



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Juracy Dias Santos Filho

**Calibração e utilização de modelos chuva-vazão na determinação  
da disponibilidade hídrica da bacia do rio Japarutuba-Mirim,  
Sergipe**

São Cristóvão – SE  
2018

Juracy Dias Santos Filho

**Calibração e utilização de modelos chuva-vazão na determinação da disponibilidade hídrica da bacia do rio Japaratuba-Mirim, Sergipe**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Sergipe (UFS), para encerramento do componente curricular ENCIV0157 – Trabalho de Conclusão de Curso e conclusão da graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Ludmilson Abritta Mendes

Coorientador: Eng. Alan de Gois Barbosa

São Cristóvão – SE  
2018

É concedida à Universidade Federal de Sergipe permissão para reproduzir cópias desta monografia e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho acadêmico pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Assinatura

DIAS SANTOS FILHO, Juracy

CALIBRAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE MODELOS CHUVA-VAZÃO NA DETERMINAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DA BACIA DO RIO JAPARATUBA-MIRIM, SERGIPE / Juracy Dias Santos Filho.

São Cristóvão, 2018

74 p.: il.

Trabalho Acadêmico Orientado. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.

I. Universidade Federal de Sergipe

II. Calibração e utilização de modelos chuva-vazão na determinação da disponibilidade hídrica da bacia do rio Japarutuba-Mirim, Sergipe.

Juracy Dias Santos Filho

**Calibração e utilização de modelos chuva-vazão na determinação da disponibilidade hídrica da bacia do rio Japaratuba-Mirim, Sergipe**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Sergipe (UFS), para encerramento do componente curricular ENCIV0157 - Trabalho de Conclusão de Curso e conclusão da graduação em Engenharia Civil.

Aprovado em 20 de dezembro de 2018.

Banca Examinadora

\_\_\_\_\_  
Nota: \_\_\_\_\_

Professor Dr. Ludmilson Abritta Mendes – Universidade Federal de Sergipe  
(Presidente – Orientador)

\_\_\_\_\_  
Nota: \_\_\_\_\_

Eng. Alan de Gois Barbosa – Universidade Federal de Sergipe  
(Coorientador)

\_\_\_\_\_  
Nota: \_\_\_\_\_

Professor Me. Erwin Henrique Menezes Schneider – Universidade Federal de Sergipe  
(Examinador 1)

\_\_\_\_\_  
Nota: \_\_\_\_\_

Professor Dr. Denise Conceição de Gois Santos Michelan – Universidade Federal de Sergipe  
(Examinador 2)

São Cristóvão – SE

2018

*“ A paciência é a virtude dos sábios, a pressa é o segredo do fracasso “*  
Autor não identificado

## Resumo

As variáveis hidrológicas são premissas básicas em qualquer projeto ligado à engenharia hidrológica, sendo de fundamental importância sua determinação. Contudo a existência de falhas nas séries históricas das bacias inviabiliza o processamento desses dados. Portanto, este trabalho visa ao preenchimento da série de vazão da bacia do rio Japarutuba-Mirim, com auxílio de um modelo chuva-vazão e dos coeficientes de eficiência Nash-Sutcliffe e LogNash-Sutcliffe, para assim determinar a disponibilidade hídrica da bacia. Entretanto, inicialmente, faz-se necessário tratar os dados de entrada utilizados nos modelos, determinar as áreas de influência de cada posto de pluviométrico através do método dos Polígonos de Thiessen, bem como o preenchimento das falhas existentes na série histórica desses postos. O modelo chuva-vazão escolhido, SMAP, foi calibrado e validado para diferentes períodos da série histórica utilizando como base os dados de precipitação, evapotranspiração e vazão observada, permitindo, assim, o preenchimento das falhas existentes na estação fluviométrica Fazenda Cajueiro. Com a realização do teste de Spearman inferiu-se sobre a tendência de variação dos dados, seu comportamento e suas prováveis causas influenciadoras. Por fim, a disponibilidade hídrica sazonal da área de estudo foi determinada com base no critério estadual de outorga adotado, a  $Q_{90}$ , e comparada com seu valor anual, utilizado atualmente, provocando questionamentos e buscando soluções a respeito do método vigente.

**Palavras chave:** recursos hídricos; SMAP; preenchimento de falhas; disponibilidade hídrica.

## Lista de Figuras

Figura 1 - Escoamentos na bacia (a) processos hortonianos (b) áreas de infiltração e escoamento sub-superficial .....	5
Figura 2 - Ilustração da estrutura do modelo SMAP na versão mensal .....	9
Figura 3 - Relação Fluviograma x Curva de Permanência.....	18
Figura 4 - Rede hidrográfica da bacia do rio Japaratuba.....	21
Figura 5 - Mapa da divisão climatológica de Sergipe .....	22
Figura 6 - Divisão política da bacia do rio Japaratuba .....	23
Figura 7 - Bacia do rio Japaratuba-Mirim e suas estações fluviométricas .....	24
Figura 8 - Dados gerais da bacia para calibração e validação do IPH II.....	31
Figura 9 - Condição inicial para calibração do IPH II .....	31
Figura 10 - Limites dos parâmetros do IPH II.....	32
Figura 11 - Condição inicial para validação do IPH II.....	32
Figura 12 - Área de influência das estações pluviométricas obtida através do Polígono de Thiessen..	36
Figura 13 - Calibração do modelo SMAP .....	38
Figura 14 - Validação do modelo SMAP .....	39
Figura 15 - Calibração do modelo IPH II.....	41
Figura 16 - Validação do modelo IPH II.....	41
Figura 17 - Gráfico Vazão versus Tempo com falhas.....	44
Figura 18 - Série preenchida Vazão versus Tempo com utilização do modelo SMAP.....	44
Figura 19 – Linha de Tendência dos dados pluviométricos da estação Fazenda Cajueiro (1991 – 2018) .....	45
Figura 20 - Linha de Tendência dos dados pluviométricos da estação Capela (1991 – 2018) .....	46
Figura 21 - Linha de Tendência dos dados fluviométricos da estação Fazenda Cajueiro (1973 – 2018) .....	46
Figura 22 - Q90% Anual, antes e após o preenchimento da série fluviométrica .....	48

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Informações pluviométricas bacia do Japarutuba .....	22
Tabela 2 - Estações Fluviométricas da sub-bacia do rio Japarutuba-Mirim.....	24
Tabela 3 - Estações Hidrometeorológicas a serem preenchidas .....	25
Tabela 4 - Evapotranspiração média e total .....	26
Tabela 5 - Período de abrangência das séries escolhidas .....	28
Tabela 6 - Períodos escolhidos para Calibração e Validação.....	28
Tabela 7 - Período em que foram realizados testes de estacionariedade.....	33
Tabela 8 - Total de falhas dos postos de chuva no período utilizado.....	35
Tabela 9 - Coeficiente de influência pluviométrica das estações.....	36
Tabela 10 - Parâmetros utilizados na calibração e validação do modelo SMAP .....	37
Tabela 11 - Parâmetros do solo encontrados por Lopes (1999) no manual do SMAP.....	38
Tabela 12 - Parâmetros do solo na calibração e validação do modelo IPH II.....	40
Tabela 13 - Coeficiente de eficiência Nash-Sutcliffe dos modelos utilizados .....	42
Tabela 14 - Coeficientes de eficiência LogNash-Sutcliffe para o modelo SMAP .....	43
Tabela 15 - Teste de estacionariedade do posto pluviométrico Fazenda Cajueiro.....	45
Tabela 16 - Teste de estacionariedade do posto pluviométrico Capela.....	46
Tabela 17 - Teste de estacionariedade do posto fluviométrico Fazenda Cajueiro no período de 1973- 2018.....	46

## Lista de Abreviaturas e Siglas

ANA	Agência Nacional de Águas
CONERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
DPI	Divisão de Processamento de Imagens
$E_b$	Escoamento Base
$E_r$	Evapotranspiração Real
$E_s$	Escoamento Superficial
HTA	Histograma Tempo-Área
INMET	Instituto de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPH	Instituto de Pesquisas Hidráulicas
MOCOM-UA	<i>Multi-Objective Complex Evolution Method – University of Arizona</i>
NERC	<i>Natural Environment Research Council</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
PERH-SE	Plano Estadual de Recursos Hídricos – Sergipe
P <sub>méd</sub>	Precipitação Média
SCE-UA	<i>Shuffled Complex Evolution – University of Arizona</i>
SGH	Sistema de Informações Hidrológicas
SMAP	<i>Soil Moisture Accounting Procedure</i>
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## **Lista de Quadros**

Quadro 1 - Índices de chuva e vazão dos períodos utilizados na calibração e validação dos modelos..37

## **Lista de Apêndices**

<b>APÊNDICE A – ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS DENTRO DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DOS POSTOS A SEREM PREENCHIDOS .....</b>	<b>56</b>
<b>APÊNDICE B - POSTOS PLUVIOMÉTRICOS EFETIVAMENTE UTILIZADOS NO PREENCHIMENTO DAS FALHAS DE CHUVA .....</b>	<b>57</b>
<b>APÊNDICE C - FALHAS PREENCHIDAS DA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA FAZENDA CAJUEIRO .....</b>	<b>58</b>
<b>APÊNDICE D - FALHAS PREENCHIDAS DA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DE CAPELA ..</b>	<b>59</b>
<b>APÊNDICE E - SÉRIE FLUVIOMÉTRICA DA ESTAÇÃO FAZENDA CAJUEIRO SEM PREENCHIMENTO DAS FALHAS .....</b>	<b>60</b>
<b>APÊNDICE F - SÉRIE FLUVIOMÉTRICA DA ESTAÇÃO FAZENDA CAJUEIRO PREENCHIDA .....</b>	<b>61</b>

# SUMÁRIO

<b>1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Objetivos .....</b>	<b>3</b>
2.1. Objetivos Gerais.....	3
2.2. Objetivos Específicos.....	3
<b>3. Revisão Bibliográfica .....</b>	<b>4</b>
3.1. Processos Hidrológicos na Bacia .....	4
3.2. Séries Históricas de Precipitação .....	5
3.2.1. Preenchimento de Falhas.....	6
3.3. Modelos Hidrológicos.....	7
3.3.1. Modelos Chuva-Vazão.....	8
3.4. Coeficientes de desempenho do modelo .....	16
3.4.1. Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe .....	16
3.4.2. Coeficiente de Eficiência LogNash-Sutcliffe.....	17
3.5. Disponibilidade Hídrica .....	17
3.5.1. Curva de Permanência.....	18
3.6. Testes Estatísticos .....	19
3.6.1. Teste de Estacionariedade .....	19
<b>4. Área de Estudo .....</b>	<b>21</b>
<b>5. Metodologia .....</b>	<b>25</b>
5.1. Monitoramento Hidrológico.....	25
5.2. Preenchimento de Falhas das Séries Pluviométricas .....	26
5.3. Área de influência dos Postos Pluviométricos .....	27
5.4. Séries de Calibração e Validação dos Modelos Chuva-Vazão Propostos .....	27
5.5. Modelo Chuva-Vazão SMAP .....	28
5.6. Modelo Chuva-Vazão IPH II .....	30
5.7. Preenchimento da Série de Vazão do Posto Fluviométrico Fazenda Cajueiro .....	33
5.8. Testes Estatísticos .....	33
5.9. Cálculo da Disponibilidade Hídrica .....	34
<b>6. Resultados e Discussão.....</b>	<b>35</b>
6.1. Preenchimento das Falhas das Séries Históricas.....	35
6.2. Porcentagem da Área de Influência de Cada Posto em Relação À Área de Estudo .....	35
6.3. Séries de Calibração e Validação.....	36

6.4. Parâmetros e Curvas Obtidas no Modelo SMAP.....	37
6.5. Parâmetros e Curvas Obtidas no Modelo IPH II.....	40
6.6. Determinação do modelo chuva-vazão mais adequado .....	42
6.7. Preenchimento da Série Histórica de Vazão .....	43
6.8. Testes Estatísticos .....	45
6.9. Disponibilidade hídrica .....	47
<b>7. Conclusão .....</b>	<b>49</b>
<b>Referências .....</b>	<b>50</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>55</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico e a expansão das fronteiras agrícolas produziram alterações significativas na superfície e no uso do solo rural de países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil. Inevitavelmente, o aumento das atividades humanas trouxe consigo alteração de processos relacionados ao ciclo hidrológico nas bacias hidrográficas, acarretando em mudanças, por vezes significativas, nos volumes de água e nas velocidades de deslocamento da mesma sobre as superfícies que foram alteradas, decorrente da impermeabilização sistêmica do solo (TUCCI; CLARKE, 1997; ARAÚJO; KNIGHT, 2005).

A demanda por água de boa qualidade, tanto de populações rurais quanto urbanas de países menos desenvolvidos, foi identificada pela Organização das Nações Unidas (ONU) como o principal desafio mundial existente do século passado. Passadas duas décadas, verificase que a situação não foi alterada. Ao contrário, observa-se que essa busca tem aumentado, em função do crescimento populacional do planeta. Este, aliado ao desenvolvimento industrial e a necessidade por alimentos, deve continuar aumentando a procura por água, o que desencadeia sérios problemas de abastecimento no futuro próximo (GRASSI, 2001).

No Brasil, as maiores concentrações hídricas, tanto superficiais quanto subterrâneas, se encontram na região norte do país, além disso, é também nessa região onde existe o maior índice de precipitação de todo país. Porém, é sabido que a maior parcela da população brasileira está concentrada nas regiões Sudeste e Nordeste, principalmente próxima à faixa litorânea, gerando incompatibilidade entre oferta de água e densidade demográfica (FOLEGATTI et al., 2009).

Diante da oferta e procura desse bem fundamental para vida, é nítida a necessidade de avaliar o potencial destas fontes e gerenciar suas disponibilidades de forma que elas possam ser utilizadas de maneira igualitária e racional, uma vez que o gerenciamento dos recursos naturais necessita, dentre outros, de informações sobre carga de sedimento nos corpos de água e disponibilidade hídrica para os rios e reservatórios (ARAGÃO et al., 2012).

Como auxílio às técnicas de gerenciamento de recursos hídricos e tendo como fim minimizar o déficit hídrico das regiões, a partir de 1855 foram implantadas as estações hidrometeorológicas. Elas estão espalhadas por todo território nacional e reúne dados, como: níveis fluviais, vazões, chuvas, climatologia, qualidade da água e sedimentos. Estas informações são imprescindíveis para a gestão dos recursos hídricos e de diversos setores econômicos, além de serem usadas nos projetos, manutenções e operações de infraestrutura hidráulica de pequeno e grande porte. Pode-se, ainda, acompanhar a ocorrência de eventos

hidrológicos considerados críticos, inundações e secas, e se planejar medidas de mitigação dos impactos decorrente desses eventos (HIDROWEB, 2005).

Entretanto, por diversos motivos, a maioria dos postos hidrometeorológicos, não possuem dados completos. Ou por possuírem séries não tão extensas, a ponto de embasar um estudo de viabilidade hídrica, ou por apresentar inúmeras falhas em diversos meses e até mesmo anos da série. Nesse contexto, surgem os chamados modelos hidrológicos chuva-vazão, que a partir de dados coletados na bacia hidrográfica a ser estudada, permitem gerar séries sintéticas além de dados para preenchimento da série real. Serão utilizados para este estudo o *Soil Moisture Accounting Procedure* (SMAP) e o Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH II).

O modelo SMAP, criado por Lopes, Braga e Conejo (1982), é um modelo determinístico de simulação hidrológica do tipo chuva-vazão. Este modelo apresenta as versões para intervalos de tempo horário, diário e mensal, com algumas adaptações em sua estrutura. O modelo apresenta como principais vantagens: simplicidade de calibração e o uso de pequeno número de parâmetros (CASTANHARO et al., 2007).

Já o modelo IPH-II, versão WIN\_IPH II, foi desenvolvido pelo IPH/UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), no final da década de 70, para ser aplicado em projetos de engenharia em bacias rurais e urbanas. Assim como o SMAP, o IPH II também é definido como determinístico, concentrado e utilizado para simulação chuva-vazão, tendo como vantagem uma simples interface e metodologias já bem difundidas (SILVA, 2011).

Vale salientar que mesmo quando os modelos matemáticos são utilizados para estimar os efeitos de mudanças, é sempre necessário comparar e confirmar as previsões obtidas com observações no campo, sempre que possível (TUCCI; CLARKE, 1997).

Esse trabalho visa, portanto, preencher as falhas existentes na série de vazões do rio Japaratuba-Mirim através de modelos matemáticos chuva-vazão que serão calibrados e testados para verificar qual melhor se aplica à região. Além disso, é possível determinar a disponibilidade hídrica em valores mais próximos da realidade.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVOS GERAIS**

O objetivo geral deste trabalho é estimar a disponibilidade hídrica da bacia do rio Japaratuba-Mirim por meio de uma série de vazões preenchida por um modelo chuva-vazão que melhor se ajuste às características hidrológicas da bacia.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar o desempenho dos modelos chuva-vazão SMAP e IPH II.
- Determinar os parâmetros auxiliares do modelo de melhor resposta para a bacia do Japaratuba Mirim.
- Avaliar estatisticamente as séries de chuva e de vazão.
- Comparar a disponibilidade hídrica da série sem preenchimento e da série preenchida.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. PROCESSOS HIDROLÓGICOS NA BACIA

O ciclo da água no globo é provocado basicamente pela energia solar. Esse ciclo retira água dos oceanos através da evaporação da superfície do mar e da superfície terrestre (IGBP, 1993).

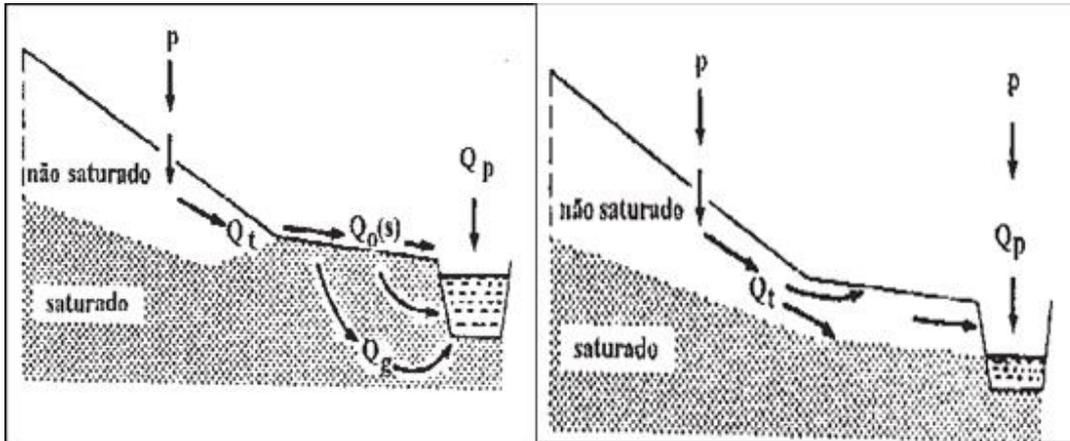
O sistema de circulação atmosférico é extremamente dinâmico e não-linear, dificultando sua previsão quantitativa. Esse processo cria condições de precipitação pelo resfriamento do ar úmido que formam as nuvens gerando precipitação na forma de chuva e neve, basicamente, sobre os mares e superfície terrestre (TUCCI; CLARKE, 1997).

Sendo assim, os processos hidrológicos possuem duas direções predominantes de fluxo na bacia hidrográfica: vertical e longitudinal. O vertical é representado pela precipitação e pela evapotranspiração. Já o longitudinal é caracterizado pelo escoamento na direção dos gradientes da superfície (escoamento superficial e rios) e do subsolo (escoamento subterrâneo), sendo que o balanço de volumes na bacia depende inicialmente dos regimes chamados de verticais (TUCCI; CLARKE, 1997).

No solo existe uma camada não saturada, onde ocorre infiltração e percolação e outra saturada onde ocorre armazenamento e escoamento subterrâneo. Na Figura 1(a) pode-se observar o chamado escoamento “Hortoniano” onde o escoamento superficial é gerado em toda superfície (para capacidade de infiltração menor que a precipitação) e o escoamento sub-superficial escoar até o rio (TUCCI; CLARKE, 1997).

No entanto, observando a Figura 1(b), nota-se que existem áreas onde praticamente não ocorre escoamento superficial, pois toda a precipitação se infiltra, tendo um significativo escoamento sub-superficial que é transportado através de macroporos, podendo aparecer na superfície através de fontes, produzindo fluxo superficial em conjunto com a precipitação local. Esse converge para os rios que formam a drenagem principal das bacias hidrográficas. O escoamento em rios depende de várias características físicas tais como a declividade, rugosidade, seção de escoamento e obstruções ao fluxo (TUCCI; CLARKE, 1997).

