



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP

Faculdade de Tecnologia - FT

Mestrado em Tecnologia

Aplicação do SMAP para a Bacia do Rio Tietê

Thaís Rocha Brianezi

Limeira – SP

2015



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP

Faculdade de Tecnologia - FT

Aplicação do SMAP para a Bacia do Rio Tietê

Thaís Rocha Brianezi

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação da Faculdade de Tecnologia da Unicamp para obtenção do título de Mestra em Tecnologia, na Área de Tecnologia e Inovação.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ieda Geriberto Hidalgo

Co-orientador: Prof. Dr. André Franceschi de Angelis

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A
VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO
DEFENDIDA PELA ALUNA THAÍS
ROCHA BRIANEZI ORIENTADA PELA
PROFA. DRA. IEDA GERIBERTO
HIDALGO E CO-ORIENTADA PELO
PROF. DR. ANDRÉ FRANCESCHI DE
ANGELIS.

Limeira – SP

2015

III

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Tecnologia
Felipe de Souza Bueno - CRB 8/8577

Brianezi, Thaís Rocha, 1979-
B76a Aplicação do SMAP para a Bacia do rio Tietê / Thaís Rocha Brianezi. –
Limeira, SP : [s.n.], 2015.

Orientador: Ieda Geriberto Hidalgo.

Coorientador: Andre Franceschi de Angelis.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia.

1. Usinas hidrelétricas. 2. Modelos hidrológicos. 3. Vazões naturais - Previsão. 4. Tietê, Rio, Bacia (SP). I. Hidalgo, Ieda Geriberto, 1976-. II. Angelis, Andre Franceschi de, 1969-. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Tecnologia. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: SMAP application to the Tiete river Basin

Palavras-chave em inglês:

Hydroelectric power plants

Hydrological models

Streamflow - Forecasting

Tietê River Watershed (Brazil)

Área de concentração: Tecnologia e Inovação

Titulação: Mestra em Tecnologia

Banca examinadora:

Ieda Geriberto Hidalgo [Orientador]

João Eduardo Gonçalves Lopes

Paulo de Barros Correia

Data de defesa: 28-08-2015

Programa de Pós-Graduação: Tecnologia

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP

Faculdade de Tecnologia - FT

Dissertação de Mestrado Acadêmico

Aplicação do SMAP para a Bacia do Rio Tietê

Autora: Thaís Rocha Brianezi

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ieda Geriberto Hidalgo

Co-orientador: Prof. Dr. André Franceschi de Angelis

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:

Prof^a. Dr^a. Ieda Geriberto Hidalgo, Presidente

FT/UNICAMP

Prof. Dr. João Eduardo Gonçalves Lopes

FEC/ UNICAMP

Prof. Dr. Paulo de Barros Correia

FEM/ UNICAMP

Limeira, 28 de agosto de 2015.

Agradecimentos:

Em primeiro lugar a Deus, por ter me dado vida, sabedoria e força para não desistir.

A professora Ieda Geriberto Hidalgo e ao professor André Franceschi de Angelis, que me orientaram, pela dedicação, paciência, apoio e pelos conhecimentos divididos ao longo destes anos.

A colaboração e grande ajuda do professor João Eduardo Gonçalves Lopes.

Ao apoio da minha mãe Maria da Glória de Souza Wagner e do meu pai Dinarte Rocha Filho (*in memoriam*) e por eles acreditarem sempre em mim.

Pela ajuda do meu irmão Rodrigo Rocha, da minha cunhada Angela Ivonne Briones Cáceres Rocha, da minha Tia Maria Selma de Souza Castro, da minha prima Carolina de Souza Castro, do meu padastro Friedrich Wagner(*in memoriam*), das minhas amigas Luzinete Caetano dos Santos e Luciana Mayumi Yoshizako Ode.

Ao apoio da Anamaria Barbosa Rosa, Shirley Cristina Rosseto e da Transportadora Americana Ltda.

Ao meu filho Pedro Rocha Brianezi pela companhia e compreensão.

RESUMO

O planejamento da operação de Usinas Hidrelétricas (UHEs) depende fortemente das previsões de vazão dos rios, que são feitas a partir de modelos matemáticos, estocásticos e hidrológicos, usualmente incorporados a sistemas computacionais. Atualmente, encontram-se diferenças significativas entre os valores previstos e os efetivamente observados. Aumentar a precisão da previsão de vazão é uma forma de auxiliar as decisões e estratégias da produção e armazenamento de energia nas UHEs, aumentando a sua eficiência e reduzindo os custos de complementação térmica. Este trabalho teve como objetivo realizar previsão de vazão para a bacia do rio Tietê utilizando o modelo *Soil Moisture Accounting Procedure* (SMAP). A sequência de procedimentos utilizada na aplicação do modelo foi: (1) definição dos objetos de estudo, (2) definição dos períodos considerados para estudo, (3) levantamento dos dados pluviométricos, (4) levantamento dos dados dos objetos de estudo, (5) levantamento das vazões observadas, (6) localização e correção de inconsistências das vazões observadas, (7) calibração automática dos parâmetros do modelo, (8) calibração manual dos parâmetros do modelo (9) ajuste automático dos pesos dos postos pluviométricos, (10) validação do modelo, (11) aplicação do modelo e (12) análise dos resultados. Como objetos de estudo foram selecionados três Postos Fluviométricos (PFs) localizados na bacia do rio Tietê: Invernada Recreio (INR), Gavião Peixoto (GAP) e Fazenda São Benedito (FSB). Utilizando dados de séries históricas de chuva e vazão, foi realizada a calibração e validação do modelo para cada um dos PFs. Após esta etapa, foram realizadas previsões de vazão diária para alguns períodos. Os resultados obtidos mostraram que o modelo SMAP teve um bom desempenho.

Palavras-chave: usinas hidrelétricas, modelo hidrológico, previsão de vazão, bacia do rio Tietê, SMAP.

ABSTRACT

The planning of hydropower plants operation (HPPs) strongly depends on the flow forecasts of the rivers, which are made from mathematical, stochastic and hydrological models usually incorporated into computer systems. Currently, there are significant differences between the predicted values and the actually observed. Increase the accuracy of flow forecast is a way to help the decisions and strategies of energy production and storage in HPPs, increasing their efficiency and reducing the thermal complementation costs. This study aimed to carry out flow forecast for the Tiete River basin using the Soil Moisture Model Accounting Procedure (SMAP). The sequence of procedures used to apply the model was: (1) defining the objects of study, (2) definition of the periods considered for study, (3) survey of rainfall data, (4) collection of data of the objects of study, (5) survey of the observed flow rates, (6) location and correction of the inconsistencies observed flow rates, (7) automatic calibration of the model parameters, (8) manual calibration of the model parameters, (9) automatic adjustment of rainfall stations weights (10) validation of the calibrated model, (11) application of the model and (12) results analysis. As objects of study we selected three Fluvimetric Stations (FSs) located in the Tiete River Basin: Invernada Recreio (INR), Gavião Peixoto (GAP) and Fazenda São Benedito (FSB). Using historical series of flow and rain, the model's calibration and validation were performed for each of the PFs. After this step, daily flow forecasts for some periods were performed. The obtained results showed that the SMAP model has a great performance.

Keywords: hydropower plants, hydrological model, flow forecast, Tiete River basin, SMAP.

Sumário

1. Introdução	17
1.1 Planejamento da Operação no Sistema Elétrico Brasileiro	18
1.2 Importância da Previsão de Vazão	21
1.3 Objetivos do Trabalho	24
2. Modelo <i>Soil Moisture Accounting Procedure</i> (SMAP)	25
2.1 Classificação de Modelos de Previsão de Vazão	26
2.2 Descrição do SMAP	26
2.2.1 Versão Diária do SMAP	30
3. Metodologia	34
3.1 Sequência de Procedimentos	35
3.2 Ferramenta e Método de Solução dos Procedimentos (7), (8) e (9)	36
3.3 Hidrograma	39
3.4 Indicadores de Desempenho	40
4. Estudo de Caso	42
4.1 Etapa de Definição do Conjunto dos Dados de Entrada	43
4.2 Etapa de Levantamento de Dados	43
4.3 Etapa de Localização e Correção de Inconsistências	45
4.4 Etapa de Calibração e Ajuste do Modelo	46
4.4.1 Posto Invernada Recreio (INR)	46
4.4.2 Posto Gavião Peixoto (GAV)	49
4.4.3 Posto Fazenda São Benedito (FSB)	53
4.5 Etapa de Validação do Modelo	58
4.5.1 Posto Invernada Recreio (INR)	58
4.5.2 Posto Gavião Peixoto (GAV)	59
4.5.3 Posto Fazenda São Benedito (FSB)	61
4.6 Etapa de Aplicação do Modelo	62
4.6.1 Posto Invernada Recreio (INR)	63

4.6.2 Posto Gavião Peixoto (GAV)	64
4.6.3 Posto Fazenda São Benedito (FSB)	66
4.7 Etapa de Análise dos Resultados.....	68
4.7.1 Posto Invernada Recreio (INR)	68
4.7.2 Posto Gavião Peixoto (GAV)	71
4.7.3 Posto Fazenda São Benedito (FSB).....	73
4.8 Previsão de Vazão para INR, GAV e FSB de 15 e 30 dias	76
5. Conclusões e Trabalhos Futuros	80
5.1 Conclusões	81
5.2 Trabalhos Futuros.....	82
6. Referências Bibliográficas	83

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Matriz energética brasileira (MME, 2015 adaptada).	18
Figura 1.2 - Principais instituições do atual modelo do SEB (ONS, 2015b adaptada).	19
Figura 2.1 – Ciclo hidrológico (LOPES, 1982 - adaptada).	27
Figura 2.2 – Esquema do modelo SMAP.	27
Figura 2.3 – Estrutura do modelo SMAP na versão diária (LOPES, 1982 - adaptada).	31
Figura 3.1 – Fluxograma dos procedimentos para o uso do modelo SMAP.	35
Figura 3.2 - Exemplo de planilha com o modelo SMAP.	37
Figura 3.3 – Parâmetros do <i>Solver</i>	38
Figura 4.1 – Chuva média na bacia do rio Tietê no período da calibração - 12/2003 a 08/2005.	43
Figura 4.2 – Bacia hidrográfica do rio Tietê (ANA, 2015 adaptada).	44
Figura 4.3 – Hidrograma com o resultado da calibração do <i>Solver</i> - Posto INR.	47
Figura 4.4 – Hidrograma do resultado da calibração manual - Posto INR.	48
Figura 4.5 – Hidrograma com o resultado do ajuste do <i>Solver</i> - Posto INR.	49
Figura 4.6 – Hidrograma com o resultado da calibração do <i>Solver</i> - Posto GAV.	51
Figura 4.7 – Hidrograma do resultado da calibração manual - Posto GAV.	52
Figura 4.8 – Hidrograma com o resultado do ajuste do <i>Solver</i> - Posto GAV.	53
Figura 4.9 – Hidrograma com o resultado da calibração do <i>Solver</i> - Posto FSB.	55
Figura 4.10 – Hidrograma do resultado da calibração manual - Posto FSB.	56
Figura 4.11 – Hidrograma com o resultado do ajuste do <i>Solver</i> - Posto FSB.	57
Figura 4.12 – Hidrograma com o resultado da validação - Posto INR.	59
Figura 4.13 – Hidrograma com o resultado da validação - Posto GAV.	60
Figura 4.14 – Hidrograma com o resultado da validação – Posto FSB.	62

Lista de Tabelas

Tabela 1.1 – Locais e modelos dos postos para os quais não são aplicados o PREVIVAZ.	21
Tabela 1.2 – Aproveitamentos hidrelétricos da bacia do rio Paraná, rios e agentes de geração que utilizam os modelos SMAP e PREVIVAZ (ONS, 2013 - adaptada).	22
Tabela 2.1 – Parâmetros de entrada do modelo SMAP.	28
Tabela 2.2 – Faixa de limites dos parâmetros do SMAP.	28
Tabela 2.3 – Valores da abstração inicial (A_i).	29
Tabela 2.4 – Valores da capacidade de campo (Capc).	29
Tabela 2.5 – Valores de recessão do escoamento básico (Kkt).	29
Tabela 2.6 – Variáveis de entrada e saída do modelo SMAP.	30
Tabela 3.1 – Classificação dos indicadores (MORIASI et al., 2007).	41
Tabela 4.1 – Postos fluviométricos da bacia do rio Tietê (ANA, 2015b - adaptada).	45
Tabela 4.2 – Inconsistências nos dados.	45
Tabela 4.3 – Inicialização do modelo - Posto INR.	46
Tabela 4.4 – Parâmetros calibrados pelo <i>Solver</i> e indicadores de desempenho – Posto INR.	46
Tabela 4.5 – Parâmetros calibrados manualmente e indicadores de desempenho - Posto INR.	48
Tabela 4.6 – Pesos ajustados pelo <i>Solver</i> e indicadores de desempenho - Posto INR.	49
Tabela 4.7 – Inicialização do modelo - Posto GAV.	50
Tabela 4.8 – Parâmetros calibrados pelo <i>Solver</i> e indicadores de desempenho - Posto GAV.	50
Tabela 4.9 – Parâmetros calibrados manualmente e indicadores de desempenho - Posto GAV.	52
Tabela 4.10 – Pesos ajustados pelo <i>Solver</i> e indicadores de desempenho - Posto GAV.	53
Tabela 4.11 – Inicialização do modelo - Posto FSB.	54
Tabela 4.12 – Parâmetros calibrados pelo <i>Solver</i> e indicadores de desempenho - Posto FSB.	54
Tabela 4.13 – Parâmetros calibrados manualmente e indicadores de desempenho - Posto FSB.	56
Tabela 4.14 – Pesos ajustados pelo <i>Solver</i> e indicadores de desempenho - Posto FSB.	57
Tabela 4.15 – Valores para inicialização do uso do modelo - Posto INR.	58
Tabela 4.16 – Resultado dos indicadores de desempenho - Posto INR.	58
Tabela 4.17 – Valores para inicialização do uso do modelo - Posto GAV.	59
Tabela 4.18 – Resultado dos indicadores de desempenho - Posto GAV.	60

Tabela 4.19 – Valores para inicialização do uso do modelo - Posto FSB.	61
Tabela 4.20 – Resultado dos indicadores de desempenho - Posto FSB.	61
Tabela 4.21 – Valores para inicialização do modelo - Posto INR.	63
Tabela 4.22 – Previsão de vazão de 21-27/02/2009 - Posto INR.	63
Tabela 4.23 – Previsão de vazão 08-14/03/2009 - Posto INR.	64
Tabela 4.24 – Previsão de vazão 01-07/06/2009 - Posto INR.	64
Tabela 4.25 – Previsão de vazão 01-07/11/2009 - Posto INR.	64
Tabela 4.26 – Valores para inicialização do modelo - Posto GAV.	65
Tabela 4.27 – Previsão de vazão de 21-27/02/2009 - Posto GAV.	65
Tabela 4.28 – Previsão de vazão de 08-14/03/2009 - Posto GAV.	65
Tabela 4.29 – Previsão de vazão de 01-07/06/2009 - Posto GAV.	66
Tabela 4.30 – Previsão de vazão de 01-07/11/2009 - Posto GAV.	66
Tabela 4.31 – Valores para inicialização do modelo - Posto FSB.	66
Tabela 4.32 – Previsão de vazão de 21-27/02/2009 - Posto FSB.	67
Tabela 4.33 – Previsão de vazão de 8-14/03/2009 - Posto FSB.	67
Tabela 4.34 – Previsão de vazão de 01-07/06/2009 - Posto FSB.	67
Tabela 4.35 – Previsão de vazão de 01-07/11/2009 - Posto FSB.	68
Tabela 4.36 – Previsão de vazão de 21-27/02/2009 e indicadores de desempenho - Posto INR.	69
Tabela 4.37 – Previsão de vazão de 08-14/03/2009 e indicadores de desempenho - Posto INR.	69
Tabela 4.38 – Previsão de vazão de 01-07/06/2009 e indicadores de desempenho - Posto INR.	70
Tabela 4.39 – Previsão de vazão de 01-07/11/2009 e indicadores de desempenho - Posto INR.	70
Tabela 4.40 – Previsão de vazão de 21-27/02/2009 e indicadores de desempenho - Posto GAV.	71
Tabela 4.41 – Previsão de vazão de 08-14/03/2009 e indicadores de desempenho - Posto GAV.	71
Tabela 4.42 – Previsão de vazão de 01-07/06/2009 e indicadores de desempenho - Posto GAV.	72
Tabela 4.43 – Previsão de vazão de 01-07/11/2009 e indicadores de desempenho - Posto GAV.	73
Tabela 4.44 – Previsão de vazão de 21-27/02/2009 e indicadores de desempenho - Posto FSB.	73
Tabela 4.45 – Previsão de vazão de 09-15/03/2009 e indicadores de desempenho - Posto FSB.	74
Tabela 4.46 – Previsão de vazão de 01-07/06/2009 e indicadores de desempenho - Posto FSB.	74
Tabela 4.47 – Previsão de vazão de 01-07/11/2009 e indicadores de desempenho - Posto FSB.	75

Tabela 4.48– Previsão de vazão de 01-15/06/2009 e 01-30/06/2015 Posto INR.	76
Tabela 4.49– Previsão de vazão de 01-15/06/2009 e 01-30/06/2015 Posto GAV.	77
Tabela 4.50– Previsão de vazão de 01-15/06/2009 e 01-30/06/2015 Posto FSB.	78
Tabela 4.51 – Indicadores de desempenho de 01-15/06/2009 e 01-30/06/2009- Posto INR.	79
Tabela 4.52 – Indicadores de desempenho de 01-15/06/2009 e 01-30/06/2009- Posto INR.	79
Tabela 4.53 – Indicadores de desempenho de 01-15/06/2009 e 01-30/06/2009- Posto INR.	79

Lista de Siglas e Abreviaturas

ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
CBA	Companhia Brasileira de Alumínio
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CEO	<i>Chief Executive Officer</i>
DRP	Desvio Relativo Percentual
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FSB	Fazenda São Benedito
GAV	Gavião Peixoto
GRG	Gradiente Reduzido Generalizado
INR	Invernada Recreio
MME	Ministério de Minas e Energia
NSE	<i>Nash-Sutcliffe Efficiency</i>
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PBIAS	Percentual de Tendências
PF	Posto Fluviométrico
PMO	Programa Mensal da Operação
RDP	Razão do Desvio Padrão
SCS	<i>Soil Conservation Service</i>
SEB	Sistema Elétrico Brasileiro
SIN	Sistema Interligado Nacional
SMAP	<i>Soil Moisture Accounting Procedure</i>
UHE	Usina Hidrelétrica

Lista de Símbolos

Ad	área de drenagem [km ²].
Ai	abstração inicial [mm].
$Capc$	capacidade de campo [%].
$Crec$	parâmetro de recarga subterrânea [%].
Eb	escoamento básico [mm].
$Ebin$	vazão básica inicial [m ³ /s].
Ed	escoamento direto [mm].
Ep	evaporação potencial [mm].
Er	evapotranspiração real [mm].
Es	escoamento superficial [mm].
i	intervalo de tempo [dia].
$K2t$	constante de recessão do escoamento superficial [dias].
Kkt	constante de recessão do escoamento básico [dias].
n	número de intervalos [dias].
P	chuva média na bacia [mm].
$pcof$	coeficiente de ajuste da chuva média da bacia [adimensional].
Q_i^{prev}	vazão prevista no dia i [m ³ /s].
Q_i^{obs}	vazão observada no dia i [m ³ /s].
$\overline{Q^{obs}}$	vazão média observada [m ³ /s].
Rec	recarga subterrânea [mm].
$Rsolo$	reservatório do solo [mm].
$Rsub$	reservatório subterrâneo [mm].
$Rsup$	reservatório da superfície da bacia [mm].
Str	capacidade de saturação do solo [mm].
$Supin$	vazão superficial inicial [m ³ /s].
$Tuin$	teor de umidade inicial [adimensional].

1. Introdução

O planejamento da produção hidrelétrica depende fortemente das previsões de vazão dos rios, que são feitas a partir de modelos matemáticos, estocásticos e hidrológicos, usualmente incorporados a sistemas computacionais. Atualmente, encontram-se diferenças significativas entre os valores previstos e os efetivamente observados. Aumentar a precisão da previsão de vazão é uma forma de auxiliar as decisões e estratégias da produção e armazenamento de energia nas Usinas Hidrelétricas (UHEs), aumentando a sua eficiência e reduzindo os custos de complementação térmica. Este trabalho teve como objetivo realizar previsão de vazão para a bacia do rio Tietê utilizando o modelo *Soil Moisture Accounting Procedure* (SMAP).

Este capítulo está dividido em três seções. Na primeira é apresentado o planejamento da operação do sistema elétrico brasileiro. Na segunda seção é destacada a importância de prever vazão e são listados os modelos utilizados para realizar previsão de vazão. Na terceira seção são definidos os objetivos da dissertação.

1.1 Planejamento da Operação no Sistema Elétrico Brasileiro

Atualmente, o Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) atingiu 134.000 MW em potência instalada. A principal fonte de geração é a hidráulica, representando aproximadamente 67,90 % da matriz energética brasileira, Figura 1.1. A modalidade de energia mais consumida é a energia elétrica, os setores que mais utilizam são o industrial com 31 %, o residencial com 23 % e comercial com 17,5%. (MME, 2015).

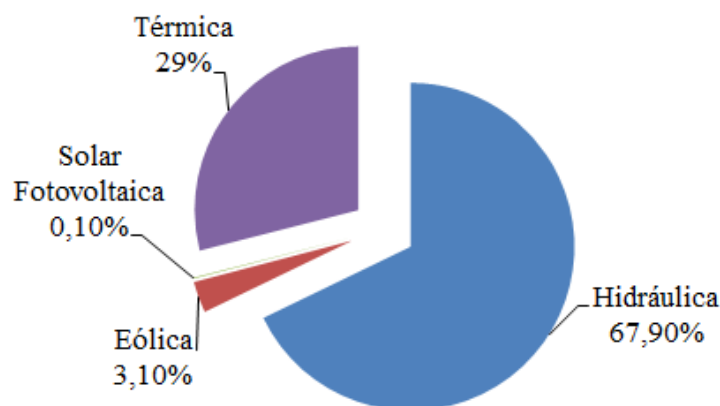


Figura 1.1 – Matriz energética brasileira (MME, 2015 adaptada).

