resultado da simulação no cenário 4, utilizando o intervalo temporal de projeto modificado de 01/01/1977 a 31/12/1989, após as alterações dos parâmetros wm, b e kbas, obtendo coeficientes de Nash R²= 0.37 e Pearson 0,61 (tabela 19). O hidrograma apresentou ainda picos não acompanhados pelo simulado e uma boa correlação entre os dados (figura 46).

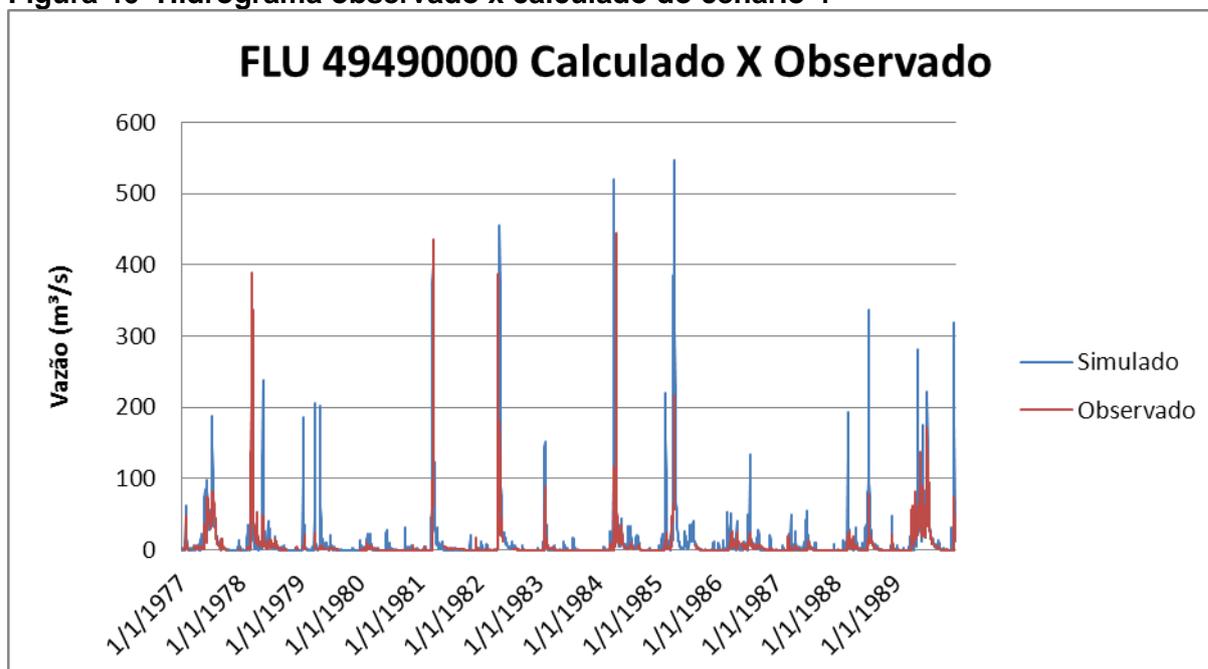
Tabela 19- Parâmetros de avaliação do ajuste no cenário 4

POSTO	MÉDIAS OBS. (m ³ /s)	MÉDIAS SIM. (m ³ /s)	Nash-Sutcliffe (R ²)	Pearson (r)	VOL. OBS. (m ³)	VOL. SIMUL. (m ³)
49490000	6,329	11,370	0,366	0,612	25527,50	53976,53

Fonte: Autor, 2012

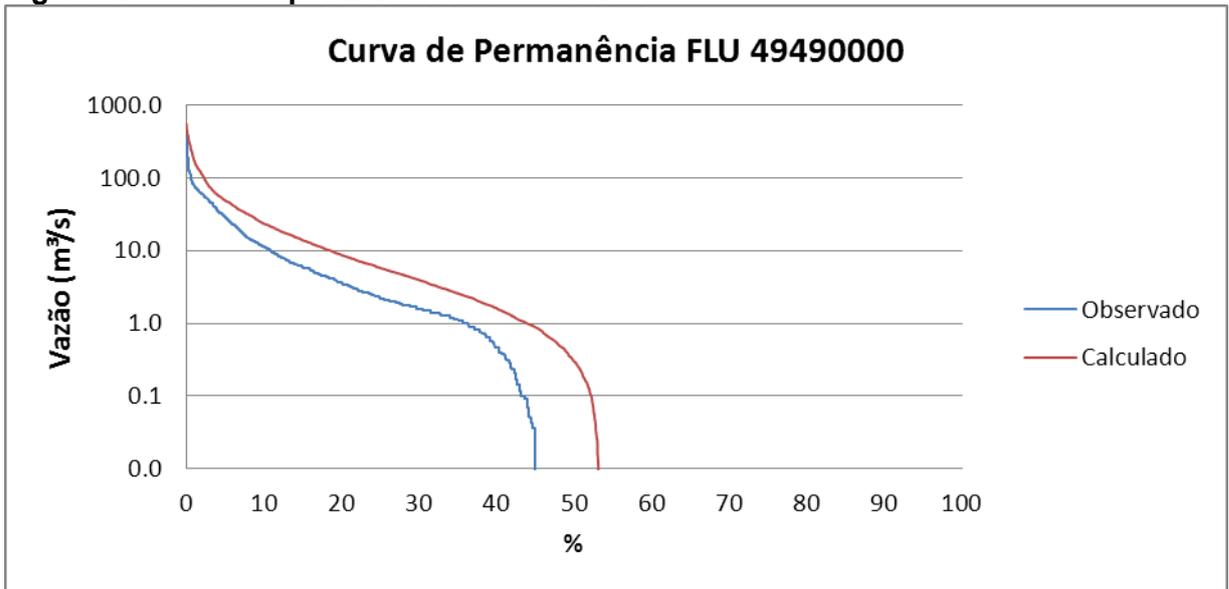
O avanço nos indicadores da simulação fica por conta da curva de permanência, cujo gráfico apresentou sensível melhora quanto ao volume e a fase dos dados (figura 47 e 48).