Figura 1 - Escoamentos na bacia (a) processos hortonianos (b) áreas de infiltração e escoamento sub-superficial



Fonte: Adaptada de Bruijnzeel (1990)

Nos processos de percolação da água, esta também é armazenada em aquífero e, por vezes, transportada até os rios. Tal processo faz com que os cursos d'água se mantenham perenes em períodos de estiagem. Em bacias onde a capacidade da água subterrânea é pequena, com grande incidência de rochas e alta evaporação, os rios não são perenes, como na região de cristalino do Nordeste. A infiltração também depende do tipo e do uso do solo. Segundo Pritchett (1979), normalmente, a capacidade de passagem de água em solos com vegetação é alta, o que produz pequena quantidade de escoamento superficial. Para solos com superfície desprotegida que sofre a ação de compactação, essa capacidade pode diminuir, resultando em maior fluxo superficial (TUCCI; CLARKE, 1997).

Para estudos das bacias hidrográficas é importante que os modelos consigam simular todos ou quase todos os componentes do ciclo hidrológico, a fim de se obter resultados cada vez mais próximos da realidade local. É nesse sentido que se faz necessário a obtenção e correção tanto das séries de chuva como de vazão.

### 3.2. SÉRIES HISTÓRICAS DE PRECIPITAÇÃO

As séries históricas de precipitação são informações fundamentais para o entendimento do regime hidrológico de determinada região (MELLO; SILVA, 2005). Para que essas séries sejam produzidas faz-se necessário a utilização de equipamentos para coleta de dados, os chamados pluviômetros. Este aparelho marca a altura de chuva total acumulada em um dado período de tempo e é mais utilizado para totalizar a precipitação diária, sendo operado por um funcionário que tenha fácil acesso ao dispositivo (BERTONI; TUCCI, 2007).

A Agência Nacional de Águas (ANA) disponibiliza as séries pluviométricas, dos mais diversos postos de medição espalhados pelo Brasil, através do portal Hidro Web. O objetivo é

oferecer séries de dados contínuas de precipitação ao longo dos anos. Entretanto, percebe-se que existem algumas falhas, sejam elas diárias, mensais e até anuais, que, de acordo com Bertoni e Tucci (2007), podem ser originadas a partir de problemas com os aparelhos de registro e/ou com o operador do posto.

Os motivos mais comuns de erros, considerados grosseiros, estão relacionadas à observação dos dados, sendo eles: preenchimento errado do valor na caderneta de campo, soma errada do número de provetas (quando há uma alta precipitação), valor estimado pelo observador (quando o mesmo se ausenta do local no dia da amostragem), crescimento de vegetação ou até mesmo entulhos próximo ao posto de observação, danificação do dispositivo, e problemas mecânicos no registrador gráfico (BERTONI; TUCCI, 2007).

### 3.2.1. Preenchimento de Falhas

A necessidade de se trabalhar com séries contínuas faz com que se busque métodos para preencher as falhas provenientes dos medidores pluviométricos (BURIOL et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2010). De acordo com Chibana et al. (2005) existem diversas metodologias que podem ser utilizadas para completar os vazios de dados meteorológicos, incluindo-se a utilização de médias de dados observados ou dados sintéticos obtidos de geradores de dados. Contudo, nenhum método é compatível com o preenchimento de falhas diárias, devido à grande variação espacial e temporal da chuva em eventos de média e pequenas frequências, sendo então indicado para as correções mensais ou anuais (BERTONI; TUCCI, 2007).

Bertoni e Tucci (2007) apresentam, também, dentre outros métodos de preenchimento de falhas pluviométricas, o Método de Ponderação Regional, que é um processo simplificado e visa à homogeneidade dos dados de determinada bacia. Para se preencher um posto  $y$ , que apresente falhas, deve se selecionar um grupo de postos, pelo menos três e com no mínimo dez anos de série, utilizando a Equação 3.1.

$$y = \frac{1}{3} \left[ \frac{x_1}{X_{m1}} + \frac{x_2}{X_{m2}} + \frac{x_3}{X_{m3}} \dots \right] \cdot y_m \quad (3.1)$$

sendo:

- $y$ : precipitação do posto  $Y$  que deseja ser estimada;
- $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$ : precipitações referentes ao mês que se deseja preencher, observadas nas 3 estações vizinhas mais próximas que atendam aos requisitos;
- $y_m$ : precipitação média do posto  $Y$ ;
- $X_{m1}$ ,  $X_{m2}$ ,  $X_{m3}$ : precipitações médias nas três estações vizinhas.

Vale ressaltar, ainda, que os postos vizinhos escolhidos também devem estar numa região climatológica semelhante e com características geográficas equivalentes ao posto a ser preenchido e sempre procurando assegurar razoável distribuição espacial (ANA, 2011).

### 3.3. MODELOS HIDROLÓGICOS

Modelos são a representação de um sistema, numa linguagem de fácil acesso e uso, tendo como intenção entendê-lo e buscar respostas para os diferentes dados de entradas. Sendo assim, os chamados Modelos Hidrológicos são ferramentas criadas pela ciência visando ao melhor entendimento, representação e previsão dos processos existentes numa bacia hidrográfica (TUCCI, 2005).

Um modelo hidrológico, ao contrário do que se pensa, não é a função objetivo a ser buscada em projetos de hidrologia, mas se trata de ferramenta para se chegar até ela. Vale ressaltar que nenhuma metodologia poderá aumentar as informações nos dados existentes, mas sim, favorecer a obtenção dessas informações (TUCCI, 2005).

Os modelos hidrológicos são diferenciados, basicamente, a partir dos dados de entrada utilizados, ou pela representação dos processos e dos objetivos a serem alcançados. Já suas limitações básicas incluem a quantidade e a qualidade dos dados hidrológicos existentes, além da dificuldade de formular matematicamente alguns processos e a simplificação do comportamento espacial de variáveis e fenômenos (TUCCI, 2005).

Além do já exposto, é importante definir as classificações que os modelos podem ter sob diferentes aspectos para que seja possível conhecer as limitações e potencialidades de cada um deles. A seguir, serão apresentadas algumas formas de classificação de modelos hidrológicos, segundo Schuster (2014) e Moreira (2005).

De acordo com a representação dos dados, um sistema pode ser considerado contínuo, que é aquele em que os fenômenos que ocorrem são contínuos no tempo. Ou é dito discreto quando as mudanças de estado ocorrem em intervalos de tempo discretos. Mesmo que seja contínuo, seus registros são mensurados em intervalos de tempo discretos, assim como será mensurado no modelo.

A existência ou não de relações espaciais faz com que os modelos sejam classificados como concentrados ou distribuídos. O primeiro não leva em consideração a variação espacial dos fenômenos, variáveis e parâmetros, atribuindo valores iguais para toda região de aplicação. Já o segundo, por sua vez, considera essa variação, separando a região em pequenas subdivisões.

Modelos do tipo determinísticos ou estocásticos estão relacionados às diferenças nas variáveis utilizadas na modelagem. Os determinísticos são aqueles que para um dado de entrada apenas é obtido um dado de saída. Já os chamados de estocásticos trabalham com o conceito de probabilidade de ocorrência das variáveis, produzindo saídas aleatórias para um mesmo dado de entrada.

Por fim, se tratando das relações entre as variáveis, há, ainda, duas classificações: conceituais e empíricas. O primeiro, considera os aspectos conceituais dos processos físicos envolvidos na representação. Já os empíricos, ajustam os valores calculados aos resultados observados através de equações que não tem relação com os processos físicos envolvidos.

### 3.3.1. Modelos Chuva-Vazão

Segundo Tucci (2005), com a modificação das bacias pela emergência de diversas obras hidráulicas, alterações no uso do solo e diferentes níveis de precipitação ao longo do ano, as séries de vazão deixaram de ser homogêneas, fazendo com que fosse preciso séries mais longas e representativas de vazões para os diferentes projetos de recursos hídricos. É nesse contexto que surgem os chamados modelos chuva-vazão.

Estes modelos possuem como interesse descrever principalmente a distribuição espacial da precipitação, as perdas por evaporação, interceptação, depressões do terreno, além do fluxo através do solo pela infiltração, percolação e água subterrânea, os escoamentos superficial, sub-superficial e no rio. De forma simples, são composições de algoritmos que buscam a integração das diferentes variáveis (TUCCI, 2005).

Tucci (2005) diz que, partindo de dados como a precipitação, por exemplo, é possível completar vazões desconhecidas ou estimá-las para os novos cenários existentes ou previstos para a bacia. Essas informações para os modelos são conhecidas como: “variáveis temporais de entrada”, que além da precipitação já citada, tem-se também a evapotranspiração potencial e a vazão observada.

Os modelos desenvolvidos procuraram sempre responder às questões emergentes na época de sua formulação, dando ênfase aos processos hidrológicos que seus autores mais dominavam. Nesse contexto destacaram-se o SMAP (Lopes et al., 1982) e o IPH-II (Tucci, 2005).

#### 3.3.1.1. Modelo SMAP

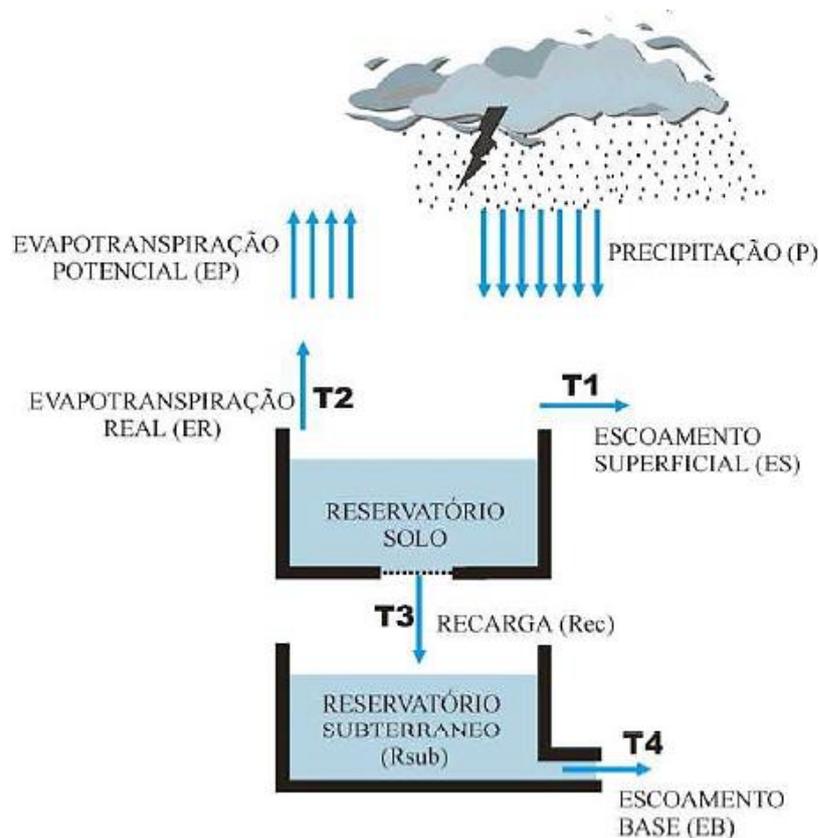
O modelo SMAP foi desenvolvido em 1981 por Lopes J.E.G., Braga B.P.F. e Conejo J.G.L., e apresentado no *International Symposium on Rainfall-Runoff Modeling* realizado em Mississippi, U.S.A. e publicado pela *Water Resources Publications* de 1982. É um método

determinístico de simulação hidrológica do tipo transformação chuva-vazão, sendo necessário dados de chuva, evapotranspiração e vazões médias para um período mínimo necessário para ser feita a calibração (LOPES, 1999).

Na estrutura da versão mensal, são adotados dois reservatórios matemáticos, o  $R_{solo}$  para água no solo e o  $R_{sub}$ , destinado para água subterrânea. Além disso, são consideradas também quatro funções de transferência do fluido entre os reservatórios e para fora dos mesmos, apresentados na Figura 2. Buchianeri (2004) as divide como:

- $T_1$ : Escoamento Superficial ( $E_s$ );
- $T_2$ : Evapotranspiração Real ( $E_r$ );
- $T_3$ : Recarga da água subterrânea ( $Rec$ );
- $T_4$ : Escoamento Base ( $E_b$ ).

Figura 2 - Ilustração da estrutura do modelo SMAP na versão mensal



Fonte: Buchianeri (2004)

Para se calcular as transferências entre e para os reservatórios são necessários quatro parâmetros, definidos por Lopes (1999), como:

- $Sat$ : Capacidade de saturação do solo (mm);
- $Pes$ : Parâmetro de escoamento superficial (ad.);
- $Crec$ : Coeficiente de recarga (ad.);

- $Kkt$ : Constante de recessão do escoamento base ( $\text{mês}^{-1}$ ).

Esses parâmetros possuem valores de máximo e mínimo aceitáveis, que Lopes (1999) define com os seguintes valores:

- $400 < Sat < 5000$
- $0,1 < Pes < 10$
- $0 < Crec < 70$
- $Kkt$ :
  - 1 mês - muito rápido
  - 2 meses - rápido
  - 3 meses - médio
  - 4 meses - lento
  - 6 meses - muito lento

Sendo assim, as equações 3.2 a 3.5 calculam as variáveis do modelo, segundo Lopes (1999) e Buchianeri (2004), são:

$$Es = \left( \frac{Rsolo}{Sat} \right)^{Pes} \cdot P \quad (3.2)$$

$$Er = \left( \frac{Rsolo}{Sat} \right) \cdot P \quad (3.3)$$

$$Rec = Crec \cdot \left( \frac{Rsolo}{Sat} \right)^4 \cdot Rsolo \quad (3.4)$$

$$Eb = \left( 1 - 0,5^{\frac{1}{Kkt}} \right) \cdot Rsub \quad (3.5)$$

sendo:

- $P$ : Precipitação;
- $R_{solo}$ : Reservatório de água no solo;
- $R_{sub}$ : Reservatório de água subterrânea.

Para um determinado mês  $t$ , a capacidade do reservatório de água e o cálculo da recarga subterrânea, tem sua inicialização e sua atualização mensal das variáveis de estado apresentada por Lopes (1999) nas equações 3.6 a 3.9.

$$Rsolo_{(1)} = Tuin \cdot Sat \quad (3.6)$$

$$Rsub_{(1)} = \left[ \frac{Ebin}{\left( 1 - 0,5^{\frac{1}{Kkt}} \right)} \right] \cdot \left( \frac{1}{Ad \cdot 2630} \right) \quad (3.7)$$

$$Rsolo_{(t+1)} = Rsolo_{(t)} + P - Es - Er - Rec \quad (3.8)$$

$$Rsub_{(t+1)} = Rsub_{(t)} + Rec - Eb \quad (3.9)$$

sendo:

- *Tuin*: Teor de umidade inicial (ad.);
- *Ebin*: Escoamento básico inicial (m<sup>3</sup>/s);
- *Ad*: Área de drenagem (km<sup>2</sup>).

Lopes (1999) diz ainda que caso ocorra o transbordamento do reservatório do solo, esse excesso será transformado em escoamento superficial.

Por fim, a vazão calculada é, segundo Lopes (1999), encontrada pela Equação 3.10.

$$Q = (Es + Eb) \cdot \frac{Ad}{2630} \quad (3.10)$$

### 3.3.1.2. Calibração

Existem três formas para calibração do modelo: manual (tentativa e erro), automática ou semiautomática. A primeira permite um acompanhamento total do hidrólogo na determinação de cada parâmetro, porém, é indicada apenas para profissionais mais experientes, devido à subjetividade. Já a segunda, facilita o trabalho e diminui a subjetividade, permitindo também o acesso ao modelo por hidrólogos não tão experientes, apesar de diminuir a confiabilidade dos resultados. A semiautomática por sua vez, mescla a experiência do hidrólogo com a eficiência atribuída ao modelo (LOPES, 1999).

Para calibração, são necessários de 2 a 9 anos de dados de vazão média mensal, além disso, Lopes (1999), também recomenda começar pelo ano hidrológico mais seco, pois nesse período a umidade do solo e a vazão básica estão em seus valores mínimos.

Nesta etapa, o intuito é aproximar o máximo possível o hidrograma simulado pelo modelo ao hidrograma observado em medições de campo. Para isso, se utilizam funções objetivo que funcionam medindo a discrepância entre os valores das duas séries, permitindo uma avaliação dos parâmetros utilizados, a possível minimização das diferenças e, conseqüentemente, sua otimização (BUCHIANERI, 2004).

Lopes (1999) define inicialmente duas equações para função objetivo, 3.11 e 3.12, uma para rios perenes e outra para rios intermitentes, são elas:

$$f \cdot o_{per} = \sum_1^n \left( \frac{Q_{oi} - Q_{ci}}{Q_{ci}} \right)^2 \quad (3.11)$$

$$f \cdot o_{int} = \sum_1^n (Q_{oi} - Q_{ci})^2 \quad (3.12)$$

Sendo:

- $f.o_{per}$ : função objetivo para um rio perene
- $f.o_{int}$ : função objetivo para um rio intermitente
- $Q_{oi}$ : vazão observada
- $Q_{ci}$ : vazão calculada.

Lopes (1999) diz ainda que existem dois outros indicadores que devem ser observados, são eles: o armazenamento do período (balanço), esse deve ser próximo de zero, pois indicará que não está retendo ou liberando água dos reservatórios de forma tendenciosa; e a recarga e o escoamento básico devem possuir valores bem próximos ou iguais, pois a diferença entre eles indicará problemas com os parâmetros “*Crec*” e “*Kkt*”.

### 3.3.1.3. Modelo IPH – II

O IPH II, desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS), é um modelo hidrológico do tipo chuva-vazão, determinístico e concentrado. Este, de acordo com Tucci (2005), o modelo é composto por quatro algoritmos principais e mais um opcional, são eles:

- Perdas por evaporação e interceptação;
- Separação dos escoamentos;
- Propagação do escoamento superficial;
- Propagação subterrânea;
- Otimização dos parâmetros (opcional).

Além dos algoritmos, Tucci (2005) define também todos os parâmetros que serão utilizados para obter as vazões geradas pelo modelo, são eles:

- $I_0$ : capacidade de infiltração máxima do solo (mm/ $\Delta t$ );
- $I_b$ : capacidade de infiltração mínima do solo (mm/ $\Delta t$ );
- $h$ : parâmetro de decaimento da infiltração no solo (ad);
- $Ksup$ : parâmetro de propagação do escoamento superficial ( $\Delta t$ );
- $Ksub$ : parâmetro de propagação do escoamento subterrâneo ( $\Delta t$ );
- $Rmax$ : capacidade máxima do reservatório de interceptação e depressão (mm);
- $Alfa$ : parâmetro para simulação de séries contínuas. (ad).

### 3.3.1.4. Algoritmo de Perdas por Evaporação e Interceptação

Tucci (2005) diz que parte da precipitação que chega na superfície é perdida por evaporação, parte é retida por interceptação e o restante da chuva será o dado de entrada do algoritmo seguinte, o de separação dos escoamentos.

Em alguns casos e/ou regiões ocorre da precipitação não ser suficiente para atender a evapotranspiração potencial. Nesse caso, a diferença será compensada pelo reservatório de perdas, que é gerado pela interceptação (áreas permeáveis e depressões). Caso esse ainda não seja suficiente, o restante da evapotranspiração poderá ser retirado do solo, de acordo com o seu grau de umidade (TUCCI, 2005; PEREIRA et al., 2016).

Segundo Tucci (2005), a retirada de água do solo é obtida por uma equação linear que relaciona porcentagem da evapotranspiração potencial e a umidade do solo, dada por:

$$E_{(t)} = \frac{EP_{(t)} \cdot S_{(t)}}{S_{max}} \quad (3.13)$$

em que:

- $E_{(t)}$ : evapotranspiração da superfície no tempo  $t$ ;
- $EP_{(t)}$ : evapotranspiração potencial no tempo  $t$ ;
- $S_{(t)}$ : estado de umidade da camada superior do solo no tempo  $t$ ;
- $S_{max}$ : capacidade máxima de umidade da camada superior do solo;
- $t$ : o tempo.