O modelo atual de gestão do sistema elétrico tem como principais objetivos garantir a segurança de suprimento de energia elétrica, promover a modicidade tarifária e realizar inserção social no SEB. Este modelo prevê um conjunto de medidas a serem analisadas pelos agentes, como a exigência de contratação de totalidade da demanda por parte das distribuidoras e dos consumidores livres. Outra medida prevista é o monitoramento frequente da continuidade e da garantia de suprimento, pretendendo identificar ocorrências de desequilíbrios entre oferta e demanda. Para manter a modicidade tarifária, este modelo avalia a compra de energia elétrica realizada para distribuidoras através de leilões. É avaliado o critério de menor tarifa para que haja redução do custo de aquisição da energia elétrica e para que este menor custo beneficie os consumidores (ONS, 2015a).

Na Figura 1.2 são mostradas as principais instituições do atual modelo do SEB, que são:

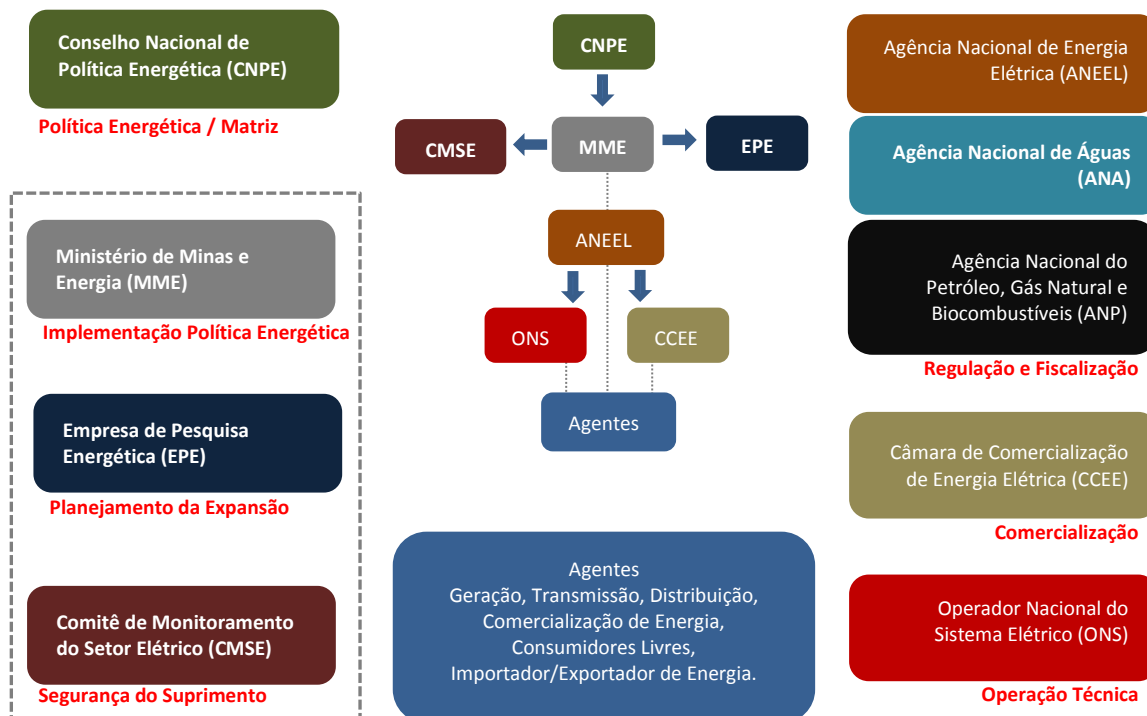


Figura 1.2 - Principais instituições do atual modelo do SEB (ONS, 2015b adaptada).

- **Conselho Nacional de Política Energética (CNPE):** é um órgão de suporte ao Presidente da República para elaboração de políticas e diretrizes de energia, chefiado pelo Ministro de Minas e Energia. Estabelece procedimento para programas específicos com objetivo de aproveitar os recursos naturais energéticos do país.
- **Ministério de Minas e Energia (MME):** é responsável pela elaboração do planejamento e execução de ações do Governo Federal na área da política energética.
- **Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE):** viabiliza a comercialização de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN). Realiza a administração dos contratos de compra e venda de energia elétrica.
- **Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS):** tem como objetivo realizar as atividades de coordenação e controle da operação de geração e transmissão de energia no SIN.
- **Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL):** tem a finalidade de regular a fiscalização a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica.

Para isto, ela verifica constantemente se estas atividades estão de acordo com as políticas e diretrizes do Governo Federal.

- **Empresa de Pesquisa Energética (EPE):** tem a finalidade de realizar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a auxiliar o planejamento do setor energético, para todas as fontes de energia, como energia elétrica, petróleo, gás natural, dentre outras.
- **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP):** é o órgão regulador das atividades que integram a indústria do petróleo e gás natural e a dos biocombustíveis.
- **Agência Nacional de Águas (ANA):** tem a função de coordenar e implementar a gestão compartilhada e integrada dos recursos hídricos e controlar o acesso a água.
- **Agentes:** Geração, Transmissão, Distribuição, Comercialização de Energia, Consumidores Livres, Importador/Exportador de Energia.
- **Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE):** é um comitê que tem como função principal monitorar e avaliar constantemente as condições de segurança e de suprimento de energia. Este comitê é composto pelo:
 - Ministro de Minas e Energia (coordenador);
 - Quatro representantes do MME e os *Chief Executive Officer* (CEOs) das instituições: ANEEL, CCEE, EPE, ANP e ONS.

O planejamento da operação de um sistema hidrelétrico tem como objetivo garantir uma política de operação, econômica e segura, para o sistema. O principal recurso a ser administrado é a água armazenada nos reservatórios, que tem taxas de renovação variáveis. A operação do sistema implica em decisões como despacho de usinas, manejo de comportas, vazão em vertedouros, manutenção de equipamentos e gerenciamento do volume hídrico.

Alguns dos fatores que dificultam este planejamento são: a diversidade hidrológica das regiões, as restrições dos usos da água, o número de UHEs numa mesma bacia hidrográfica, as grandes distâncias entre os recursos naturais disponíveis e as principais áreas de consumo, a dimensão da rede de transmissão, as restrições dos usos múltiplos da água (como o abastecimento urbano e industrial, navegação, irrigação, controle de cheias e pesca) e a presença

de múltiplos agentes econômicos com diferentes interesses (HIDALGO, 2009). Prever vazão auxilia o processo de planejamento do sistema elétrico.

1.2 Importância da Previsão de Vazão

Para realizar a previsão de vazão dos rios são utilizados modelos matemáticos, estocásticos e hidrológicos, usualmente incorporados a sistemas computacionais. Estes modelos utilizam dados como séries históricas de vazões, previsões de chuvas, parâmetros físicos das bacias, etc. Um dos modelos que é muito utilizado pelo ONS é modelo estocástico PREVIVAZ, que é um modelo de previsão de vazões médias semanais. Este modelo considera como insumo apenas as informações históricas de vazões naturais observadas nos locais de aproveitamentos hidrelétricos (GUILHON *et al.*, 2007).

PREVIVAZ
Modelo de previsão
de vazões da ONS
de vazões médias
semanais.

INTERESSANTE: O PREVIVAZ utiliza somente as séries históricas de vazões naturais observadas no local do aproveitamento.

No Brasil, o planejamento da operação do sistema hidrelétrico é feito pelo ONS. Ele utiliza e realiza periodicamente previsões de vazão para os locais de aproveitamentos hidrelétricos do SIN. Estas previsões têm como objetivo auxiliar a tomada de decisão para o planejamento e a operação eletro-energética, bem como promover o despacho centralizado das usinas, de maneira otimizada. O modelo estocástico PREVIVAZ é utilizado para realizar as previsões de vazão para o Programa Mensal da Operação (PMO) e suas revisões. Este modelo é aplicado para todos os postos, exceto para os que estão relacionados com outros modelos na Tabela 1.1, cujas referências podem ser encontradas em Lopes *et al.* (1982), Ballini *et al.* (2003), Laudanna *et al.* (2005), Gomes *et al.* (2010), Castanharo *et al.* (2007), Guilhon *et al.* (2007), Batista (2009), Souza e Souza (2010) e ONS (2011).

Tabela 1.1 – Locais e modelos dos postos para os quais não são aplicados o PREVIVAZ.

Local	Modelo
Bacia do rio São Francisco (reservatório de Sobradinho)	CPINS
Bacia do rio São Francisco (aproveitamento de Três Marias)	NEURO3M
Trecho incremental entre Itumbiara e São Simão na bacia do rio Paranaíba	MGB-IPH
Bacia do rio Iguaçu	FUZZY
Bacia do rio Paraná no trecho incremental entre Porto Primavera Rosana e Itaipu	SMAPMEL
Toda a bacia do rio Grande até a UHE Porto Colômbia, para a bacia do rio Paranapanema e bacia do alto rio Paranaíba até a UHE	SMAP

Itumbiara	
Bacia do rio Uruguai	MPCV

O SMAP é utilizado para a previsão de vazões na primeira semana após esta semana utiliza-se o PRVIVAZ

Atualmente, o ONS utiliza o modelo SMAP para realizar previsões de vazão para toda a bacia do rio Grande até a UHE Porto Colômbia, para a bacia do rio Paranapanema e bacia do alto rio Paranaíba até a UHE Itumbiara. Ele é utilizado na previsão de vazão para a primeira semana do PMO. Para as outras semanas, o ONS utiliza o PREVIVAZ (ONS, 2013). A Tabela 1.2 lista os aproveitamentos hidrelétricos da bacia do rio Paraná, os rios e os agentes de geração que utilizam os modelos SMAP e PREVIVAZ.

Tabela 1.2 – Aproveitamentos hidrelétricos da bacia do rio Paraná, rios e agentes de geração que utilizam os modelos SMAP e PREVIVAZ (ONS, 2013 - adaptada).

Aproveitamento Hidrelétrico	Rio	Agente de Geração
Caconde	Grande	AES Tietê
Euclides da Cunha	Grande	AES Tietê
Armando Salles de Oliveira	Grande	AES Tietê
Água Vermelha	Grande	AES Tietê
Piraju	Paranapanema	CBA
Ourinhos	Paranapanema	CBA
Camargos	Grande	CEMIG
Itutinga	Grande	CEMIG
Jaguara	Grande	CEMIG
Igarapava	Grande	CEMIG
Volta Grande	Grande	CEMIG
Emborcação	Paranaíba	CEMIG
Nova Ponte	Paranaíba	CEMIG
Miranda	Paranaíba	CEMIG
Capim Branco ¹	Paranaíba	CEMIG
Funil-Grande	Grande	CEMIG

Corumbá	Paranaíba	Corumbá Concessões
Armando Avellanal Laydner	Paranapanema	Duke Energy
Chavantes	Paranapanema	Duke Energy
Lucas Nogueira Garcez	Paranapanema	Duke Energy
Canoas I	Paranapanema	Duke Energy
Canoas II	Paranapanema	Duke Energy
Capivara	Paranapanema	Duke Energy
Taquaruçu	Paranapanema	Duke Energy
Rosana	Paranapanema	Duke Energy
Espora	Paranaíba	Espora Energética
Furnas	Grande	FURNAS
Mascarenhas de Moraes	Grande	FURNAS
Estreito	Grande	FURNAS
Porto Colômbia	Grande	FURNAS
Marimbondo	Grande	FURNAS
Itumbiara	Paranaíba	FURNAS
Corumbá I	Paranaíba	FURNAS

A tarefa de prever vazão é complexa e, apesar do grande número de modelos, existem ainda muitos erros de previsão. Por exemplo, [GUILHON *et al.* \(2007\)](#) reportam erros de até 68% nas previsões de vazão para as bacias dos rios Iguaçu, Paraná e Paranaíba, entre 2004 e 2006 usando o PREVIVAZ.

Portanto, melhorar a qualidade da previsão de vazão é uma forma de auxiliar nas decisões e estratégias de planejamento da produção de energia nas hidrelétricas, aumentando sua eficiência de geração e reduzindo os custos de complementação térmica. Assim, é clara a importância do planejamento da operação para o funcionamento da infraestrutura elétrica do país.

1.3 Objetivos do Trabalho

Neste trabalho foi analisada a aplicação do modelo SMAP para a bacia do rio Tietê. O modelo foi calibrado e validado tendo em vista a obtenção de uma melhor precisão das suas previsões.

Como objetos de estudo foram selecionados três Postos Fluviométricos (PFs) localizados na bacia do rio Tietê: Invernada Recreio (INR), Gavião Peixoto (GAP) e Fazenda São Benedito (FSB). Utilizando dados de séries históricas de chuva e vazão, foram realizadas a calibração e validação do modelo para cada um dos PFs. Após esta etapa, foram realizadas simulações de previsões de vazão diária para alguns períodos. Os resultados obtidos foram comparados com as previsões de vazão do modelo PREVIVAZ.

Para avaliar o resultado das previsões foram utilizados os indicadores de desempenho coeficiente de eficiência *Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)*, Percentual de Tendências (*PBIAS*), Razão do Desvio Padrão (*RDP*), Desvio Relativo Percentual (*DRP*) e o hidrograma.

Este trabalho está dividido em seis capítulos. Neste primeiro capítulo foi feita a introdução. No segundo capítulo é apresentado o modelo SMAP com detalhes dos conceitos, descrição, funções e calibração. No terceiro capítulo é descrita a metodologia utilizada. No quarto capítulo são apresentados os estudos de casos e resultados. No quinto capítulo é apresentada a conclusão do trabalho. Ao final, estão as referências bibliográficas.

2. Modelo *Soil Moisture Accounting Procedure* (SMAP)

O SMAP é um modelo determinístico de simulação hidrológica do tipo transformação chuva-vazão. Modelos do tipo transformação chuva-vazão utilizam dados de previsão de chuva e podem ser utilizados para previsão de vazão para locais específicos. Esses modelos utilizam técnicas de modelagem hidrológica.

Este capítulo está dividido em duas seções. Na primeira, é listada a classificação de modelos para previsão de vazão incluindo o modelo SMAP. Na segunda, é apresentada uma descrição completa do modelo SMAP.

2.1 Classificação de Modelos de Previsão de Vazão

Os modelos de previsão de vazão podem ser classificados como modelos empíricos ou conceituais em relação à metodologia de cálculo. Ambos podem incluir em sua estrutura as previsões de chuva (TUCCI e COLLISCHONN, 2007). Podem utilizar técnicas como: determinística, estocástica, estatística, etc.

Na concepção de modelos empíricos não é necessária a representação dos processos físicos envolvidos. Estes modelos podem ter sua estrutura estocástica que emprega conceitos probabilísticos. Os modelos empíricos são qualificados por sua agilidade na preparação e na atualização dos parâmetros em tempo real.

Os modelos conceituais consideram o comportamento físico dos processos do sistema hidrológico. Os modelos conceituais chamados de chuva-vazão buscam representar os processos deste sistema em algoritmos baseados na relação entre chuva e vazão. A transformação da chuva em vazão ocorre por meio do balanço hídrico no solo, dos escoamentos superficial e subterrâneo e da evapotranspiração. Os modelos conceituais do tipo transformação chuva-vazão podem ser utilizados para previsão de vazão para locais específicos, associados a técnicas de modelagem hidrológica.

SMAP - Modelo conceitual

Neste trabalho usamos o modelo conceitual SMAP para previsão de vazão diária. Este modelo foi escolhido devido ao uso crescente deste pelo ONS e por estar sendo aprimorado constantemente. Atualmente, ele é utilizado para previsão de vazão nos aproveitamentos hidrelétricos listados na Tabela 1.2.

2.2 Descrição do SMAP

O SMAP é um modelo conceitual determinístico de simulação hidrológica do tipo transformação chuva-vazão, que usa internamente a ideia do ciclo hidrológico retratado na Figura 2.1. Na primeira versão do modelo, as previsões de vazão eram calculadas para intervalo de tempo diário, mais tarde, foram apresentadas versões horária e mensal com algumas modificações na sua estrutura (LOPES, 1982).

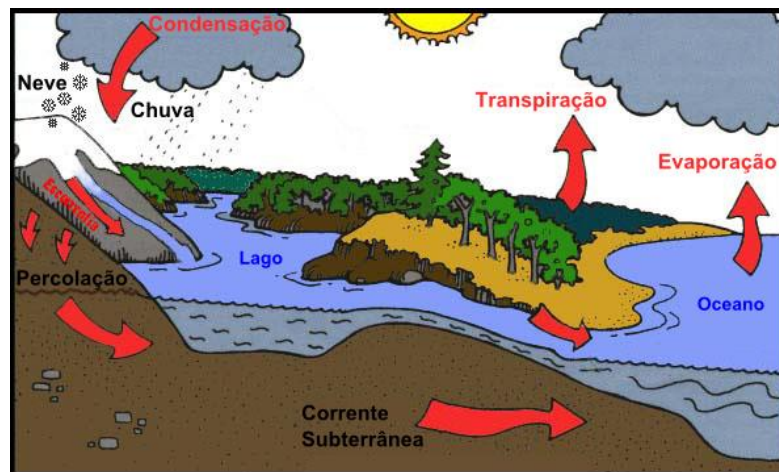


Figura 2.1 – Ciclo hidrológico (LOPES, 1982 - adaptada).

Este modelo foi desenvolvido em 1981, por João Eduardo Gonçalves Lopes, Benedito Pinto Ferreira Braga Junior e João Gilberto Lotufo Conejo, apresentado no *International Symposium on Rainfall-Runoff Modeling* realizado em Mississippi, U.S.A. e publicado pela *Water Resources Publications* em 1982. Eles desenvolveram este modelo baseado na experiência da aplicação dos modelos *Stanford Watershed IV* e *Mero* em trabalhos realizados no Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE).

A Figura 2.2 mostra o esquema simplificado da utilização do modelo SMAP. Para utilizá-lo são necessários os dados dos parâmetros de entrada e das variáveis de entrada. Os parâmetros de entrada são calibrados e validados em períodos diferentes. Após esta etapa, são realizados os cálculos utilizando o modelo SMAP e é gerada a variável de saída.

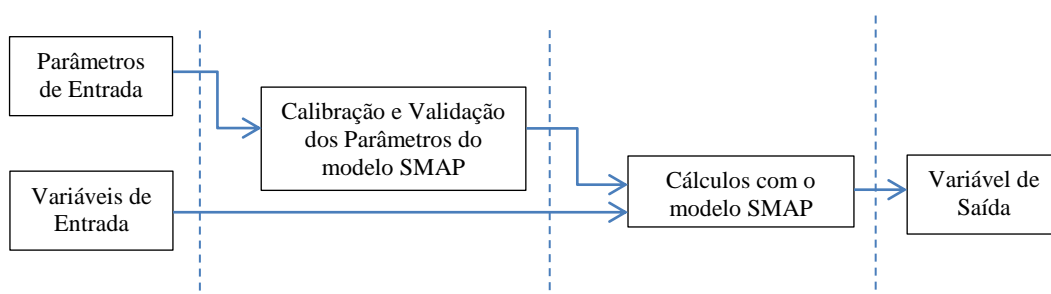


Figura 2.2 – Esquema do modelo SMAP.

COMO SÃO ESTIMADOS OS PARÂMETROS DO SMAP???

Na Tabela 2.1 são listados os parâmetros de entrada do modelo. O SMAP utiliza seis parâmetros. Os parâmetros A_i , $Capc$ e Kkt são valores estimados baseados em processos físicos. Os parâmetros Str , $K2t$ e $Crec$ são calculados com base nas séries históricas de precipitação e vazão (LOPES, 1982).

DESCRIÇÃO E FAIXA DE VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DO MODELO:

Tabela 2.1 – Parâmetros de entrada do modelo SMAP.

Sigla	Descrição do Parâmetro	Calibração
<i>Ai</i>	abstração inicial [mm]	Manual
<i>Capc</i>	capacidade de campo [%]	Manual
<i>Kkt</i>	constante de recessão do escoamento básico [dias]	Manual
<i>Str</i>	capacidade de saturação do solo [mm]	Automática/Manual
<i>K2t</i>	constante de recessão do escoamento superficial [dias]	Automática/Manual
<i>Crec</i>	parâmetro de recarga subterrânea [%]	Automática/Manual

Na Tabela 2.2 são mostrados os limites referentes aos valores dos seis parâmetros de entrada do SMAP. Estes limites foram extraídos a partir da experiência com a aplicação do modelo em bacias de diversas regiões do Brasil (LOPES, 1982).

Tabela 2.2 – Faixa de limites dos parâmetros do SMAP.

Parâmetro	Limites	Unidade de Medida
<i>Ai</i>	$0 \leq 9$	mm
<i>Capc</i>	$20 \leq 60$	%
<i>Kkt</i>	$10 \leq 270$	dias
<i>Str</i>	$100 \leq 2.000$	mm
<i>K2t</i>	$0.2 \leq 10$	dias
<i>Crec</i>	$0 \leq 100$	%

A seguir é apresentada a forma de determinação dos valores dos parâmetros de entrada do modelo SMAP, que são estimados baseados em processos físicos. Para determinar o valor do parâmetro *Ai* é necessário verificar as características da cobertura vegetal da região na qual será aplicado o modelo. A Tabela 2.3 relaciona o parâmetro *Ai* com a vegetação.

Tabela 2.3 – Valores da abstração inicial (A_i).

Parâmetro	Valor (mm)	Cobertura Vegetal
A_i	2,5	Campo
	3,7	Mata
	5,0	Floresta densa

O valor do parâmetro $Capc$ é definido em função do tipo de solo da região para a qual será utilizado o modelo. A Tabela 2.4 mostra os valores para o parâmetro $Capc$ em função do tipo de solo.

Tabela 2.4 – Valores da capacidade de campo ($Capc$).