Figura 46- Hidrograma observado x calculado do cenário 4



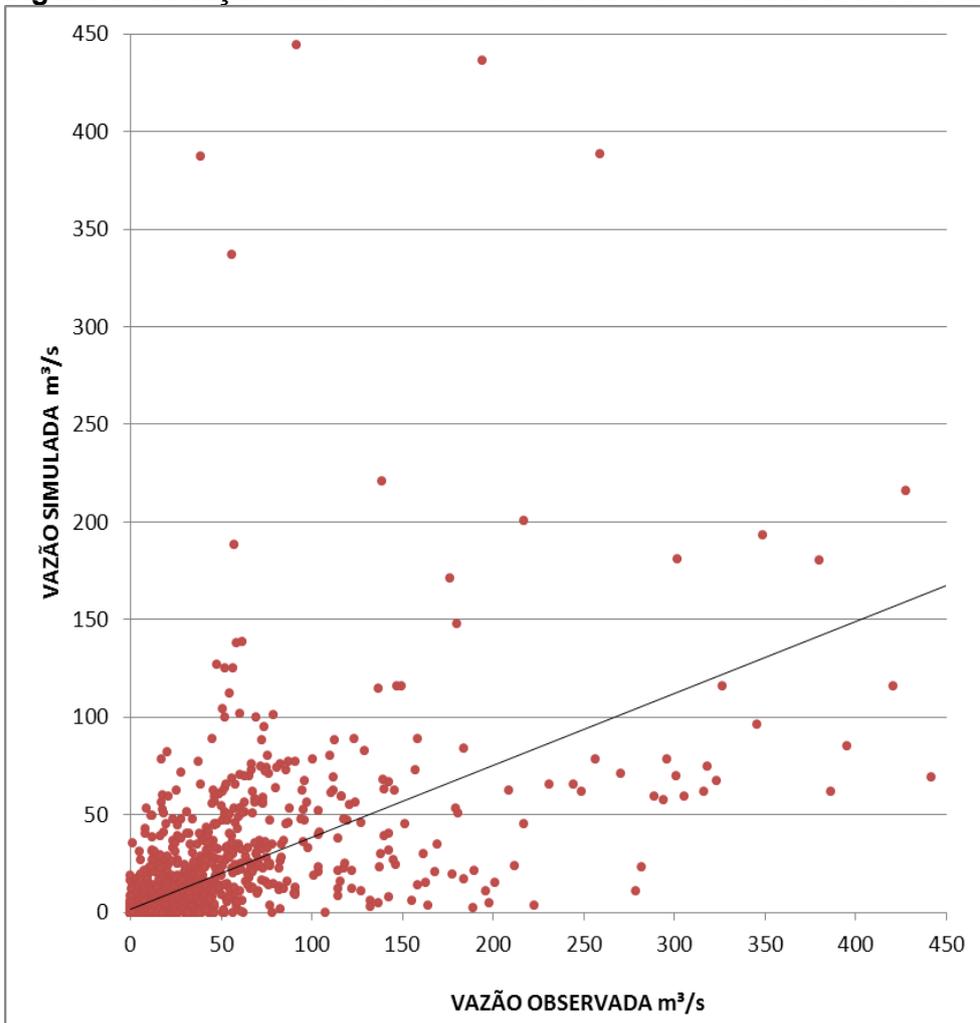
Fonte: Autor, 2012

Figura 47- Curva de permanência do cenário 4



Fonte: Autor, 2012

Figura 48- Relação entre a vazão observada e a calculada 49490000 do cenário 4



Fonte: Autor, 2012

5.2.5 Cenário 5 - Alteração nos parâmetros calibráveis para o intervalo de 01/01/1977 a 31/12/1989

Para o cenário 5, após diversas simulações utilizando o intervalo temporal de projeto modificado de 01/01/1977 a 31/12/1989, os postos pluviométricos, fluviométricos e climatológicos selecionados, aliados a uma sintonia que definiu os parâmetros calibráveis descritos no quadro 11 com os parâmetros fixos para este cenário correspondente à média dos valores apresentados no quadro 7, ou seja, não foram considerados os efeitos sazonais.

Quadro 11- Parâmetros calibráveis do modelo MGB-IPH cenário 5

Blocos	Wm	b	Kbas	Kint	XI	Cap	Wc	Cs	Ci	Cb	Qb
ESTEPE	95	0.1	0.05	12	0.52	0	0	10	50	1200	0.0001
ARBOREA	95	0.1	0.05	12	0.52	0	0				
AGRIRA	90	0.2	0.05	12	0.52	0	0				
AGRIPR	90	0.2	0.05	12	0.52	0	0				

Fonte: Autor, 2012

Devido aos valores dos dados de entrada anteriormente descritos, obteve-se um coeficiente máximo de Nash $R^2 = 0,37$ muito aquém de um perfeito ajuste para a simulação da bacia hidrográfica (tabela 20), visto que o valor de R^2 do coeficiente de Nash e Sutcliffe pode variar a partir de negativo infinito a 1, sendo o valor 1 indicativo de um perfeito ajuste.

No hidrograma simulado alguns picos de vazão apresentados estavam superestimados em relação a vazão observada, em contraponto outros picos simulados apresentavam-se subestimados em vista aos observados.

A disponibilidade espacial e temporal dos dados de chuva foi analisada graficamente em busca de distorções que justificassem tal resposta do hidrograma em relação aos picos, no entanto apresentavam uma relação condizente entre os postos PLU observados.

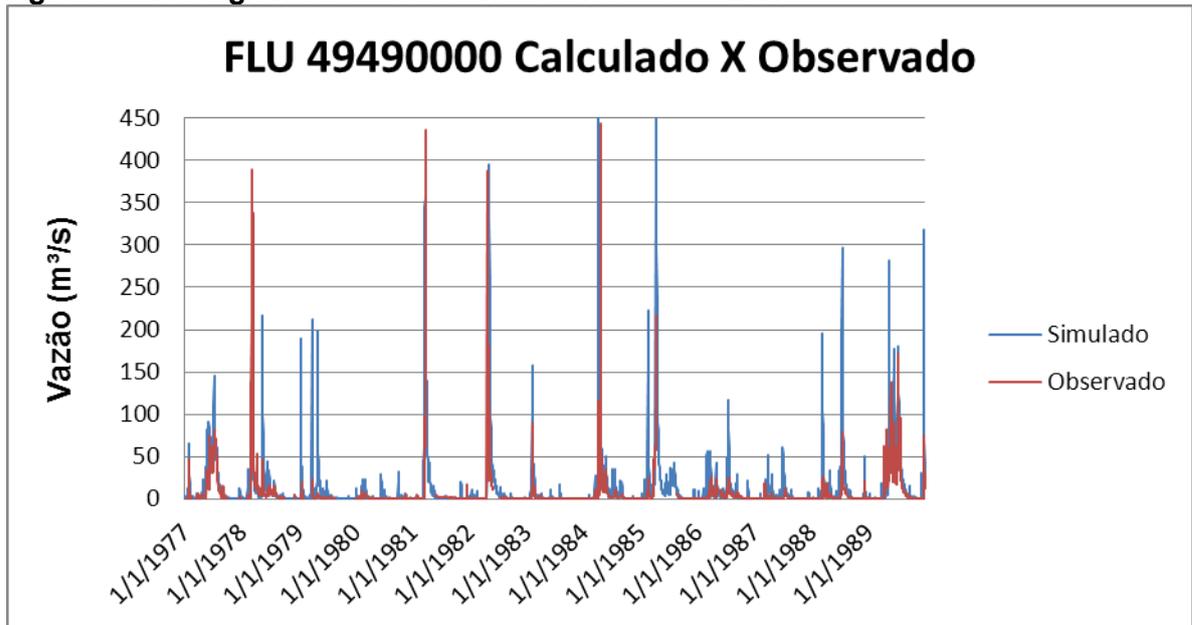
Mesmo o hidrograma não tendo um resultado satisfatório (figura 49), a curva de permanência apresentou bons resultados na aproximação entre o observado e o calculado (figura 50 e 51).

Tabela 20- Parâmetros de avaliação do ajuste no cenário 5

POSTO	MÉDIAS OBS. (m³/s)	MÉDIAS SIM. (m³/s)	Nash-Sutcliffe (R^2)	Pearson (r)	VOL. OBS. (m³)	VOL. SIMUL. (m³)
49490000	6,329	12,504	0,37084	0,619	25527,50	39088,98