### 3.3.1.5. Algoritmo de Separação do Escoamento

Como mencionado no algoritmo anterior, Tucci (2005) afirma que a parcela que não foi evaporada e nem interceptada pode gerar escoamento superficial ou infiltrar no subsolo. Basicamente, a parcela de água que precipita sobre as áreas impermeáveis gera apenas escoamento superficial, possivelmente levando a água para regiões permeáveis da bacia.

Da parcela de água que precipita ou recai sobre áreas permeáveis, podem ocorrer três fenômenos: infiltração, percolação e escoamento superficial. Porém, pode ocorrer de a capacidade de infiltração ser maior ou menor que a precipitação resultante. Portanto, é necessário calcular esses volumes as situações descritas (TUCCI, 2005).

Paula (2015), define as equações para esses processos. De 3.14 a 3.16 são as equações de volume infiltrado, escoado e percolado respectivamente, na situação onde a precipitação é maior ou igual à capacidade de infiltração do solo. Para o caso onde todo o volume precipitado infiltra, sem escoamento, tem-se a equação 3.17.

$$V_i = I_b \cdot \Delta_t + \left( \frac{I_t - I_b}{\ln h} \right) (h^{\Delta t} - 1) \quad (3.14)$$

$$V_e = (P_t - I_b) \cdot \Delta_t - \left( \frac{I_t - I_b}{\ln h} \right) (h^{\Delta t} - 1) \quad (3.15)$$

$$V_p = V_i - S_{t+1} + S_t \quad (3.16)$$

$$S_{t+1} = S_t + P_t \cdot \Delta_t - \left( \frac{T_{t+1} + T_t}{2} \right) \cdot \Delta_t \quad (3.17)$$

sendo que:

- $V_i$ : volume infiltrado;
- $V_e$ : volume escoado;
- $V_p$ : volume percolado;
- $S_t$ : Armazenamento na camada superior do solo no tempo t;
- $I_b$ : capacidade de infiltração mínima do solo;
- $I_t$ : capacidade de infiltração no tempo t;
- $P_t$ : precipitação no tempo t;
- $T_t$ : percolação no tempo t;
- $h$ : parâmetro de decaimento da infiltração no solo;
- $\Delta_t$ : intervalo de tempo t.

### 3.3.1.6. Algoritmo de Escoamento Superficial

Nesse algoritmo, a propagação do volume superficial é calculada com base no método de Clark, o qual utiliza uma combinação do histograma tempo-área (HTA), para levar em conta a translação, com o modelo do reservatório linear simples, para o amortecimento (TUCCI, 2005; PEREIRA et al., 2016).

A equação 3.18, apresentada por Paula (2015) representa o algoritmo de escoamento superficial.

$$Q_{sup} = Q_{sup(t)} \cdot e^{\frac{-\Delta t}{K_{sup}}} + P_t \left( 1 - e^{\frac{-\Delta t}{K_{sup}}} \right) \quad (3.18)$$

sendo:

- $Q_{sup}$ : vazão de escoamento superficial;
- $Q_{sup(t)}$ : vazão superficial no instante t (mm d<sup>-1</sup>);
- $K_{sup}$ : tempo médio de esvaziamento do reservatório superficial (d);
- $P_t$ : precipitação efetiva no tempo t, obtida por meio do HTA (mm).

### 3.3.1.7. Algoritmo de Escoamento Subterrâneo

Segundo Tucci (2005), o escoamento subterrâneo é obtido da mesma maneira que o superficial, ou seja, com base na equação 3.18, apenas alterando as variáveis:  $K_{sup}$  para  $K_{sub}$ , representando o esvaziamento do reservatório subterrâneo. O  $P_t$  será o  $V_p$ , pois o volume

percolado é a entrada para o aquífero. Esta nova formulação representa a recessão do hidrograma e é mostrada pela equação 3.19.

$$Q_{sub(t+1)} = Q_{sub(t)} \cdot e^{\frac{-\Delta t}{K_{sub}}} + V_p \left( 1 - e^{\frac{-\Delta t}{K_{sub}}} \right) \quad (3.19)$$

em que:

- $Q_{sub(t+1)}$ : vazão de escoamento subterrâneo;
- $Q_{sub(t)}$ : vazão subterrânea no instante t (mm d<sup>-1</sup>);
- $K_{sub}$ : tempo médio de esvaziamento do reservatório subterrâneo (d);
- $V_p$ : volume percolado (mm).

A vazão total é obtida pela soma da vazão de saída do escoamento superficial e da propagação subterrânea em cada intervalo de tempo (GERMANO, TUCCI; SILVEIRA, 1998 apud ALMEIDA 2018).

#### 3.3.1.8. Software Win\_IPH II

Segundo Paula (2015), Bravo et al. (2006) desenvolveram um programa para Windows®, denominado WIN\_IPH2, que dispõe além do modelo IPH II para a simulação de séries contínuas e eventos isolados dois métodos numéricos de otimização, que permite a calibração automática mono e multiobjetivo.

Para calibração automática monobjetivo, utiliza-se o algoritmo *Shuffled Complex Evolution, University of Arizona* (SCE-UA), desenvolvido por Duan et al. (1992). Este algoritmo combina técnicas de busca aleatória, algoritmos genéticos e otimização local (COLLISCHONN; TUCCI, 2003).

Contudo, na modelagem hidrológica não existe um único parâmetro capaz de representar todos os processos hidrológicos existentes, devido às incertezas nos dados, nas simplificações do modelo e na representatividade dos valores dos parâmetros (COLLISCHONN; TUCCI, 2003).

Nesse contexto foi desenvolvido o algoritmo multiobjetivo de calibração automática *Multi-Objective Complex Evolution Method, University of Arizona* (MOCOM-UA), criado por Yapo et al., (1998). Este algoritmo combina conceitos de otimização local com os de busca aleatória supervisionada, evolução competitiva, mistura complexa e ordenamento de Pareto (PAULA, 2015).

#### 3.3.1.9. Calibração

Dentre os algoritmos de calibração automática mono-objetivo o SCE-UA (DUAN et al. 1992) se destaca e tem sido utilizado em modelos chuva-vazão de até 18 parâmetros para

calibração (ECKNARD; ARNOLD, 2001 apud COLLISCHONN; TUCCI, 2003). Outra característica positiva é a capacidade do método de atingir o mesmo ponto ótimo, mesmo após alterar os valores dos parâmetros, sendo indicação significativa de que o ponto encontrado se trata do ótimo global (COLLISCHONN; TUCCI, 2001).

O SCE-UA funciona através de sucessivas iterações e avaliações da função objetivo, com uma população de pontos que evolui em direção ao ótimo global. Cada ponto candidato ao ponto ótimo é proveniente dos valores dos parâmetros (COLLISCHONN; TUCCI, 2003).

#### 3.3.1.10. Funções Objetivo

Na versão mais recente do programa WIN\_IPH2, é possível otimizar o modelo com até sete funções objetivo. Cabe ao profissional que estiver utilizando o programa definir qual função se adequa às suas necessidades, pois algumas delas ao valorizar períodos de cheia, por exemplo, não possuirá um bom ajuste para períodos de estiagem e vice-versa (PAULA, 2015).

Neste trabalho será dada ênfase aos coeficientes de Nash-Sutcliffe e à sua versão Logarítmica, as quais serão descritas a seguir.

### 3.4. COEFICIENTES DE DESEMPENHO DO MODELO

Para modelos chuva-vazão o objetivo é aproximar ao máximo os valores de vazão calculados e observados, ou seja, a função objetivo deve minimizar a diferença entre eles. (CELESTE; CHAVES, 2014)

Como já foi descrito anteriormente, os dois modelos utilizados neste trabalho apresentam seus próprios coeficientes para análise de resultados, porém também é possível incrementá-los com outras opções, como é o caso dos coeficientes de eficiência Nash-Sutcliffe (NS) e o log-Nash-Suttcliffe (NSLog).

#### 3.4.1. Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe

A eficiência  $E_{NS}$ , de Nash-Sutcliffe (Nash e Sutcliffe, 1970), pode variar de  $-\infty$  a 1. Um ajuste perfeito desse coeficiente seria  $E_{NS} = 1$ , não existindo diferenças entre a descarga modelada aos dados observados. Com valor de  $E_{NS} = 0$ , pode-se afirmar que as previsões do método são tão precisas quanto a média dos dados observados. Por sua vez,  $E_{NS} < 0$ , teremos que a média observada é um indicador melhor do que o modelo (CELESTE; CHAVES, 2014).

A expressão do coeficiente é dada por:

$$E_{NS} = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_{obs}(t) - Q_{cal}(t))^2}{\sum_{t=1}^T (Q_{obs}(t) - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (3.20)$$

Em que  $Q_{obs}(t)$  e  $Q_{cal}(t)$  são, respectivamente, as vazões observadas e simuladas no período  $t$ , e  $\overline{Q_{obs}}$  é a vazão observada média ao longo do tempo  $t = 1, \dots, T$ .

O desempenho de um modelo é considerado adequado e bom se o valor de  $E_{NS}$  superar 0,75, e é considerado aceitável se o valor de  $E_{NS}$  estiver no intervalo aberto 0,36-0,75 (GOTSCHALK; MOTOVILOV, 2000 apud COLLISCHONN, 2001).

Ao maximizar o coeficiente de Nash-Sutcliffe, o modelo estará dando mais ênfase aos erros nos picos máximos de vazão, podendo resultar em um mau ajuste nos períodos de recessão, quando a vazão é mais baixa (MOREIRA; GUILHON; ROCHA, 2007; ADAM et al., 2015).

### 3.4.2. Coeficiente de Eficiência LogNash-Sutcliffe

O coeficiente NSLog também tem valor máximo de eficiência ( $E_{NSLog}$ ) igual a 1. Ao se utilizar o coeficiente dos logaritmos das vazões tem-se como objetivo obter uma medida de desempenho menos sensível aos picos e com maior sensibilidade aos períodos de recessão de vazão (ADAM et al., 2015; MOREIRA; GUILHON; ROCHA, 2007). A expressão do coeficiente é dada por:

$$E_{NSLog} = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (\log(Q_{obs}(t)) - \log Q_{cal}(t))^2}{\sum_{t=1}^T (\log(Q_{obs}(t)) - \overline{\log(Q_{obs})})^2} \quad (3.21)$$

Sendo  $Q_{obs}(t)$  e  $Q_{cal}(t)$  são, respectivamente, as vazões observadas e simuladas no período  $t$ , e  $\overline{Q_{obs}}$  é a vazão observada média ao longo do tempo  $t = 1, \dots, T$ .

De maneira análoga ao Coeficiente de Nash-Sutcliffe, o desempenho de um modelo para sua versão logarítmica é considerado adequado e bom se o valor de  $E_{NSlog}$  superar 0,75, e é considerado aceitável se o valor de  $E_{NSlog}$  estiver no intervalo aberto 0,36-0,75 (GOTSCHALK; MOTOVILOV, 2000 apud COLLISCHONN, 2001).

## 3.5. DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Uma bacia hidrográfica, ou um sistema hídrico como um todo, apresenta uma vazão que varia tempo e espacialmente. Portanto, estudos de disponibilidade hídrica podem ser entendidos como uma parcela desta vazão que é utilizada para o desenvolvimento da sociedade, sendo que o restante mantido deverá garantir o pleno funcionamento da própria bacia e de todos os sistemas circundantes que dela dependem. Esta parcela mantida é chamada de vazão remanescente. (CRUZ, 2001; CRUZ; TUCCI, 2008)

A escolha da função hidrológica que caracteriza a disponibilidade hídrica é questionável, uma vez que o padrão de distribuição de uma variável nem sempre pode ser

representado com clareza. Além disso, Cruz e Tucci (2008) ressaltam ainda que as funções hidrológicas tradicionais para esse fim são: o hidrograma que representa a vazão no tempo, mas não indica a probabilidade de ocorrência do evento, portanto apenas descreve o comportamento; a curva de probabilidade de vazões médias e mínimas que não retratam a variância dos valores e nem a variação durante os períodos de estiagens; e a curva de permanência que expressa a frequência de ocorrência das vazões do rio, porém falha ao representar a sequência temporal.

### 3.5.1. Curva de Permanência

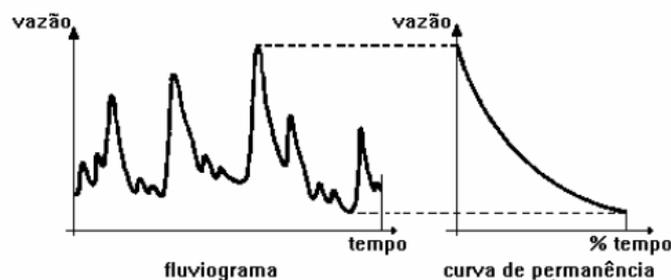
Dentre as opções apresentadas, a curva de permanência se mostrou mais viável para estudo da análise de disponibilidade hídrica devido sua representatividade nos períodos de estiagem, pois ao se garantir um certo valor durante a estiagem, todos os períodos estarão sendo abrangidos (CRUZ; TUCCI, 2008).

A curva de permanência relaciona a vazão e a porcentagem do tempo em que ela é superada ou igualada em todo o período histórico utilizado para sua construção. Representa ainda o complemento da função distribuição cumulativa de probabilidade de vazões ou a probabilidade de excedência das vazões (QUIMPO; MCNALLY, 1983; VOGUEL; FENNESSEY, 1994 apud CRUZ, 2001).

Não se pode dizer que a permanência se refere à probabilidade das vazões em qualquer ano, mas pode ser interpretada como uma “garantia” ou probabilidade de ocorrência das vazões num horizonte de planejamento, apesar de estatisticamente utilizar vazões dependentes entre si (VOGUEL; FENNESSEY, 1995 apud CRUZ; TUCCI, 2008).

A Figura 3 representa esquematicamente a relação entre fluviograma e curva de permanência. No esquema, cada vazão possui uma área sob a reta horizontal que representa volumes iguais em cada gráfico. É a partir da variabilidade de vazões sintetizada pela curva de permanência que se caracteriza a base de comportamento para a sustentabilidade de sistemas aquáticos (CRUZ, 2001).

Figura 3 - Relação Fluviograma x Curva de Permanência



Fonte: Cruz (2001)

A legislação garante o direito sobre os recursos hídricos para os estados da federação, onde caberá a cada um deles adotar valores que melhor o representem. No estado de Sergipe, segundo a resolução da CONERH nº01/2001 (SERGIPE, 2001) e o Plano Estadual de Recursos Hídricos de Sergipe, PERH-SE (SERGIPE, 2010) preveem que deve ser adotada como vazão de referência 90% da  $Q_{90}$ . Ou seja, 90% da vazão garantida em 90% do ano. Também é dito que 10% da  $Q_{90}$  deverá ser destinada para manutenção do meio ambiente aquático, a chamada vazão ambiental.

### 3.6. TESTES ESTATÍSTICOS

O estudo de séries tem sido notavelmente destacado nos trabalhos e pesquisas da área de Hidrologia e Recursos Hídricos, devido à análise de tendência dos dados trabalhados. Apesar de em alguns trabalhos já se notar que algumas regiões apresentam tendências em suas séries, para projetos em geral, ainda se assume que as séries temporais são estacionárias e homogêneas (BARBOSA, 2017).

#### 3.6.1. Teste de Estacionariedade

Esse teste basicamente avalia se os dados das amostras não variam em relação ao tempo de sua ocorrência, após descarte de informações de valores desproporcionais ao padrão apresentado (NAGUETTINI; PINTO, 2007).

Os dados da amostra serão considerados não estacionários, segundo Naguettini e Pinto (2007), quando, ao longo do tempo, apresentar em sua série:

- Saltos: alterações bruscas em uma bacia ou trechos fluviais, que mudaria completamente o padrão dos dados, como por exemplo a construção de barragens.
- Ciclos: estão relacionados a flutuações climáticas de longo período, o que dificulta sua detecção.
- Tendências temporais: estão associadas a alterações graduais que ocorrer na bacia, como por exemplo a evolução da urbanização numa área.

O teste não-paramétrico de *Spearman*, com coeficiente  $r_s$ , em função da tendência temporal é descrito pelo *Natural Environment Research Council* (NERC), podendo ser visto na equação 3.22 (NERC, 1975 apud NAGUETTINI; PINTO, 2007).

$$r_s = 1 - \frac{6 \cdot \sum_{t=1}^N (m_t - T_t)^2}{N^3 - N} \quad (3.22)$$

Sendo:

- N: número de itens da série;
- $m_t$ : ordem de classificação crescente, relacionado à série  $X_t$ ;

- $T_t$ : tempo correspondente.

Para  $N > 10$  e sob a hipótese nula de que não há correlação entre  $m_t$  e  $T_t$ , a distribuição de  $r_s$  tende a obter uma normal de média e variância representadas por 3.23 e 3.24, respectivamente (NAGUETTINI; PINTO, 2007).

$$E[r_s] = 0 \quad (3.23)$$

$$Var[r_s] = \frac{1}{N-1} \quad (3.24)$$

Considerando a hipótese nula  $H_0$  de que a amostra não apresenta tendência temporal, a estatística de Sperman (T), pode ser dada, a partir de Naguettini e Pinto (2007) por:

$$T = \frac{r_s}{\sqrt{Var[r_s]}} \quad (3.25)$$

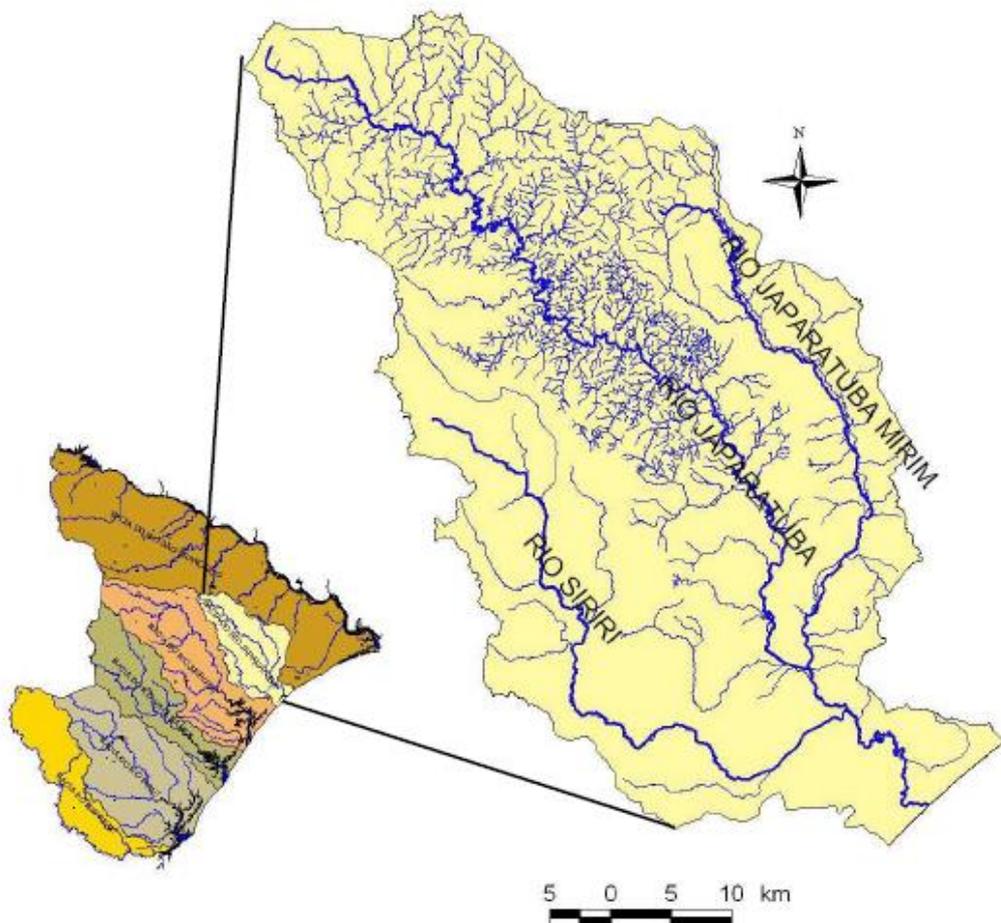
A qual segue uma distribuição normal padrão. Sendo um teste bilateral, com um nível de significância  $\alpha$ , deve-se rejeitar a hipótese nula se  $|T| > Z_{1-\alpha/2}$ .

## 4. ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Japarutuba ( $10^{\circ}13'00''$  e  $10^{\circ}47'00''$  de latitude Sul e  $36^{\circ}48'00''$  e  $37^{\circ}19'00''$  de longitude Oeste), localiza-se no nordeste do Estado de Sergipe, sendo classificada como a menor bacia das consideradas principais do Estado, correspondendo a 7,65% da área total do Estado, com uma área de 1.674,24 km<sup>2</sup> (ARAGÃO; ALMEIDA, 2009; SERGIPE, 2015).