Parâmetro	Valor (%)	Tipo de Solo
$Capc$	30	Arenoso
	40	Misto
	50	Argiloso

Para determinar o valor do parâmetro Kkt devem ser observados os trechos de recessão do hidrograma. A Tabela 2.5 relaciona o valor do Kkt em função do número de dias e da velocidade do escoamento.

Tabela 2.5 – Valores de recessão do escoamento básico (Kkt).

Parâmetro	Tempo	Velocidade	Valor da Constante
Kkt	30 dias	Muito rápido	0,9772
	60 dias	Rápido	0,9885
	90 dias	Médio	0,9923
	120 dias	Lento	0,9942
	180 dias	Muito Lento	0,9962

Na Tabela 2.6 são listadas as variáveis de entrada e saída do modelo. As variáveis de entrada do SMAP são P , Ep , Ad , $Tuin$, $Ebin$, $Supin$ e Q_i^{obs} e a variável de saída é Q_i^{prev} .

Tabela 2.6 – Variáveis de entrada e saída do modelo SMAP.		
Sigla	Descrição da Variável	Tipo
P	chuva média na bacia [mm]	Entrada
Ep	evaporação potencial [mm]	Entrada
Ad	área de drenagem [km ²]	Entrada
$Tuin$	teor de umidade inicial [adimensional]	Entrada
$Ebin$	vazão básica inicial [m ³ /s]	Entrada
$Supin$	vazão superficial inicial [m ³ /s]	Entrada
Q_i^{obs}	vazão observada no dia i [m ³ /s]	Entrada
Q_i^{prev}	vazão prevista no dia i [m ³ /s]	Saída

Para calcular P é utilizado um coeficiente de ajuste ($pcof$) e o peso dos postos pluviométricos. O valor do $pcof$ deve ser “1”, quando a distribuição espacial dos postos é adequada para representar uniformemente a bacia e caso contrário, seu valor deve ser entre “0,95” e “1,05”. Deve ser atribuído um peso para cada posto pluviométrico entre “0” e “0,5” e a soma dos pesos deve ser próximo a “1”.

2.2.1 Versão Diária do SMAP

Na versão diária, o modelo SMAP é constituído de três reservatórios matemáticos de água. Os três reservatórios são: o do solo ($Rsolo$), o da superfície ($Rsup$) e o subterrâneo ($Rsub$). O $Rsolo$ representa o reservatório de água da zona aerada. O $Rsup$ é o reservatório que está associado ao escoamento superficial da bacia. O $Rsub$ simula o reservatório de água da zona saturada. Os reservatórios são calculados para cada dia, utilizando as Equações 2.1 a 2.3.

$$R_{solo(i+1)} = R_{solo(i)} + P - Es - Er - Rec \quad (2.1)$$

$$R_{sup(i+1)} = R_{sup(i)} + Es - Ed \quad (2.2)$$

$$R_{sub(i+1)} = R_{sub(i)} + Rec - Eb \quad (2.3)$$

Onde:

R_{solo} reservatório do solo [mm];

R_{sup} reservatório da superfície da bacia [mm];

R_{sub} reservatório subterrâneo [mm];

i intervalo de tempo [dia];

E_s escoamento superficial [mm];

E_r evapotranspiração real [mm];

Rec recarga subterrânea [mm];

E_d escoamento direto [mm];

E_b escoamento básico [mm].

CINCO FUNÇÕES DE TRANSFERÊNCIA

A Figura 2.3 retrata o modelo SMAP na versão diária, que utiliza cinco funções de transferência representadas pelo: escoamento superficial (E_s), evapotranspiração real (E_r), recarga subterrânea (Rec), escoamento direto (E_d) e escoamento básico (E_b); listados anteriormente. Quando ocorre o evento de chuva (P), uma parte da água da chuva deve ser transferida como escoamento superficial, que é calculado utilizando a equação do método SCS (*Soil Conservation Service* do *U.S. Department of Agriculture*). Caso ocorra um eventual transbordo de água do reservatório do solo (R_{solo}) este também é transformado em escoamento superficial. Nesta figura são listados também os parâmetros de entrada ($Capc$, Kkt , Str , $K2t$ e $Crec$), as variáveis de entrada (P e E_p) e os três reservatórios do modelo (R_{solo} , R_{sup} e R_{sub}). Na sequência são apresentadas as Equações 2.4 a 2.11 para o cálculo das funções de transferência.

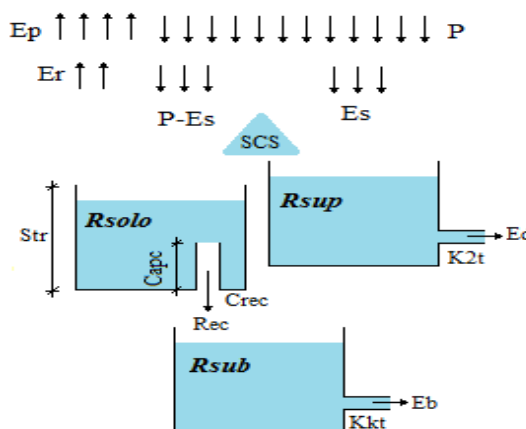


Figura 2.3 – Estrutura do modelo SMAP na versão diária (LOPES, 1982 - adaptada).

1) Função de transferência do escoamento superficial (E_s)

Se ($P > A_i$) Então

$$E_s = \frac{(P - A_i)^2}{(P - A_i + (Str - R_{solo}))} \quad (2.4)$$

Caso contrário

$$E_s = 0 \quad (2.5)$$

2) Função de transferência da evapotranspiração real (E_r)

Se ($(P - E_s) > E_p$) Então

$$E_r = E_p \quad (2.6)$$

Caso contrário

$$E_r = (P - E_s) + (E_p - (P - E_s)) * \left(\frac{R_{solo}}{Str}\right) \quad (2.7)$$

3) Função de transferência da recarga subterrânea (Rec)

Se $\left(R_{solo} > \left(\frac{Capc}{100} * Str\right)\right)$ Então

$$Rec = \frac{C_{rec}}{100} * \left(\frac{R_{solo}}{Str}\right) * (R_{solo} - \left(\frac{Capc}{100} * Str\right)) \quad (2.8)$$

Caso contrário

$$Rec = 0 \quad (2.9)$$

4) Função de transferência do escoamento direto (Ed)

$$Ed = R_{sup} * \left(1 - \left(0,5^{\left(\frac{1}{K_{zt}}\right)}\right)\right) \quad (2.10)$$

5) Função de transferência do escoamento básico (Eb)

$$Eb = Rsub * \left(1 - \left(0,5^{\left(\frac{1}{Kkt} \right)} \right) \right) \quad (2.11)$$

Para realizar a inicialização dos três reservatórios do modelo SMAP é importante estimar corretamente os valores de $Tuin$, $Ebin$ e $Supin$. Eles devem ser ajustados para coincidir a vazão no início do hidrograma. São utilizados para calcular os valores iniciais dos reservatórios no primeiro instante da simulação. Eles devem ser estimados novamente quando é alterado o período considerado para previsão de vazão. As Equações 2.12 a 2.14 são referentes à inicialização dos reservatórios e a Equação 2.15 é utilizada para calcular a vazão prevista. A constante do denominador “86,4” corresponde a 1/1000 do número de segundos em um dia (24 horas x 60 minutos x 60 segundos = 86.400 segundos).

$$Rsolo_{(1)} = Str * \frac{Tuin}{100} \quad (2.12)$$

$$Rsup_{(1)} = \frac{Supin}{\frac{(1-0,5^{\left(\frac{1}{Kkt} \right)})}{Ad*86,4}} \quad (2.13)$$

$$Rsub_{(1)} = \frac{Ebin}{\frac{(1-0,5^{\left(\frac{1}{Kkt} \right)})}{Ad*86,4}} \quad (2.14)$$

$$Q_i^{prev} = \frac{(Ed_i + Eb_i) * Ad}{86,4} \quad (2.15)$$

3. Metodologia

Neste capítulo é descrita a metodologia utilizada neste trabalho. Ele está dividido em quatro seções. Na primeira seção é listada a sequência dos procedimentos utilizada para a aplicação do modelo *SMAP*. Na segunda, são apresentados a ferramenta e o método de solução utilizado neste trabalho. Na terceira, é explicado o hidrograma. Na quarta seção são descritos os indicadores de desempenho do modelo.

3.1 Sequência de Procedimentos

A Figura 3.1 apresenta a sequência de procedimentos para aplicação do modelo SMAP numa bacia.

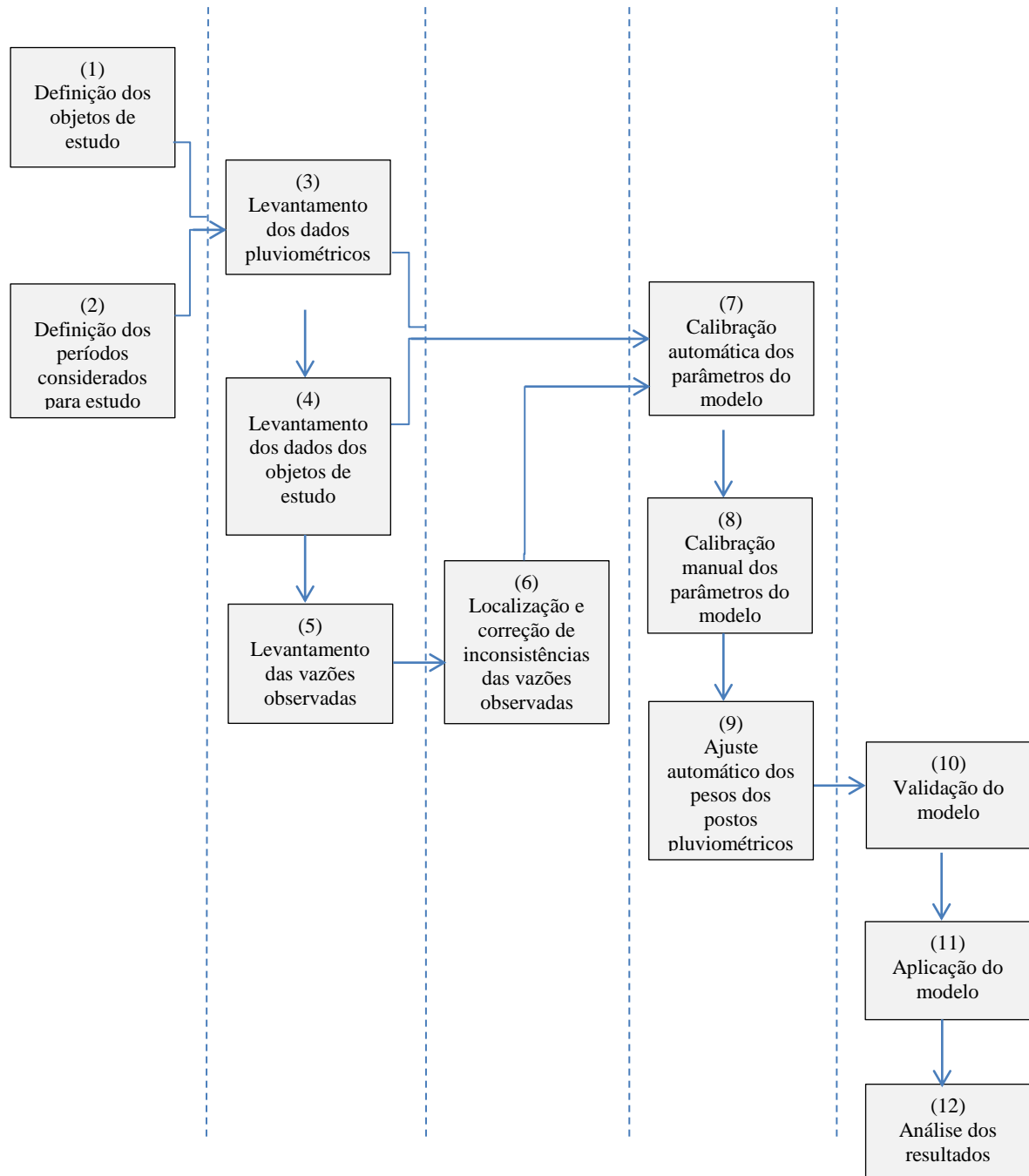


Figura 3.1 – Fluxograma dos procedimentos para o uso do modelo SMAP.

No procedimento (1) são definidos os objetos de estudo. Primeiro, a bacia hidrográfica que será utilizada é escolhida e, na sequência, a região do estudo é delimitada. Então, nesta etapa são selecionados um ou mais PF(s) e/ou UHE(s) para aplicação do modelo. No procedimento (2) são definidos os períodos considerados para estudo. Eles são utilizados para as etapas de: calibração, validação e aplicação do modelo. Para obter uma boa calibração do modelo, o período escolhido deve possuir dados de cheia e de recessão.

No procedimento (3) é realizado o levantamento dos dados pluviométricos referentes aos períodos considerados, P . Em (4) é feito o levantamento dos dados relativos aos objetos de estudos definidos, tais como: Ep , Ad , $Tuin$, $Ebin$ e $Supin$. No procedimento (5) é executado o levantamento dos dados de vazões observadas para cada um do(s) PF(s) e/ou UHE(s) selecionado(s), Q_i^{obs} .

No procedimento (6) os dados de vazões observadas são analisados para localizar e corrigir inconsistências, como vazão igual à zero ou valor de vazão constante. Para corrigir vazão nula é utilizada a técnica de interpolação linear. As vazões observadas com o mesmo valor (não nulo) não são corrigidas.

No procedimento (7) é realizada a calibração automática dos parâmetros do modelo, com a ferramenta *Solver* do Microsoft Excel. Em seguida, no procedimento (8) é realizada a calibração manual por “tentativa e erro”. Em (9) é realizado o ajuste automático dos pesos dos dados dos postos pluviométricos, utilizando também a ferramenta *Solver*.

No procedimento (10) é realizada a validação do modelo. Neste procedimento é calculada a previsão de vazão utilizando o valor dos parâmetros calibrados. É importante validar o modelo num período diferente do utilizado para calibração.

No procedimento (11) o modelo calibrado e validado é aplicado. É calculada a previsão de vazão para um horizonte de sete dias. A partir deste procedimento o modelo está pronto para ser utilizado como uma ferramenta de previsão de vazões futuras.

Para finalizar, no procedimento (12) os resultados da previsão de vazão são avaliados utilizando indicadores de desempenho. Tabelas são geradas para mostrar os resultados obtidos para cada um do(s) PF(s) e/ou UHE(s) selecionado(s).

3.2 Ferramenta e Método de Solução dos Procedimentos (7), (8) e (9)

A Figura 3.2 mostra um exemplo de uma planilha com o modelo SMAP. Antes iniciar os procedimentos (7), (8) e (9) é preciso inserir na planilha do *Microsoft Excel* as Equações 2.1 a 2.15 e as Equações 3.1 a 3.4 a serem descritas na seção 3.4. Em seguida, os valores dos parâmetros com o limite mínimo da Tabela 2.2 e os valores das variáveis de entrada Ep , Ad ,

Tuin, Ebin e Supin devem ser informados. Por último, os dados de chuva prevista, P , e de vazão observada para o período de calibração, Q_i^{obs} , devem ser inseridos na planilha.

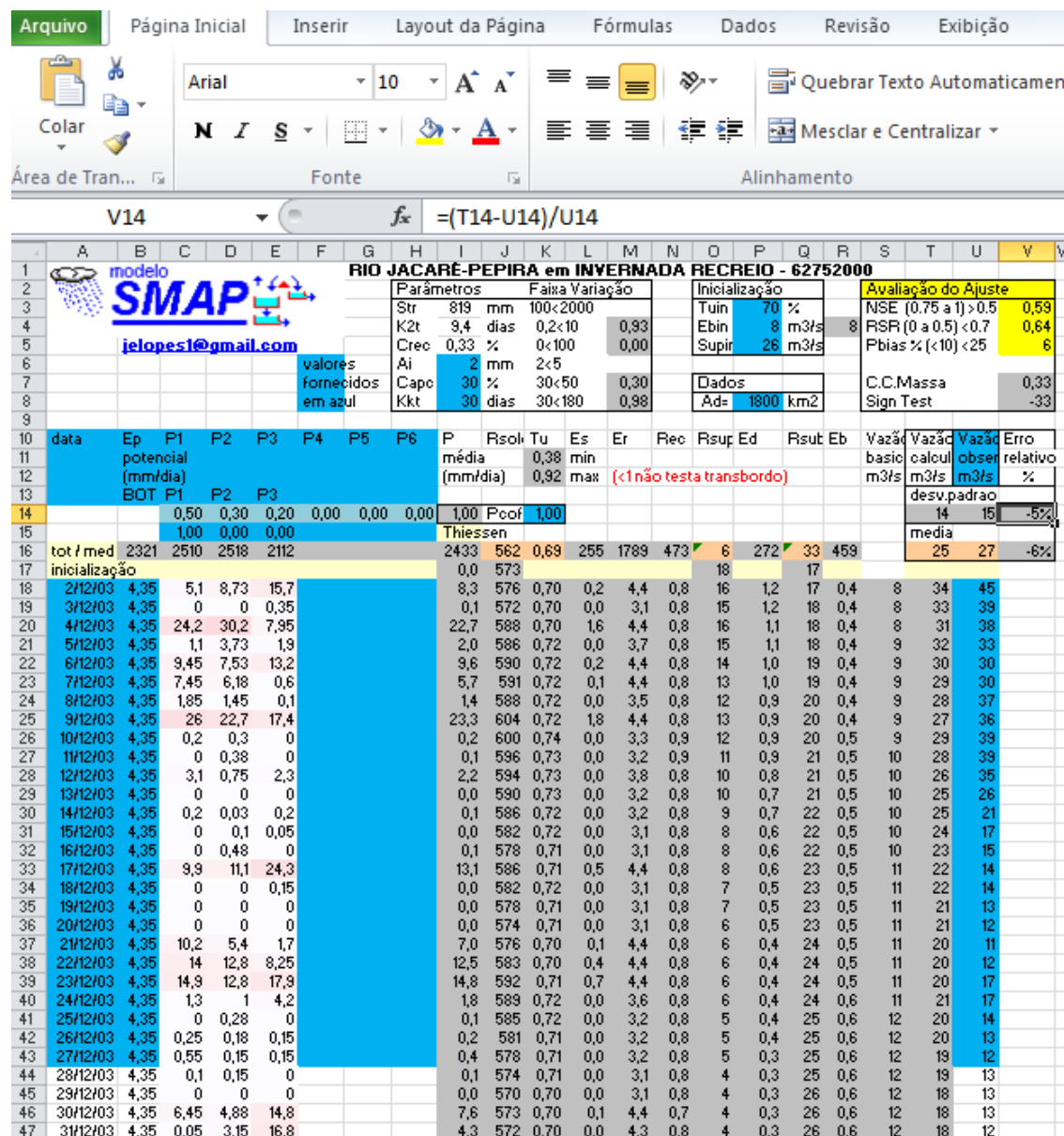


Figura 3.2 - Exemplo de planilha com o modelo SMAP.

No procedimento (7) é realizada a calibração automática dos parâmetros de entrada do modelo SMAP: Str , $K2t$ e $Crec$. O Solver do Microsoft Excel, Figura 3.3, pode ser utilizado. A função objetivo é maximizar o valor do indicador de desempenho, coeficiente de eficiência de

Nash-Sutcliffe (NSE), descrito na seção 3.4. As células variáveis a serem alteradas são os parâmetros de entrada do modelo: *Str*, *K2t* e *Crec*. As restrições das células variáveis são os limites apresentados na Tabela 2.2. A opção “tornar variáveis irrestritas não negativas” não deve estar selecionada. O método de solução é o Gradiente Reduzido Generalizado (GRG) Não Linear.

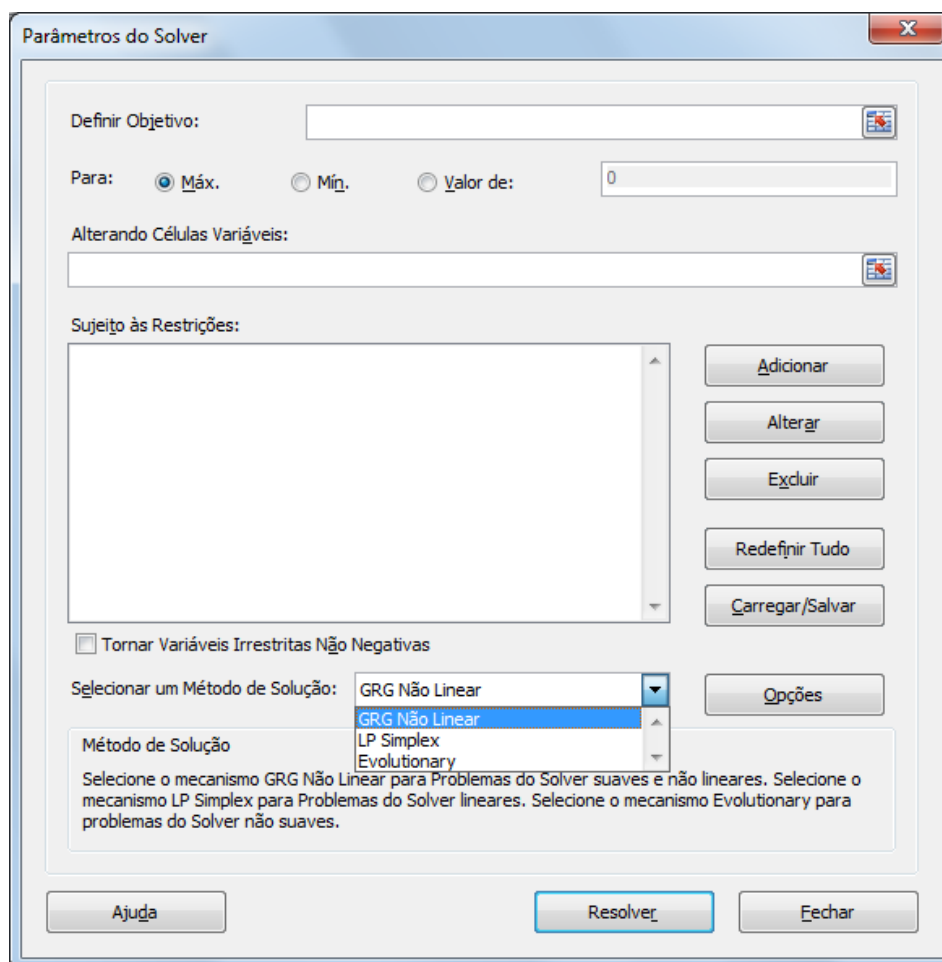


Figura 3.3 – Parâmetros do *Solver*.