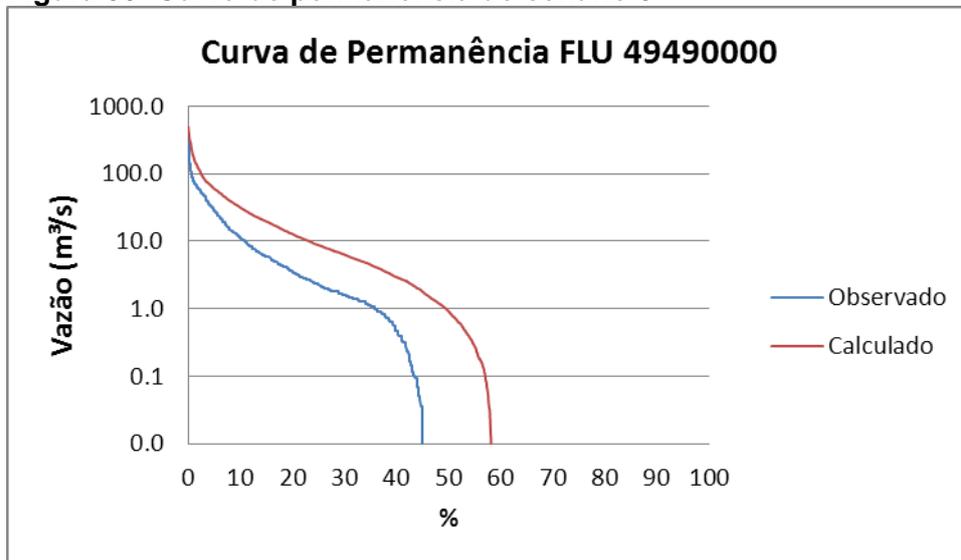
Fonte: Autor, 2012

Figura 49- Hidrograma observado x calculado do cenário 5



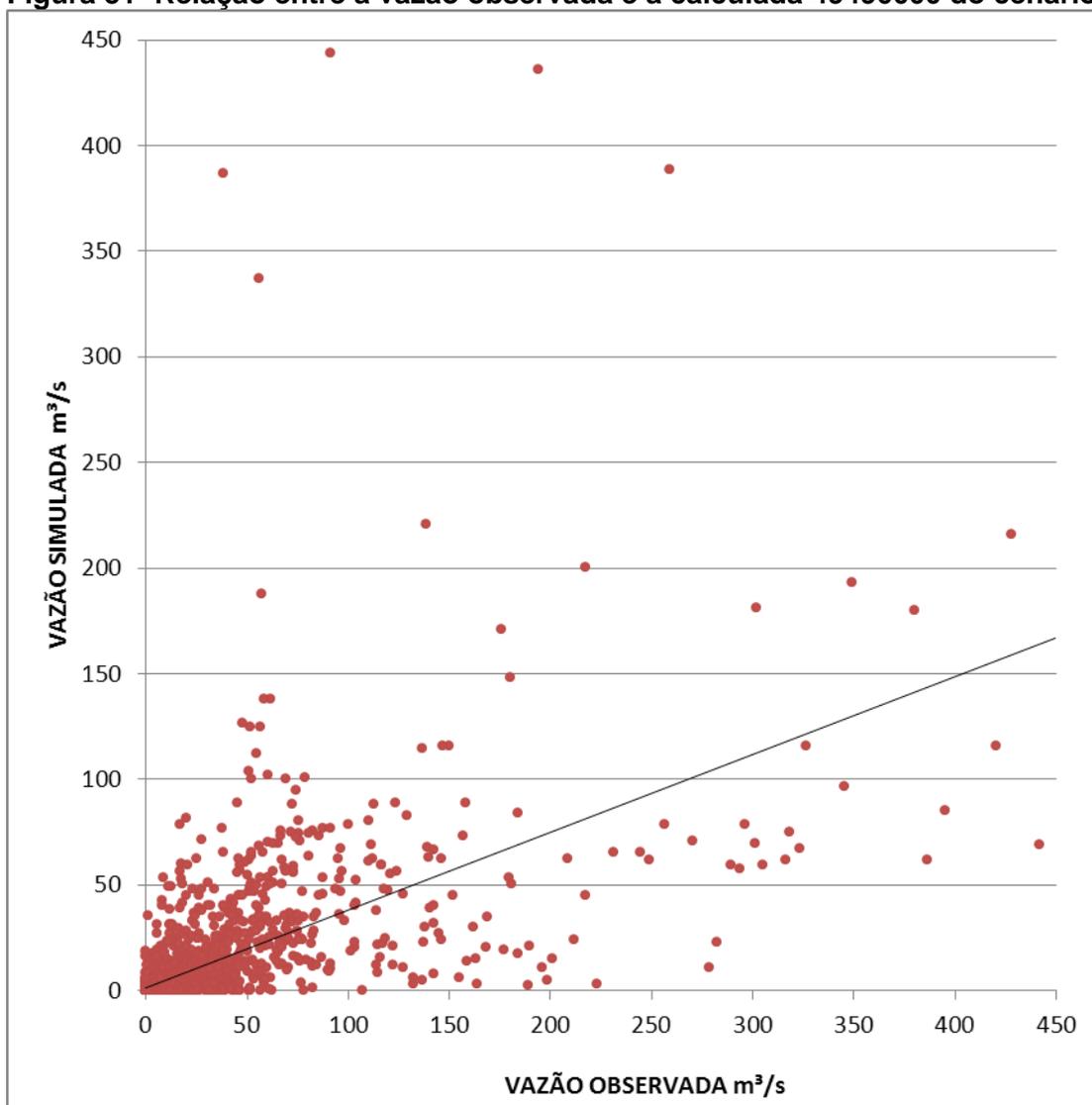
Fonte: Autor, 2012

Figura 50- Curva de permanência do cenário 5



Fonte: Autor, 2012

Figura 51- Relação entre a vazão observada e a calculada 49490000 do cenário 5



Fonte: Autor, 2012

5.2.6 Cenário 6 - Alteração nos parâmetros calibráveis e fixos para o intervalo de 01/01/1977 a 31/12/1989

No cenário 6 utilizaram-se os postos pluviométricos, fluviométricos e climatológicos selecionados, aliados a uma sintonia que definiu os parâmetros calibráveis descritos no quadro 12 para a condição de variabilidade anual dos parâmetros fixos (figura 52).

Quadro 12- Parâmetros calibráveis do modelo MGB-IPH cenário 6

Blocos	Wm	b	Kbas	Kint	XI	Cap	Wc	Cs	Ci	Cb	Qb
ESTEPE	200	0.12	0.10	12	0.18	0	0.50	12.5	50	3200	0.0001
ARBOREA	600	0.10	0.10	10	0.08	0	1.70				
AGRIRA	550	0.20	0.20	10	0.18	0	0.60				
AGRIPR	2000	0.12	0.20	50	0.10	0	2.00				

Fonte: Autor, 2012

Figura 52- Parâmetros fixos do modelo MGB-IPH cenário 6

Fixos.MGB - Bloco de notas												
Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda								
albedo												
uso	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
ESTEPE	0.24	0.24	0.22	0.22	0.22	0.20	0.18	0.20	0.22	0.22	0.22	0.24
ARBOREA	0.26	0.26	0.24	0.24	0.24	0.22	0.20	0.22	0.24	0.24	0.24	0.26
AGRIRA	0.40	0.40	0.38	0.38	0.38	0.34	0.30	0.34	0.38	0.38	0.38	0.40
AGRIPR	0.38	0.38	0.35	0.35	0.35	0.30	0.28	0.30	0.35	0.35	0.35	0.38
IAF !índice de area foliar												
uso	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
ESTEPE	3.00	4.00	4.00	4.50	5.00	5.00	5.00	5.00	4.50	4.00	3.00	3.00
ARBOREA	2.00	3.00	3.00	3.50	4.00	4.00	4.00	4.00	3.50	3.00	2.00	2.00
AGRIRA	1.00	1.00	1.00	1.50	2.00	2.00	2.00	2.00	1.50	1.00	1.00	1.00
AGRIPR	1.00	2.00	2.00	2.50	3.00	3.00	3.00	3.00	2.50	2.00	1.00	1.00
Z !altura das arvores												
uso	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
ESTEPE	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
ARBOREA	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
AGRIRA	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
AGRIPR	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
RS !resistência superficial												
uso	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
ESTEPE	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0
ARBOREA	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
AGRIRA	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
AGRIPR	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0

Fonte: Autor, 2012

Com valores dos dados de entrada anteriormente descritos, obteve-se um coeficiente máximo de Nash $R^2 = 0,402$ uma sensível melhora na avaliação numérica do modelo (tabela 21).

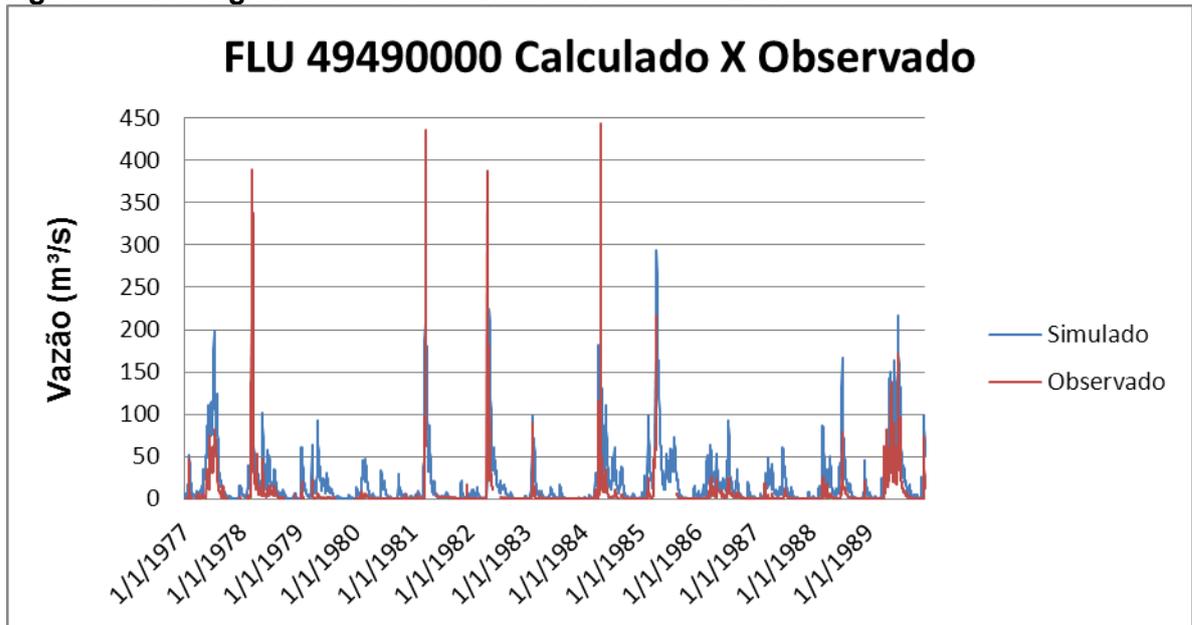
Mesmo tendo uma melhora no resultado numérico de Nash e Pearson, a curva de permanência e o hidrograma não apresentaram bons resultados na aproximação gráfica entre o observado e o calculado (figuras 53 a 55).