Conforme Aragão e Almeida (2009), o rio principal, Japarutuba, tem uma extensão de 113,21 km. (Figura 4) e segundo Cruz (2010), sua bacia tem sido fortemente impactada por atividades antrópicas que podem causar danos sobre os recursos hídricos e solos, quer seja por atividades de extração mineral (petróleo, gás, potássio), quer por atividades agropecuárias (cana de açúcar na porção oeste, e pastagens na porção centro-norte).

Figura 4 - Rede hidrográfica da bacia do rio Japarutuba



Fonte: SERGIPE (2004)

Sinais de degradação da qualidade ambiental nos corpos hídricos da bacia do rio Japarutuba já são evidentes, como: assoreamento em vários pontos, queda da qualidade de água pela presença excessiva de nutrientes e redução da diversidade biológica, além da eliminação da vegetação ciliar, contribuindo para a erosão das margens (CRUZ, 2010).

O desenvolvimento das atividades humanas traz consigo a alteração dos processos relacionados ao ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica, promovendo mudanças, muitas vezes significativas, nos volumes de água e nas velocidades de deslocamento destes sobre as superfícies, que sofreram alterações de cobertura (CRUZ, 2010).

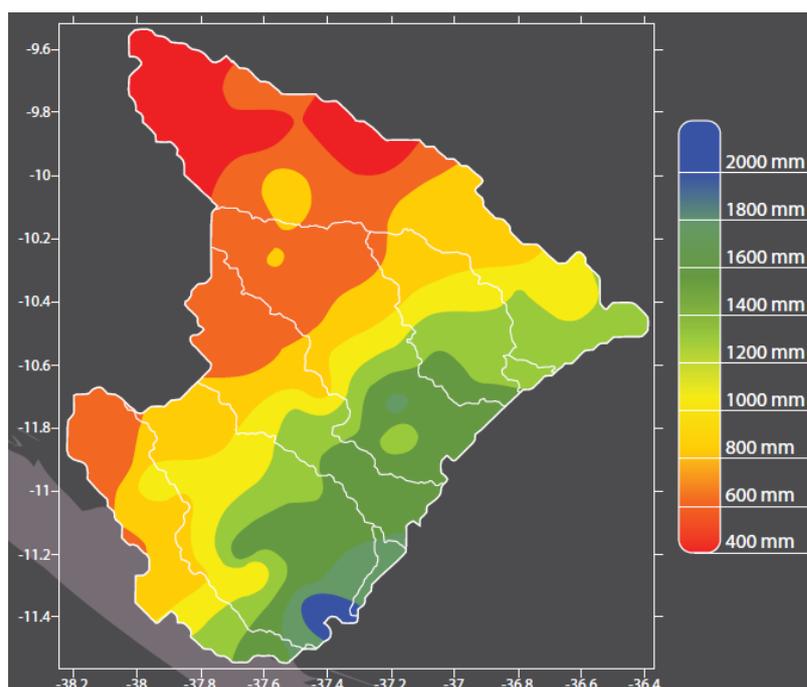
O período chuvoso da bacia, com base na precipitação média (P<sub>méd</sub>), além de informações adicionais, encontra-se descrito de acordo com a Tabela 1 e pode ser visualizado na Figura 5, no mapa da divisão climatológica do estado.

Tabela 1 - Informações pluviométricas bacia do Japarutuba

Região	Área	P <sub>méd</sub> (mm)	Período Chuvoso	Temperatura média anual (°C)	Umidade relativa do ar
Litoral	30,19	1000 a 1400	abril a agosto		
Agreste	60,17	700 a 900	abril a agosto	25	74%
Semi-Árido	9,64	400 a 700	janeiro a maio		

Fonte: SERGIPE (2004)

Figura 5 - Mapa da divisão climatológica de Sergipe



Fonte: SERGIPE (2010)

Além disso, a bacia é composta das sub-bacias dos rios Japarutuba (54% da área total), Siriri (23,37% da área total) e Japarutuba-Mirim (~20% da área total). O clima na bacia varia de sub-úmido úmido, na região da foz do rio Japarutuba, sub-úmido seco, na região do médio Japarutuba e semi-árido na região do alto Japarutuba (SERGIPE, 2004; SERGIPE, 2015).

Encontram-se inseridas na área da bacia 18 cidades de pequeno e médio porte (Figura 6). Do volume total de água consumido pelos municípios na área da bacia do rio Japarutuba, 38,32% (68800 m<sup>3</sup>/mês) são oriundos de águas superficiais e 61,67% (110704 m<sup>3</sup>/mês) são provenientes de água subterrânea. O potencial hídrico da bacia é baixo se comparado com o de outras bacias e tem sido bastante afetado pelos vários usos da terra. (SERGIPE, 2004; SERGIPE, 2015).

Figura 6 - Divisão política da bacia do rio Japarutuba



Fonte: SERGIPE (2004)

Este trabalho é focado na sub-bacia do Japarutuba-Mirim que possui 326,53 km<sup>2</sup> de área de drenagem (19,35% da área total da bacia) e está toda inserida na porção agreste da bacia do rio Japarutuba. Além disso, possui largura média de 8,83 km e 75,53 km de extensão (ARAGÃO et al. 2012).

O monitoramento hidrológico nessa sub-bacia é feito através de duas estações fluviométrica, a Fazenda Pão de Açúcar e a Fazenda Cajueiro. Suas informações podem ser vistas na Tabela 2 (SERGIPE, 2004).

Tabela 2 - Estações Fluviométricas da sub-bacia do rio Japarutuba-Mirim

<b>Estações Fluviométricas</b>	<b>Código</b>	<b>Operadora</b>	<b>Localização</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Vazão média (m<sup>3</sup>/s)</b>
Fazenda Pão de Açúcar	50042000	ANA	Montante	137,3	0,66
Fazenda Cajueiro	50043000		Jusante	277,8	1,7

Fonte: ANA (2018)

A área da bacia do Japarutuba e sua sub-bacia do Japarutuba-Mirim, bem como a posição dos postos fluviométricos podem ser visualizados na Figura 7.

Figura 7 - Bacia do rio Japarutuba-Mirim e suas estações fluviométricas



Fonte: Aragão et al. (2013)

## 5. METODOLOGIA

### 5.1. MONITORAMENTO HIDROLÓGICO

Após a definição do posto Fazenda Cajueiro (50043000) para preenchimento da série de vazões, por se tratar do medidor fluviométrico mais a jusante da bacia e então representar melhor as características da região de estudo, fez-se necessário definir quais postos de chuva seriam utilizados como referência para obtenção dos dados. As escolhas das estações se deram principalmente pela sua localização, baseada na proximidade do curso do rio principal, bem como a sua provável influência nessa região e, também, de acordo com a geografia da área de estudo.

As estações pluviométricas escolhidas inicialmente para inserção no modelo chuva-vazão, juntamente com a estação fluviométrica já definida, foram a Fazenda Cajueiro (1036063), Capela (1037078) e Aquidabã (1037003). Porém, foi preciso retirar o posto de Aquidabã, pois seus dados pararam de ser atualizados em 1997 e com isso ele não comportaria o preenchimento dos dados da série histórica de vazão do posto 50043000, que se estende até os dias atuais.

A Tabela 3 apresenta as informações dos postos retiradas do site HidroWeb (ANA, 2018) com auxílio do programa Hidro 1.3 (SGH/ANA, 2018) para acesso às informações tanto da série pluviométrica das estações, como também da fluviométrica.

Tabela 3 - Estações Hidrometeorológicas a serem preenchidas

Nome	Tipo	Cidade	Código	Abrangência*			Latitude	Longitude	Responsável
Fazenda Cajueiro	Fluviométrica	Japarutuba	50043000	1973	2018	45 anos	S 10 34 41.001	O 36 54 56.001	
Fazenda Cajueiro	Pluviométrica	Japarutuba	1036063	1991	2018	27 anos	S 10 34 41.002	O 36 54 56.002	ANA
Capela	Pluviométrica	Capela	1037078	1983	2018	35 anos	S 10 28 59.999	O 37 4 0.001	

\* Incluindo meses com falhas

Fonte: ANA (2018)

Os dados de evapotranspiração da região foram obtidos a partir da base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para região de estudo, esses dados estavam disponíveis para diversos meses, nas estações de Aracaju e Propriá. A partir desses dados foi feita média aritmética dos valores de evaporação de cada mês, para se obter seu valor médio mensal de em cada estação.

Considerando que a bacia do Japaratuba-Mirim está localizada, aproximadamente, no centro dessas duas estações fornecidas, foi feita nova média aritmética com os dados mensais de cada estação, gerando o resultado visto na Tabela 4.

Tabela 4 - Evapotranspiração média e total

<b>Médias - Aracaju</b>											
Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
43,90	75,03	65,96	114,94	132,27	113,29	106,56	100,12	84,25	71,09	46,00	23,49
<b>Médias - Propriá</b>											
Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
39,37	47,26	54,89	92,08	111,40	96,22	88,35	84,73	78,73	72,31	32,34	21,05
<b>Médias - Evapotranspiração total</b>											
Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
41,63	61,14	60,42	103,51	121,84	104,75	97,45	92,43	81,49	71,70	39,17	22,27

Fonte: INMET (2018)

## 5.2. PREENCHIMENTO DE FALHAS DAS SÉRIES PLUVIOMÉTRICAS

Inicialmente, foi definido que o método de preenchimento realizado seria o da Ponderação Regional, descrito no tópico 3.2.1. Para isso considerando que até uma distância de aproximadamente 50 km do rio trabalhado há influência da chuva, e fazendo uso do mapa de estações do HidroWeb (ANA, 2018), onde o mesmo disponibiliza uma régua de distâncias para uma estimativa aproximada, foram selecionadas todas as estações que continham dados, dentro desse perímetro delimitado.

Portanto, para preenchimento das séries de chuva dos dois postos base usados como referência, Fazenda Cajueiro (1036063) e Capela (1037078), foram importadas as séries de chuva do software Hidro 1.3 (SGH/ANA, 2018) das estações mais próximas e que apresentavam dados nos períodos de falhas a serem preenchidos, as chamadas estações complementares. Ao todo foram selecionadas vinte e duas estações complementares, as quais suas informações estão listadas no Apêndice A.

Vale ressaltar que no Hidro 1.3 (SGH/ANA, 2018) existe a distinção entre dados normais, estimados e duvidosos, e que os duvidosos foram retirados e considerados como falhas a serem preenchidas como outra qualquer. Ocorreu também de algumas estações ao serem selecionadas possuírem o mesmo nome, porém com códigos diferentes, para esses casos foram colocados números “2” ao lado de cada estação duplicada a fim de evitar confusões ou trocas de dados.

Em seguida, com a listagem de todas as estações de apoio possíveis para a região, foi feito o cálculo preciso das distâncias entre os postos pluviométricos tidos como base para os de

apoio. Nesta etapa foi utilizada a calculadora geográfica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DPI, 2018), a partir das latitudes e longitudes fornecidas pela plataforma HidroWeb (ANA, 2018).

O preenchimento propriamente dito das estações Fazenda Cajueiro (1036063) e Capela (1037078) ocorreu aplicando a equação 3.1 com os postos pluviométricos complementares mais próximos para cada falha existente em cada uma das estações base.

### 5.3. ÁREA DE INFLUÊNCIA DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS

Uma bacia hidrográfica sofre influência de diferentes precipitações ao longo de sua extensão. Como as estações pluviométricas são as principais responsáveis pela mensuração dos valores de chuva em cada região da bacia, é possível estimar, com base na posição geográfica dos postos, a área de influência da precipitação ao longo da bacia.

O Polígono de Thiessen foi o método utilizado para se determinar a área de influência na bacia de cada posto de chuva. Numericamente, a área de influência de cada posto, em relação à bacia como um todo, será o espaço correspondente a cada estação, encontrada no Polígono de Thiessen, pelo espaço total da sub-bacia do Japarutuba-Mirim, onde a soma dessas áreas de influência necessariamente terá que ser igual a 100%.

Com a área de influência de cada posto é possível também calcular a precipitação média que é dada pela Equação 5.1.

$$P_m = \frac{1}{A} \times \sum A_i \cdot P_i \quad (5.1)$$

sendo:

- $A_i$ : área de influência do posto  $i$ ;
- $P_i$ : precipitação registrada no posto  $i$ ;
- $A$ : área total da bacia ( $\text{km}^2$ ).

Segundo Bertoni e Tucci (2007), esse método dá bons resultados em terrenos levemente acidentados, quando a localização e exposição dos pluviômetros são semelhantes e as distâncias entre eles não são muito grandes.

### 5.4. SÉRIES DE CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS MODELOS CHUVA-VAZÃO PROPOSTOS

Para se calibrar e validar os modelos utilizados foi preciso, primeiramente, definir o intervalo de anos disponíveis para esta etapa. Para isso, se cruzou os períodos de abrangência das duas estações pluviométricas selecionadas como base, juntamente com o período da estação pluviométrica, sem falha, a ser preenchida. Em seguida, o período de dados comuns foi

identificado (Tabela 5). Por fim, constatar se existia alguma falha de vazão no período remanescente a ser utilizado.

O intervalo dos anos possíveis para se calibrar e validar os modelos vai de 1991 até 2005, uma vez que os dados fluviométricos, apesar de irem até 2018, começam a apresentar falhas a partir de 2006, sendo então o ano anterior o limite para ser utilizado.

Tabela 5 - Período de abrangência das séries escolhidas

<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Tipo</b>	<b>Abrangência</b>	
1036063	Fazenda Cajueiro	Fluviométrica	1991	2018
1037078	Capela	Fluviométrica	1983	2018
50043000	Fazenda Cajueiro	Fluviométrica	1973	2018

Fonte: ANA (2018)

O mínimo intervalo de tempo necessário é de uma sequência de dois anos para calibração e dois anos para validação. É preciso ainda que este período abranja diferentes comportamentos hidrometeorológicos, períodos secos, normais e chuvosos. Lopes (1999) recomenda começar a calibração pelo período mais seco, pois nesse período a umidade do solo e a vazão básica estão em seus valores mínimos. É recomendado também que na validação tenha, de preferência, as três condições climáticas.

Tendo essas informações, foram definidos intervalos de calibração e validação com 36 meses, como pode ser melhor visualizado na Tabela 6.

Tabela 6 - Períodos escolhidos para Calibração e Validação

<b>Série</b>	<b>Mês Inicial</b>	<b>Mês Final</b>	<b>Duração</b>
Calibração	jan/03	dez/05	36 meses
Validação	jan/92	dez/95	36 meses

Fonte: Autor (2018)

## 5.5. MODELO CHUVA-VAZÃO SMAP

Neste trabalho foi utilizada a versão em planilha eletrônica do Microsoft Excel, por ser uma ferramenta de acesso mais abrangente.

Nesse modelo os dados de entrada são: evapotranspiração, precipitações, vazões observadas, área de drenagem da bacia e existe também a opção do modelo calcular os coeficientes de influência (Thiessen) de cada posto pluviométrico, porém foi feito separadamente, como já foi descrito, e depois adicionado ao modelo.

Para os dados de entrada foram então colocados os valores de precipitação das estações Fazenda Cajueiro (1036063) e Capela (1037078), juntamente com os fatores das áreas de influência, para se obter a precipitação já proporcional à área. Também foram inseridos os dados de evapotranspiração obtidos através do INMET (Tabela 4) e, por fim, os dados de vazões observadas para o período de calibração utilizado do posto fluviométrico Fazenda Cajueiro (50043000).

A calibração dos quatro parâmetros básicos do modelo SMAP (Sat, Pes, Crec e Kkt), bem como das variáveis de condição inicial do processo, definida por Lopes (1999) como Teor de Umidade Inicial (Tuin) e Escoamento Básico Inicial (Ebin) foram realizadas através da Função Solver, da planilha eletrônica do Microsoft Excel. O método de solução utilizado foi o *Evolutionary*, fornecido pelo programa e usando como limites os definidos na seção 3.3.1.1. deste trabalho.

Outra condição introduzida no modelo foi a vazão básica de escoamento que, obrigatoriamente, deveria ser menor ou igual a vazão observada. Isso acontece porque não é possível na prática que o contrário aconteça.

Após essa primeira etapa de preparação de dados, ocorreu a calibração do modelo. Foi solicitado como resultado a maximização da função mista, a qual foi definida como a média entre os Coeficientes de Nash-Sutcliffe (Equação 3.20) e LogNash-Sutcliffe (Equação 3.21). Ao término das iterações da Função Solver, o resultado foi analisado e verificado se estava coerente e obedecendo a todas restrições e limites.

Após feitos todos os ajustes e obtido o melhor valor possível da função objetivo, a validação foi realizada de maneira semelhante à calibração. Porém, nesta etapa, os quatro parâmetros básicos encontrados na primeira fase eram mantidos fixos, enquanto os dados de precipitação e vazões observadas, eram alterados com base no período destinado à validação previsto anteriormente.

As variáveis da condição inicial também foram alteradas, chegando ao seu melhor valor, com base nas iterações realizadas pela Função Solver com o mesmo objetivo anterior: maximizar a função definida como mista.

A alteração das variáveis iniciais é possível com o argumento que eles estão vinculados apenas às condições da bacia no instante inicial da simulação e não durante todo o período utilizado.

## 5.6. MODELO CHUVA-VAZÃO IPH II

Na versão de Windows® do IPH, o WIN\_IPH2, os dados de entrada são as condições hidrometeorológicas do período a ser calibrado e validado, dados da bacia e as prováveis condições iniciais dos períodos.

Os dados hidrometeorológicas de entrada foram os mesmos do modelo SMAP, ou seja, os dados de evaporação, precipitação e vazão para o período de janeiro/2003 até dezembro/2005, para calibração, e para a validação os dados de evaporação, precipitação e vazão do período de janeiro/1992 a dezembro/1994. Porém diferentemente do SMAP, no WIN\_IPH2 é preciso já entrar com a soma dos valores de precipitação ponderados para cada área delimitada pelo Polígono de Thiessen.

Esse valor de precipitação foi encontrado utilizando a equação 5.2.

$$P_t = P_{1(t)} \cdot A_1 + P_{2(t)} \cdot A_2 \quad (5.2)$$

sendo:

- $P_t$ : precipitação correspondente ao mês  $t$  (mm);
- $P_{1(t)}$ : precipitação do posto pluviométrico Fazenda Cajueiro no mês  $t$  (mm);
- $P_{2(t)}$ : precipitação do posto pluviométrico Capela no mês  $t$  (mm);
- $A_1$ : coeficiente de proporcionalidade da área de influência do posto pluviométrico Fazenda Cajueiro (ad);
- $A_2$ : coeficiente de proporcionalidade da área de influência do posto pluviométrico Capela (ad);

Os dados gerais de entrada são: intervalo de tempo (min) e número de registros, os quais representam o tempo de concentração da bacia e a quantidade de meses utilizados no modelo respectivamente.

Os dados da bacia são: área da bacia (km<sup>2</sup>), área impermeável, coeficiente de forma ( $n$ ) do histograma tempo-área (HTA) e o fator tempo de concentração. A área da bacia e a área impermeável foram obtidas com auxílio do Atlas Digital sobre Recursos Hídricos de Sergipe (SERGIPE, 2016). O coeficiente de forma foi definido como o padrão do programa, e o tempo de concentração ( $t_c$ ) foi calculado pelo método de Kirpich, segundo a equação 5.3.

$$t_c = 3,99 \cdot \left(\frac{L^2}{S}\right)^{0,385} \quad (5.3)$$

em que:

- $t_c$ : tempo de concentração (min);
- $L$ : comprimento do rio principal (km);
- $S$ : declividade média da bacia (m/m).

Os dados de entrada e da bacia estão representados na Figura 8, retirada do programa WIN\_IPH2.

Figura 8 - Dados gerais da bacia para calibração e validação do IPH II

Gerais	
Intervalo de tempo (min)	427.00
Número de registros	36.00
Dados da bacia	
Área da bacia (km <sup>2</sup> )	319.00
Área impermeável (0 -- 100) %	0.31
Coefficiente de forma (n) do HTA	1.50
Tempo de concentração (em unidades de intervalo de tempo)	2.00

Fonte: Autor (2018)

Para a condição inicial, que são: percolação, vazão subterrânea e vazão superficial, todos em m<sup>3</sup>/s, não há limite nos valores. Por isso eles foram sendo alterados, em cada etapa do procedimento, até se encontrar um melhor valor para a função objetivo.