No procedimento (8) é realizada a calibração manual dos parâmetros de entrada do modelo SMAP: *Ai*, *Capc*, *Kkt*, *Str*, *K2t* e *Crec*. Para isto, são alterados os parâmetros do modelo, um de cada vez, de forma manual por “tentativa e erro”. Para obter uma boa calibração manual é importante observar as características do hidrograma e os indicadores de desempenho, conforme descrito nas seções 3.3 e 3.4. Diversas tentativas de alteração do valor do parâmetro devem ser realizadas, quando é verificado que não está obtendo melhora nos indicadores de desempenho e no hidrograma deve finalizada a calibração deste parâmetro e calibrar o próximo parâmetro.

No procedimento (9) é realizado o ajuste automático dos pesos dos dados dos postos pluviométricos pelo *Solver*, mantendo a função objetivo do procedimento (7). O *Solver* pode identificar o posto pluviométrico que melhor representa a bacia, atribuindo a este o maior peso. São utilizados um ou mais postos pluviométricos para calcular o valor de P . As células variáveis do *Solver* são os pesos dos postos. Utilizam-se as mesmas restrições do procedimento (7) e adicionam-se as restrições para os pesos dos postos, os quais devem estar entre “0” e “0,5”.

3.3 Hidrograma

O hidrograma é a representação gráfica da vazão em função do tempo. A Figura 3.3 retrata um hidrograma. Ele pode ser utilizado para avaliar a qualidade dos resultados da previsão de vazão.

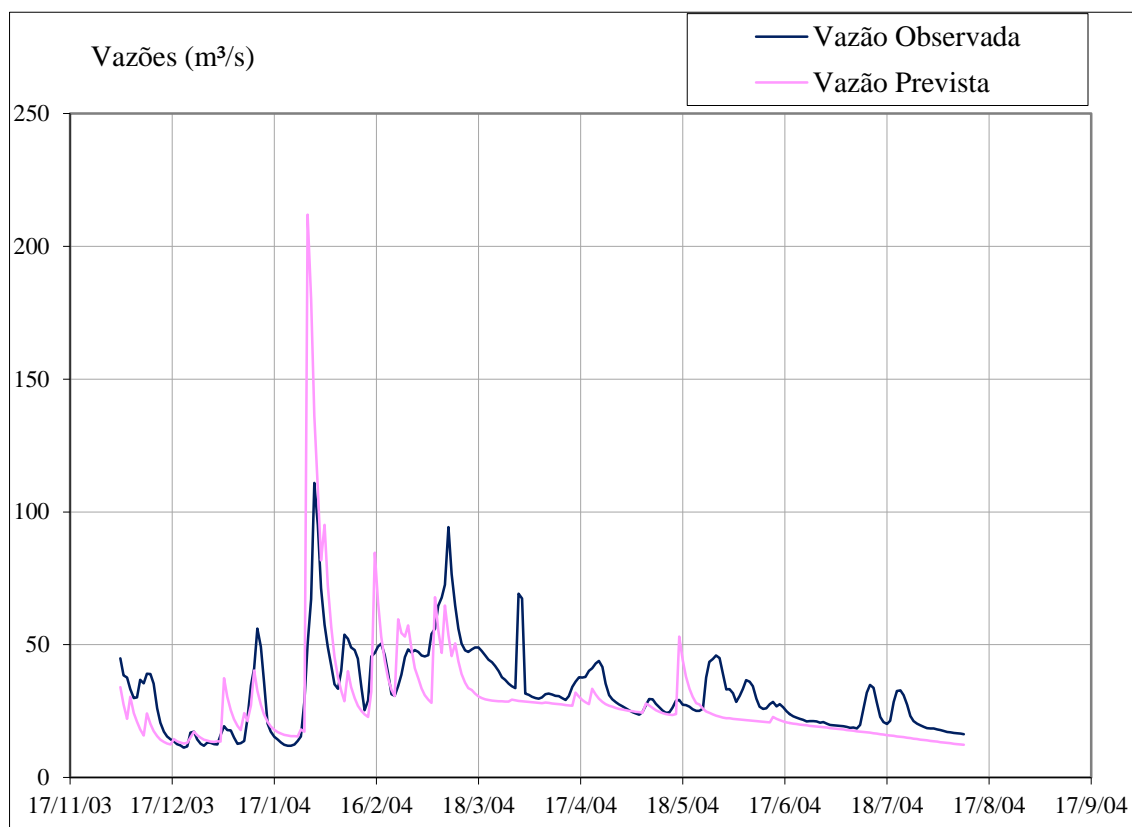


Figura 3.3 – Hidrograma.

Para avaliar os resultados de previsão de vazão, utilizando o hidrograma, deve-se observar a curva de recessão e o tempo e a magnitude dos picos (MORIASI *et al.*, 2007). Na curva de recessão os valores de vazão prevista e vazão observada devem estar próximos. Em relação aos picos, o ideal é que eles coincidam no tempo e na magnitude para as vazões previstas e observadas. Algumas vezes, são encontrados valores de pico parecidos, mas que

ocorreram em momentos diferentes (ex: a vazão observada aconteceu em uma semana e a vazão prevista apresenta-se deslocada para a semana seguinte). Então, o hidrograma pode mostrar uma tendência do modelo de subestimar ou superestimar o valor da vazão no horizonte todo.

3.4 Indicadores de Desempenho

Para analisar a qualidade da previsão de vazão podem ser utilizados indicadores de desempenho. Neste trabalho foram utilizados os indicadores: coeficiente de eficiência de *Nash-Sutcliffe* (*NSE*), Percentual de Tendências (*PBIAS*), Razão do Desvio Padrão (*RDP*) e Desvio Relativo Percentual (*DRP*).

O *NSE* calcula a magnitude relativa da variância residual ("ruído") em comparação com a variância dos dados medidos ("informação") (MORIASI *et al.*, 2007). Pode assumir valores no intervalo $(-\infty, 1]$. Quando seu valor é igual a "1" a previsão de vazão foi realizada de forma perfeita. A Equação 3.1 mostra o cálculo do *NSE*.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_i^{prev})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - \overline{Q^{obs}})^2} \quad (3.1)$$

Onde:

- Q_i^{obs} vazão observada no dia i [m³/s];
- $\overline{Q^{obs}}$ vazão média observada [m³/s];
- Q_i^{prev} vazão prevista no dia i [m³/s];
- i intervalo de tempo [dia];
- n número de intervalos [dias].

O *PBIAS* calcula a tendência média dos dados previstos serem maiores ou menores do que os dados observados. Quanto mais próximo de "0", melhor é o resultado (MORIASI *et al.*, 2007). A Equação 3.2 apresenta o cálculo do *PBIAS*.

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_i^{prev}) * (100)}{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs})} \right] \quad (3.2)$$

O *RDP* calcula a variância normalizada pelo desvio padrão. Quanto mais próximo de “0”, melhor é o resultado, indicando pouca variabilidade entre vazões observadas e previstas (MORIASI *et al.*, 2007). A Equação 3.3 apresenta o cálculo do *RDP*.

$$RDP = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_i^{prev})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - \overline{Q_i^{obs}})^2}} \quad (3.3)$$

O Desvio Relativo Percentual (*DRP*) mostra a diferença média entre o valor da vazão prevista e o valor da vazão observada. O valor é expresso em porcentagem e quanto mais próximo de “0”, melhor é o resultado. A Equação 3.4 mostra o cálculo do *DRP*.

$$DRP = \frac{1}{n} \left[\frac{\sum_{i=1}^n |Q_i^{obs} - Q_i^{prev}|}{Q_i^{obs}} \right] * 100 \quad (3.4)$$

MORIASI *et al.* (2007) classifica os resultados da previsão de vazão com os indicadores *NSE*, *PBIAS* e *RDP*. A Tabela 3.1 mostra esta classificação.

Tabela 3.1 – Classificação dos indicadores (MORIASI *et al.*, 2007).

Classificação	NSE	PBIAS (%)	RDP
Muito Bom	$0,75 < NSE \leq 1,00$	$PBIAS < \pm 10$	$0,00 \leq RDP \leq 0,50$
Bom	$0,65 < NSE \leq 0,75$	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$	$0,50 < RDP \leq 0,60$
Satisfatório	$0,50 < NSE \leq 0,65$	$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 25$	$0,60 < RDP \leq 0,70$
Insatisfatório	$NSE \leq 0,50$	$PBIAS \geq \pm 25$	$RDP > 0,70$

4. Estudo de Caso

Neste capítulo é demonstrada a aplicação do modelo SMAP, a partir da metodologia detalhada no capítulo três, para previsão de vazão. Ele está dividido em sete seções. Na primeira é apresentada a etapa de definição dos dados de entrada. Na segunda seção é descrita a etapa de levantamento de dados. Na terceira, as inconsistências são localizadas e corrigidas. Na quarta seção é apresentada a etapa de calibração e ajuste do SMAP. Na quinta é mostrada a etapa de validação do modelo. A sexta seção corresponde à etapa de aplicação do modelo. Por fim, na sétima seção são analisados os resultados com o objetivo de verificar o desempenho do modelo SMAP na bacia do rio Tietê.

4.1 Etapa de Definição do Conjunto dos Dados de Entrada

Nesta seção são descritos os procedimentos (1) e (2) da Figura 3.1. No procedimento (1) foram selecionados três PF(s), localizados na bacia do rio Tietê. Os postos escolhidos foram Invernada Recreio (INR), Gavião Peixoto (GAV) e Fazenda São Benedito (FSB). Os postos escolhidos são fluviométricos e pluviométricos, fazem medições do deflúvio (vazão) e medições pluviométricas (chuva).

No procedimento (2), para etapa de calibração do modelo foi escolhido o período de 12/2003 a 08/2005. Este período foi escolhido por possuir períodos de cheia e de recessão, conforme mostrado na Figura 4.1. O período de 12/2005 a 08/2007 foi utilizado na etapa de validação do modelo. Na etapa de aplicação do modelo foram utilizados alguns períodos do ano de 2009.

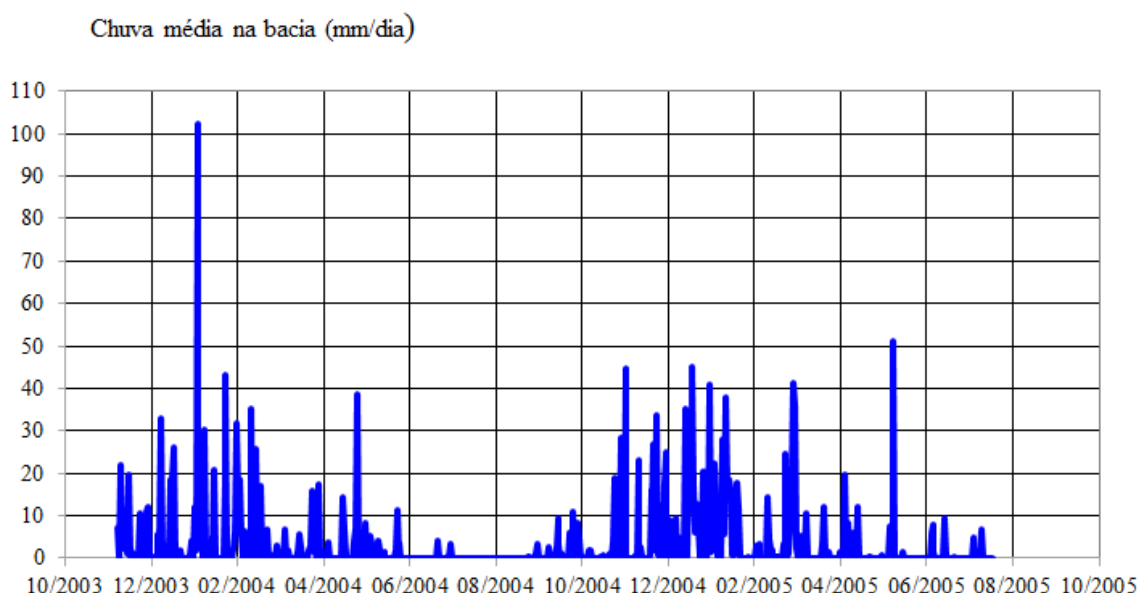


Figura 4.1 – Chuva média na bacia do rio Tietê no período da calibração - 12/2003 a 08/2005.

4.2 Etapa de Levantamento de Dados

Nesta seção são descritos os procedimentos (3), (4) e (5) da Figura 3.1. Nos procedimentos (3) e (5) são levantados os dados de chuva e de vazão observada dos três postos, INR, GAV e FSB, extraídos da base de dados do SISPREV (HIDALGO *et al.*, 2015). Os dados de chuva observada foram utilizados para calcular o valor da chuva média na bacia e o valor da chuva média diária. Os dados de vazão observada foram utilizados para realizar a calibração e validação do modelo.

Tabela 4.1 – Postos fluviométricos da bacia do rio Tietê (ANA, 2015b - adaptada).

Dados	INR	GAV	FSB
Código	62752000	62776800	62800000
Nome	Invernada Recreio	Gavião Peixoto	Fazenda São Benedito
Bacia	Rio Tietê	Rio Tietê	Rio Tietê
Sub-bacia	Tietê Jacaré	Tietê Jacaré	Tietê Jacaré
Rio	Rio Jacaré-Pepira	Rio Jacaré-Guaçu	Ribeirão dos Porcos
Estado	São Paulo	São Paulo	São Paulo
Município	Bocaina	Gavião Peixoto	Ibitinga
Operadora	Aes Tietê	Aes Tietê	Aes Tietê
Latitude	-22:4:39	-21:50:57	-21:41:59
Longitude	-48:29:3	-48:29:30	-49:00:38
Altitude (m)	450	459	405
Área de Drenagem (km²)	1800	2430	2710

4.3 Etapa de Localização e Correção de Inconsistências

Nesta seção é descrito o procedimento (6) da Figura 3.1. Os dados de vazão observados utilizados na calibração do modelo, período de 12/2003 a 08/2005, são consistidos.

Foram encontrados valores zero nas vazões observadas dos postos INR, GAV e FSB. Utilizando interpolação linear, foram calculados novos valores para esses dias. Na Tabela 4.2 são mostrados para os três postos os dias em quais os valores de vazão estão zerados e os novos valores calculados.

Tabela 4.2 – Inconsistências nos dados.

Dia	Posto	Novo Valor (m ³ /s)
23/05/2004	INR	25
24/05/2004		26
24/03/2004	GAV	23
08/02/2004	FSB	27

4.4 Etapa de Calibração e Ajuste do Modelo

Nesta seção são descritos os procedimentos (7), (8) e (9) da Figura 3.1. Esta seção está dividida em três subseções, uma para cada posto objeto de estudo desta dissertação.

4.4.1 Posto Invernada Recreio (INR)

Para realizar a calibração do modelo SMAP foram inicializados os valores dos parâmetros, variáveis de entrada e pesos dos postos apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Inicialização do modelo - Posto INR.

Parâmetros	Valores	Variáveis	Valores	Postos	Pesos
A_i	2 mm	A_d	1.800 m ²	INR	0,5
$Capc$	30 %	E_p	4,35 mm	GAV	0,3
Kkt	30 dias	Tu_{in}	70 %	FSB	0,2
Str	100 mm	E_{bin}	8 m ³ /s		
$K2t$	0,2 dias	Sup_{in}	26 m ³ /s		
$Crec$	0 %				

No procedimento (7) foi realizada a calibração automática pelo *Solver*. A Tabela 4.4 mostra os parâmetros calibrados pelo *Solver* e os resultados dos indicadores de desempenho.

Tabela 4.4 – Parâmetros calibrados pelo *Solver* e indicadores de desempenho – Posto INR.

Parâmetros	Valores	Indicadores	Valores	Classificação
Str	819 mm	NSE	0,59	Satisfatório
$K2t$	9,4 dias	RDP	0,64	Satisfatório
$Crec$	0,33 %	$PBIAS$	6 %	Muito Bom
		DRP	25 %	

A Figura 4.3 apresenta o hidrograma com o resultado da calibração do *Solver* para o Posto INR.

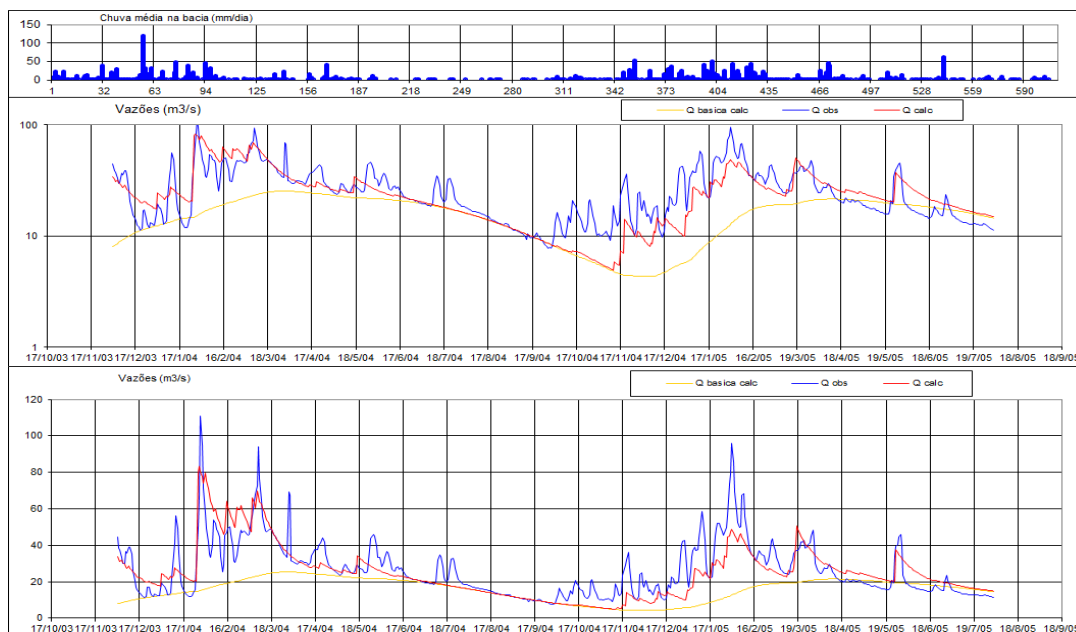


Figura 4.3 – Hidrograma com o resultado da calibração do *Solver* - Posto INR.

No procedimento (8) foi realizada calibração manual do modelo. Foram realizados vários ajustes dos parâmetros do modelo, de forma manual por “tentativa e erro” com o objetivo de melhorar o hidrograma e os indicadores. Foi priorizado melhorar o hidrograma, pois ele representa a previsão ao longo do tempo, do que o indicador de desempenho que é um único número para representar o período. No final, os resultados dos indicadores pioraram, mas o hidrograma melhorou, comparando a Figura 4.3 com a Figura 4.4.

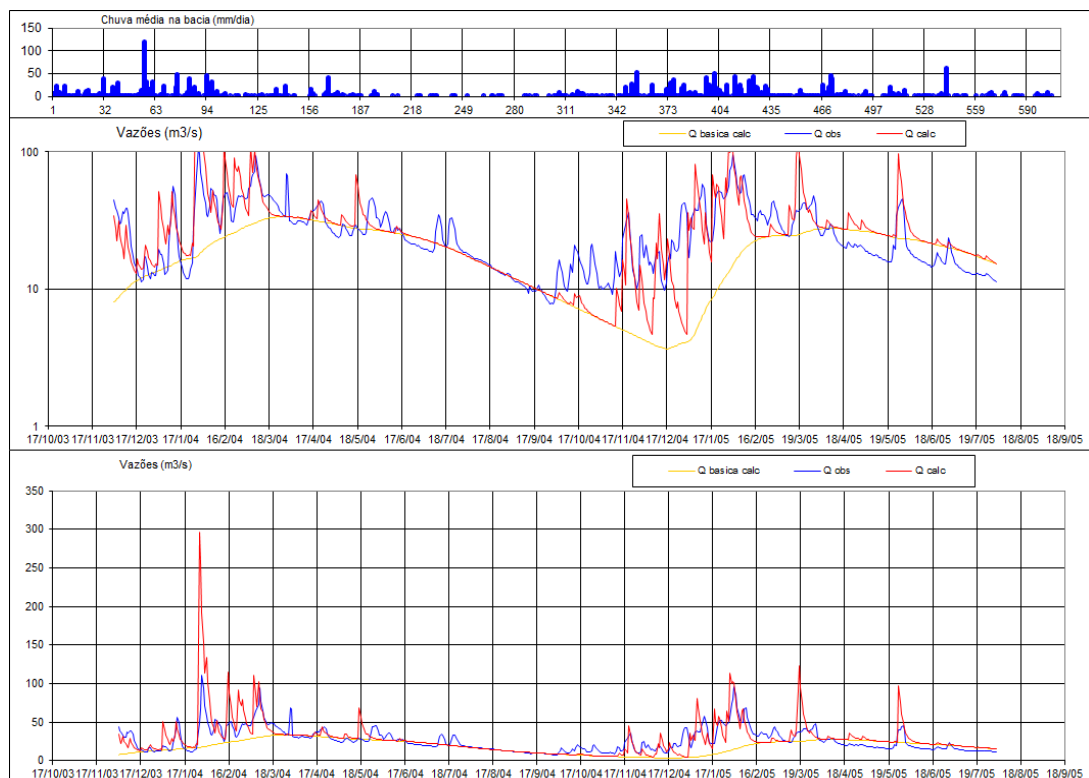


Figura 4.4 – Hidrograma do resultado da calibração manual - Posto INR.

A Tabela 4.5 mostra o valor dos parâmetros calibrados manualmente e os resultados dos indicadores de desempenho.