Tabela 21- Parâmetros de avaliação do ajuste no cenário 6

POSTO	MÉDIAS OBS. (m³/s)	MÉDIAS SIM. (m³/s)	Nash-Sutcliffe (R²)	Pearson (r)	VOL. OBS. (m³)	VOL. SIMUL. (m³)
49490000	6,329	18,814	0,405	0,680	25527,50	89330,50

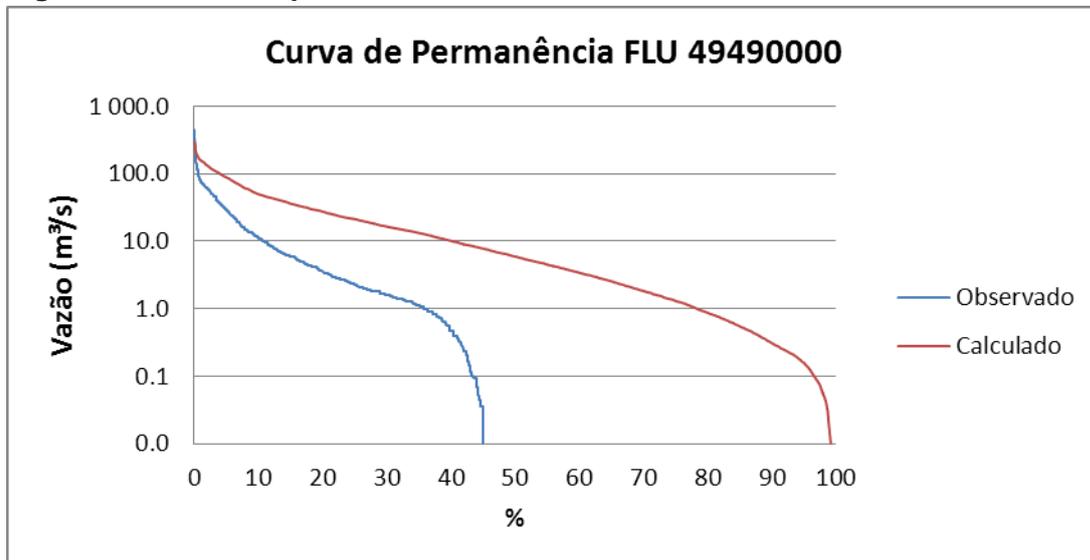
Fonte: Autor, 2012

Figura 53- Hidrograma observado x calculado do cenário 6



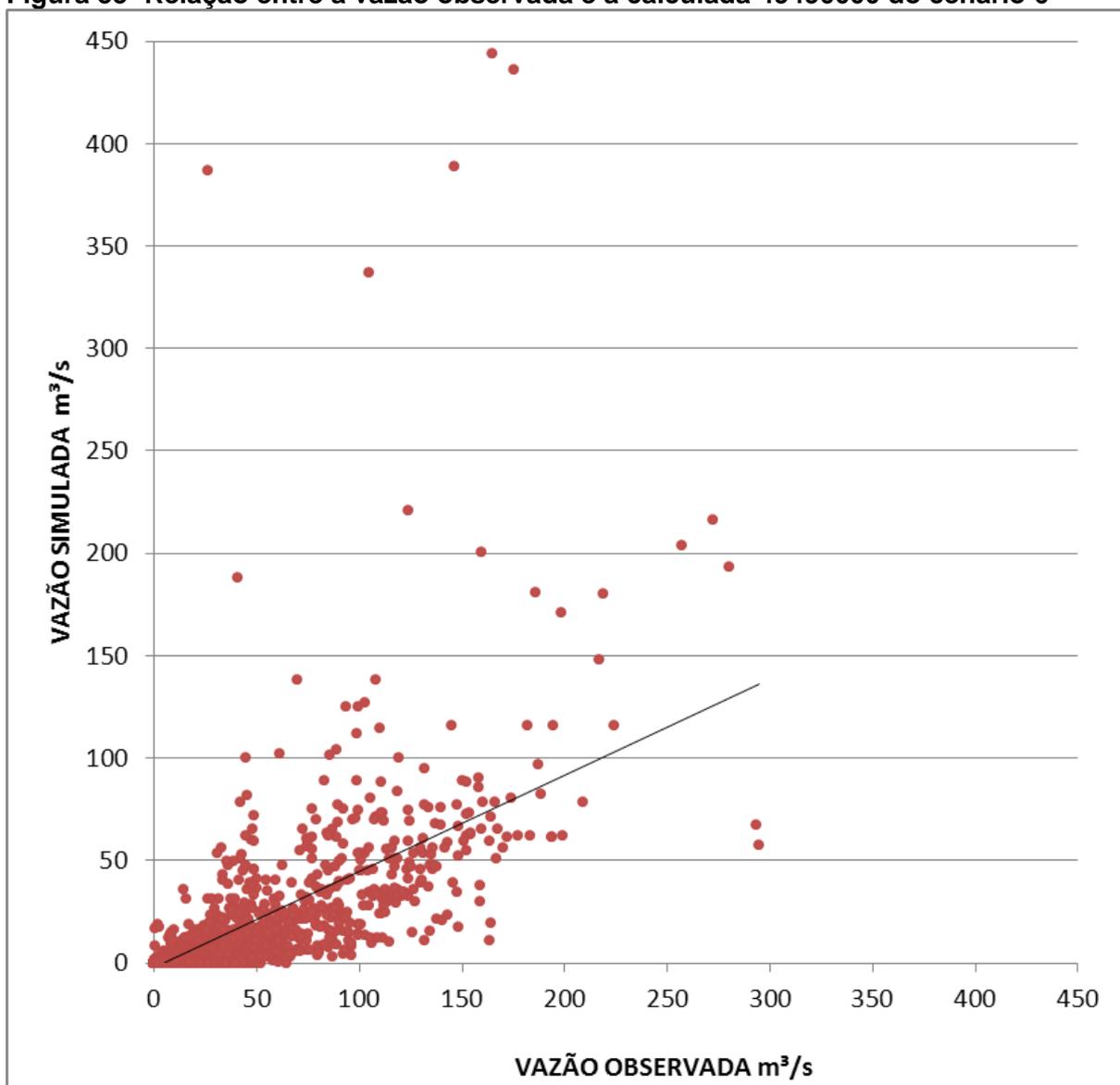
Fonte: Autor, 2012

Figura 54- Curva de permanência do cenário 6



Fonte: Autor, 2012

Figura 55- Relação entre a vazão observada e a calculada 49490000 do cenário 6



Fonte: Autor, 2012

5.3 Considerações sobre a calibração do modelo na bacia do rio Ipanema

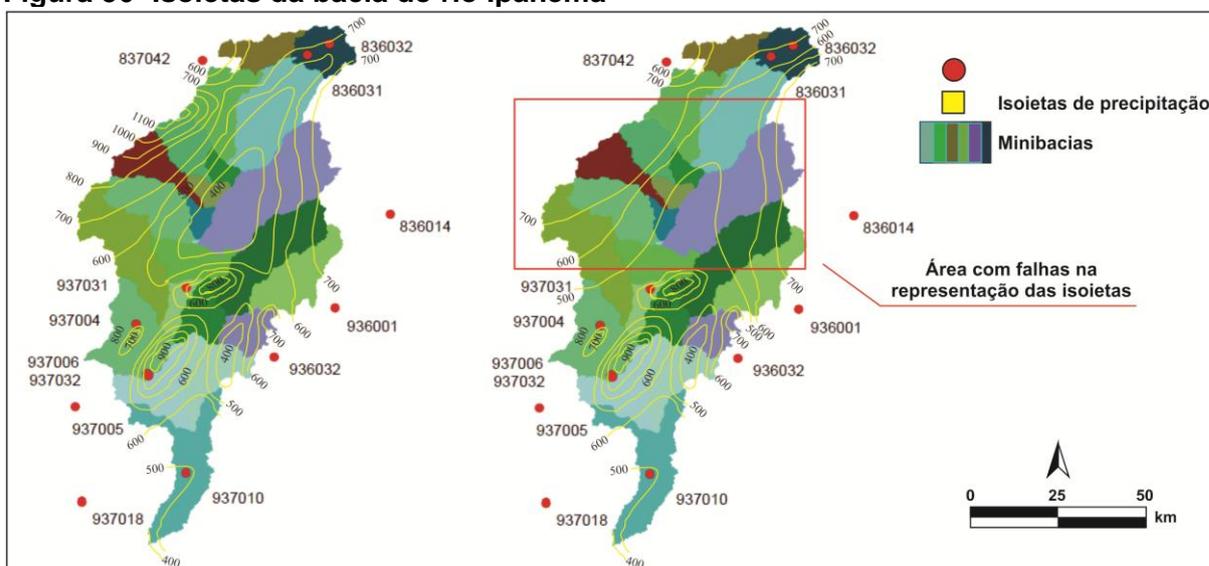
Uma vez que a calibração não foi satisfatória para nenhum dos cenários analisados, passou-se a uma análise dos dados de entrada, sendo observado que:

- Dados fluviométricos – Na Bacia do rio Ipanema estão disponíveis apenas dois postos de vazões observadas, o posto 49480000 da minibacia 19 e o posto 49490000 da minibacia 21. O primeiro posto além de ter um número elevado de falhas, apresenta uma quantidade reduzida de dados para o período de simulação, sendo assim o posto fluviométrico 49480000 foi

descartado do processo. As simulações efetuadas foram realizadas utilizando o hidrograma na minibacia 21, utilizando os dados de vazão do posto pluviométrico 49490000;

- Dados Pluviométricos - Estando disponíveis para a simulação 24 postos pluviométricos obtidos no portal HidroWeb da Agência Nacional das Águas (HIDROWEB, 2012), observou-se que a disposição espacial está concentrada ao sul da bacia hidrográfica ou apresenta coordenadas coincidentes, ao compararmos as isoietas geradas por interpolação dos postos pluviométricos disponíveis com as isoietas da bacia (ROCHA, 2008) (figura 56), verificamos a inexistência das máximas precipitações ao oeste com variações de 800 a 1100 mm, entretanto, a região central da bacia apresenta uma precipitação bem maior que o real para a referida área;

Figura 56- Isoietas da bacia do rio Ipanema

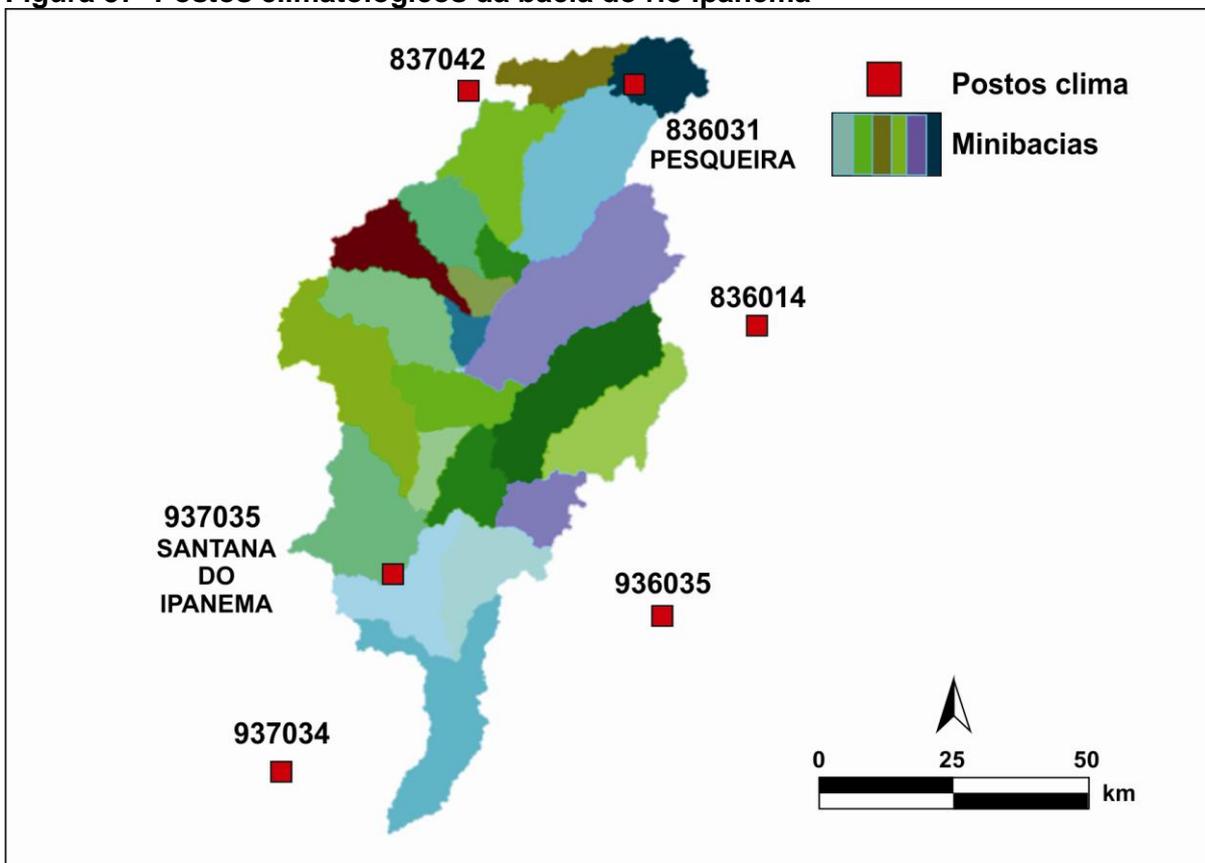


Fonte: Adaptado de (ALAGOAS, 1998 apud ROCHA, 2009).

- Dados climatológicos – Dos dados de clima utilizados em um total de sete postos, apenas dois deles, o posto 836031 localizado em Pesqueira PE e o posto 937035 localizado em Santana do Ipanema AL, se encontram no interior da bacia, os demais estão nas proximidades (figura 57). Visualizou-se nos arquivos climatológicos que todos os postos apresentavam falha no valor referente à variável velocidade do vento em todo o período, sendo os mesmos substituídos automaticamente no MGB-IPH (COLLISCHONN et al., 2010) pelo valor padrão 1.2 m/s, tal valor é subestimado para a região e afetou

diretamente a simulação quanto da recessão do hidrograma. Adotamos então a variável velocidade do vento como um parâmetro calibrável, cujo melhor valor atribuído foi de 2.4 m/s, plausível para a região.

Figura 57- Postos climatológicos da bacia do rio Ipanema



Fonte: Autor, 2012

6 CONCLUSÕES

Na avaliação da viabilidade para a aplicação do modelo MGB-IPH nos estudos hidrológicos referentes à bacia do rio Ipanema no semiárido brasileiro, com características físicas e climatológicas semelhantes, faz-se necessárias algumas considerações que envolvem o desenvolvimento dos dados.

Apesar de ser tratada usualmente como parâmetro fixo, a velocidade do vento foi considerada como um parâmetro calibrável, nas simulações deste estudo os valores adotados foram de 2,4 a 8,0 m/s. Em todos os dados das séries históricas utilizados referentes a velocidade do vento, havia a ausência de valores para esse parâmetro, sendo necessário uma estimativa para a região de Santana do Ipanema, onde foram encontradas na literatura uma variação de 1 a 6,5 m/s nas médias anuais (FALCÃO, 2009).

Na fase de calibração do modelo e seus parâmetros, a capacidade de armazenamento do solo (W_m) e o parâmetro de forma entre armazenamento e saturação (b), apresentaram maior sensibilidade e velocidade as alterações sofridas na resposta da simulação nas transições dos cenários 2 para o cenário 3 bem como no cenário 5 para o cenário 6. Em relação ao volume simulado e observado, os parâmetros de propagação superficial e subsuperficial apresentaram alterações compatíveis à faixa de trabalho do modelo MGB-IPH.

O incremento de volume das vazões nos dados calculados durante as simulações foram fruto principalmente dos picos nos hidrogramas calculados, que apresentaram valores superiores aos observados.

As séries de dados hidroclimatológicos são curtas, mesmo apresentando variabilidade, existem muitas falhas em períodos não coincidentes. Uma vez que a variabilidade hidroclimatológica na bacia é grande, essas falhas comprometem a calibração do modelo.

A distribuição espacial irregular dos postos também foi fator limitante para uma calibração adequada, uma vez que a variabilidade espacial e temporal dos processos hidroclimatológica é grande. Uma vez que a distribuição dos postos é irregular, não há representatividade satisfatória nos dados analisados.

Em relação aos parâmetros fixos, verifica-se que os efeitos sazonais não podem ser adequadamente representados, uma vez que uma das características do semiárido é a alta variabilidade temporal dos processos hidroclimatológicos. Ainda

que sejam observados padrões anuais, há forte variação entre um ano e outro, ou seja, pode haver longos períodos secos em épocas consideradas chuvosas e vice-versa. Desta forma, há variação dos parâmetros físicos entre um ano e outro, apesar de o modelo considerar um padrão de variação sazonal fixo.

O modelo MGB-IPH apresenta uma grande flexibilidade em relação as variáveis representadas, no entanto o número elevado de parâmetros dependentes para uma simulação compatível ao estudo proposto está diretamente relacionado a disponibilidade e qualidade dos dados hidroclimatológicos disponíveis. Tais dados na bacia do rio Ipanema mostraram-se insuficientes quanto à definição da calibração, isso ocorre em função da extensa área sem cobertura de postos para uma grande variabilidade espacial e temporal dos processos hidrológicos, o que influencia também nas análises hidrológicas da região.