Os dados da condição inicial da bacia, usados para calibração, estão representados na Figura 9 extraída da interface do programa.

Figura 9 - Condição inicial para calibração do IPH II

Condição Inicial	
Percolação (m <sup>3</sup> /s)	0.05
Vazão subterrânea (m <sup>3</sup> /s)	0.00
Vazão Superficial (m <sup>3</sup> /s)	0.25

Fonte: Autor (2018)

Antes de rodar o programa, pede-se que os limites dos parâmetros sejam confirmados. Após análise dos valores, foi decidido não efetuar nenhuma alteração, visto que os resultados obtidos não eram condicionados pelos limites escolhidos. Portanto, os limites dos parâmetros podem ser identificados na Figura 10, extraída da plataforma IPH2 para Windows®.

Figura 10 - Limites dos parâmetros do IPH II

Limites parâmetros		
	Inferior	Superior
IO	10.000000	300.000000
IB	0.100000	10.000000
H	0.010000	0.999000
KS	0.010000	10.000000
KSUB	10.000000	500.000000
RMAX	0.000000	9.000000
ALFA	0.010000	20.000000

CONFIRMA

SAI

Fonte: Autor (2018)

Após preenchimento com estes dados descritos, o programa foi executado sendo gerado, de forma automática, o melhor ajuste de vazão, maximizando a função objetivo escolhida, que, no caso, foi o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe. Além disso o modelo fornece o gráfico das Vazões *versus* Tempo, a curva de evolução das iterações dos parâmetros e também seus valores calibrados.

Para a validação o procedimento é semelhante. Nesta etapa, os parâmetros encontrados na calibração são fixados para não sofrerem alterações, bem como os dados gerais da bacia. Como já foi dito, permitem-se apenas mudanças nas suas condições iniciais, mostradas na Figura 11, em busca do melhor ajuste da curva de Vazões *versus* Tempo. Nessa fase também foi preciso incluir os dados do período referente à validação: evaporação, precipitação e vazão observada. Por fim, vale ressaltar que o ajuste também ocorreu com base na interpretação visual do gráfico e no coeficiente de eficiência Nash-Sutcliffe.

Figura 11 - Condição inicial para validação do IPH II

Condição Inicial

Percolação (m3/s) 0.00

Vazão subterrânea (m3/s) 1.00

Vazão Superficial (m3/s) 1.00

Fonte: Autor (2018)

## 5.7. PREENCHIMENTO DA SÉRIE DE VAZÃO DO POSTO FLUVIOMÉTRICO FAZENDA CAJUEIRO

O modelo hidrológico adotado para o preenchimento foi escolhido com base nos coeficientes de eficiência analisados e nos gráficos Vazão *versus* Tempo gerados, os quais mostravam a curva das vazões observadas e calculadas, permitindo análise, principalmente, dos picos e vales. A soma desses critérios permitiu a escolha do melhor modelo.

Após a escolha do modelo, o preenchimento foi realizado de uma só vez para todo o período que continha as falhas. Utilizaram-se os parâmetros obtidos na calibração, uma vez que eles foram aceitos pela validação do método, sendo feito apenas o ajuste nas condições iniciais. Também foram acrescentados os dados de vazões observadas, precipitação e evapotranspiração correspondente ao período adotado.

Ao todo, existiam 9 falhas a serem preenchidas e estavam entre os períodos de 2006 a 2014, como é possível identificar no Apêndice E. Após o preenchimento das falhas, foram atualizados os valores das vazões médias anuais.

## 5.8. TESTES ESTATÍSTICOS

O teste de estacionariedade foi realizado segundo Naguetti e Pinto (2007) e apresentada no tópico 3.6.1. Eles foram realizados para as séries mensais de chuva e vazão, nos períodos que serão mostrados adiante.

A verificação foi realizada para os postos de chuva, já sem as falhas, e que serviram como base para o preenchimento das vazões do posto fluviométrico. Para o teste nas estações de chuva considerou-se o período comum a ambas. Além desses, foi realizado também para estação de vazão completa, após o seu preenchimento. Tais informações podem ser visualizadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Período em que foram realizados testes de estacionariedade

<b>Teste de Estacionariedade</b>		
<b>Estação</b>	<b>Tipo</b>	<b>Periodo</b>
Fazenda Cajueiro	Pluviométrica	jan/91 - abr/18
Capela	Pluviométrica	jan/91 - abr/18
Fazenda Cajueiro	Fluviométrica	ago/73 - jul/18

Fonte: Autor (2018)

## 5.9. CÁLCULO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Para esse cálculo foi feita a disponibilidade hídrica mês a mês, para o período que vai do início das medições (janeiro/1973) até o início das falhas (dezembro/2005) e do período total da estação fluviométrica após o preenchimento (janeiro/1973 a dezembro/2018). Essa separação teve como objetivo comparar os valores encontrados para cada sequência de dados.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. PREENCHIMENTO DAS FALHAS DAS SÉRIES HISTÓRICAS

Para o método da Ponderação Regional, adotado neste trabalho, foi utilizado para preencher as falhas dos postos 1036063 e 1037078 os postos complementares apresentados no Apêndice A. As distâncias para os postos utilizados estão apresentadas no Apêndice B. Já os dados preenchidos estão apresentados no Apêndice C e D. Ao todo existiam 14 falhas na Fazenda Cajueiro e 10 falhas na estação Capela, como apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Total de falhas dos postos de chuva no período utilizado

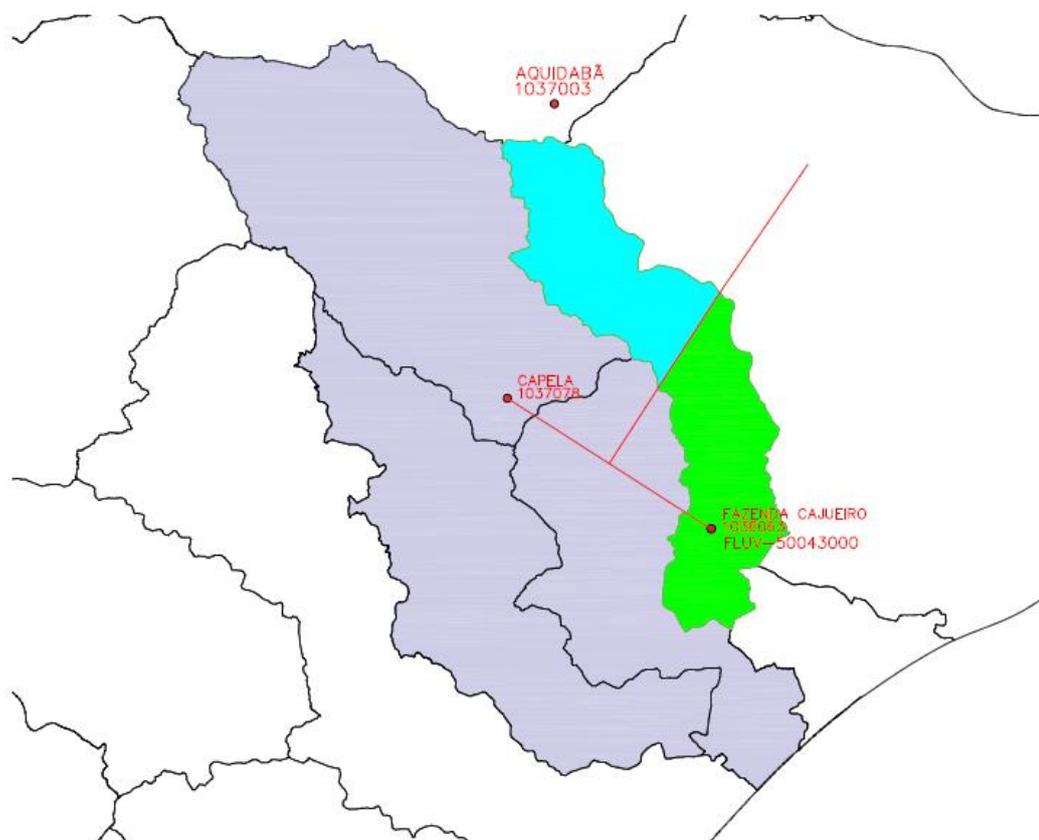
Posto	Período de Dados		Total de falhas
	Início	Final	
Fazenda Cajueiro	jan/91	abr/18	14
Capela	jan/83	abr/18	10

Fonte: Autor (2018)

### 6.2. PORCENTAGEM DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DE CADA POSTO EM RELAÇÃO À ÁREA DE ESTUDO

O Polígono de Thiessen foi o método utilizado para se determinar a área de influência na bacia de cada posto de chuva. É possível verificar a área referente a cada estação, bem como sua localização, na Figura 12, produzida com o auxílio do QGIS 2.18 e do AutoCad (AutoDesk Inc., 2018). Na sequência, a Tabela 9 apresenta os valores numéricos relativos às áreas de influência.

Figura 12 - Área de influência das estações pluviométricas obtida através do Polígono de Thiessen



Fonte: Autor (2018)

Tabela 9 - Coeficiente de influência pluviométrica das estações

<b>Postos</b>	<b>Fator de Influência</b>
Fazenda Cajueiro	0,52
Capela	0,48

Fonte: Autor (2018)

### 6.3. SÉRIES DE CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO

As séries de calibração e validação foram escolhidas analisando a precipitação anual desses períodos em relação a precipitação média de todos os anos da série, bem como para os seus valores de vazão, que estão diretamente ligados. No Quadro 1 há a representação dos índices de chuva e vazão analisados e os períodos escolhidos para calibração e validação dos modelos.

Quadro 1 - Índices de chuva e vazão dos períodos utilizados na calibração e validação dos modelos

Posto Pluviométrico	Ano	Precipitação (mm)		Posto Pluviométrico	Ano	Vazão (m <sup>3</sup> /s)		
		Media anual	Media total anual			Media anual	Media total anual	
<b>Calibração</b>								
Fazenda Cajueiro	2003	1196,0	1314,27	Fazenda Cajueiro	2003	0,67	2,1	
	2004	1130,3			2004	1,5		
	2005	1416,7			2005	1,83		
Capela	2003	1075,7	1174,01					
	2004	1075,9						
	2005	633,7						
<b>Validação</b>								
Fazenda Cajueiro	1992	1240,7	1314,27	Fazenda Cajueiro	1992	1,35	2,1	
	1993	912,7			1993	0,8		
	1994	1389,3			1994	1,66		
Capela	1992	1214,1	1174,01					
	1993	827,6						
	1994	1181,9						

Fonte: Autor (2018)

Baseado no tamanho da série e no tipo de dados existentes, não foi possível obedecer todas recomendações de maneira perfeita, em intervalos com comportamentos que variavam de secos a úmidos. Portanto, tentou-se escolher pelo menos um ano notavelmente seco e os outros anos de intermediário a úmido.

#### 6.4. PARÂMETROS E CURVAS OBTIDAS NO MODELO SMAP

O procedimento de calibração e validação do modelo SMAP gerou os valores dos parâmetros básicos do solo e iniciais, apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Parâmetros utilizados na calibração e validação do modelo SMAP

Série	Parâmetros do Solo				Parâmetros Iniciais	
	Sat	Pes	Crec	Kkt	Tuin	Ebin
Calibração	4999,78	9,9997	0,0804	5,999	67,324	0,2392
Validação					62,578	0,8150

Fonte: Autor (2018)

É possível perceber que todos os parâmetros do solo ficaram bem próximos do limite, dando a impressão que se caso eles pudessem ser maiores, assim seriam. Lopes (1999), no manual do modelo SMAP, faz aplicações das técnicas de calibração para diversas bacias

brasileiras, inclusive para a bacia do rio Japarutuba-Mirim. Na Tabela 11 estão os resultados obtidos por ele.

Tabela 11 - Parâmetros do solo encontrados por Lopes (1999) no manual do SMAP

Série	Parâmetros do Solo				Parâmetros Iniciais	
	Sat	Pes	Crec	Kkt	Tuin	Ebin
Aplicação da técnica por Lopes (1999)	3400	7	0,7	3	44	0,3

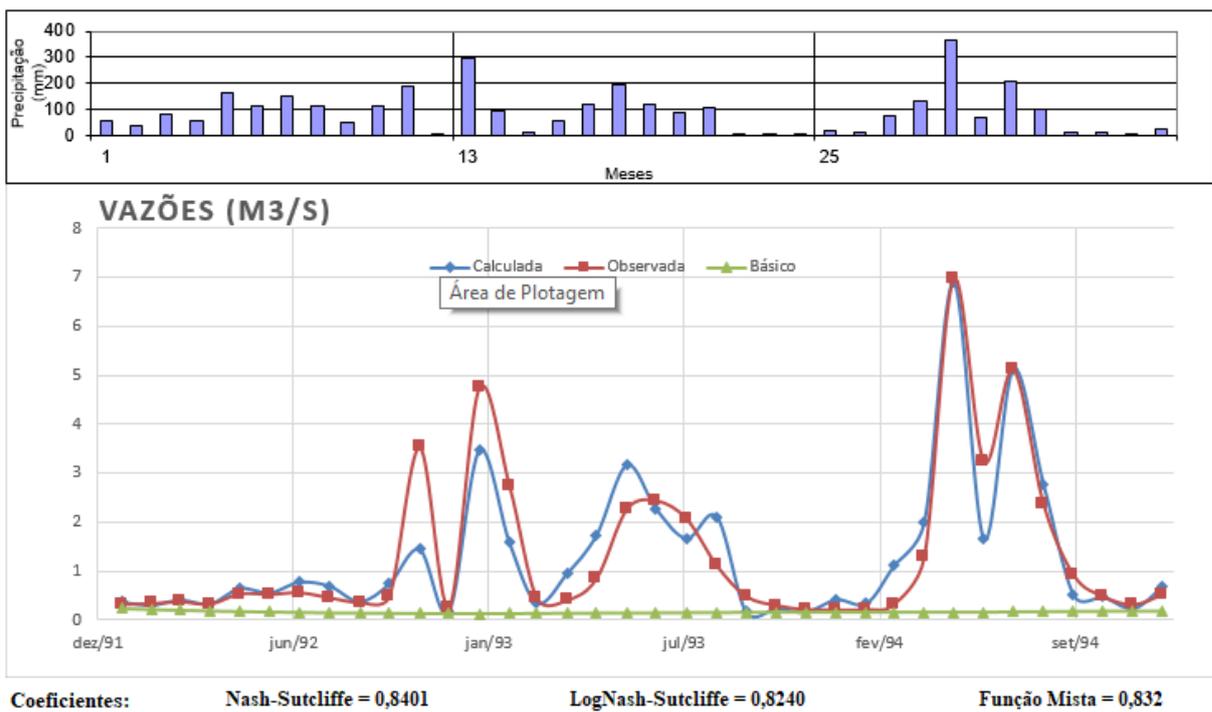
Fonte: Lopes (1999)

Pela Tabela 11 é possível perceber algumas semelhanças nos valores obtidos, como, por exemplo, o alto valor do *Sat* e do *Pes*. É importante destacar também que Lopes (1999) não faz referência ao período utilizado por ele para essa calibração inviabilizando uma comparação mais aprofundada.

Para avaliar a performance do modelo, analisou-se os coeficientes de eficiência, como também o gráfico *Vazão versus Tempo* para as vazões observadas e calculadas, aliados ao hietograma pluviométrico das médias ponderadas de precipitação dos dois postos de chuva.

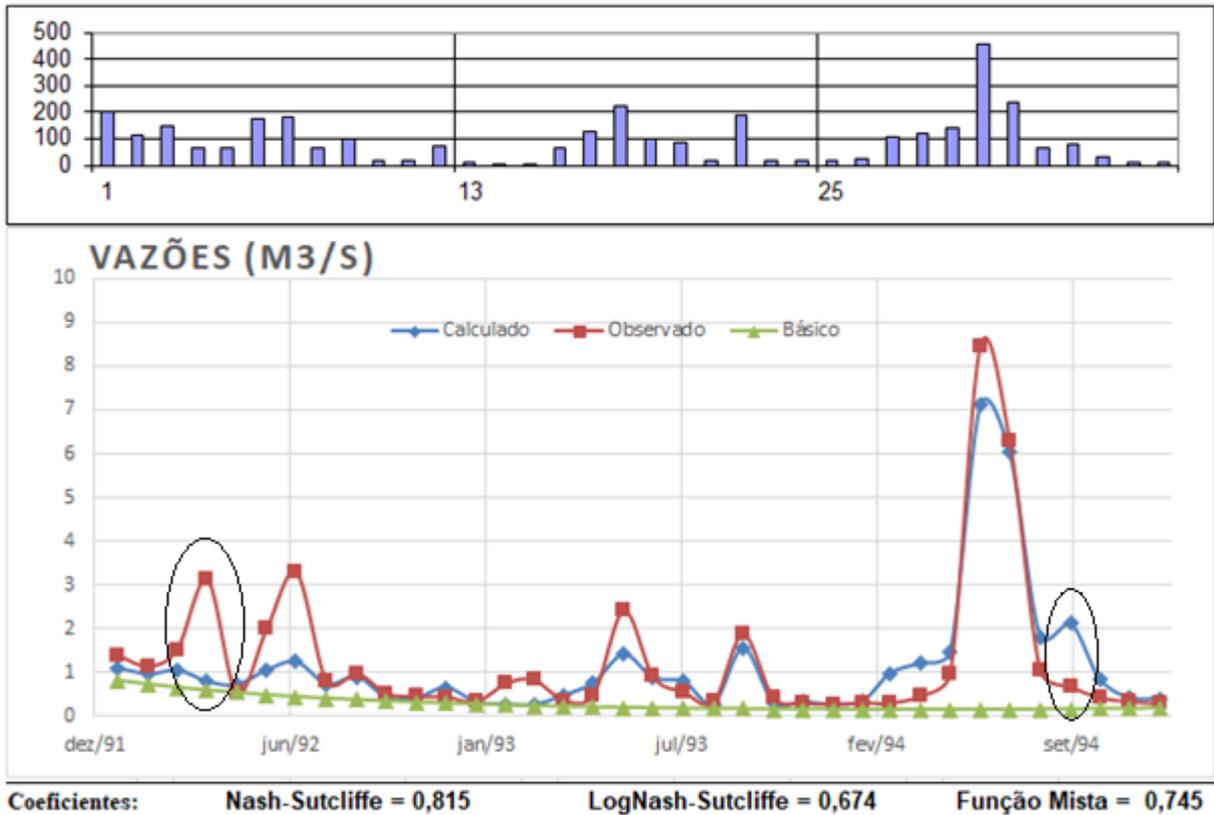
Os resultados obtidos estão representados através dos gráficos da calibração e validação do modelo SMAP, conforme as Figuras 13 e 14, respectivamente.

Figura 13 - Calibração do modelo SMAP



Fonte: Autor (2018)

Figura 14 - Validação do modelo SMAP



Fonte: Autor (2018)

Em alguns pontos do gráfico, é possível perceber alguns resultados incongruentes. As vazões calculada e observada apresentam valores distintos entre si, ou então, onde as vazões observadas ou calculadas não estão em sintonia com o hietograma de chuva.

Um desses casos é possível ser verificado no gráfico de validação da Figura 14. No mês de abril/92, há uma precipitação não tão alta ( $< 100$  mm/mês), a vazão observada foi bastante elevada, para os padrões de chuva do mês, chegando ao valor de  $3,12$  m<sup>3</sup>/s, enquanto que a vazão calculada foi mais coerente e alcançou valor de  $0,79$  m<sup>3</sup>/s. Esses tipos de variações podem ser atribuídas a falhas de operação, nesse caso, provavelmente, na estação fluviométrica, pois se tratando de ponderação das chuvas de diferentes postos, seria preciso que os dois postos pluviométricos estivessem com dados errados nesse mesmo mês.

Outro ponto a ser questionado é referente ao mês de setembro/94, do gráfico de validação (Figura 14), em que também não há precipitação elevada ( $< 100$  mm/mês), porém, ao contrário do outro ponto, é a vazão calculada que se comporta de maneira equivocada, apresentando valor de  $2,14$  m<sup>3</sup>/s, enquanto que na vazão observada foi de  $0,68$  m<sup>3</sup>/s. Esse tipo de falha pode estar associada ao modelo chuva-vazão, que para essa sequência de dados, especificamente, não conseguiu gerar um valor supostamente coerente.

Essas dispersões, sejam por falhas de operações ou por utilização do modelo, podem acabar diminuindo a confiabilidade dos dados de vazão que, posteriormente, serão preenchidos, porém não comprometem o objetivo deste trabalho.