Tabela 4.5 – Parâmetros calibrados manualmente e indicadores de desempenho - Posto INR.

Parâmetros	Valores	Indicadores	Valores	Classificação
A_i	2 mm	NSE	-0,49	Insatisfatório
$Capc$	50 %	RDP	1,22	Insatisfatório
Kkt	60 dias	$PBIAS$	18 %	Satisfatório
Str	600 mm	DRP	32 %	
$K2t$	2 dias			
$Crec$	1,5 %			

No procedimento (9) foi utilizado o *Solver* para ajustar os pesos dos postos INR, GAV e FSB. A Tabela 4.6 mostra os valores dos pesos calibrados pelo *Solver* e os resultados dos indicadores de desempenho.

Tabela 4.6 – Pesos ajustados pelo *Solver* e indicadores de desempenho - Posto INR.

Postos	Pesos	Indicadores	Valores	Classificação
<i>INR</i>	0,26	<i>NSE</i>	0,10	Insatisfatório
<i>GAV</i>	0,50	<i>RDP</i>	0,95	Insatisfatório
<i>FSB</i>	0,10	<i>PBIAS</i>	20 %	Satisfatório
		<i>DRP</i>	29 %	

A Figura 4.5 apresenta o hidrograma com o resultado da calibração do *Solver* para o Posto INR.

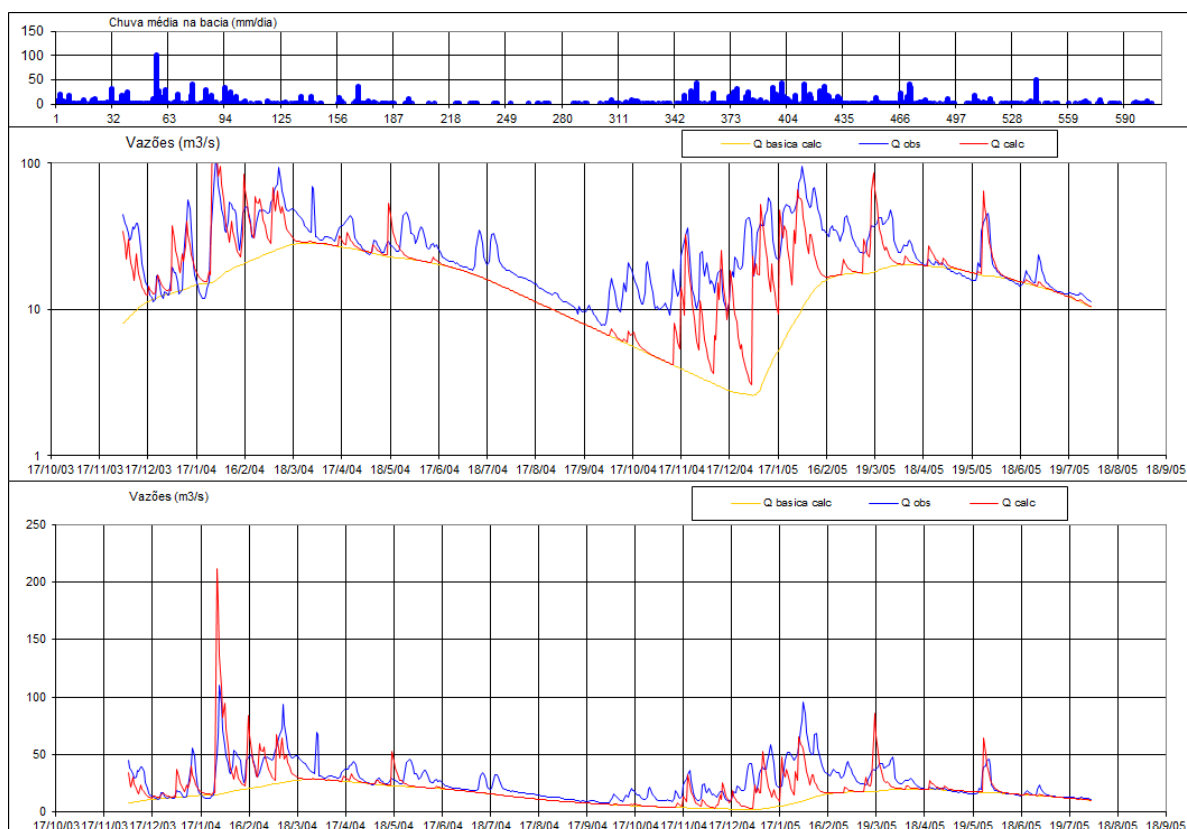


Figura 4.5 – Hidrograma com o resultado do ajuste do *Solver* - Posto INR.

4.4.2 Posto Gavião Peixoto (GAV)

Para realizar a calibração do modelo SMAP foram inicializados os valores dos parâmetros, variáveis de entrada e pesos dos postos apresentados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Inicialização do modelo - Posto GAV.

Parâmetros	Valores	Variáveis	Valores	Postos	Pesos
<i>Ai</i>	2 mm	<i>Ad</i>	2.430 m ²	<i>INR</i>	0,5
<i>Capc</i>	30 %	<i>Ep</i>	4,35 mm	<i>GAV</i>	0,3
<i>Kkt</i>	30 dias	<i>Tuin</i>	60 %	<i>FSB</i>	0,2
<i>Str</i>	100 mm	<i>Ebin</i>	20 m ³ /s		
<i>K2t</i>	0,2 dias	<i>Supin</i>	8 m ³ /s		
<i>Crec</i>	0 %				

No procedimento (7) foi realizada a calibração automática pelo *Solver*. A Tabela 4.8 mostra os parâmetros calibrados pelo *Solver* e os resultados dos indicadores de desempenho.

Tabela 4.8 – Parâmetros calibrados pelo *Solver* e indicadores de desempenho - Posto GAV.

Parâmetros	Valores	Indicadores	Valores	Classificação
<i>Str</i>	693 mm	<i>NSE</i>	0,30	Insatisfatório
<i>K2t</i>	9,97 dias	<i>RDP</i>	0,83	Insatisfatório
<i>Crec</i>	0,28 %	<i>PBIAS</i>	15 %	Bom
		<i>DRP</i>	35 %	

A Figura 4.6 apresenta o hidrograma com o resultado da calibração do *Solver* para o Posto GAV.

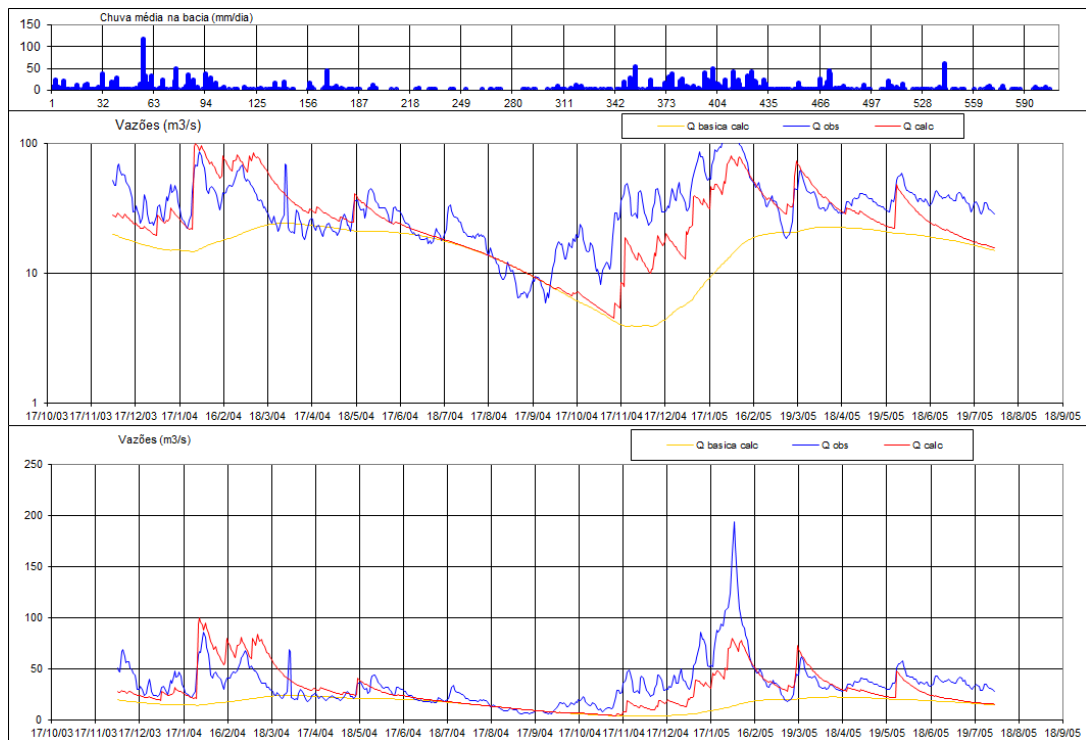


Figura 4.6 – Hidrograma com o resultado da calibração do *Solver* - Posto GAV.

No procedimento (8) foi realizada calibração manual do modelo. Foram realizados vários ajustes dos parâmetros do modelo, de forma manual por “tentativa e erro” com o objetivo de melhorar o hidrograma e os indicadores. Foi priorizado melhorar o hidrograma, pois ele representa a previsão ao longo do tempo, do que o indicador de desempenho que é um único número para representar o período. No final, o resultado da maioria dos indicadores piorou, mas o hidrograma melhorou, comparando a Figura 4.6 com a Figura 4.7.

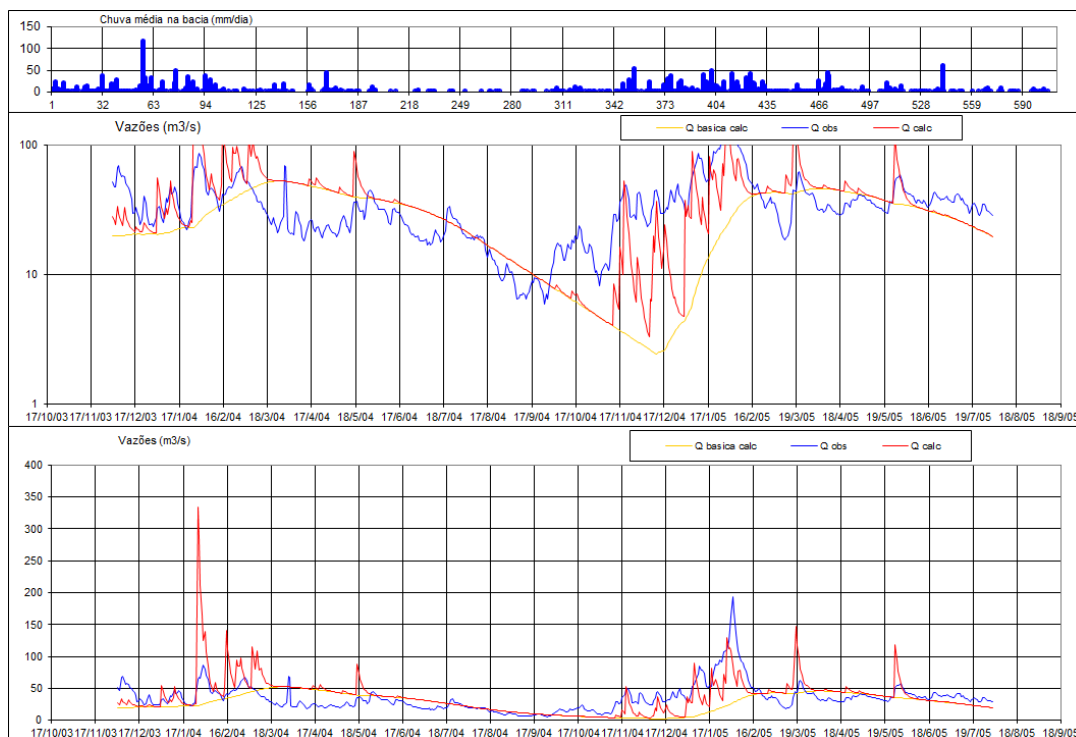


Figura 4.7 – Hidrograma do resultado da calibração manual - Posto GAV.

A Tabela 4.9 mostra o valor dos parâmetros calibrados manualmente e os resultados dos indicadores de desempenho.

Tabela 4.9 – Parâmetros calibrados manualmente e indicadores de desempenho - Posto GAV.

Parâmetros	Valores	Indicadores	Valores	Classificação
Ai	5 mm	NSE	-0,50	Insatisfatório
$Capc$	50 %	RDP	1,22	Insatisfatório
Kkt	42 dias	$PBIAS$	-7 %	Muito Bom
Str	635 mm	DRP	48 %	
$K2t$	2 dias			
$Crec$	1,5 %			

No procedimento (9) foi utilizado o *Solver* para ajustar os pesos dos postos INR, GAV e FSB. A Tabela 4.10 mostra o valor dos pesos calibrados pelo *Solver* e os resultados dos indicadores de desempenho.

Tabela 4.10 – Pesos ajustados pelo *Solver* e indicadores de desempenho - Posto GAV.

Postos	Pesos	Indicadores	Valores	Classificação
<i>INR</i>	0,35	<i>NSE</i>	-0,23	Insatisfatório
<i>GAV</i>	0,50	<i>RDP</i>	1,11	Insatisfatório
<i>FSB</i>	0,00	<i>PBIAS</i>	18 %	Satisfatório
		<i>DRP</i>	41 %	

A Figura 4.8 apresenta o hidrograma com o resultado da calibração do *Solver* para o Posto GAV.

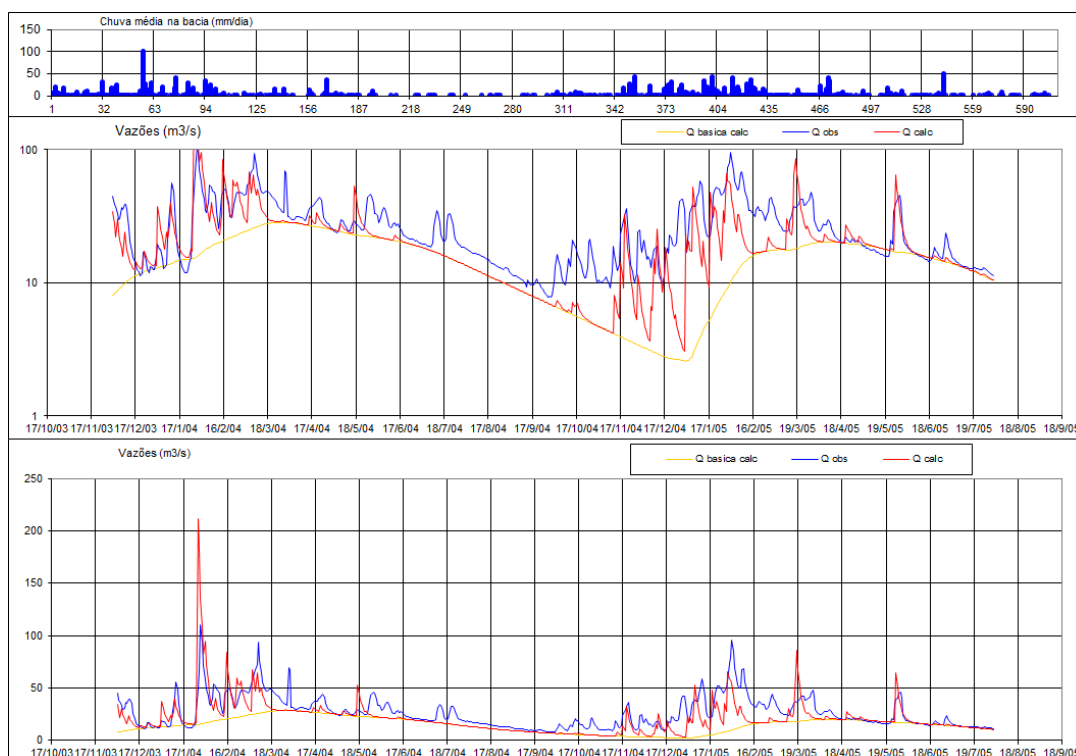


Figura 4.8 – Hidrograma com o resultado do ajuste do *Solver* - Posto GAV.

4.4.3 Posto Fazenda São Benedito (FSB)

Para realizar a calibração do modelo SMAP foram inicializados os valores dos parâmetros, variáveis de entrada e pesos dos postos apresentados na Tabela 4.11.

Tabela 4.11 – Inicialização do modelo - Posto FSB.

Parâmetros	Valores	Variáveis	Valores	Postos	Pesos
<i>Ai</i>	2 mm	<i>Ad</i>	2.710 m ²	<i>INR</i>	0,1
<i>Capc</i>	30 %	<i>Ep</i>	4,35 mm	<i>GAV</i>	0,5
<i>Kkt</i>	30 dias	<i>Tuin</i>	60 %	<i>FSB</i>	0,4
<i>Str</i>	100 mm	<i>Ebin</i>	11 m ³ /s		
<i>K2t</i>	0,2 dias	<i>Supin</i>	8 m ³ /s		
<i>Crec</i>	0 %				

No procedimento (7) foi realizada a calibração automática pelo *Solver*. A Tabela 4.12 mostra os parâmetros calibrados pelo *Solver* e os resultados dos indicadores de desempenho.

Tabela 4.12 – Parâmetros calibrados pelo *Solver* e indicadores de desempenho - Posto FSB.

Parâmetros	Valores	Indicadores	Valores	Classificação
<i>Str</i>	1.153 mm	<i>NSE</i>	0,52	Satisfatório
<i>K2t</i>	8,306 dias	<i>RDP</i>	0,69	Satisfatório
<i>Crec</i>	0,093 %	<i>PBIAS</i>	6 %	Muito Bom
		<i>DRP</i>	32 %	

A Figura 4.9 apresenta o hidrograma com o resultado da calibração do *Solver* para o Posto FSB.

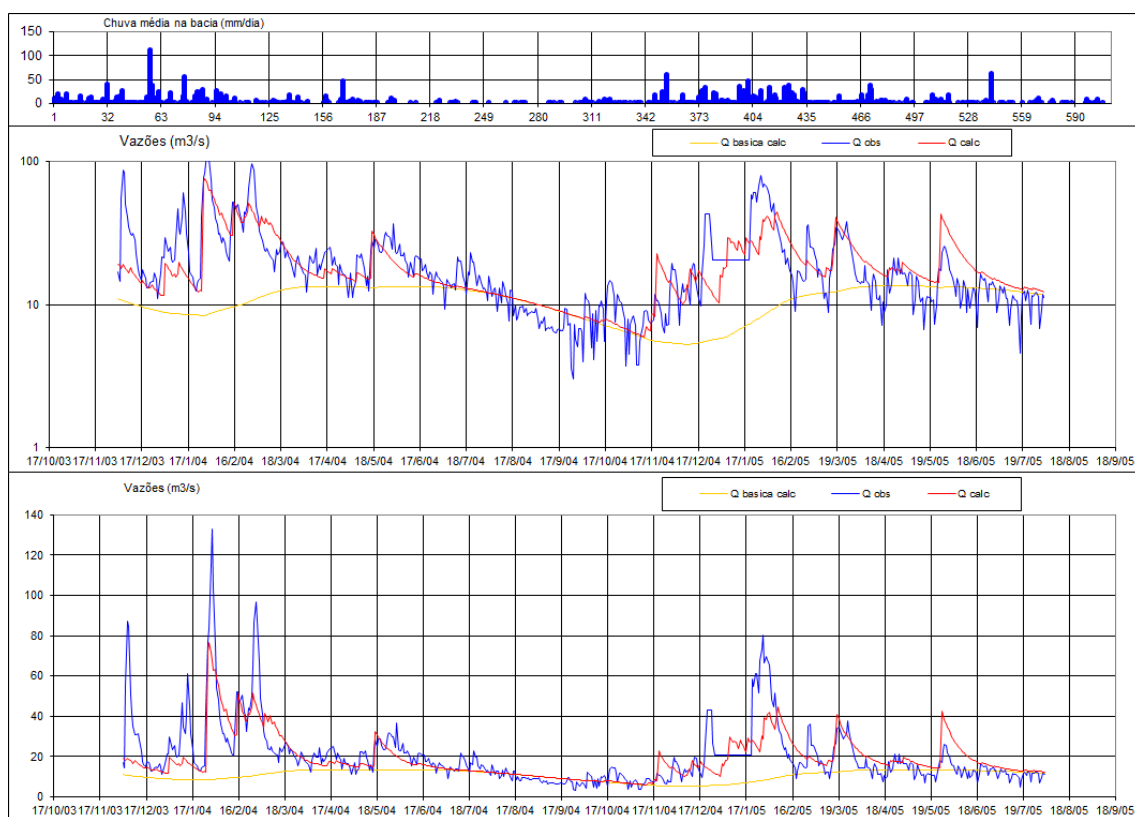


Figura 4.9 – Hidrograma com o resultado da calibração do *Solver* - Posto FSB.

No procedimento (8) foi realizada calibração manual do modelo. Foram realizados vários ajustes dos parâmetros do modelo, de forma manual por “tentativa e erro” com o objetivo de melhorar o hidrograma e os indicadores. Foi priorizado melhorar o hidrograma, pois ele representa a previsão ao longo do tempo, do que o indicador de desempenho que é um único número para representar o período. No final, os resultados dos indicadores pioraram, mas o hidrograma melhorou, comparando a Figura 4.9 com a Figura 4.10.