REFERÊNCIAS

- ALAGOAS. *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Ipanema*. Maceió: Secretaria Executiva de Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Naturais, 1998.
- ALLASIA, D., COLLISCHONN, W., Silva, B. C. & TUCCI, C. E. M. *Large Basin Simulation Experience in South America*. IAHS, 2006.
- ANA. Agência Nacional de Águas. *Subprojeto 4.5C – Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco –PBHSF (2004-2013)*. Brasília, 2004.
- ANA. Agência Nacional de Águas. *Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil*. Brasília: ANA, 2007.
- ANA. Agência Nacional de Águas. *Portal HidroWeb Mapas Shape*. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>, Acessado em 29 de agosto de 2010.
- ANDREOLLI, I. *Previsão de Vazão em tempo Real no Rio Uruguai com Base na Previsão Meteorológica*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.
- BALDISSERA, G.C. *Aplicabilidade do Modelo de Simulação Hidrológica SWAT (soil and water assessment tool), para a Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá/MT*. Dissertação de mestrado em física e Meio Ambiente do Instituto de Ciências Exatas e da Terra da Universidade Federal do Mato Grosso, 2005.
- BARBALHO, V. M. S. *Sistemas Baseados em Conhecimento e Lógica Difusa para Simulação do Processo Chuva-Vazão*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. UFRJ, 2001.
- BATES, P.D . and DE ROO, A.P.J. *A Simple Raster-Based Model for Floodplain Inundation*. Journal of Hydrology, 2000.
- BEZERRA, B. G. *Balanço de Energia e Evapotranspiração em Áreas com Diferentes Tipos de Cobertura de Solo no Cariri Cearense Através do Algoritmo SEBAL*. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. UFCG, Campina Grande, 2006.
- BREMICKER, M. *Aufbau eines Wasserhaushaltsmodells für das Weser und das Ostsee Einzugsgebiet als Baustein eines Atmosphären-Hydrologie-Modells*. Dissertation Doktorgrad, Geowissenschaftlicher Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität. Freiburg. Juli, 1998.
- BRASIL. *Nova Delimitação do Semiárido Brasileiro*. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2005.

CABRAL JÚNIOR, J. B., SANTOS, E. A., ALMEIDA, H. A. de. *Principais Características do Regime Pluvial da Microrregião de Patos, PB*. In: II Congresso Nacional de Educação Ambiental IV Encontro Nordestino de Biogeografia, Editora Universitária da UFPB, 2011.

CAMARGO, M.N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J.H. *Classificação de Solos Usada em Levantamento Pedológico no Brasil*. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 1987.

CARDOSO, E.L.; SPERA, S.T.; PELLEGRIN, L.A.; SPERA, M.R.N. *Solos do Assentamento Mato Grande - Corumbá: Caracterização, Limitações e Aptidão Agrícola*. Corumbá, Embrapa, 2002.

CARVALHO, J. P. *A Profundidade Efetiva dos Plintossolos e Neossolos Litólicos*. Revista eletrônica Pedologia Fácil. Disponível em: <http://www.pedologiafacil.com.br>, Acessado em 04 de fevereiro de 2012. 2005.

CHAVES, M. B.; AMORIM, A. G. S.; FREIRE, P. A. F.; FRAGOSO JUNIOR, C. R.. *Caracterização do Regime Hidrológico da Bacia do Rio Mundaú Através de um Modelo Hidrológico Distribuído*. In: XIVth IWRA World Water Congress, Porto de Galinhas, 2011.

COLLISCHONN, B. *Uso de Precipitação Estimada pelo Satélite TRMM em Modelo Hidrológico Distribuído*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

COLLISCHONN, W.; BUARQUE, D.C.; PAIVA, R. C. D.; FAN, F. M.; KAYSER, R.. *Manual Introdotório para Aplicação do Modelo MGB-IPH*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, ver 2.0, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

COLLISCHONN, W. *Simulação Hidrológica de Grandes Bacias*. Tese de Doutorado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

COLLISCHONN, W.; HAAS, R.; ANDREOLLI, I.; TUCCI, C. E. M. *Forecasting River Uruguay Flow Using Rainfall Forecasts From a Regional Weather-Prediction Model*. Journal of Hydrology, 2005.

CONAMA, CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. *Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Resoluções n. 20, de 18 de junho de 1986*. Revisão atualizada, Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>. Brasília, 1986.

CPRM, SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. *Diagnóstico do Município de Santana do Ipanema*. Recife: Ministério de Minas e Energia, 2005.

CONTI, J. *O Conceito De Desertificação*. Climep: Climatologia e Estudos da Paisagem. UNESP, 2008.

DUARTE, R. *Tecnologias para a Agropecuária e a Criação de Ocupações no Semiárido Nordestino*. In: Anais do III ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS DO TRABALHO, Rio de Janeiro, 2000.

EMBRAPA SOLOS. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Rio de Janeiro, 1999.

ESRI, Environmental Systems Research Institute Inc. *ArcHydro*. Disponível em: <http://www.esri.com.htm>, 2010.

FADIGA JR, FRANCISCO M.; LOPES, J. E. G.; MARTINS, J. R. S.; BARROS, M. T. L.; SANTOS, R. C. P. Modelos de Previsão de Vazões para a Bacia Incremental à UHE Itaipu. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2008.

FALCÃO, S. C. M.. *Avaliação da Produção de Sedimentos em Áreas de Diferentes Escalas na Bacia Experimental do Riacho Gravatá, Semiárido Alagoano*. Dissertação de mestrado em Engenharia: Recursos Hídricos e Saneamento. Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2009.

FIGUEIREDO FILHO; D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. da. *Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r)*. *Revista Política Hoje*, v. 18, n. 8, p. 115-146. Disponível em: <http://www.ufpe.br/>. Acesso em: 7 de março de 2012, 2009.

GAMA, W. M.; FRAGOSO JUNIOR, C. R.; REIS, R. S. Caracterização Do Regime Hidrológico da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Meio Através de um Modelo Hidrológico Distribuído em SIG. In: *XIVth IWRA World Water Congress*, Porto de Galinhas/PE, 2011.

GENTIRANA, A. C. V. *Contribuição da Altimetria Espacial a Modelagem Hidrológica de Grandes Bacias na Amazônia*. Tese de doutorado, UFRJ/COPPE, 2009.

GRAF, W.L. *Fluvial Processes in Dryland Rivers*. Springer-Verlag, Berlin, 1988.

GOERGEN, G. *Utilização do Índice de Área Foliar Obtido por Sensoriamento Remoto para a Estimativa da Evapotranspiração de Referência na Bacia do Prata*. Dissertação de mestrado em meteorologia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria - RS, 2010.

HIDROWEB Sistema de Informações Hidrológicas, *Série histórica de dados (online)*. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acessado em: 4 de fevereiro de 2012.

IBGE, *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Ministério da Ciência e Tecnologia. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/>. Acessado em 7 de maio de 2009.

IBGE, *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Ministério da Ciência e Tecnologia. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/>. Acessado em: 28 de abril de 2011.

INMET, *Instituto Nacional de Meteorologia*. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/>. Acessado em: 14 de março de 2011.

IPCC, *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Painel de Mudanças Climáticas Grupo II. Disponível em: www.ipcc.ch/. Acessado em: 10 de dezembro de 2010.

JACOMINE, P. K. T. *Solos Sob Caatingas - Características e Uso Agrícola*. In: Alvarez V., V. H.; Fontes, L. E. F.; Fontes, M. P. F. (ed). *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. Viçosa: SBCS; UFV, DPS, 1996.

LARENTIS, D. G. *Modelagem Matemática da Qualidade da Água em Grandes Bacias: Sistema Taquari-Antas-RS*. Dissertação de Mestrado PPRHS IPH Rio Grande do Sul, 2004.

LIANG, X.; LETTENMAIER, D. P.; WOOD, E. F.; BURGESS, S. J. A Simple Hydrologically Based Model of Land Surface Water and Energy Fluxes for General Circulation Models. *Journal of Geophysical Research*, 1994.

LIMA, V. C. G. da R. *Aplicação do Modelo MGB-IPH à Bacia do Rio Ipanema –AL*. Parte I: Preparação do Arquivo de Entrada Principal. Monografia de graduação, Universidade Federal de Alagoas UFAL, 2007.

LIMA, P. C. F.; OLIVEIRA, E. B.; MACHADO, S. A. *Equações para Estimativa de Biomassa de Espécies de Prosopis no Semiárido Brasileiro*. Colombo: EMBRAPA, 1996.