Fora esses pontos já ditos e analisados, com base nos valores dos coeficientes de eficiência calculados, as vazões observadas e calculadas apresentaram conformidade em praticamente toda sequência temporal, justificando valores elevados dos coeficientes de otimização e possibilitando assim boa avaliação do modelo SMAP no estudo da bacia do Japarutuba-Mirim.

## 6.5. PARÂMETROS E CURVAS OBTIDAS NO MODELO IPH II

O procedimento de calibração e validação do modelo IPH II, calculados através do software WIN\_IPH2 (BRAVO et al., 2006), gerou os valores dos parâmetros básicos que estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Parâmetros do solo na calibração e validação do modelo IPH II

Série	Parâmetros do Solo						
	Io	Ib	H	Ksup	Ksub	Rmax	Alfa
Calibração	299,998	6,576	0,926	0,318	499,969	8,999	19,997
Validação							

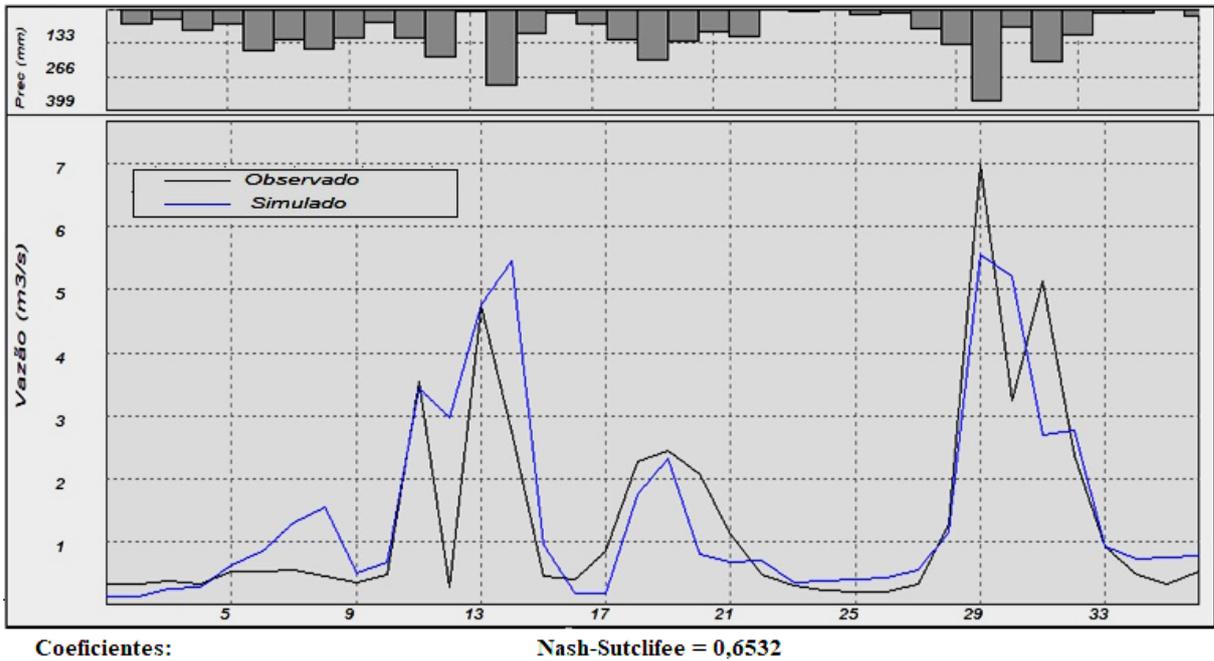
Fonte: Autor (2018)

Como aconteceu no modelo SMAP, o modelo IPH II também chegou próximo aos limites estabelecidos para alguns parâmetros (Io, H, Ksub, Rmax, Alfa).

Para avaliar a performance do modelo, analisaram-se os coeficientes de eficiência, como também o gráfico *Vazão versus* Tempo para as vazões observadas e calculadas, aliados ao hietograma pluviométrico das médias ponderadas de precipitação dos dois postos de chuva.

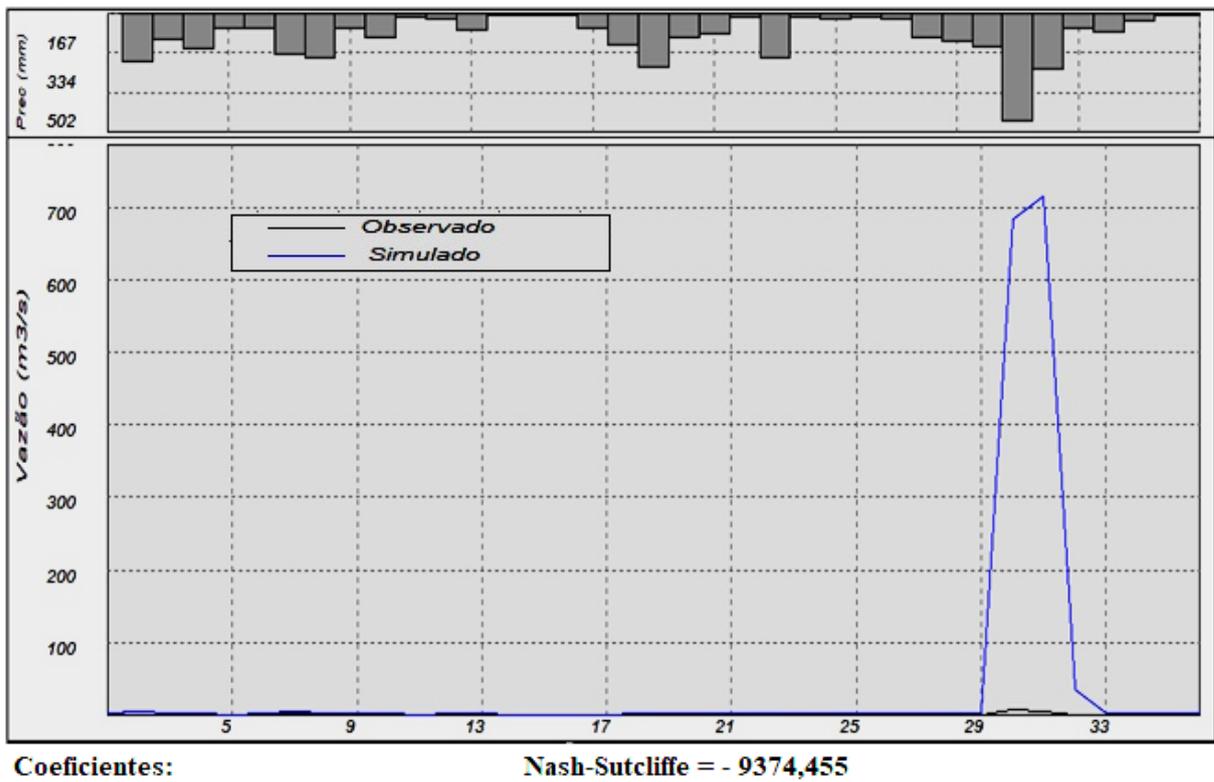
Os resultados obtidos estão representados através dos gráficos da calibração e validação do modelo IPH II, conforme as Figuras 15 e 16.

Figura 15 - Calibração do modelo IPH II



Fonte: Autor (2018)

Figura 16 - Validação do modelo IPH II



Fonte: Autor (2018)

Assim como no primeiro modelo analisado, no IPH II também se verificaram resultados inconsistentes.

O primeiro a se analisar é o referente à calibração, observado na Figura 15, no mês de dezembro de 1992, onde a vazão observada foi extremamente baixa ( $< 1 \text{ m}^3/\text{s}$ ), concordando com o baixíssimo valor de precipitação, porém, o modelo não conseguiu acompanhar o mesmo padrão.

Outro ponto a ser discutido, crucial para a representação do modelo, foi o referente à validação, mostrada pela Figura 16, no mês de junho de 1994, no qual existiu um elevado valor de precipitação e o modelo gerou um valor altíssimo de vazão naquele período, tão elevado que impossibilitou a análise dos outros pontos do gráfico. Vale ressaltar, que a vazão observada neste período, na estação fluviométrica, foi de  $8,47 \text{ m}^3/\text{s}$  e o modelo acabou gerando uma vazão para o mesmo período de, aproximadamente,  $700 \text{ m}^3/\text{s}$ , ou seja, totalmente fora da realidade.

## 6.6. DETERMINAÇÃO DO MODELO CHUVA-VAZÃO MAIS ADEQUADO

Diante do exposto anteriormente pelas interpretações gráficas, já é possível inferir que o modelo SMAP apresenta um melhor comportamento para simular as vazões da bacia do rio Japaratuba-Mirim, comparado ao modelo IPH II. Além dos pontos destacados, é possível perceber melhor resposta do SMAP a diferentes tipos de dados, sejam eles de períodos secos, intermediários ou chuvosos. Outra avaliação a ser feita é a observância da proximidade, de maneira geral, entre os dados observados de vazão e os calculados por esse método, enquanto que no modelo IPH II, praticamente não existe essa sincronia nos dados.

É a partir da discrepância já mencionada, entre os dados de vazão observadas e calculadas, que os modelos calculam seus coeficientes de eficiência, em outras palavras, sua função objetivo. A Tabela 13 apresenta, com base nos resultados, a comprovada melhora do SMAP em relação ao IPH II.

Tabela 13 - Coeficiente de eficiência Nash-Sutcliffe dos modelos utilizados

Série	Coeficiente de Eficiência Nash-Sutcliffe			
	SMAP		IPH II	
	Valor	Desempenho*	Valor	Desempenho*
Calibração	0,8401	Adequado	0,6532	Aceitável
Validação	0,8150	Adequado	-9374,455	Ineficiente

\*Segundo Gotschalk e Motovilov (2000) apud Collischonn (2001)

Fonte: Autor (2018)

Para o modelo SMAP, ainda foi possível incluir coeficientes extras para análise. Esta estratégia foi adotada, pois o Coeficiente de Nash-Sutcliffe é indicado para identificar erros em

períodos de picos máximos de vazão. Porém, se tratando de uma bacia de maneira geral, com períodos de cheias, mas também com períodos de seca e tendo como objetivo deste trabalho determinar sua disponibilidade hídrica, seria interessante utilizar um coeficiente que avaliasse com mais precisão os erros nos vales, ou seja, nos períodos de recessão.

Então, foram utilizados os Coeficientes de LogNash-Sutcliffe e também uma Função Mista, que se trata das médias entre os valores do Nash e sua versão logarítmica. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 14.

Tabela 14 - Coeficientes de eficiência LogNash-Sutcliffe para o modelo SMAP

<b>Série</b>	<b>Modelo SMAP</b>	
	<b>LogNash</b>	<b>Função Mista</b>
<b>Calibração</b>	0,824	0,832
<b>Validação</b>	0,832	0,745

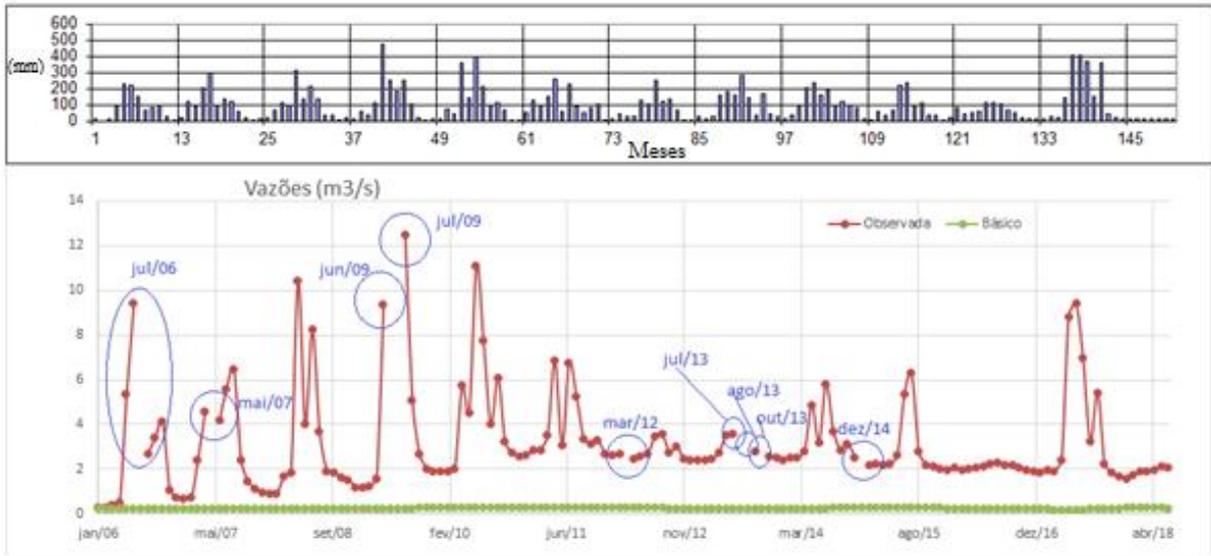
Fonte: Autor (2018)

Portanto, observa-se que o modelo SMAP é o mais eficiente para ser utilizado nesta bacia, e, com base nos seus resultados, será feito o preenchimento das vazões da estação Fazenda Cajueiro, bem como os cálculos de disponibilidade hídrica e os testes estatísticos.

## 6.7. PREENCHIMENTO DA SÉRIE HISTÓRICA DE VAZÃO

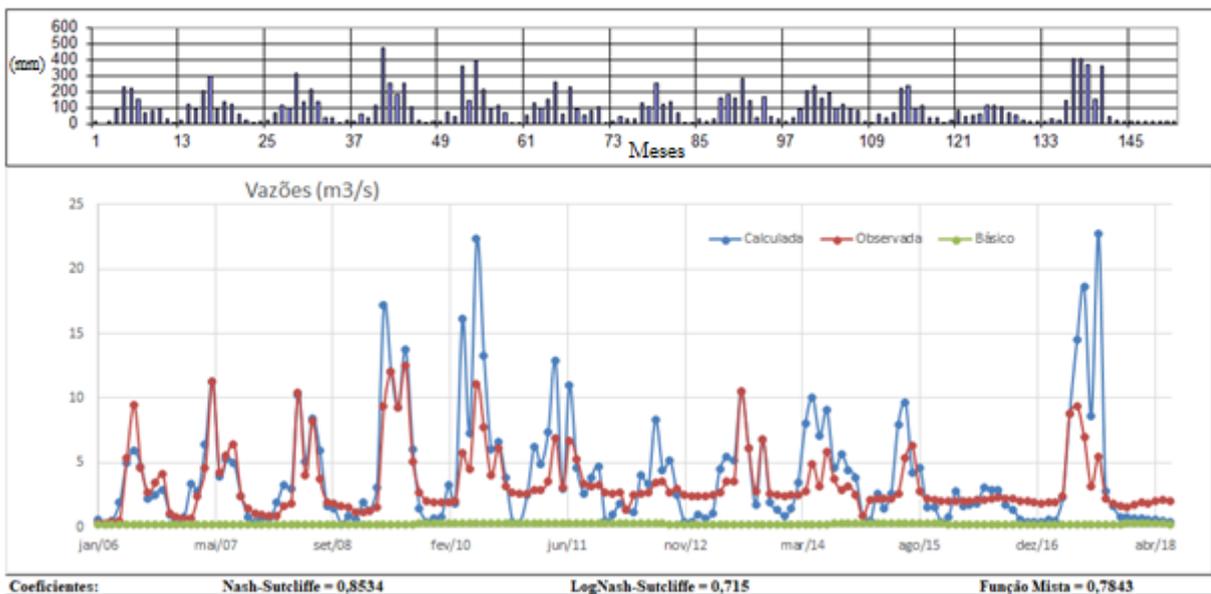
Utilizando o período que vai de janeiro de 2006 a julho de 2018, o gráfico das vazões fica incompleto, com lacunas, como é possível verificar nos círculos azuis da Figura 17. Então, com base nos parâmetros já calibrados e informações hidrometeorológicas, o modelo SMAP efetuou o preenchimento gerando a curva mostrada na Figura 18.

Figura 17 - Gráfico Vazão versus Tempo com falhas



Fonte: Autor (2018)

Figura 18 - Série preenchida Vazão versus Tempo com utilização do modelo SMAP



Fonte: Autor (2018)

Neste procedimento, ao colocar todo o período da série com falha, se permite gerar um gráfico Vazão *versus* Tempo de um intervalo de tempo muito maior, possibilitando uma análise melhor do comportamento da curva e dos valores registrados.

É válido ressaltar que o SMAP também se comportou de maneira apropriada para o período de preenchimento. Para isso, basta notar a simetria entre as curvas de vazões observadas e calculadas, presentes na Figura 18. Através deste também é possível destacar os valores alcançados pelos coeficientes de eficiência, como é o caso do Nash e da Função Mista, que

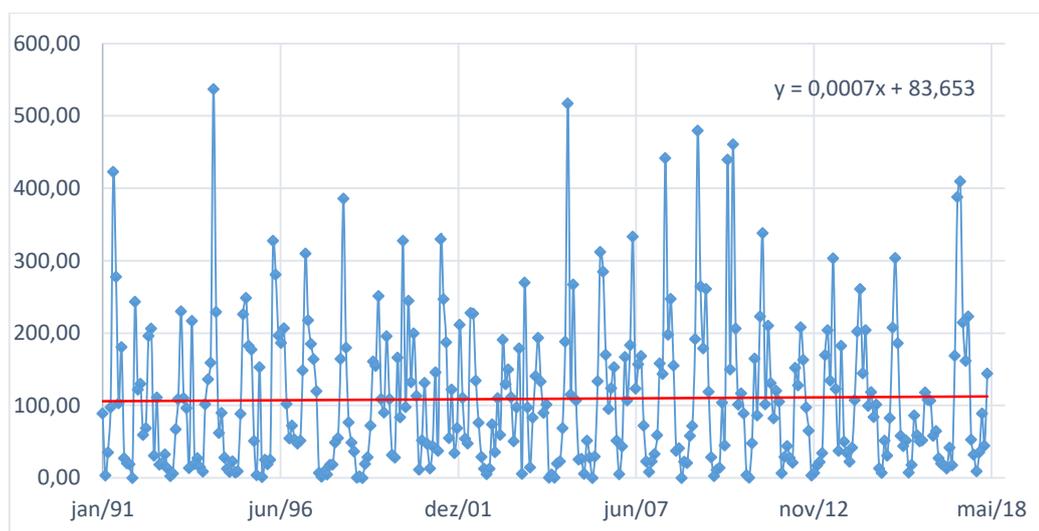
alcançaram valores considerados adequados, e o LogNash, que alcançou o índice de aceitável. Os resultados numéricos das séries preenchidas podem ser conferidos no APÊNDICE F.

## 6.8. TESTES ESTATÍSTICOS

As Figuras 19 e 20 apresentam o gráfico de precipitação, em mm, da estação Fazenda Cajueiro e da estação Capela, em que a curva vermelha representa a linha de tendência dos dados analisados, além de suas respectivas Tabelas 15 e 16 que mostram os resultados para os testes de estacionariedade dos períodos de chuva desses dois postos.

De maneira análoga, a Figura 21 apresenta o gráfico de vazão da estação Fazenda Cajueiro para o período de 1973 a 2018, bem como a Tabela 17 com o resultado do teste de estacionariedade para estes dados.