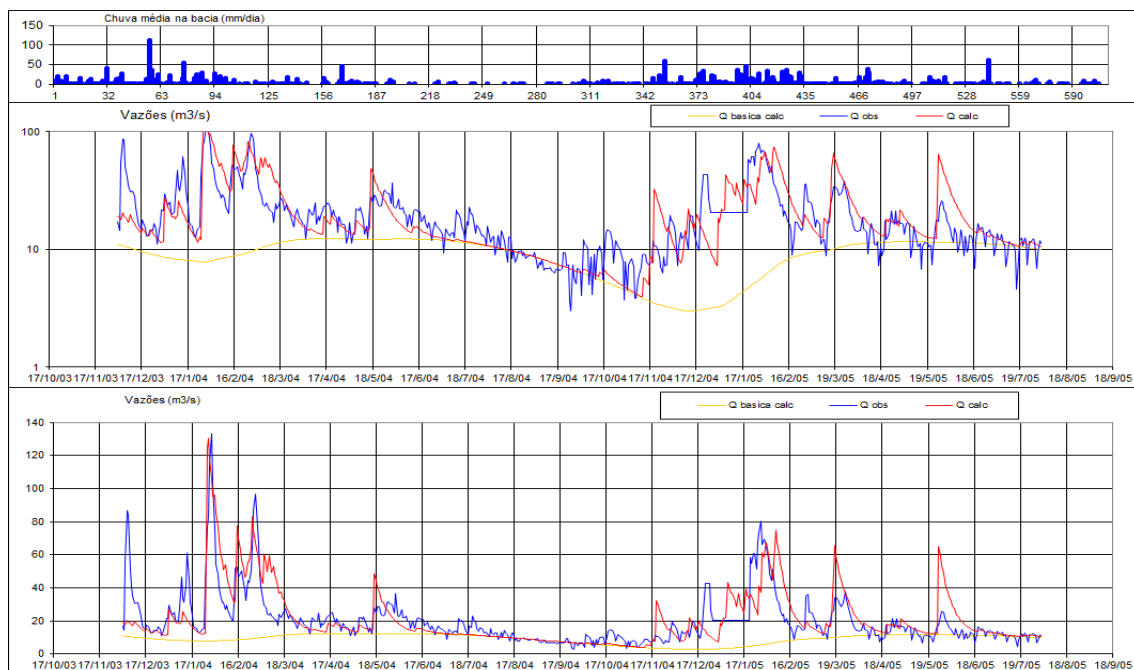


Figura 4.10 – Hidrograma do resultado da calibração manual - Posto FSB.

A Tabela 4.13 mostra o valor dos parâmetros calibrados manualmente e os resultados dos indicadores de desempenho.

Tabela 4.13 – Parâmetros calibrados manualmente e indicadores de desempenho - Posto FSB.

Parâmetros	Valores	Indicadores	Valores	Classificação
A_i	2 mm	NSE	0,41	Insatisfatório
$Capc$	45 %	RDP	0,77	Insatisfatório
Kkt	45 dias	$PBIAS$	-4	Muito Bom
Str	855 mm	DRP	35 %	
$K2t$	5,66 dias			
$Crec$	0,15 %			

No procedimento (9) foi utilizado o *Solver* para ajustar os pesos dos postos INR, GAV e FSB. A Tabela 4.14 mostra os pesos calibrados pelo *Solver* e os resultados dos indicadores de desempenho.

Tabela 4.14 – Pesos ajustados pelo *Solver* e indicadores de desempenho - Posto FSB.

Postos	Pesos	Indicadores	Valores	Classificação
<i>INR</i>	0,08	<i>NSE</i>	0,52	Satisfatório
<i>GAV</i>	0,50	<i>RDP</i>	0,69	Satisfatório
<i>FSB</i>	0,35	<i>PBIAS</i>	13	Bom
		<i>DRP</i>	31 %	

A Figura 4.11 apresenta o hidrograma com o resultado da calibração do *Solver* para o Posto FSB.

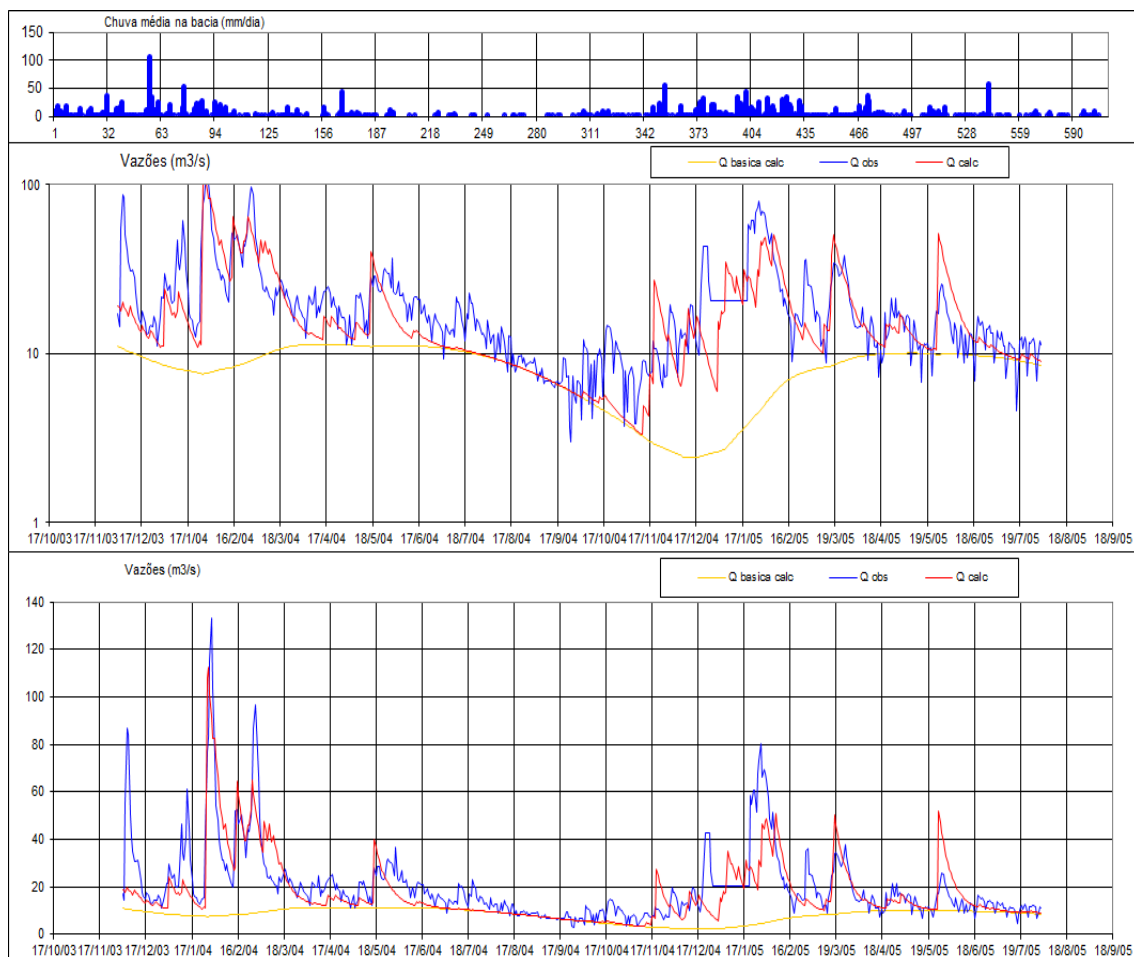


Figura 4.11 – Hidrograma com o resultado do ajuste do *Solver* - Posto FSB.

4.5 Etapa de Validação do Modelo

Nesta seção é descrita validação do modelo, procedimento (10). O modelo foi validado em um período diferente do utilizado para calibração. Os resultados dos indicadores mostram que o modelo teve um desempenho entre insatisfatório e bom para o posto INR, de insatisfatório e satisfatório para o posto GAV e satisfatório para o posto FSB. Esta seção está dividida em três subseções, uma seção para cada posto objeto de estudo desta dissertação.

4.5.1 Posto Invernada Recreio (INR)

Os parâmetros de entrada do modelo e os pesos dos postos pluviométricos estão mostrados nas Tabelas 4.5 e 4.6. Os valores de inicialização estão na Tabela 4.15. A Tabela 4.16 apresenta o resultado dos indicadores de desempenho e a Figura 4.12 apresenta o hidrograma.

Tabela 4.15 – Valores para inicialização do uso do modelo - Posto INR.

Inicialização	
<i>Tuin</i>	35 %
<i>Ebin</i>	7 m ³ /s
<i>Supin</i>	7 m ³ /s

Tabela 4.16 – Resultado dos indicadores de desempenho - Posto INR.

Indicadores	Valores	Classificação
<i>NSE</i>	0,26	Insatisfatório
<i>RDP</i>	0,86	Insatisfatório
<i>PBIAS</i>	14	Bom
<i>DRP</i>	68 %	

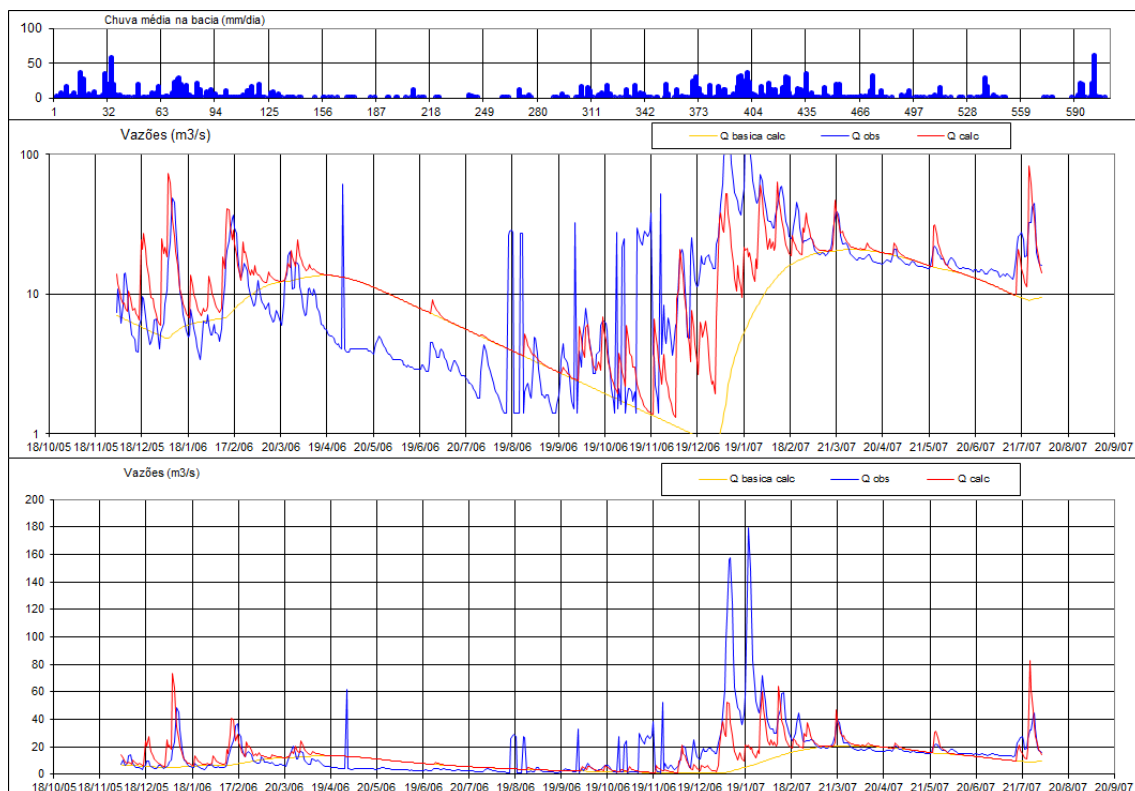


Figura 4.12 – Hidrograma com o resultado da validação - Posto INR.

Analisando o resultado do hidrograma na validação do modelo para o posto INR é verificado que na curva de recessão as linhas de vazão observada e vazão prevista coincidem. Além disto, alguns picos coincidem no tempo e na magnitude. Portanto, o hidrograma apresenta um bom resultado de previsão de vazão.

4.5.2 Posto Gavião Peixoto (GAV)

Os parâmetros de entrada do modelo e os pesos dos postos pluviométricos estão mostrados nas Tabelas 4.9 e 4.10. Os valores de inicialização estão na Tabela 4.17. A Tabela 4.18 apresenta o resultado dos indicadores de desempenho e a Figura 4.13 apresenta o hidrograma.

Tabela 4.17– Valores para inicialização do uso do modelo - Posto GAV.

Inicialização	
<i>Tuin</i>	35 %
<i>Ebin</i>	11 m³/s
<i>Supin</i>	8 m³/s

Tabela 4.18 – Resultado dos indicadores de desempenho - Posto GAV.

Indicadores	Valores	Classificação
<i>NSE</i>	-0,51	Insatisfatório
<i>RDP</i>	1,23	Insatisfatório
<i>PBIAS</i>	20 %	Satisfatório
<i>DRP</i>	71 %	

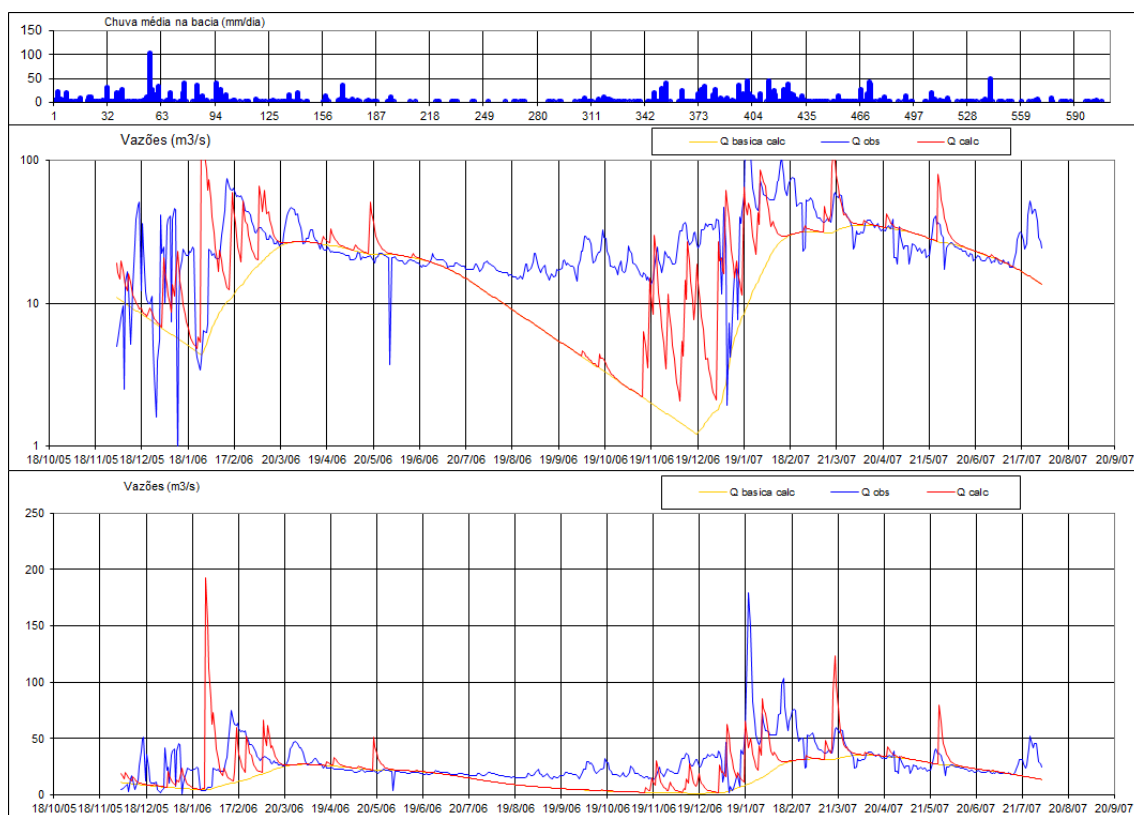


Figura 4.13 – Hidrograma com o resultado da validação - Posto GAV.

Analisando o resultado do hidrograma na validação do modelo para o posto GAV é verificado que na curva de recessão as linhas de vazão observada e vazão prevista não coincidem. Além disto, alguns picos coincidem no tempo, mas não coincidem na magnitude. No hidrograma é visualizado um resultado ruim de previsão de vazão, mostrado na Figura 4.13.

4.5.3 Posto Fazenda São Benedito (FSB)

Os parâmetros de entrada do modelo e os pesos dos postos pluviométricos estão mostrados nas Tabelas 4.13 e 4.14. Os valores de inicialização estão na Tabela 4.19. A Tabela 4.20 apresenta o resultado dos indicadores de desempenho e a Figura 4.14 apresenta o hidrograma.

Tabela 4.19 – Valores para inicialização do uso do modelo - Posto FSB.

Inicialização	
<i>Tuin</i>	35 %
<i>Ebin</i>	11 m ³ /s
<i>Supin</i>	8 m ³ /s

Tabela 4.20 – Resultado dos indicadores de desempenho - Posto FSB.

Indicadores	Valores	Classificação
<i>NSE</i>	0,55	Satisfatório
<i>RDP</i>	0,67	Satisfatório
<i>PBIAS</i>	21 %	Satisfatório
<i>DRP</i>	37 %	

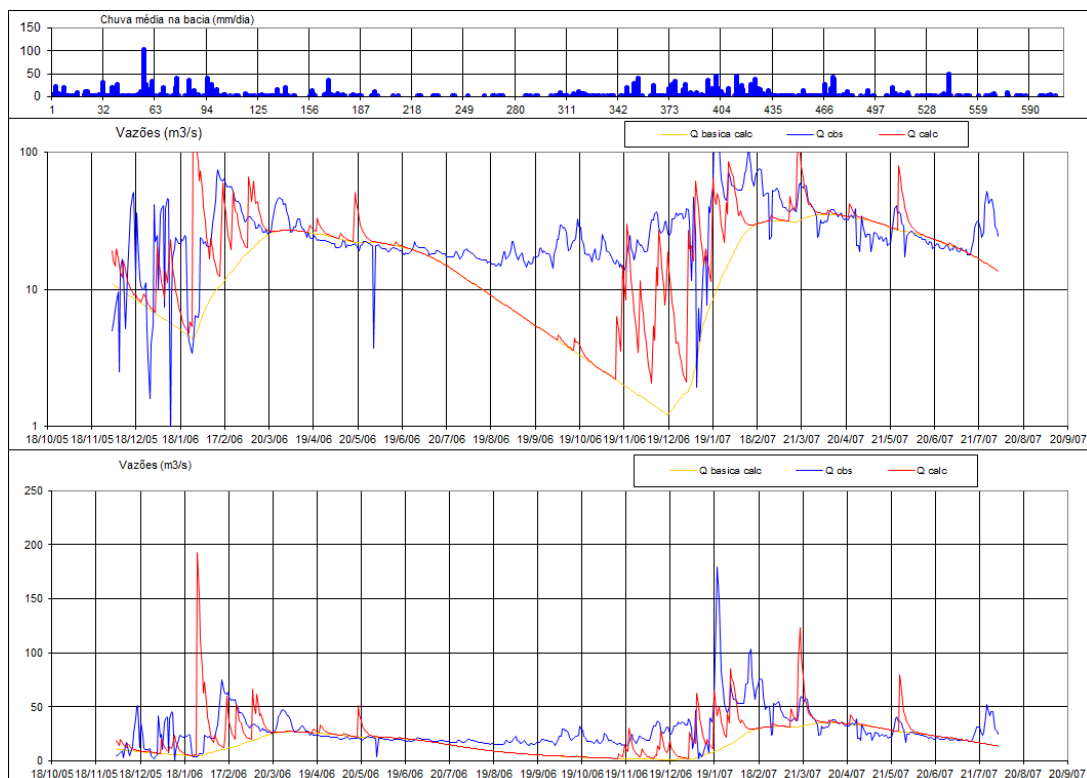


Figura 4.14 – Hidrograma com o resultado da validação – Posto FSB.

Analisando o resultado do hidrograma na validação do modelo para o posto FSB é verificado que na curva de recessão as linhas de vazão observada e vazão prevista não coincidem. Além disto, alguns picos coincidem na magnitude, mas não coincidem no tempo. No hidrograma é visualizado um resultado razoável de previsão de vazão.

4.6 Etapa de Aplicação do Modelo

Nesta seção é descrita a aplicação do modelo SMAP, procedimento (11). Esta seção está dividida em três subseções, uma seção para cada posto objeto de estudo desta dissertação.

A aplicação do modelo foi realizada após o modelo ter sido calibrado e validado para os postos INR, GAV e FSB. Foi calculada a previsão de vazão com o modelo SMAP para três períodos de sete dias do ano de 2009. O primeiro período é de 21-27/02/2009, o segundo período varia de 1-7/06/2009, e o terceiro e último período é de 1-7/11/2009. Os critérios para escolha dos períodos foram estações do ano diferentes e períodos com poucos e muitos dias de chuva.

Os dados de vazões observadas foram extraídos da base de dados do SISPREV. Nas próximas seções são mostrados os resultados da aplicação para os três postos para cada um dos períodos de aplicação definidos. Os resultados são comentados na seção 4.7.

4.6.1 Posto Invernada Recreio (INR)

Os parâmetros de entrada do modelo e os pesos dos postos pluviométricos estão nas Tabelas 4.5 e 4.6. São utilizados os mesmos valores para os quatro períodos de aplicação.

Na Tabela 4.21 estão os valores de inicialização do modelo. Nas Tabelas 4.22 a 4.25 estão os resultados de previsão de vazão.

Tabela 4.21 – Valores para inicialização do modelo - Posto INR.

Inicialização	21-27/02/2009	8-14/03/2009	1-7/06/2009	1-7/11/2009
<i>Tuin</i>	35 %	35 %	35 %	35 %
<i>Ebin</i>	11 m³/s	5 m³/s	21 m³/s	13 m³/s
<i>Supin</i>	7 m³/s	1 m³/s	2 m³/s	1 m³/s

Tabela 4.22 – Previsão de vazão de 21-27/02/2009 - Posto INR.

Data	Ep (mm)	INR	GAV	FSB	P (mm)	Rsolo (mm)	Tu (mm)	Es (mm)	Er (mm)	Rec (mm)	Rsup (mm)	Ed (mm)	Rsub (mm)	Eb (mm)	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)
		P (mm)	P (mm)	P (mm)												
21	4,35	1,15	0,8	1,2	0,8	209	0,35	0,0	2,1	0,0	0	0,1	45	0,5	13	12,6
22	4,35	0,1	0,07	0,5	0,1	207	0,35	0,0	1,6	0,0	0	0,1	45	0,5	12	10,2
23	4,35	2,7	3,8	4	3,0	207	0,35	0,0	3,5	0,0	0	0,0	44	0,5	12	8,5
24	4,35	3,85	4,07	6,6	3,7	207	0,34	0,0	3,9	0,0	0	0,0	44	0,5	11	7,9
25	4,35	4,35	4,03	5,75	3,7	206	0,34	0,0	3,9	0,0	0	0,0	43	0,5	11	9,5
26	4,35	8,15	7,63	7,4	6,6	209	0,34	0,1	4,4	0,0	0	0,0	43	0,5	11	10,8
27	4,35	3,3	5	5,95	3,9	208	0,35	0,0	4,1	0,0	0	0,0	42	0,5	11	11,6

Tabela 4.23 – Previsão de vazão 08-14/03/2009 - Posto INR.