LOPES, E.A.; FERREIRA P.A., FERRAZ S., AMORA D.X., FREITAS L.G.; GARDIANO C.G. *Controle de Meloidogyne Javanica Através da Incorporação ao Solo de Seis Espécies de Plantas*. Fitopatologia Brasileira, 2005.

MALTCHIK, L. *Ecologia de Rios Intermitentes Tropicais*. In: POMPÊO, M. L. M. *Perspectivas da Limnologia no Brasil*. São Luis: Gráfica e Editora União, 1999.

MAPWINDOW, *MapWindow GIS Open Source Project Ver 4.8.1*. Idaho State University GSL. Disponível em: <http://www.mapwindow.org/>. Acessado em: 28 de agosto de 2010.

MOREIRA FILHO, J. C. C. Modelagem geográfica tridimensional na bacia hidrográfica do rio Ipanema, uma comparação entre os métodos de triangulação e inverso do quadrado da distância com uso de SRTM. UFPE/CTG/DECART. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Curitiba, PR, 2011.

MOORE, R. J., BELL, V. A. & JONES, D. A. *Forecasting for Flood Warning. Comptes Rendus Geosci.*, 2005.

NASA, National Aeronautics and Space Administration. *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*. Disponível em: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm>. Acessado em 19 de janeiro de 2010.

PERH. *Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco*. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, Recife, 1998.

PICCIN, E.; SCHERER, F. B.; CARGNIN, M.; NEO, V.; *A Invenção da Seca no Nordeste*. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/mundogeo/geopolitica/brasil.htm>. Acessado em 14 de agosto de 2009, 2005.

PORTO, E. R.; SILVA JUNIOR, L. G. A.; ARAUJO, O. J. ; AMORIM, M. C. C.. *Usos Alternativos para Água Subterrânea no Semiárido Brasileiro*. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2002, Florianópolis. Aquíferos Transfronteiriços, 2002.

PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. *Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil*. PNUD, Disponível em: <http://www.pnud.org.br>. Acessado em: 18 de março de 2009, Brasília, 2000.

REBOUÇAS, A.C. *Água na Região Nordeste: Desperdício e Escassez*. Estudos Avançados, v.11, n.29, 1997.

RIBEIRO NETO, A.; BARBOSA, I. M. R.; ARAUJO FILHO, P. F.; CIRILO, J. A.. *Uso do Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-IPH) Em Regiões Semiáridas*. In: *II Conferência Internacional sobre Água em Regiões Áridas e Semiáridas, Gravatá, 2007*.

ROCHA, S. R. A. G. *Simulação do Escoamento Superficial na Bacia Experimental de Santana do Ipanema*. Dissertação de Mestrado. UFAL. Maceió, 2008.

SALAZAR, C. R. V.; CORDEIRO, G. G.. *Perspectivas do Uso das Águas Subterrâneas do Embasamento Cristalino no Nordeste Semiárido do Brasil*. EMBRAPA Centro de Pesquisa do Trópico Semiárido CPATSA. Pernambuco, 1985.

SANTOS, T. V. *Fluxos de Calor na Superfície e Evapotranspiração Diária em Áreas Agrícolas e de Vegetação Nativa na Bacia do Jacuí Por Meio de Imagens Orbitais*. Dissertação de Mestrado, PPGSR UFRS, Porto Alegre, 2009.

SANTOS, V. V.; NICACIO, R. M.; GONZAGA, E. P.. *Caracterização Espaço-Temporal do NDVI e do Albedo da Superfície na bacia Hidrográfica do Rio Ipanema*. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 2011.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; SILVA, V. M.; ALVES, G. D. *Capacidade de Suprimento de N e resposta à fertilização de 20 solos de Pernambuco*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 1995.

SILVA, B. C. *Previsão Hidroclimática de Vazão para a Bacia do Rio São Francisco*. Tese de Doutorado, IPH-UFRGS, 220 p., 2005.

SILVA, P. M. de O.; MELLO, C. R. de.; SILVA, A. M. da.; COELHO, G. Modelagem da Hidrógrafa de Cheia em uma Bacia Hidrográfica da Região Alto Rio Grande. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.3, mai.-jun., p.258-265, 2008.

SRTM, *Shuttle Radar Topographic Mission*. Consortium for Spatial Information CGIAR-CSI, <http://srtm.csi.cgiar.org/> Acessado em 25 de fevereiro de 2009.

SRINIVASAN, R. & ARNOLD, J.G. *Integration of a Basin-Scale Water Quality Model With GIS*. *Water Res. B.*, 30:453-462, 1994.

TITO, G. A.; CHAVES, L. E. G.; CARVALHO, H. O.; AZEVEDO, N. C. *Aplicação de Bentonita em um Regossolo Eutrófico. II. Efeitos Sobre as Propriedades Químicas do Solo*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.1, n.1, p.25-27, 1997.

TODINI, E.. *The Arno Rainfall – Runoff Model*. *Journal of Hydrology*, Vol. 175 pp. 293-338. 1996.

TUCCI, C. E. M. *Modelos Hidrológicos*. ABRH, 2.ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2005.

VIEIRA, L. L. A.; SOUZA, V. C. B.; FREIRE, C. C. Bacia Experimental de Santana do Ipanema, Alagoas: Implantação e Primeiros Resultados. In: *XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande, 2009*.

VINEY, N.R., SIVAPALAN, M., and DEELEY, D. *A Conceptual Model of Nutrient Mobilisation and Transport Applicable at Large Catchment Scales*. *J. Hydrol.* 2000.

WATSON, D.J. *Comparative Physiological Studies in The Growth of Field Crops. I. Variation in Net Assimilation Rate and Leaf Area Between Species and Varieties, and Within and Between Years*. *Annals of Botany*11, 1947.

YAPO, P. O.; GUPTA, H. V.; SOROOSHIAN, S. Multi-objective Global Optimization for Hydrologic Models. *Journal of Hydrology*, 1998.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Exemplo do arquivo de entrada referente aos blocos no MGB-IPH.

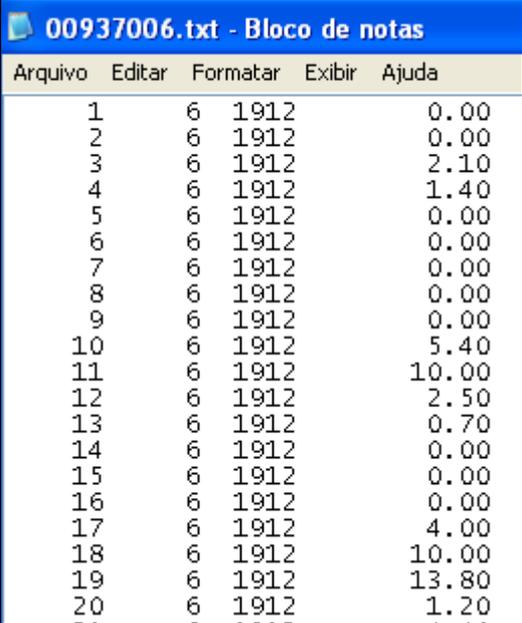
Quadro 13- Arquivo blocos da bacia do rio Ipanema

```
ESTEPE // ESTEPE_FLORESTA_ESTACIONAL_EM_SOLO_RASO
ARBOREA // ARBOREA_EM_SOLO_RASO
AGRIRA // AGRICULTURA_EM_SOLO_RASO
AGRIPR // AGRICULTURA_EM_SOLO_PROFUNDO
AGUA // AGUA
```

Fonte: Autor, 2012

APÊNDICE B - Exemplo do arquivo pluviométrico de entrada no MGB-IPH.

Figura 58- Arquivo estação pluviométrica



Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
1	6	1912		0.00
2	6	1912		0.00
3	6	1912		2.10
4	6	1912		1.40
5	6	1912		0.00
6	6	1912		0.00
7	6	1912		0.00
8	6	1912		0.00
9	6	1912		0.00
10	6	1912		5.40
11	6	1912		10.00
12	6	1912		2.50
13	6	1912		0.70
14	6	1912		0.00
15	6	1912		0.00
16	6	1912		0.00
17	6	1912		4.00
18	6	1912		10.00
19	6	1912		13.80
20	6	1912		1.20

Fonte: Autor, 2012

APÊNDICE C - Exemplo do arquivo “Médias clima” no MGB-IPH.