Figura 19 – Linha de Tendência dos dados pluviométricos da estação Fazenda Cajueiro (1991 – 2018)



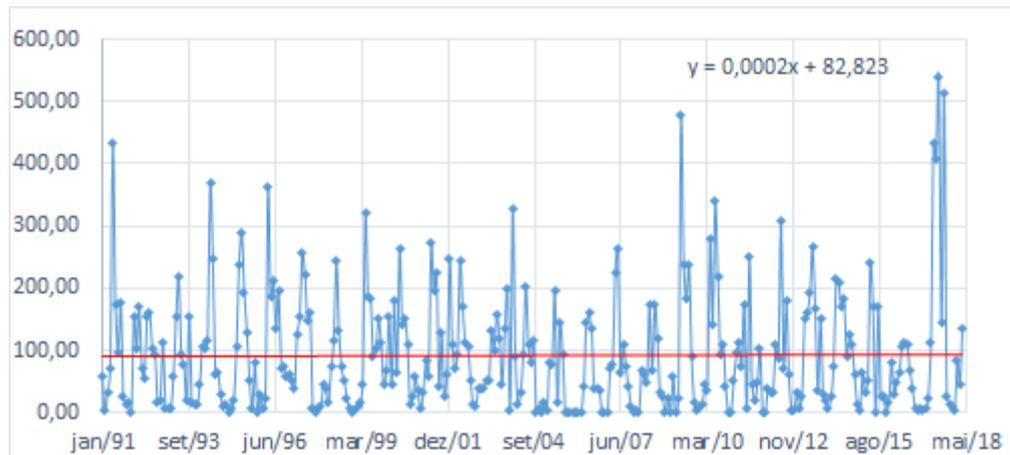
Fonte: Autor (2018)

Tabela 15 - Teste de estacionariedade do posto pluviométrico Fazenda Cajueiro

$r_s$	$Var(r_s)$	T	$Z_{1-\alpha/2}$	Teste
0,035772	0,003058	0,646872	1,959964	ACEITA $H_0$
<b>SÉRIE ESTACIONÁRIA</b>				

Fonte: Autor (2018)

Figura 20 - Linha de Tendência dos dados pluviométricos da estação Capela (1991 – 2018)



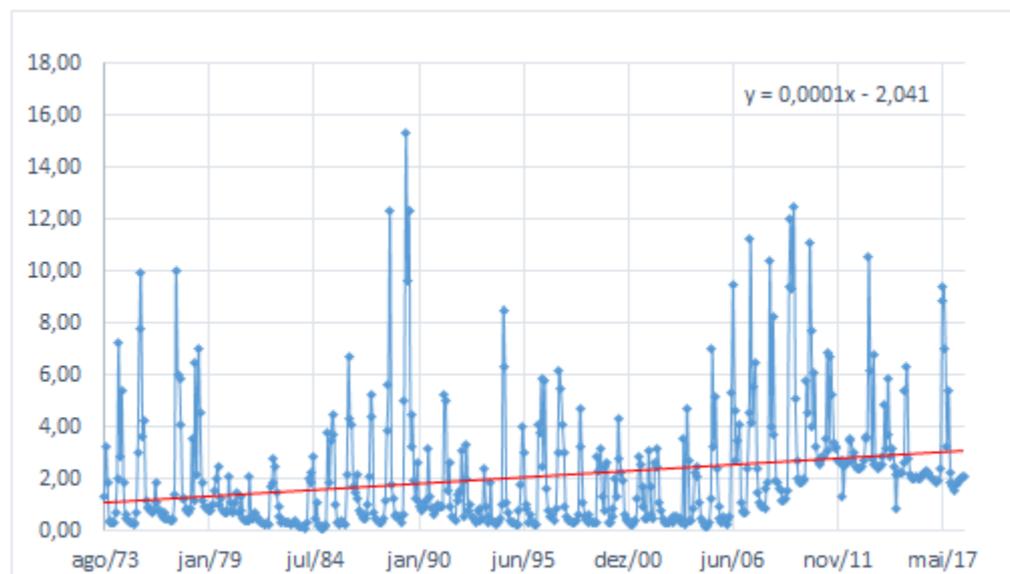
Fonte: Autor (2018)

Tabela 16 - Teste de estacionariedade do posto pluviométrico Capela

$r_s$	$Var(r_s)$	T	$Z_{1-\alpha/2}$	Teste
-0,052191	0,003058	-0,943779	1,959964	<b>ACEITA Ho</b>
<b>SÉRIE ESTACIONÁRIA</b>				

Fonte: Autor (2018)

Figura 21 - Linha de Tendência dos dados fluviométricos da estação Fazenda Cajueiro (1973 – 2018)



Fonte: Autor (2018)

Tabela 17 - Teste de estacionariedade do posto fluviométrico Fazenda Cajueiro no período de 1973-2018

$r_s$	$Var(r_s)$	T	$Z_{1-\alpha/2}$	Teste
0,344342	0,001855	7,994364	1,959964	<b>REJEITA Ho</b>
<b>SÉRIE NÃO ESTACIONÁRIA</b>				

Fonte: Autor (2018)

Com base nos gráficos apresentados e das respectivas curvas de tendência, bem como suas equações, é possível verificar visualmente a estacionariedade das séries.

Para a série pluviométrica da estação Fazenda Cajueiro, o teste realizado mostrou que se trata de uma série estacionária, ou seja, ela tende a não apresentar saltos, ciclos ou tendências temporais. O mesmo aconteceu na estação Capela para o mesmo período analisado. Pode-se certificar desta análise ao se avaliar a linha de tendência plotada.

Contudo, para a série fluviométrica da estação Fazenda Cajueiro, de 1973 a 2018, o resultado apresentado pelo teste foi de não estacionariedade. Em outras palavras, ela apresenta tendência de acréscimo ao longo do tempo e, como pode ser verificado no gráfico, muito por conta do aumento das vazões mínimas, principalmente no período a partir de 2007.

Considerando que a precipitação não teve variações significativas, para o período posterior a 2007, esta linha de tendência crescente pode ser explicada pela alteração no uso e ocupação do solo ou pelo processo de recuperação das nascentes dos rios que desaguam na bacia, mostrados por Sergipe (2014) e Lima (2013), o primeiro apresentando projetos de recuperação das nascentes dos rios das bacias do Japaratuba, Piauí e Sergipe e o segundo explanando o uso do solo e dos recursos hídricos por usinas e destilarias de cana de açúcar e também por populações ribeirinhas nas bacias do Alto e Baixo Japaratuba.

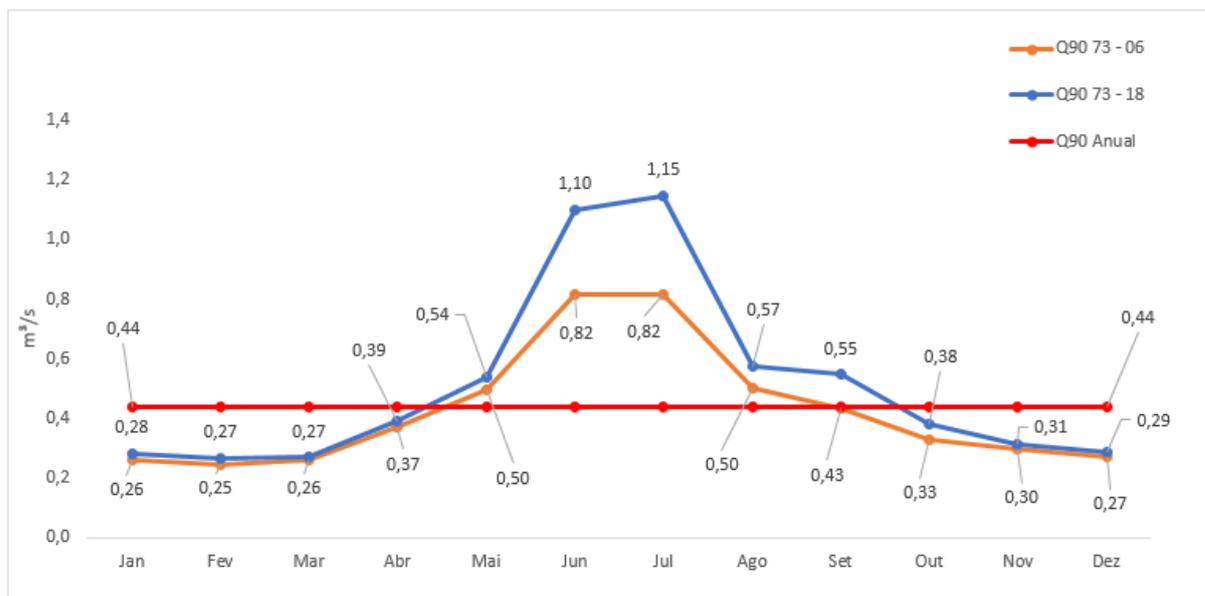
## 6.9. DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Considerando a heterogeneidade da região Nordeste do Brasil, bem como diferentes níveis de chuva a cada mês, e ainda o fato de diversos rios que cruzam a região serem intermitentes, ficando secos durante períodos do ano, decidiu-se calcular a  $Q_{90}$  mensal, diferentemente da  $Q_{90}$  apresentada no Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH-SE) e na resolução da CONERH nº 01/2001, onde a outorga para utilização é de 90% da  $Q_{90}$  definida para todo o ano, sendo que os 10% restantes são considerados como de vazão ecológica.

Essa estratégia de utilização de diferentes valores por mês é mais apropriada do ponto de vista ambiental, pois ao se autorizar a retirada de água em meses secos, com valores médios anuais de  $Q_{90}$ , possa ser que em alguns casos, a vazão remanescente, ou ambiental, não seja respeitada, comprometendo todo o ambiente ligado àquela bacia.

Outra metodologia aplicada foi a de se comparar o valor da disponibilidade hídrica mensal do período sem o preenchimento das vazões e após a realização do mesmo. Esse resultado pode ser visualizado na Figura 22, onde estão representadas as vazões disponíveis para uso mês a mês.

Figura 22 - Q90% Anual, antes e após o preenchimento da série fluviométrica



Fonte: Autor (2018)

Analisando o gráfico da disponibilidade hídrica e comparando os resultados obtidos, é possível perceber a diferença nos valores da vazão mínima em cerca de 90% do tempo.

Na série estendida, pós preenchimento, a disponibilidade hídrica é maior em todos os meses do ano, quando comparada com a Q90 antes do preenchimento, e é ainda maior quando se trata do período de chuvas da região, maio a agosto.

Entretanto, esse aumento na disponibilidade hídrica pode ser decorrido do auxílio de modelos chuva-vazão, projetos de recuperação de nascentes ou de alterações de uso e ocupação do solo.

Ao comparar os valores mensais da disponibilidade hídrica calculada com a média anual prevista pelo Plano Executivo da Bacia do Japarutuba (SERGIPE, (2010)) é possível notar que nos meses de seca da região autoriza-se que a utilização de água seja maior do que a mínima possível, podendo acarretar em problemas ambientais. Acontece de forma contrária nos meses de chuva, onde a retirada de água é menor que o previsto, dificultando o aumento da produção dos usuários dependentes da bacia.

Tal evidência comprova que os modelos hidrológicos do tipo chuva-vazão podem ser utilizados na gestão mais adequada dos recursos hídricos, garantindo mais representatividade para a amostra, bem como valores mais condizentes com a realidade, uma vez que a disponibilidade hídrica poderá ser calculada com maior abrangência de dados.

## 7. CONCLUSÃO

Tendo como base a análise gráfica dos resultados e também os coeficientes de eficiência utilizados, ficou constatado que o modelo SMAP é o melhor, dentre as opções avaliadas, para ser utilizado na extração de informações da bacia do rio Japarutuba-Mirim, como também para preencher os dados de vazão ausentes.

Já o modelo IPH II não apresentou uma boa resposta, principalmente quando na série existia pico de chuva elevado. Essa variação abrupta de pluviosidade fez com que o modelo extrapolasse os resultados de vazão. É preciso saber, com mais estudos sobre o modelo, se esse fato é uma deficiência do método, ou se nessa série, especificamente, ele não soube se comportar.

Após a determinação da melhor série disponível para calibração e validação dentro do intervalo disponível e da definição do modelo a ser utilizado, determinou-se os parâmetros do solo - *sat*, *pes*, *crec* e *kkt*. Com base nessas informações obtidas, o preenchimento das falhas da estação fluviométrica Fazenda Cajueiro foi realizado, encontrando resultados que, após análise, se mostraram condizentes com a realidade da bacia.

A análise estatística de estacionariedade mostrou que os dados da série pluviométrica para o período comum aos dois postos são estacionários, ou seja, sem tendência aparente. Porém, o mesmo teste para a série completa, após preenchimento, da estação fluviométrica Fazenda Cajueiro, mostrou que a hipótese nula era rejeitada, sendo, portanto, não estacionária. Em outras palavras, existe uma tendência de acréscimo de vazão nos dados mais recentes, notavelmente nas vazões básicas, o que evidencia alterações no fluxo do rio por alterações no uso e ocupação do solo, favorecendo o escoamento superficial, mas também recuperação das nascentes dos rios dessa bacia, aumentando a capacidade de escoamento.

Já a disponibilidade hídrica calculada após se preencher as falhas e comparada com aquela antes do preenchimento mostrou um aumento no valor obtido. Isso dá embasamento ao trabalho, provando o impacto positivo em se preencher as falhas existentes, pois, sendo possível elevar a quantidade de água disponível para utilização, naturalmente, se eleva o potencial econômico da região.

Por fim, a estratégia de calcular a Q90 mês a mês deve ser considerada, pois, ficou claro que há variações significativas nos valores do recurso disponível nos mais variados meses do ano. Esse fato mostra que a quantidade de água retirada nos meses do chamado período chuvoso, não deve ser a mesma a ser extraída em meses de seca, a fim de preservar a qualidade ambiental da bacia.

## REFERÊNCIAS

ADAM, K. N.; FAN, F. M.; PONTES, P. R.; BRAVO, J. M.; COLLISCHONN, W. Mudanças climáticas e vazões extremas na Bacia do Rio Paraná / Climate Change and Extreme Streamflows in Paraná River Basin. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s. l.], v. 20, n. 4, p. 999–1007, 2015.

ANA (2002). HIDRO - Sistema de Informações Hidrológicas. Versão 1.3. **Manual do Usuário**.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Inventário das estações pluviométricas**. Brasília: 2009.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Diretrizes e análises recomendadas para a consistência de dados pluviométricos** / Agência Nacional de Águas; Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. -- Brasília: ANA, SGH, 2011.

ANA (2018). **Portal HidroWeb**. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: 18 out. 2018.

ALMEIDA, F. X. **Avaliação do uso de modelos chuva-vazão na determinação da disponibilidade hídrica da bacia do rio Siriri, Sergipe**. Dissertação (Graduação) – Universidade Federal de Sergipe, 2018.

ARAGÃO, R.; ALMEIDA, J. A. P.; Avaliação espaço temporal do uso do solo na área da bacia do Rio Japarutuba – Sergipe através de imagens LANDSAT. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009, Natal – RN, INPE, p. 1231-1238.

ARAGÃO, R.; CRUZ, M. A. S.; AMORIM, J. R. A.; MENDONÇA, L. C.; FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN, V. S.; Modelagem do Escoamento na Sub-bacia do Rio Japarutuba-Mirim (SE) Através do Modelo SWAT. In: XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 2012, João Pessoa – PB.

ARAGÃO, R.; CRUZ, M. A. S.; AMORIM, J. R. A.; MENDONÇA, L. C.; FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN, V. S. Análise de sensibilidade dos parâmetros do modelo SWAT e simulação dos processos hidrossedimentológicos em uma bacia no agreste nordestino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p. 1091-1102, 2013.

ARAÚJO, J.C.; KNIGHT, D.W. A review of the measurement of sediment yield in diferente scales. **Revista da Escola de Minas**, v. 53 p. 257-265, 2005.

BARBOSA, A. G. **Avaliação de alterações no comportamento das séries hidrológicas em bacias hidrográficas sergipanas e seus impactos sobre a disponibilidade hídrica**. Aracaju: Universidade Federal de Sergipe, 2017.

BERTONI J. C.; TUCCI, C.E.M. Precipitação. In: Tucci, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: UFRGS, 2007. p.177-241.

BRAVO, J. M.; ALASSIA, D. G. P.; COLLISCHONN, W.; TASSI, R.; MELLER, A.; TUCCI, C. E. M. WIN\_IPH2: Modelo IPH2 para Windows. **Manual de conceitos do WIN\_IPH2** Versão 1.0, Porto Alegre; 2006.

BUCHIANERI, V. C. **Geração da série histórica de vazão por meio do modelo SMAP: subsídio para o plano de manejo da bacia do Rio Grande de Ubatuba**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, 2004.

BURIOL, G.A.; ESTEFANEL, V.; SWAROWSKY, A.; D'AVILA, R.F. Homogeneidade e estatísticas descritivas dos totais mensais e anuais de chuva de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.11, p.89- 97, 2006.

CASTANHARO, G.; GIBERTONI, R. F. C.; MÜLLER, I. I.; ANDRIOLO, M. V.; KAVISKI, E.; GUILHON, L. G. F.; ROCHA, V. F. Previsão de vazões na Bacia do Rio Iguaçu baseada no modelo SMAP e com incorporação de informações de precipitação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 3, p. 57-68, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v12n3.p57-68>>. Acesso em: 18 out. 2018.

CELESTE, A. B.; CHAVES, V. S. Avaliação de Algoritmos de Otimização e Funções Objetivo para Calibração Automática do Modelo Chuva-Vazão Tank Model. **Ciência e Natura**, [s. l.], v. 36, n. 3, p. 527–537, 2014.

CHIBANA, E. Y.; FLUMIGNAN, D.; MOTA, R. G.; VIEIRA, A. S.; FARIA, R. T. Estimativa de falhas em dados meteorológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 9, 2005, Londrina. **Anais...Londrina: SBI-AGRO**, 2005. CD-Rom.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. Ajuste multi-objetivo dos parâmetros de um modelo hidrológico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v 8, n 3, p. 27-39, 2003.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Calibração automática global do modelo IPH2. In. XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. **Anais...** Aracaju SE, 2001a.

COLLISCHONN, W. **Simulação hidrológica em grandes bacias**. Porto Alegre: UFRGS, 2001. 194p. Tese Doutorado.

CRUZ, J.C. **Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação de Aspectos Práticos e Conceituais**. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 2001. 205p. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental di IPH/UFRGS.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 13, n. 1, p. 11-124, 2008.

CRUZ, M. Qualidade ambiental da bacia do Rio Japarutuba. **Jornal Dia de Campo**, 28 out. 2010. Disponível em: <http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Newsletter.asp?id=22999&secao=Artigos%20Especiais>. Acesso em: 25 out. 2018.

DPI – DIVISÃO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS. **Calculadora Geográfica**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/calcula/>. Acesso em: 21 out. 2018.

FOLEGATTI, M. V. *et al.* Gestão dos Recursos Hídricos e Agricultura Irrigada no Brasil. **Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em <http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-807.pdf>. Acesso em 16/11/2018.

GRASSI, M. T. **Águas no planeta Terra**. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, p. 40. Edição especial – Maio 2001.

HIDROWEB. Sistema de Informações Hidrológicas – snirh. 2005. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>. Acesso em: 4 nov. 2018.

IGBP. *Biospheric Aspects of the Hydrological Cycle*. The International Geosphere-Biosphere Programme: A Study of Global Change, Report n.27. Estocolmo, 103p, 1993.

LIMA, J. F. S. **Influência do cultivo da cana-de-açúcar nas nascentes do alto e baixo rio Japarutuba**. São Cristóvão, Sergipe, 2013. 140p. Tese Mestrado.

LOPES, J. E. G.; BRAGA, B. P. F.; CONEJO, J. G. L. **SMAP - A Simplified Hydrological Model, Applied Modelling in Catchment Hydrology**, Ed. V.P.Singh, Water Resources Publications, 1982.

LOPES, J. E. G. **Soil moisture accounting procedure**. [S.l.], 1999.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Métodos estimadores dos parâmetros da distribuição de Gumbel e sua influência em estudos hidrológicos de projeto. **Revista Irriga**, v.10, n.4, p.318-334, 2005.

MOREIRA, I. A. **Modelagem hidrológica chuva-vazão com dados de radar e pluviômetros**. Paraná: Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2005. 81p Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambientais).

MOREIRA, J.; GUILHON, L.; ROCHA, V. Comparação de Métodos de Previsão de Vazões Naturais Afluentes a Aproveitamentos Hidroelétricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 13–20, 2007.

NAGUETTI, M.; PINTO, J. d. A. **Hidrologia estatística**. [S.l.]: Ernesto von Sperling e José Márcio Henriques Soares, Belo Horizonte, 2007.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models part 1 – a discussion of principles. **Journal of Hydrology** 10, 282–290. 1970.

OLIVEIRA, L. F. C.; FIOREZE, A. P.; MEDEIROS, A. M. M.; SILVA, M. A. S. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 1186-1192, 2010.

PAULA, S. C. **Precipitação estimada por satélite para uso em modelo concentrado chuva-vazão aplicado em diferentes escalas de bacias**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

PEREIRA, D. R.; ULIANA, E. M.; MARTINEZ, M. A.; SILVA, D.D. Desempenho de um modelo hidrológico concentrado e de um semidistribuído na predição de vazões diárias. **Revista Irriga**, Botucatu, v.21, n.2, p.409-424, mai-jun. 2016.

PRITCHETT, W.L. *Properties and Management of Forest Soils*. John Wiley, New York, 500p. 1979.