Data	Ep (mm)	INR	GAV	FSB	P (mm)	Rsolo (mm)	Tu (mm)	Es (mm)	Er (mm)	Rec (mm)	Rsup (mm)	Ed (mm)	Rsub (mm)	Eb (mm)	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)
		P (mm)	P (mm)	P (mm)												
08	4,35	0	0	0	0,0	208	0,35	0,0	1,5	0,0	0	0,0	21	0,2	6	4,5
09	4,35	5,4	4,067	1,7	3,6	208	0,35	0,0	3,8	0,0	0	0,0	20	0,2	6	6,6
10	4,35	21,4	25,53	21,25	20,4	223	0,35	0,8	4,4	0,0	1	0,0	20	0,2	5	12,1
11	4,35	41,25	39,53	38,85	34,2	251	0,37	2,5	4,4	0,0	3	0,3	20	0,2	10	17,1
12	4,35	16,45	15,93	13,05	13,5	259	0,42	0,4	4,4	0,0	3	0,9	20	0,2	24	20,4
13	4,35	13,5	14,3	13,85	12,0	267	0,43	0,3	4,4	0,0	2	0,8	19	0,2	21	20,1
14	4,35	6,35	7,5	6,4	6,0	268	0,44	0,0	4,4	0,0	2	0,6	19	0,2	18	20,6

Tabela 4.24 – Previsão de vazão 01-07/06/2009 - Posto INR.

Data	Ep (mm)	INR	GAV	FSB	P (mm)	Rsolo (mm)	Tu (mm)	Es (mm)	Er (mm)	Rec (mm)	Rsup (mm)	Ed (mm)	Rsub (mm)	Eb (mm)	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)
		P (mm)	P (mm)	P (mm)												
01	4,35	0,9	1,1	0,35	0,8	209	0,35	0,0	2,1	0,0	0	0,1	87	1,0	23	18,3
02	4,35	0	0	0,15	0,0	207	0,35	0,0	1,5	0,0	0	0,1	86	1,0	22	20,1
03	4,35	0	0	0,6	0,1	206	0,35	0,0	1,5	0,0	0	0,0	85	1,0	22	23,4
04	4,35	0,15	0	4,2	0,5	204	0,34	0,0	1,8	0,0	0	0,0	84	1,0	21	25,2
05	4,35	0	0	0,6	0,1	203	0,34	0,0	1,5	0,0	0	0,0	83	1,0	21	25,2
06	4,35	0	0	0	0,0	202	0,34	0,0	1,5	0,0	0	0,0	82	1,0	20	25,7
07	4,35	0	0	0	0,0	200	0,34	0,0	1,5	0,0	0	0,0	81	0,9	20	23,8

Tabela 4.25 – Previsão de vazão 01-07/11/2009 - Posto INR.

Data	Ep (mm)	INR	GAV	FSB	P (mm)	Rsolo (mm)	Tu (mm)	Es (mm)	Er (mm)	Rec (mm)	Rsup (mm)	Ed (mm)	Rsub (mm)	Eb (mm)	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)
		P (mm)	P (mm)	P (mm)												
01	4,35	0	0	0	0,0	208	0,35	0,0	1,5	0,0	0	0,0	54	0,6	14	14,5
02	4,35	0	0	0	0,0	207	0,35	0,0	1,5	0,0	0	0,0	53	0,6	14	13,8
03	4,35	0	0	0	0,0	205	0,34	0,0	1,5	0,0	0	0,0	52	0,6	13	12,8
04	4,35	0	0,07	0	0,0	204	0,34	0,0	1,5	0,0	0	0,0	52	0,6	13	12,5
05	4,35	0,5	2,57	2,05	1,6	203	0,34	0,0	2,5	0,0	0	0,0	51	0,6	13	12,4
06	4,35	7,55	14,9	4,55	9,8	208	0,34	0,2	4,4	0,0	0	0,0	51	0,6	12	12,6
07	4,35	7,95	2,9	2,95	3,8	208	0,35	0,0	4,0	0,0	0	0,1	50	0,6	13	13,8

4.6.2 Posto Gavião Peixoto (GAV)

Os parâmetros de entrada do modelo e os pesos dos postos pluviométricos estão nas Tabelas 4.9 e 4.10. São utilizados os mesmos valores para os quatro períodos de aplicação.

Na Tabela 4.26 estão os valores de inicialização do modelo. Nas Tabelas 4.27 a 4.30 estão os resultados de previsão de vazão.

Tabela 4.26 – Valores para inicialização do modelo - Posto GAV.

Inicialização	21-27/02/2009	8-14/03/2009	1-7/06/2009	1-7/11/2009
<i>Tuin</i>	35 %	35 %	35 %	35 %
<i>Ebin</i>	50 m ³ /s	31 m ³ /s	27 m ³ /s	31 m ³ /s
<i>Supin</i>	4 m ³ /s	2 m ³ /s	2 m ³ /s	2 m ³ /s

Tabela 4.27 – Previsão de vazão de 21-27/02/2009 - Posto GAV.

Data	Ep (mm)	INR	GAV	FSB	P (mm)	Rsolo (mm)	Tu (mm)	Es (mm)	Er (mm)	Rec (mm)	Rsup (mm)	Ed (mm)	Rsub (mm)	Eb (mm)	Vazão Calc. (m ³ /s)	Vazão Obs. (m ³ /s)
		P (mm)	P (mm)	P (mm)												
21	4,35	1,15	0,8	1,2	0,8	221	0,35	0,0	2,0	0,0	0	0,1	107	1,8	54	57,5
22	4,35	0,1	0,067	0,5	0,1	220	0,35	0,0	1,6	0,0	0	0,1	105	1,7	52	52,1
23	4,35	2,7	3,8	4	2,9	219	0,35	0,0	3,4	0,0	0	0,1	103	1,7	50	44,4
24	4,35	3,85	4,067	6,6	3,4	219	0,34	0,0	3,7	0,0	0	0,1	102	1,7	49	40
25	4,35	4,35	4,033	5,75	3,6	218	0,34	0,0	3,8	0,0	0	0,0	100	1,7	48	38,5
26	4,35	8,15	7,633	7,4	6,7	221	0,34	0,0	4,4	0,0	0	0,0	98	1,6	47	40,4
27	4,35	3,3	5	5,95	3,7	220	0,35	0,0	3,9	0,0	0	0,0	97	1,6	46	40,6

Tabela 4.28 – Previsão de vazão de 08-14/03/2009 - Posto GAV.

Data	Ep (mm)	INR	GAV	FSB	P (mm)	Rsolo (mm)	Tu (mm)	Es (mm)	Er (mm)	Rec (mm)	Rsup (mm)	Ed (mm)	Rsub (mm)	Eb (mm)	Vazão Calc. (m ³ /s)	Vazão Obs. (m ³ /s)
		P (mm)	P (mm)	P (mm)												
08	4,35	0	0	0	0,0	221	0,35	0,0	1,5	0,0	0	0,1	66	1,1	33	27,6
09	4,35	5,4	4,067	1,7	3,9	221	0,35	0,0	4,1	0,0	0	0,1	65	1,1	32	30,9
10	4,35	21,4	25,53	21,25	20,3	236	0,35	0,5	4,4	0,0	1	0,0	64	1,1	31	31,9
11	4,35	41,25	39,53	38,85	34,3	264	0,37	2,0	4,4	0,0	2	0,2	63	1,0	35	41,4
12	4,35	16,45	15,93	13,05	13,8	273	0,42	0,2	4,4	0,0	2	0,7	62	1,0	49	52,8
13	4,35	13,5	14,3	13,85	11,9	281	0,43	0,1	4,4	0,0	2	0,6	61	1,0	45	52,8
14	4,35	6,35	7,5	6,4	6,0	282	0,44	0,0	4,4	0,0	1	0,4	60	1,0	40	58,5

Tabela 4.29 – Previsão de vazão de 01-07/06/2009 - Posto GAV.

Data	Ep (mm)	INR	GAV	FSB	P (mm)	Rsolo (mm)	Tu (mm)	Es (mm)	Er (mm)	Rec (mm)	Rsup (mm)	Ed (mm)	Rsub (mm)	Eb (mm)	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)
		P (mm)	P (mm)	P (mm)												
01	4,35	0,9	1,1	0,35	0,9	221	0,35	0,0	2,1	0,0	0	0,0	58	1,0	28	28,6
02	4,35	0	0	0,15	0,0	220	0,35	0,0	1,5	0,0	0	0,0	57	0,9	27	28,2
03	4,35	0	0	0,6	0,0	218	0,35	0,0	1,5	0,0	0	0,0	56	0,9	27	28,3
04	4,35	0,15	0	4,2	0,1	217	0,34	0,0	1,5	0,0	0	0,0	55	0,9	26	28
05	4,35	0	0	0,6	0,0	215	0,34	0,0	1,5	0,0	0	0,0	54	0,9	26	27,4
06	4,35	0	0	0	0,0	214	0,34	0,0	1,5	0,0	0	0,0	53	0,9	25	27,7
07	4,35	0	0	0	0,0	212	0,34	0,0	1,5	0,0	0	0,0	52	0,9	25	27,8

Tabela 4.30 – Previsão de vazão de 01-07/11/2009 - Posto GAV.

Data	Ep (mm)	INR	GAV	FSB	P (mm)	Rsolo (mm)	Tu (mm)	Es (mm)	Er (mm)	Rec (mm)	Rsup (mm)	Ed (mm)	Rsub (mm)	Eb (mm)	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)
		P (mm)	P (mm)	P (mm)												
01	4,35	0	0	0	0,0	221	0,35	0,0	1,5	0,0	0	0,1	66	1,1	33	33
02	4,35	0	0	0	0,0	219	0,35	0,0	1,5	0,0	0	0,1	65	1,1	32	30,7
03	4,35	0	0	0	0,0	218	0,35	0,0	1,5	0,0	0	0,0	64	1,1	31	27,1
04	4,35	0	0,07	0	0,0	216	0,34	0,0	1,5	0,0	0	0,0	63	1,0	30	26,3
05	4,35	0,5	2,57	2,05	1,5	215	0,34	0,0	2,4	0,0	0	0,0	62	1,0	30	27
06	4,35	7,55	14,9	4,55	10,1	221	0,34	0,1	4,4	0,0	0	0,0	61	1,0	29	28,1
07	4,35	7,95	2,9	2,95	4,3	221	0,35	0,0	4,3	0,0	0	0,0	60	1,0	29	28,3

4.6.3 Posto Fazenda São Benedito (FSB)

Os parâmetros de entrada do modelo e os pesos dos postos pluviométricos estão nas Tabelas 4.13 e 4.14. São utilizados os mesmos valores para os quatro períodos de aplicação.

Na Tabela 4.31 estão os valores de inicialização do modelo. Nas Tabelas 4.32 a 4.35 estão os resultados de previsão de vazão.

Tabela 4.31 – Valores para inicialização do modelo - Posto FSB.

Inicialização	21-27/02/2009	8-14/03/2009	1-7/06/2009	1-7/11/2009
<i>Tuin</i>	35 %	35 %	35 %	35 %
<i>Ebin</i>	66 m³/s	31 m³/s	27 m³/s	2 m³/s
<i>Supin</i>	12 m³/s	2 m³/s	2 m³/s	1 m³/s

Tabela 4.32 – Previsão de vazão de 21-27/02/2009 - Posto FSB.

Data	Ep (mm)	INR	GAV	FSB	P (mm)	Rsolo (mm)	Tu (mm)	Es (mm)	Er (mm)	Rec (mm)	Rsup (mm)	Ed (mm)	Rsub (mm)	Eb (mm)	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)
		P (mm)	P (mm)	P (mm)												
21	4,35	1,15	0,8	1,2	1,0	296	0,35	0,0	2,2	0,0	3	0,4	90	2,1	78	80,8
22	4,35	0,1	0,067	0,5	0,2	295	0,35	0,0	1,7	0,0	3	0,3	88	2,1	75	68,6
23	4,35	2,7	3,8	4	3,8	295	0,35	0,0	4,0	0,0	2	0,3	86	2,0	72	59,8
24	4,35	3,85	4,067	6,6	5,1	295	0,35	0,0	4,4	0,0	2	0,3	84	2,0	70	54,4
25	4,35	4,35	4,033	5,75	4,8	296	0,35	0,0	4,4	0,0	2	0,2	82	1,9	68	52,4
26	4,35	8,15	7,633	7,4	7,6	299	0,35	0,1	4,4	0,0	2	0,2	80	1,9	65	52
27	4,35	3,3	5	5,95	5,2	300	0,35	0,0	4,4	0,0	1	0,2	78	1,8	63	54

Tabela 4.33 – Previsão de vazão de 8-14/03/2009 - Posto FSB.

Data	Ep (mm)	INR	GAV	FSB	P (mm)	Rsolo (mm)	Tu (mm)	Es (mm)	Er (mm)	Rec (mm)	Rsup (mm)	Ed (mm)	Rsub (mm)	Eb (mm)	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)
		P (mm)	P (mm)	P (mm)												
08	4,35	0	0	0	0,0	296	0,35	0,0	1,5	0,0	0	0,1	42	1,0	33	30,7
09	4,35	5,4	4,067	1,7	3,3	296	0,35	0,0	3,6	0,0	0	0,1	41	1,0	32	31,7
10	4,35	21,4	25,53	21,25	23,4	314	0,35	0,8	4,4	0,0	1	0,1	40	0,9	31	28,8
11	4,35	41,25	39,53	38,85	39,4	346	0,37	2,4	4,4	0,0	3	0,1	39	0,9	33	37,4
12	4,35	16,45	15,93	13,05	14,8	357	0,41	0,3	4,4	0,0	3	0,4	39	0,9	41	34,9
13	4,35	13,5	14,3	13,85	14,0	366	0,42	0,3	4,4	0,0	3	0,4	38	0,9	40	52,8
14	4,35	6,35	7,5	6,4	6,9	369	0,43	0,1	4,4	0,0	3	0,4	37	0,9	39	58,5

Tabela 4.34 – Previsão de vazão de 01-07/06/2009 - Posto FSB.

Data	Ep (mm)	INR	GAV	FSB	P (mm)	Rsolo (mm)	Tu (mm)	Es (mm)	Er (mm)	Rec (mm)	Rsup (mm)	Ed (mm)	Rsub (mm)	Eb (mm)	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)
		P (mm)	P (mm)	P (mm)												
01	4,35	0,9	1,1	0,35	0,8	296	0,35	0,0	2,0	0,0	0	0,1	37	0,9	29	28,6
02	4,35	0	0	0,15	0,1	295	0,35	0,0	1,6	0,0	0	0,1	36	0,8	28	28,2
03	4,35	0	0	0,6	0,2	293	0,35	0,0	1,7	0,0	0	0,0	35	0,8	27	28,3
04	4,35	0,15	0	4,2	1,7	292	0,35	0,0	2,6	0,0	0	0,0	34	0,8	27	28
05	4,35	0	0	0,6	0,2	291	0,34	0,0	1,7	0,0	0	0,0	34	0,8	26	27,4
06	4,35	0	0	0	0,0	290	0,34	0,0	1,5	0,0	0	0,0	33	0,8	25	27,7
07	4,35	0	0	0	0,0	288	0,34	0,0	1,5	0,0	0	0,0	32	0,7	24	27,8

Tabela 4.35 – Previsão de vazão de 01-07/11/2009 - Posto FSB.

Data	Ep (mm)	INR	GAV	FSB	P (mm)	Rsolo (mm)	Tu (mm)	Es (mm)	Er (mm)	Rec (mm)	Rsup (mm)	Ed (mm)	Rsub (mm)	Eb (mm)	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)
		P (mm)	P (mm)	P (mm)												
01	4,35	0	0	0	0,0	296	0,35	0,0	1,5	0,0	0	0,0	3	0,1	3	7,2
02	4,35	0	0	0	0,0	294	0,35	0,0	1,5	0,0	0	0,0	3	0,1	3	4,6
03	4,35	0	0	0	0,0	293	0,35	0,0	1,5	0,0	0	0,0	3	0,1	3	3,2
04	4,35	0	0,067	0	0,0	291	0,34	0,0	1,5	0,0	0	0,0	3	0,1	3	1,3
05	4,35	0,5	2,567	2,05	2,2	291	0,34	0,0	2,9	0,0	0	0,0	2	0,1	2	1,1
06	4,35	7,55	14,9	4,55	10,0	296	0,34	0,1	4,4	0,0	0	0,0	2	0,1	2	2,5
07	4,35	7,95	2,9	2,95	3,4	296	0,35	0,0	3,7	0,0	0	0,0	2	0,1	3	2,1

4.7 Etapa de Análise dos Resultados

Nesta seção é apresentado o procedimento (12) para análise dos resultados de previsão de vazão com o modelo SMAP para INR, GAV e FSB. Este modelo foi aplicado pelo ONS em algumas bacias, como na bacia do rio Grande. No relatório de avaliação anual das previsões de vazões de 2007 foi apresentado desvio entre vazão prevista e observada de 20% para a bacia do rio Grande com o modelo SMAP e de 30% para a bacia do rio Tietê com o modelo PREVIVAZ (ONS, 2008).

Para classificar os resultados, foram analisados os valores dos indicadores de desempenho *NSE*, *RDP*, *PBIAS* e *DRP*. Foi analisada a previsão de vazão da etapa de aplicação realizada em períodos curtos, por isso o hidrograma não foi utilizado. Ele é muito bom para analisar vazões observadas e previstas para períodos longos.

4.7.1 Posto Invernada Recreio (INR)

A Tabela 4.36 apresenta a vazão calculada e observada para o período do dia 21-27/02/2009 e os resultados dos indicadores de desempenho. Os indicadores *NSE*, *RDP* e *PBIAS* tiveram classificação entre muito bom e bom. O indicador *DRP* apresentou resultado de 18%, muito bom comparando com o resultado obtido pelo ONS com o modelo PREVIVAZ para esta bacia, que é em torno de 30% (ONS, 2008).

Tabela 4.36 – Previsão de vazão de 21-27/02/2009 e indicadores de desempenho - Posto INR.

Data	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)	Indicadores	Valores	Classificação
21/02/2009	13	12,6	<i>NSE</i>	0,75	Muito Bom
22/02/2009	12	10,2	<i>RDP</i>	0,50	Bom
23/02/2009	12	8,5	<i>PBIAS</i>	-14 %	Bom
24/02/2009	11	7,9	<i>DRP</i>	18 %	
25/02/2009	11	9,5			
26/02/2009	11	10,8			
27/02/2009	11	11,6			

A Tabela 4.37 apresenta a vazão calculada e observada para o período do dia 08-14/03/2009 e os resultados dos indicadores de desempenho. Os indicadores *NSE*, *RDP* e *PBIAS* foram classificados entre muito bom e bom. O indicador *DRP* apresentou resultado de 25%, razoável comparando com o resultado obtido pelo ONS com o modelo PREVIVAZ para esta bacia, que é em torno de 30% (ONS, 2008).

Tabela 4.37 – Previsão de vazão de 08-14/03/2009 e indicadores de desempenho - Posto INR.

Data	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)	Indicadores	Valores	Classificação
08/03/2009	6	4,5	<i>NSE</i>	0,76	Muito Bom
09/03/2009	6	6,6	<i>RDP</i>	0,49	Muito Bom
10/03/2009	5	12,1	<i>PBIAS</i>	12	Bom
11/03/2009	10	17,1	<i>DRP</i>	25 %	
12/03/2009	24	20,4			
13/03/2009	21	20,1			
14/03/2009	18	20,6			

A Tabela 4.38 apresenta a vazão calculada e observada para o período do dia 01-07/11/2009 e os resultados dos indicadores de desempenho. Os indicadores *NSE*, *RDP* e *PBIAS* foram classificados como muito bom. O indicador *DRP* apresentou resultado de 3%, ótimo

comparando com o resultado obtido pelo ONS com o modelo PREVIVAZ para esta bacia, que é em torno de 30% (ONS, 2008).

Tabela 4.38 – Previsão de vazão de 01-07/06/2009 e indicadores de desempenho - Posto INR.

Data	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)	Indicadores	Valores	Classificação
01/06/2009	22	18,3	<i>NSE</i>	0,80	Muito Bom
02/06/2009	22	20,1	<i>RDP</i>	0,45	Muito Bom
03/06/2009	21	23,4	<i>PBIAS</i>	8 %	Muito Bom
04/06/2009	21	25,2	<i>DRP</i>	17 %	
05/06/2009	20	25,2			
06/06/2009	20	25,7			
07/06/2009	22	23,8			

A Tabela 4.39 apresenta a vazão calculada e observada para o período do dia 01-07/11/2009 e os resultados dos indicadores de desempenho. Os indicadores *NSE*, *RDP* e *PBIAS* foram classificados como muito bom. O indicador *DRP* apresentou resultado de 3%, ótimo comparando com o resultado obtido pelo ONS com o modelo PREVIVAZ para esta bacia, que é em torno de 30% (ONS, 2008).

Tabela 4.39 – Previsão de vazão de 01-07/11/2009 e indicadores de desempenho - Posto INR.

Data	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)	Indicadores	Valores	Classificação
01/11/2009	14	14,5	<i>NSE</i>	0,99	Muito Bom
02/11/2009	14	13,8	<i>RDP</i>	0,08	Muito Bom
03/11/2009	13	12,8	<i>PBIAS</i>	0 %	Muito Bom
04/11/2009	13	12,5	<i>DRP</i>	3 %	
05/11/2009	13	12,4			
06/11/2009	12	12,6			
07/11/2009	14	14,5			

4.7.2 Posto Gavião Peixoto (GAV)

A Tabela 4.40 apresenta a vazão calculada e observada para o período do dia 21-27/02/2009 e os resultados dos indicadores de desempenho. Os indicadores *NSE*, *RDP* e *PBIAS* foram classificados como muito bom. O indicador *DRP* apresentou resultado de 14%, muito bom comparando com o resultado obtido pelo ONS com o modelo PREVIVAZ para esta bacia, que é em torno de 30% (ONS, 2008).