Figura 59- Arquivo médias clima

mediasclima.MGB - Bloco de notas					
Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda	
-36.517		-8.883		00836014	GARANHUNS
-36.767		-8.400		00836031	PESQUEIRA
-37.083		-8.417		00837042	ARCOVERDE
-36.700		-9.450		00936035	PALMEIRA DOS ÍNDIOS
-37.900		-9.283		00937008	ÁGUA BRANCA
-37.447		-9.753		00937034	PÃO DE AÇÚCAR
* Temp. média mensal *					
Estação			jan	fev	mar abr
00836014	GARANHUNS		23.2	23.1	22.9 22.2
00836031	PESQUEIRA		25.4	25.2	25.1 24.2
00837042	ARCOVERDE		25.6	25.2	25.1 24.2
00936035	PALMEIRA DO		27.4	27.4	27.2 26.0
00937008	ÁGUA BRANCA		25.1	25.0	24.9 24.6
00937034	PÃO DE AÇÚC		28.7	28.5	28.5 27.4
* Umidade Relativa (%) *					
Estação			jan	fev	mar abr
00836014	GARANHUNS		55.2	57.1	61.2 68.1
00836031	PESQUEIRA		45.1	47.6	53.4 60.4
00837042	ARCOVERDE		41.2	47.1	56.5 60.2
00936035	PALMEIRA DO		50.7	52.1	57.8 65.3
00937008	ÁGUA BRANCA		51.5	50.8	54.3 57.7
00937034	PÃO DE AÇÚC		43.0	43.3	47.5 52.6

Fonte: Autor, 2012

APÊNDICE D - Exemplo do arquivo fluviométrico de entrada no MGB-IPH.

Figura 60- Arquivo estação fluviométrica

49490000.txt - Bloco de notas				
Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
1	1	1977		-1.000000
2	1	1977		-1.000000
3	1	1977		-1.000000
4	1	1977		-1.000000
5	1	1977		-1.000000
6	1	1977		-1.000000
7	1	1977		-1.000000
8	1	1977		-1.000000
9	1	1977		0.903197
10	1	1977		0.812232
11	1	1977		0.550746
12	1	1977		0.387727
13	1	1977		0.387727
14	1	1977		0.387727
15	1	1977		0.387727
16	1	1977		0.387727
17	1	1977		0.387727
18	1	1977		0.387727
19	1	1977		0.387727
20	1	1977		0.387727

Fonte: Autor, 2012

APÊNDICE E - Exemplo do arquivo pluviométrico de entrada no MGB-IPH.

Figura 61- Arquivo estação pluviométrica

00937006.txt - Bloco de notas				
Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
1	6	1912		0.00
2	6	1912		0.00
3	6	1912		2.10
4	6	1912		1.40
5	6	1912		0.00
6	6	1912		0.00
7	6	1912		0.00
8	6	1912		0.00
9	6	1912		0.00
10	6	1912		5.40
11	6	1912		10.00
12	6	1912		2.50
13	6	1912		0.70
14	6	1912		0.00
15	6	1912		0.00
16	6	1912		0.00
17	6	1912		4.00
18	6	1912		10.00
19	6	1912		13.80
20	6	1912		1.20

Fonte: Autor, 2012

APÊNDICE F- Exemplo do arquivo climatológico de entrada no MGB-IPH.

Figura 62- Arquivo estação climatológica

00737013.cli - Bloco de notas					
Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda	
	tem	UR	vento	insol	pressao
23.70		40.00	-1.00	3.60	943.00
25.10		41.00	-1.00	6.60	941.60
24.60		32.00	-1.00	6.80	940.80
25.50		39.00	-1.00	5.20	940.10
24.00		50.00	-1.00	0.00	943.50
25.00		48.00	-1.00	3.80	941.70
25.90		34.00	-1.00	10.90	940.80
24.30		33.00	-1.00	9.50	941.10
25.20		38.00	-1.00	9.10	941.60
24.80		37.00	-1.00	7.80	941.40
23.60		37.00	-1.00	8.30	940.90
24.10		34.00	-1.00	7.50	940.80
24.30		56.00	-1.00	0.00	941.60
24.60		52.00	-1.00	1.20	942.60
25.40		37.00	-1.00	7.80	943.30
24.40		37.00	-1.00	8.30	942.70
26.00		43.00	-1.00	6.00	941.80
26.85		35.00	-1.00	8.20	939.90
27.00		33.00	-1.00	8.00	940.00
27.50		30.00	-1.00	4.50	940.60
25.60		87.00	-1.00	0.10	943.80
26.30		41.00	-1.00	7.40	940.80
24.80		53.00	-1.00	8.00	941.60
25.30		38.00	-1.00	10.30	940.90
24.60		39.00	-1.00	7.10	941.50
22.20		84.00	-1.00	0.00	942.40

Fonte: Autor, 2012

APÊNDICE G - Exemplo do arquivo de informações gerais para o MGB-IPH.

Quadro 14- Arquivo de Informações gerais

```

ARQUIVO DE INFORMACOES GERAIS PARA O MODELO DE GRANDES BACIAS
!Projeto Bacia do rio Ipanema
!DIA   MES   ANO   HORA   !INÍCIO DA SIMULAÇÃO
    1     1  1977   0
!NUMERO DE INTERVALOS DE TEMPO E TAMANHO DO INTERVALO EM SEGUNDOS
NT     DT
11627 86400.
NC     NU     NB     NCLI   !NUMERO DE CÉLULAS, USOS, BACIAS E POSTOS CLIMA
23     5     1     6
!INDICA SE VAI USAR CALIBRAÇÃO AUTOMÁTICA (1) OU NÃO (0)
!OU SE VAI FAZER PREVISAO (2)
ICALIB
    0
!NOME DO ARQUIVO QUE CONTEM OS DADOS METEOROLÓGICOS MÉDIOS MENSAIS
medias.cli
!NUMERO DE POSTOS COM VAZÃO OBSERVADA, NOME DO ARQUIVO EM QUE ESTÃO OS
DADOS
1 QOBS.PRN
!NUMEROS DAS CÉLULAS QUE CORRESPONDEM AOS POSTOS FLU COM DADOS
21
!NUMERO DE PONTOS EM QUE SE DESEJA GRAVAR HIDROGRAMAS
1
!CÉLULAS QUE CORRESPONDEM A ESTES PONTOS
21
    
```

Fonte: Autor, 2012

APÊNDICE H - Exemplo do arquivo das vazões calculadas no MGB-IPH.

Figura 63- Arquivo vazões calculadas

Arquivo	Editar	Formatar	Exibir	Ajuda
1			0.000	
2			0.000	
3			0.000	
4			0.000	
5			0.000	
6			2.476	
7			1.244	
8			0.638	
9			0.526	
10			0.058	
11			0.000	
12			0.000	
13			0.000	
14			0.889	
15			0.184	
16			0.000	
17			1.561	
18			1.682	
19			0.763	
20			0.000	

Fonte: Autor, 2012

APÊNDICE I - Resumo das Simulações Utilizando o MGB-IPH na Bacia do Rio Ipanema.

Quadro 15- Resumo das simulações utilizando o MGB-IPH

Similações	wm	b	Kbas	kint	xl	cap	wc	cs	ci	cb	qb	R2
001												
002	10	0.05	0.5	4	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.126889
003	20	0.05	0.5	4	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.160856
004	30	0.05	0.5	4	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.199275
005	50	0.05	0.5	4	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.260638
006	120	0.05	0.5	4	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.302584
007	70	0.05	0.5	4	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.31381
008	110	0.05	0.5	4	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.335411
009	90	0.05	0.5	4	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.342847
010	95	0.2	0.5	4	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.344016
011	95	0.05	0.5	4	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.346233
012	100	0.05	0.5	4	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.34657
013	96	0.05	0.5	4	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.34658
014	97	0.05	0.5	4	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.346727
015	99	0.05	0.5	4	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.346727
016	98	0.05	0.5	4	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.346779
017	95	0.15	0.5	4	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.349507
018	95	0.08	0.5	4	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.350933
019	95	0.1	0.5	4	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.351874
020	95	0.1	0.4	4	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.355513
021	95	0.1	0	4	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.360151
022	95	0.1	0.1	4	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.360494
023	95	0.1	0	8	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.364549
024	95	0.1	0	10	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.365776
025	95	0.1	0	11	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.366219
026	95	0.1	0	12	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.366556
027	95	0.1	0	14	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.367006
028	95	0.1	0	20	0.3	0	0	10	50	1200	0.0001	0.367032
029	95	0.1	0	20	0.52	0	0	10	50	1200	0.0001	0.370194
030	95	0.1	0	10	0.52	0	0	10	50	1200	0.0001	0.370442
031	95	0.1	0	16	0.52	0	0	10	50	1200	0.0001	0.370454
032	95	0.1	0	14	0.52	0	0	10	50	1200	0.0001	0.370763
033	95	0.1	0	12	0.52	0	0	10	50	1200	0.0001	0.370843
034	200	0.1	0.1	12	0.18	0	0.5	12	50	3200	0.0001	0.401620

Fonte: Autor, 2012