SCHUSTER, R. C. **Desenvolvimento de Um Modelo Hidrológico de Transformação chuva-vazão e propagação de vazão em reservatórios**. Porto Alegre: IPH/UFRGS [s. l.], p. 53, 2014.

SERGIPE. SEPLANTEC Secretaria de Planejamento e Tecnologia. **Atlas Digital de Recursos Hídricos do Estado de Sergipe**. Sergipe. Aracaju, 2004.

SERGIPE. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Resolução nº01 de 19 de abril de 2001. **Dispõe sobre Critérios para a Outorga de Uso de Recursos Hídricos**. Disponível em: <<http://www.semarh.se.gov.br/recursoshidricos/wpcontent/uploads/2018/01/RESOLU%C3%87%C3%83O-01-CONERH-Crit%C3%A9rios-outor-gas.pdf>> Acesso em: 29 nov. 2018.

SERGIPE. SEMARH, Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Sergipe**: Sumário executivo. Aracaju: SEMARH, 2010.

SERGIPE. COHIDRO SEMARH. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Elaboração dos Planos das Bacias Hidrográficas dos rios Japarutuba, Piauí e Sergipe**. Sergipe, 2014.

SERGIPE. Relatório de resumo executivo: **Bacia Hidrográfica do rio Japarutuba**. Aracaju: COHIDRO, 2015.

SERGIPE. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Superintendência de Recursos Hídricos – SRH. **Atlas digital sobre recursos hídricos de Sergipe**. Aracaju: SEMARH/SRH, 2016. CD-ROM.

SILVA, V. S. V. **Estimativa de precipitação pontual em diferentes escalas para uso em modelo concentrado chuva-vazão**. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. In: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, N. 1, p.135-152, 1997.

TUCCI, E. M. T. 2005. Modelos Hidrológicos. Colaboração da Associação Brasileira de Recursos Hídricos/ABRH. 2ª edição. Porto Alegre, Editora da UFRGS.

## **APÊNDICES**

**APÊNDICE A – ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS DENTRO DA ÁREA DE  
INFLUÊNCIA DOS POSTOS A SEREM PREENCHIDOS**

CÓDIGO	NOME	CIDADE	RESPONSÁVEL	LATITUDE	LONGITUDE	ABRANGÊNCIA*		
1036063	Fazenda Cajueiro	Japaratuba	ANA	S 10 34 41.002	O 36 54 56.002	1991	2018	27
1036014	Japaratuba	Japaratuba	DNOCS	S 10 36 0.000	O 36 57 0.000	1917	1987	70
1036020	Usina Outeirinhos	Japaratuba	IAA	S 10 37 59.999	O 36 58 0.001	1963	1996	33
1037078	Capela	Capela	ANA	S 10 28 59.999	O 37 4 0.001	1983	2018	35
1037003	Aquidabã	Aquidabã	DNOCS	S 10 16 0.001	O 37 1 59.999	1912	1997	85
1036021	Pacatuba (Pacatiba)	Pacatuba	DNOCS	S 10 27 0.000	O 36 39 0.000	1920	1984	64
1036004	Penedo	Penedo	DNOCS	S 10 16 59.999	O 36 34 59.999	1912	1998	86
1036065	Paisa	Penedo	SEMARH-AL	S 10 16 59.002	O 36 34 59.999	1999	2003	4
1036005	Penedo2	Penedo	ANA	S 10 17 6.000	O 36 33 23.000	1935	2018	83
1036048	Propriá	Propriá	ANA	S 10 12 55.001	O 36 49 26.000	1973	2018	45
1036025	Propriá2	Propriá	INMET	S 10 12 0.000	O 36 52 0.001	1963	1998	35
1036009	Porto Real do Colegio	Porto Real do Colegio	DNOCS	S 10 10 59.999	O 36 49 59.999	1912	1998	86
936076	Traipu	Traipu	ANA	S 9 58 22.001	O 37 0 11.999	1973	2018	45
936050	Traipu2	Traipu	DNOCS	S 9 58 0.001	O 36 58 59.999	1912	1994	82
1037034	Nossa Senhora da Gloria	Nossa Senhora da Gloria	DNOCS	S 10 13 0.001	O 37 25 0.001	1912	1999	87
1037060	Nossa Senhora das Dores	Nossa Senhora das Dores	FASE	S 10 30 0.000	O 37 13 0.001	1955	1968	13
1037036	Nossa Senhora das Dores2	Nossa Senhora das Dores	DNOCS	S 10 30 0.000	O 37 13 0.001	1913	2000	87
1037049	Santa Rosa de Lima (Camboata)	Santa Rosa de Lima	ANA	S 10 39 10.001	O 37 11 34.001	1952	2018	66
1037028	Laranjeiras	Laranjeiras	DNOCS	S 10 48 0.000	O 37 10 0.001	1920	1987	67
1037073	Ibura (Horto Florestal)	Nossa Senhora do Socorro	FASE	S 10 51 0.000	O 37 7 59.999	1965	1972	7
1037002	Aracaju	Aracaju	DNOCS	S 10 54 0.000	O 37 3 0.000	1912	1985	73
1037004	Aracaju2	Aracaju	INMET	S 10 55 0.001	O 37 3 0.000	1951	2017	66

**APÊNDICE B - POSTOS PLUVIOMÉTRICOS EFETIVAMENTE UTILIZADOS NO PREENCHIMENTO DAS FALHAS DE CHUVA**

ESTAÇÃO	MÊS	MÉDIAS MENSAIS (mm)												MÉDIA ANUAL	DISTÂNCIA (Km)
		Dados Utilizados para Preenchimento da Estação Fazenda Cajueiro (1036063)													
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro		
Capela	1037078	41,40	45,60	63,40	134,20	190,40	186,10	188,30	122,50	83,70	52,30	32,70	24,60	1189,80	19,58
Usina Outeirinhos	1036020	37,10	78,00	113,30	201,40	294,90	236,30	205,80	146,20	108,90	53,90	46,00	29,10	1572,70	8,29
Propriá	1036048	33,90	31,40	55,50	89,90	132,10	131,40	110,30	67,10	50,10	35,20	20,40	16,30	788,70	41,37
Dores2	1037036	36,40	44,20	77,10	118,90	186,40	161,30	150,70	101,10	58,40	40,90	37,30	36,10	1050,50	34,08
Santa Rosa de Lima (Camboata)	1037049	48,60	52,80	76,20	155,70	198,60	187,10	184,10	129,20	76,40	56,90	35,80	31,60	1248,10	31,43
Aracaju2	1037004	56,70	71,70	111,80	198,60	274,70	200,30	158,80	103,90	71,60	61,40	46,90	37,70	1394,10	40,23

ESTAÇÃO	MÊS	MÉDIAS MENSAIS (mm)												MÉDIA ANUAL	DISTÂNCIA (Km)
		Dados Utilizados para Preenchimento da Estação Capela (1037078)													
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro		
Fazenda Cajueiro	1036063	53,20	59,30	64,50	152,80	226,60	232,20	191,10	124,10	78,30	67,20	40,20	22,40	1305,50	19,58
Propriá	1036048	33,90	31,40	55,50	89,90	132,10	131,40	110,30	67,10	50,10	35,20	20,40	16,30	788,70	39,84
Traipu	936076	31,30	28,60	48,90	72,50	102,70	97,90	92,50	50,30	36,80	20,50	16,60	19,20	617,60	56,9
Santa Rosa de Lima (Camboata)	1037049	48,60	52,80	76,20	155,70	198,60	187,10	184,10	129,20	76,40	56,90	35,80	31,60	1248,10	23,27
Aracaju2	1037004	56,70	71,70	111,80	198,60	274,70	200,30	158,80	103,90	71,60	61,40	46,90	37,70	1394,10	48





## APÊNDICE E - SÉRIE FLUVIOMÉTRICA DA ESTAÇÃO FAZENDA CAJUEIRO SEM PREENCHIMENTO DAS FALHAS

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média Anual
1973								1,35	3,26	1,9	0,413	0,362	
1974	0,306	0,34	0,68	1,99	7,28	2,85	5,42	1,89	0,616	0,486	0,41	0,324	1,88
1975	0,314	0,282	0,351	0,739	3,03	7,76	9,9	3,65	4,23	1,17	0,914	0,865	2,77
1976	0,768	0,714	0,757	1,87	1,08	0,788	0,804	0,592	0,516	0,729	0,462	0,444	0,794
1977	0,419	0,413	0,495	1,38	10	5,98	5,86	4,08	1,22	1,24	0,87	0,794	2,73
1978	0,686	0,854	3,53	1,14	6,48	2,17	7,03	4,56	1,89	1,16	0,923	0,856	2,61
1979	0,77	0,819	0,934	1,01	1,56	2,01	2,45	0,995	1,22	0,78	0,712	0,757	1,17
1980	0,705	2,06	1,11	0,72	0,785	1,06	1,5	0,715	0,772	1,36	0,5	0,431	0,976
1981	0,423	0,429	2,1	0,55	0,456	0,708	0,566	0,468	0,41	0,324	0,311	0,284	0,586
1982	0,259	0,348	0,266	1,71	1,83	2,75	2,47	1,48	0,96	0,57	0,34	0,37	1,11
1983	0,34	0,311	0,315	0,291	0,248	0,294	0,342	0,377	0,244	0,19	0,185	0,152	0,274
1984	0,15	0,116	0,316	2,01	2,25	1,87	2,88	0,485	1,13	0,273	0,188	0,133	0,984
1985	0,095	0,169	0,26	3,79	1,86	3,5	4,46	3,72	1,01	0,324	0,277	0,385	1,66
1986	0,349	0,34	0,26	2,14	6,69	4,34	4,12	1,7	1,47	2,17	1,28	0,785	2,14
1987	0,599	0,465	0,513	0,602	1,03	2,09	5,26	4,37	0,711	0,444	0,384	0,35	1,4
1988	0,306	0,289	0,487	1,19	3,83	5,65	12,3	1,77	1,26	0,659	0,57	0,55	2,4
1989	0,548	0,303	0,619	4,98	15,3	9,62	12,3	3,25	4,49	1,94	1,25	2,62	4,77
1990	1,11	0,903	0,814	0,93	0,908	1,16	3,16	1,3	0,835	0,898	0,618	0,813	1,12
1991	1,04	0,952	0,96	0,973	5,23	5,02	1,58	2,67	0,917	0,594	0,507	0,427	1,74
1992	1,39	1,15	1,53	3,12	0,538	2,02	3,29	0,793	0,989	0,527	0,455	0,45	1,36
1993	0,339	0,76	0,839	0,366	0,491	2,42	0,914	0,559	0,344	1,88	0,431	0,312	0,805
1994	0,278	0,31	0,312	0,473	0,984	8,47	6,3	1,06	0,683	0,433	0,337	0,305	1,66
1995	0,293	0,244	0,222	0,77	1,75	4,02	2,99	1,04	0,9	0,349	0,643	0,288	1,13
1996	0,297	0,268	0,235	4,09	3,82	5,86	2,5	5,81	1,66	0,766	0,55	0,519	2,2
1997	0,6	0,382	0,872	3	6,14	5,48	4,12	3,03	0,912	0,551	0,425	0,369	2,16
1998	0,352	0,325	0,329	0,43	0,627	4,71	3,22	1,13	0,591	0,423	0,352	0,602	1,09
1999	0,432	0,359	0,347	0,342	2,85	2,36	3,16	1,3	0,787	2,5	2,66	0,34	1,45
2000	0,352	0,843	0,54	1,98	1,33	4,34	2,75	2,27	1,94	0,618	0,406	0,464	1,49
2001	0,313	0,264	0,273	0,386	0,381	1,22	2,88	2,55	0,964	1,7	0,479	0,446	0,989
2002	3,08	1,68	0,618	0,515	2,66	2,49	3,17	1,1	0,805	0,471	0,339	0,364	1,44
2003	0,319	0,336	0,372	0,327	0,534	0,523	0,559	0,454	0,359	0,476	3,53	0,265	0,671
2004	4,74	2,74	0,437	0,404	0,849	2,27	2,44	2,07	1,11	0,483	0,296	0,215	1,5
2005	0,207	0,209	0,319	1,28	6,98	3,24	5,13	2,37	0,913	0,48	0,316	0,521	1,83
2006	0,29	0,272	0,433	0,534	5,34	9,44		2,68	3,44	4,13	1,07	0,766	
2007	0,705	0,726	2,42	4,57		4,18	5,58	6,46	2,41	1,45	1,11	0,951	
2008	0,909	0,89	1,67	1,86	10,4	4,02	8,25	3,71	1,92	1,88	1,64	1,54	3,22
2009	1,19	1,17	1,27	1,57	9,37			12,5	5,09	2,7	2,02	1,9	
2010	1,9	1,93	2	5,75	4,53	11,1	7,73	4	6,11	3,22	2,72	2,59	4,47
2011	2,63	2,87	2,88	3,55	6,85	3,09	6,74	5,27	3,38	3,14	3,28	2,71	3,87
2012	2,64	2,69		2,48	2,6	2,67	3,45	3,58	2,73	3,01	2,47	2,42	
2013	2,43	2,42	2,49	2,72	3,54	3,6			2,82		2,58	2,52	
2014	2,43	2,51	2,52	2,83	4,88	3,19	5,83	3,71	2,86	3,14	2,51		
2015	2,17	2,25	2,21	2,25	2,61	5,38	6,29	2,78	2,19	2,12	2,01	1,99	2,85
2016	2,07	1,99	2,01	2,09	2,15	2,27	2,32	2,21	2,2	2,07	1,99	1,92	2,11
2017	1,86	1,94	1,93	2,41	8,82	9,41	6,99	3,22	5,43	2,25	1,86	1,68	3,98
2018	1,59	1,75	1,91	1,89	1,99	2,13	2,06						
<b>Média Mensal</b>	1	0,964	1,08	1,78	3,74	3,89	4,37	2,62	1,79	1,32	1,06	0,867	1,9

Legenda	
	Falhas na série histórica
	Falhas nas médias mensais e anuais
	Dados a serem atualizados posteriormente
	Períodos escolhidos para Calibração e Validação dos modelos

## APÊNDICE F - SÉRIE FLUVIOMÉTRICA DA ESTAÇÃO FAZENDA CAJUEIRO PREENCHIDA

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média Anual
1973								1,35	3,26	1,9	0,413	0,362	
1974	0,306	0,34	0,68	1,99	7,28	2,85	5,42	1,89	0,616	0,486	0,41	0,324	1,88
1975	0,314	0,282	0,351	0,739	3,03	7,76	9,9	3,65	4,23	1,17	0,914	0,865	2,77
1976	0,768	0,714	0,757	1,87	1,08	0,788	0,804	0,592	0,516	0,729	0,462	0,444	0,794
1977	0,419	0,413	0,495	1,38	10	5,98	5,86	4,08	1,22	1,24	0,87	0,794	2,73
1978	0,686	0,854	3,53	1,14	6,48	2,17	7,03	4,56	1,89	1,16	0,923	0,856	2,61
1979	0,77	0,819	0,934	1,01	1,56	2,01	2,45	0,995	1,22	0,78	0,712	0,757	1,17
1980	0,705	2,06	1,11	0,72	0,785	1,06	1,5	0,715	0,772	1,36	0,5	0,431	0,976
1981	0,423	0,429	2,1	0,55	0,456	0,708	0,566	0,468	0,41	0,324	0,311	0,284	0,586
1982	0,259	0,348	0,266	1,71	1,83	2,75	2,47	1,48	0,96	0,57	0,34	0,37	1,11
1983	0,34	0,311	0,315	0,291	0,248	0,294	0,342	0,377	0,244	0,19	0,185	0,152	0,274
1984	0,15	0,116	0,316	2,01	2,25	1,87	2,88	0,485	1,13	0,273	0,188	0,133	0,984
1985	0,095	0,169	0,26	3,79	1,86	3,5	4,46	3,72	1,01	0,324	0,277	0,385	1,66
1986	0,349	0,34	0,26	2,14	6,69	4,34	4,12	1,7	1,47	2,17	1,28	0,785	2,14
1987	0,599	0,465	0,513	0,602	1,03	2,09	5,26	4,37	0,711	0,444	0,384	0,35	1,4
1988	0,306	0,289	0,487	1,19	3,83	5,65	12,3	1,77	1,26	0,659	0,57	0,55	2,4
1989	0,548	0,303	0,619	4,98	15,3	9,62	12,3	3,25	4,49	1,94	1,25	2,62	4,77
1990	1,11	0,903	0,814	0,93	0,908	1,16	3,16	1,3	0,835	0,898	0,618	0,813	1,12
1991	1,04	0,952	0,96	0,973	5,23	5,02	1,58	2,67	0,917	0,594	0,507	0,427	1,74
1992	1,39	1,15	1,53	3,12	0,538	2,02	3,29	0,793	0,989	0,527	0,455	0,45	1,36
1993	0,339	0,76	0,839	0,366	0,491	2,42	0,914	0,559	0,344	1,88	0,431	0,312	0,805
1994	0,278	0,31	0,312	0,473	0,984	8,47	6,3	1,06	0,683	0,433	0,337	0,305	1,66
1995	0,293	0,244	0,222	0,77	1,75	4,02	2,99	1,04	0,9	0,349	0,643	0,288	1,13
1996	0,297	0,268	0,235	4,09	3,82	5,86	2,5	5,81	1,66	0,766	0,55	0,519	2,2
1997	0,6	0,382	0,872	3	6,14	5,48	4,12	3,03	0,912	0,551	0,425	0,369	2,16
1998	0,352	0,325	0,329	0,43	0,627	4,71	3,22	1,13	0,591	0,423	0,352	0,602	1,09
1999	0,432	0,359	0,347	0,342	2,85	2,36	3,16	1,3	0,787	2,5	2,66	0,34	1,45
2000	0,352	0,843	0,54	1,98	1,33	4,34	2,75	2,27	1,94	0,618	0,406	0,464	1,49
2001	0,313	0,264	0,273	0,386	0,381	1,22	2,88	2,55	0,964	1,7	0,479	0,446	0,989
2002	3,08	1,68	0,618	0,515	2,66	2,49	3,17	1,1	0,805	0,471	0,339	0,364	1,44
2003	0,319	0,336	0,372	0,327	0,534	0,523	0,559	0,454	0,359	0,476	3,53	0,265	0,671
2004	4,74	2,74	0,437	0,404	0,849	2,27	2,44	2,07	1,11	0,483	0,296	0,215	1,5
2005	0,207	0,209	0,319	1,28	6,98	3,24	5,13	2,37	0,913	0,48	0,316	0,521	1,83
2006	0,29	0,272	0,433	0,534	5,34	9,44	4,65	2,68	3,44	4,13	1,07	0,766	2,75
2007	0,705	0,726	2,42	4,57	11,27	4,18	5,58	6,46	2,41	1,45	1,11	0,951	3,49
2008	0,909	0,89	1,67	1,86	10,4	4,02	8,25	3,71	1,92	1,88	1,64	1,54	3,22
2009	1,19	1,17	1,27	1,57	9,37	12,01	9,29	12,5	5,09	2,7	2,02	1,9	5,01
2010	1,9	1,93	2	5,75	4,53	11,1	7,73	4	6,11	3,22	2,72	2,59	4,47
2011	2,63	2,87	2,88	3,55	6,85	3,09	6,74	5,27	3,38	3,14	3,28	2,71	3,87
2012	2,64	2,69	1,36	2,48	2,6	2,67	3,45	3,58	2,73	3,01	2,47	2,42	2,68
2013	2,43	2,42	2,49	2,72	3,54	3,6	10,54	6,17	2,82	6,8	2,58	2,52	4,05
2014	2,43	2,51	2,52	2,83	4,88	3,19	5,83	3,71	2,86	3,14	2,51	0,85	3,11
2015	2,17	2,25	2,21	2,25	2,61	5,38	6,29	2,78	2,19	2,12	2,01	1,99	2,85
2016	2,07	1,99	2,01	2,09	2,15	2,27	2,32	2,21	2,2	2,07	1,99	1,92	2,11
2017	1,86	1,94	1,93	2,41	8,82	9,41	6,99	3,22	5,43	2,25	1,86	1,68	3,98
2018	1,59	1,75	1,91	1,89	1,99	2,13	2,06						
<b>Média Mensal</b>	1	0,964	1,05	1,78	3,87	4,03	4,57	2,69	1,79	1,44	1,06	0,87	1,9
<b>Legenda</b>													
	Valores preenchidos na série histórica												
	Valores preenchidos nas médias mensais e anuais												
	Dados a serem atualizados posteriormente												
	Períodos escolhidos para Calibração e Validação dos modelos												