Tabela 4.40 – Previsão de vazão de 21-27/02/2009 e indicadores de desempenho - Posto GAV.

Data	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)	Indicadores	Valores	Classificação
21/02/2009	54	57,5	<i>NSE</i>	0,88	Muito Bom
22/02/2009	52	52,1	<i>RDP</i>	0,35	Muito Bom
23/02/2009	50	44,4	<i>PBIAS</i>	-10 %	Muito Bom
24/02/2009	49	40	<i>DRP</i>	14 %	
25/02/2009	48	38,5			
26/02/2009	47	40,4			
27/02/2009	46	40,6			

A Tabela 4.41 apresenta a vazão calculada e observada para o período do dia 08-14/03/2009 e os resultados dos indicadores de desempenho. Os indicadores *NSE*, *RDP* e *PBIAS* foram classificados entre muito bom e bom. O indicador *DRP* apresentou resultado de 14%, muito bom comparando com o resultado obtido pelo ONS com o modelo PREVIVAZ para esta bacia, que é em torno de 30% (ONS, 2008).

Tabela 4.41 – Previsão de vazão de 08-14/03/2009 e indicadores de desempenho - Posto GAV.

Data	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)	Indicadores	Valores	Classificação
08/03/2009	33	27,6	<i>NSE</i>	0,82	Muito Bom
09/03/2009	32	30,9	<i>RDP</i>	0,42	Muito Bom
10/03/2009	31	31,9	<i>PBIAS</i>	11	Bom
11/03/2009	35	41,4	<i>DRP</i>	14 %	

12/03/2009	49	52,8
13/03/2009	45	52,8
14/03/2009	40	58,5

A Tabela 4.42 apresenta a vazão calculada e observada para o período do dia 01-07/06/2009 e os resultados dos indicadores de desempenho estão na Tabela 4.37. Os indicadores *NSE*, *RDP* e *PBIAS* foram classificados como muito bom. O indicador *DRP* apresentou resultado de 7%, ótimo comparando com o resultado obtido pelo ONS com o modelo PREVIVAZ para esta bacia, que é em torno de 30% (ONS, 2008).

Tabela 4.42 – Previsão de vazão de 01-07/06/2009 e indicadores de desempenho - Posto GAV.

Data	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)	Indicadores	Valores	Classificação
01/06/2009	28	28,6	<i>NSE</i>	0,96	Muito Bom
02/06/2009	27	28,2	<i>RDP</i>	0,19	Muito Bom
03/06/2009	27	28,3	<i>PBIAS</i>	7 %	Muito Bom
04/06/2009	26	28	<i>DRP</i>	7 %	
05/06/2009	26	27,4			
06/06/2009	25	27,7			
07/06/2009	25	27,8			

A Tabela 4.43 apresenta a vazão calculada e observada para o período do dia 01-07/11/2009 e os resultados dos indicadores de desempenho estão na Tabela 4.38. Os indicadores *NSE*, *RDP* e *PBIAS* foram classificados como muito bom. O indicador *DRP* apresentou resultado de 7%, ótimo comparando com o resultado obtido pelo ONS com o modelo PREVIVAZ para esta bacia, que é em torno de 30% (ONS, 2008).

Tabela 4.43 – Previsão de vazão de 01-07/11/2009 e indicadores de desempenho - Posto GAV.

Data	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)	Indicadores	Valores	Classificação
01/11/2009	33	33	<i>NSE</i>	0,95	Muito Bom
02/11/2009	32	30,7	<i>RDP</i>	0,21	Muito Bom
03/11/2009	31	27,1	<i>PBIAS</i>	-6 %	Muito Bom
04/11/2009	30	26,3	<i>DRP</i>	7 %	
05/11/2009	30	27			
06/11/2009	29	28,1			
07/11/2009	29	28,3			

4.7.3 Posto Fazenda São Benedito (FSB)

A Tabela 4.44 apresenta a vazão calculada e observada para o período do dia 21-27/02/2009 e os resultados dos indicadores de desempenho. Os indicadores *NSE*, *RDP* e *PBIAS* tiveram classificação como muito bom e satisfatório. O indicador *DRP* apresentou resultado de 19%, bom comparando com o resultado obtido pelo ONS com o modelo PREVIVAZ para esta bacia, que é em torno de 30% (ONS, 2008).

Tabela 4.44 – Previsão de vazão de 21-27/02/2009 e indicadores de desempenho - Posto FSB.

Data	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)	Indicadores	Valores	Classificação
21/02/2009	78	80,8	<i>NSE</i>	0,78	Muito Bom
22/02/2009	75	68,6	<i>RDP</i>	0,47	Muito Bom
23/02/2009	72	59,8	<i>PBIAS</i>	-16 %	Satisfatório
24/02/2009	70	54,4	<i>DRP</i>	19 %	
25/02/2009	68	52,4			
26/02/2009	65	52			
27/02/2009	63	54			

A Tabela 4.45 apresenta a vazão calculada e observada para o período do dia 08-14/03/2009 e os resultados dos indicadores de desempenho. Os indicadores *NSE*, *RDP* e *PBIAS* tiveram classificação como muito bom e bom. O indicador *DRP* apresentou resultado de 15%, muito bom comparando com o resultado obtido pelo ONS com o modelo PREVIVAZ para esta bacia, que é em torno de 30% (ONS, 2008).

Tabela 4.45 – Previsão de vazão de 09-15/03/2009 e indicadores de desempenho - Posto FSB.

Data	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)	Indicadores	Valores	Classificação
08/03/2009	33	30,7	<i>NSE</i>	0,74	Bom
09/03/2009	32	31,7	<i>RDP</i>	0,51	Bom
10/03/2009	31	28,8	<i>PBIAS</i>	9	Muito Bom
11/03/2009	33	37,4	<i>DRP</i>	15 %	
12/03/2009	41	34,9			
13/03/2009	40	52,8			
14/03/2009	39	58,5			

A Tabela 4.46 apresenta a vazão calculada e observada para o período do dia 01-07/06/2009 e os resultados dos indicadores de desempenho estão na Tabela 4.40. Os indicadores *NSE*, *RDP* e *PBIAS* foram classificados como muito bom. O indicador *DRP* apresentou resultado de 5%, ótimo comparando com o resultado obtido pelo ONS com o modelo PREVIVAZ para esta bacia, que é em torno de 30% (ONS, 2008).

Tabela 4.46 – Previsão de vazão de 01-07/06/2009 e indicadores de desempenho - Posto FSB.

Data	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)	Indicadores	Valores	Classificação
01/06/2009	29	28,6	<i>NSE</i>	0,97	Muito Bom
02/06/2009	28	28,2	<i>RDP</i>	0,17	Muito Bom
03/06/2009	27	28,3	<i>PBIAS</i>	5 %	Muito Bom
04/06/2009	27	28	<i>DRP</i>	5 %	

05/06/2009	26	27,4
06/06/2009	25	27,7
07/06/2009	24	27,8

A Tabela 4.47 apresenta a vazão calculada e observada para o período do dia 01-07/11/2009 e os resultados dos indicadores de desempenho estão na Tabela 4.41. Os indicadores *NSE*, *RDP* e *PBIAS* foram classificados como muito bom. O indicador *DRP* apresentou resultado de 52%, insatisfatório comparando com o resultado obtido pelo ONS com o modelo PREVIVAZ para esta bacia, que é em torno de 30% (ONS, 2008).

Tabela 4.47 – Previsão de vazão de 01-07/11/2009 e indicadores de desempenho - Posto FSB.

Data	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)	Indicadores	Valores	Classificação
01/11/2009	3	7,2	<i>NSE</i>	0,34	Muito Bom
02/11/2009	3	4,6	<i>RDP</i>	0,81	Muito Bom
03/11/2009	3	3,2	<i>PBIAS</i>	16 %	Muito Bom
04/11/2009	3	1,3	<i>DRP</i>	52 %	
05/11/2009	2	1,1			
06/11/2009	2	2,5			
07/11/2009	3	2,1			

4.8 Previsão de Vazão para INR, GAV e FSB de 15 e 30 dias

Para o Posto INR, GAV e FSB segunda semana, período 01-07/06/2009, foram realizados testes estendendo uma e duas semanas. Então, o SMAP foi também aplicado para previsão de 15 e 30 dias à frente. O objetivo foi conhecer o desempenho do modelo para períodos maiores. Os resultados para o período de 01-15/06/2009 e 01-30/06/2009 são apresentados na Tabela 4.48 a 4.53.

Tabela 4.48– Previsão de vazão de 01-15/06/2009 e 01-30/06/2009 Posto INR.

Data	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)	Data	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)
01/06/2009	23	18,3	01/06/2009	23	18,3
02/06/2009	22	20,1	02/06/2009	22	20,1
03/06/2009	22	23,4	03/06/2009	22	23,4
04/06/2009	21	25,2	04/06/2009	21	25,2
05/06/2009	21	25,2	05/06/2009	21	25,2
06/06/2009	20	25,7	06/06/2009	20	25,7
07/06/2009	20	23,8	07/06/2009	20	23,8
08/06/2009	20	22,9	08/06/2009	20	22,9
09/06/2009	19	21,9	09/06/2009	19	21,9
10/06/2009	19	22,2	10/06/2009	19	22,2
11/06/2009	19	23,3	11/06/2009	19	23,3
12/06/2009	20	24,5	12/06/2009	20	24,5
13/06/2009	19	25,5	13/06/2009	19	25,5
14/06/2009	19	27,4	14/06/2009	19	27,4
15/06/2009	18	25,5	15/06/2009	18	25,5
			16/06/2009	18	38,75
			17/06/2009	18	52
			18/06/2009	17	50,6
			19/06/2009	17	38,7
			20/06/2009	17	26,8
			21/06/2009	17	18,6
			22/06/2009	17	19,6
			23/06/2009	16	32,9
			24/06/2009	16	43,1
			25/06/2009	16	43,8
			26/06/2009	16	43,9
			27/06/2009	16	42,8
			28/06/2009	15	43
			29/06/2009	16	42,2
			30/06/2009	15	40,3

Tabela 4.49– Previsão de vazão de 01-15/06/2009 e 01-30/06/2015 Posto GAV.

Data	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)	Data	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)
01/06/2009	28	28,6	01/06/2009	28	28,6
02/06/2009	27	28,2	02/06/2009	27	28,2
03/06/2009	27	28,3	03/06/2009	27	28,3
04/06/2009	26	28	04/06/2009	26	28
05/06/2009	26	27,4	05/06/2009	26	27,4
06/06/2009	25	27,7	06/06/2009	25	27,7
07/06/2009	25	27,8	07/06/2009	25	27,8
08/06/2009	24	27,4	08/06/2009	24	27,4
09/06/2009	24	27,1	09/06/2009	24	27,1
10/06/2009	23	27,4	10/06/2009	23	27,4
11/06/2009	23	28,7	11/06/2009	23	28,7
12/06/2009	23	30,9	12/06/2009	23	30,9
13/06/2009	23	32,7	13/06/2009	23	32,7
14/06/2009	22	32,5	14/06/2009	22	32,5
15/06/2009	22	31,3	15/06/2009	22	31,3
			16/06/2009	21	29,1
			17/06/2009	21	27,9
			18/06/2009	20	28,1
			19/06/2009	20	27,9
			20/06/2009	20	27,7
			21/06/2009	19	27,5
			22/06/2009	19	27
			23/06/2009	19	25,9
			24/06/2009	18	26,7
			25/06/2009	18	26,8
			26/06/2009	18	27,3
			27/06/2009	18	28,1
			28/06/2009	17	31,7
			29/06/2009	17	33,3
			30/06/2009	17	33,9

Tabela 4.50– Previsão de vazão de 01-15/06/2009 e 01-30/06/2015 Posto FSB.

Data	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)	Data	Vazão Calc. (m³/s)	Vazão Obs. (m³/s)
01/06/2009	29	28,6	01/06/2009	29	28,6
02/06/2009	28	28,2	02/06/2009	28	28,2
03/06/2009	27	28,3	03/06/2009	27	28,3
04/06/2009	27	28	04/06/2009	27	28
05/06/2009	26	27,4	05/06/2009	26	27,4
06/06/2009	25	27,7	06/06/2009	25	27,7
07/06/2009	24	27,8	07/06/2009	24	27,8
08/06/2009	24	27,4	08/06/2009	24	27,4
09/06/2009	23	27,1	09/06/2009	23	27,1
10/06/2009	23	27,4	10/06/2009	23	27,4
11/06/2009	22	28,7	11/06/2009	22	28,7
12/06/2009	22	30,9	12/06/2009	22	30,9
13/06/2009	21	32,7	13/06/2009	21	32,7
14/06/2009	21	32,5	14/06/2009	21	32,5
15/06/2009	20	31,3	15/06/2009	20	31,3
			16/06/2009	20	29,1
			17/06/2009	19	40,1
			18/06/2009	19	39,6
			19/06/2009	18	40,3
			20/06/2009	18	37,4
			21/06/2009	17	38
			22/06/2009	17	39,3
			23/06/2009	17	36,1
			24/06/2009	16	35,7
			25/06/2009	16	37,1
			26/06/2009	15	36,9
			27/06/2009	15	32,1
			28/06/2009	15	37
			29/06/2009	15	40
			30/06/2009	14	36,2

Tabela 4.51 – Indicadores de desempenho de 01-15/06/2009 e 01-30/06/2009- Posto INR.

Indicadores	Valores	Classificação	Indicadores	Valores	Classificação
<i>NSE</i>	-3,31	Insatisfatório	<i>NSE</i>	-0,80	Insatisfatório
<i>RDP</i>	2,08	Insatisfatório	<i>RDP</i>	1,34	Insatisfatório
<i>PBIAS</i>	15 %	Satisfatório	<i>PBIAS</i>	41 %	Insatisfatório
<i>DRP</i>	19 %		<i>DRP</i>	36 %	

Tabela 4.52 – Indicadores de desempenho de 01-15/06/2009 e 01-30/06/2009- Posto INR.

Indicadores	Valores	Classificação	Indicadores	Valores	Classificação
<i>NSE</i>	-3,31	Insatisfatório	<i>NSE</i>	-0,80	Insatisfatório
<i>RDP</i>	2,08	Insatisfatório	<i>RDP</i>	1,34	Insatisfatório
<i>PBIAS</i>	15 %	Satisfatório	<i>PBIAS</i>	41 %	Insatisfatório
<i>DRP</i>	19 %		<i>DRP</i>	36 %	

Tabela 4.53 – Indicadores de desempenho de 01-15/06/2009 e 01-30/06/2009- Posto INR.

Indicadores	Valores	Classificação	Indicadores	Valores	Classificação
<i>NSE</i>	-3,31	Insatisfatório	<i>NSE</i>	-0,80	Insatisfatório
<i>RDP</i>	2,08	Insatisfatório	<i>RDP</i>	1,34	Insatisfatório
<i>PBIAS</i>	15 %	Satisfatório	<i>PBIAS</i>	41 %	Insatisfatório
<i>DRP</i>	19 %		<i>DRP</i>	36 %	

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste capítulo são apresentadas as conclusões e as sugestões de trabalhos futuros. Ele está dividido em duas seções.

5.1 Conclusões

Este trabalho apresentou a aplicação do modelo SMAP na bacia do rio Tietê para realizar previsões de vazão e analisar os resultados obtidos. Ele teve como objetivo aumentar a precisão das previsões auxiliando nas decisões e estratégias da produção e armazenamento de energia nas UHEs, aumentando a sua eficiência e reduzindo os custos de complementação térmica.

A metodologia usada neste trabalho consiste de uma sequência de procedimentos, com sete etapas. As etapas foram de: (1) definição dos objetos e períodos de estudo, (2) levantamento de dados de entrada, (3) localização e correção de inconsistências dos dados, (4) calibração e ajuste do modelo, (5) validação do modelo, (6) aplicação do modelo e (7) análise dos resultados.

Os objetos de estudo deste trabalho foram os postos fluviométricos e pluviométricos INR, GAV e FSB. A calibração do modelo foi realizada para o período de 12/2003 a 08/2005. O período de 12/2005 a 08/2007 foi utilizado na validação do modelo. Para aplicação do modelo foram utilizados alguns períodos do ano de 2009 para cada posto. Dos resultados obtidos é possível concluir que:

- Foi verificado um bom desempenho do modelo hidrológico SMAP na bacia estudada. O melhor resultado na aplicação do modelo apresentou um desvio de 3% entre vazão prevista e observada para o Posto INR. Este resultado foi obtido para previsão de vazão de 7 dias para a terceira semana do estudo de caso da etapa de aplicação. O pior resultado na aplicação do modelo apresentou um desvio de 52% entre a vazão prevista e observada para o posto FSB na terceira semana do estudo de caso. Este resultado ruim pode ter ocorrido devido a qualidade dos dados de vazão observada, que tiveram valores iguais para 5 dos 7 dias.
- Conforme esperado, as previsões realizadas para o período de 7 dias têm resultados melhores do que as previsões realizadas para os períodos de 15 ou 30 dias, segundo mostrado nos estudos de caso do posto INR da etapa de aplicação. A classificação dos indicadores de desempenho para o período de 7 dias ficou entre bom e muito bom, e para os períodos de 15 a 30 dias, ficou entre satisfatório e insatisfatório.
- O hidrograma é muito útil para verificar no espaço de tempo a qualidade da previsão. Diferente de um indicador numérico, ele permite visualizar graficamente o resultado para todo o período de previsão.

- Se o hidrograma estiver razoável, o resultado da previsão pode ser considerado bom mesmo quando nem todos os indicadores são classificados como satisfatórios. Isso aconteceu, por exemplo, na calibração manual do posto FSB, para o qual os indicadores *NSE* e *RDP* foram classificados como insatisfatórios e o *PBIAS* como muito bom.
- Para os três objetos de estudo desta dissertação, os melhores resultados de previsão de vazão com o modelo SMAP apresentam um desvio de 3% para INR, de 7 % para GAV e 5% para FSB. Estes resultados são muito bons comparando com o resultado obtido no relatório anual de avaliação de previsão de vazão do ONS, que apresentou um desvio de 30% usando o modelo PREVIVAZ para a bacia do rio Tietê.

5.2 Trabalhos Futuros

As sugestões de trabalhos futuros são:

- Avaliação estatística detalhada do desempenho do modelo. Para isto, o modelo calibrado e validado nesta pesquisa deve ser aplicado para diversos períodos com características distintas.
- Aplicação da metodologia proposta neste trabalho para dados de outras bacias do SIN. Desta forma, estende-se o uso do modelo SMAP, a partir da sequência de procedimentos descrita nesta dissertação, beneficiando o setor com ferramentas alternativas de previsão de vazão.
- Análise do impacto da qualidade dos dados de entrada do modelo no resultado da previsão de vazão. Para isto, recomenda-se aumentar a quantidade de pontos de medição e a qualidade dos valores medidos.
- Calibração do modelo SMAP para previsão mensal na bacia do rio Tietê. Neste trabalho foi feito uma previsão de 30 dias, com o modelo calibrado para previsão diária. Com a calibração do SMAP para previsão mensal espera-se que este apresente bons resultados na bacia do rio Tietê também para períodos longos.

6. Referências Bibliográficas

ANA, 2015a. *Mapa da bacia do rio Tietê*. Disponível em: http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sag/CobrancaUso/Cobranca/09_MapdTiete.jpg. Acesso em: 26/04/2015.

ANA, 2015b. *Dados de estações fluviométricas e pluviométricas*. Disponível em: <http://hidro.web.ana.gov.br/HidroWeb.asp?TocItem=1070&TipoReg=7&MostraCon=false&CriaArq=false&TipoArq=1&SerieHist=false>. Acesso em: 26/04/2015.

BALLINI, R.; SOARES, S.; ANDRADE, M. G. *Previsão de vazões médias mensais usando redes neurais nebulosas*. Revista Controle & Automação, Vol. 14, no. 3, Julho de 2003.

BATISTA, A. L. F. *Modelos de séries temporais e redes neurais artificiais na previsão de vazão*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras, 2009.

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, Vol. 12, no. 3, Julho/Setembro 2007.

GOMES, C. F. L.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; VALENÇA, M. J. S. *Modelo baseado na técnica de redes neurais para previsão de vazões na bacia do rio São Francisco*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 15, no. 1, Janeiro/Março 2010.

GUILHON, L. G. F.; ROCHA V. F.; MOREIRA, J. C. *Comparação de métodos de previsão de vazões naturais afluentes a aproveitamentos hidroelétricos*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 12, no. 3, Julho/Setembro 2007.

HIDALGO, I. G. *Ferramentas e metodologia para consolidação de dados de usinas hidrelétricas brasileiras*. Tese de Doutorado, FEEC/UNICAMP, 2009.

HIDALGO, I. G.; BARBOSA, P. S. F.; FRANCATO, A. L.; LUNA, I.; CORREIA, P. B.; PEDRO, P. S. M. *Management of inflow forecasting studies*. Water Practice and Technology, Vol. 10, pag. 402-408, 2015.

LAUDANNA, P. R.; COSTA, C. A. S.; LOPES, J. E. G.; CICOGNA, M. A.; MORIBE, C. H. *Sistema para a programação e operação em tempo real de sistemas hidrelétricos baseado em previsão de vazões e simulação hidráulica de reservatórios*. Anais do XVIII SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Curitiba, Outubro de 2005.

LOPES, J. E. G.; BRAGA B. P. F.; CONEJO J. G. L. *SMAP – A simplified hydrologic model*. Water Resources Publication (Org.). Applied Modeling in Catchment Hydrology.: Hittleton, 1982, p. 167-176.

MME, 2015. *Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico - Janeiro - 2015*. Ministério das Minas e Energia- MME. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/energia-eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico>. Acesso em: 26/04/2015.

MORIASI, D.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R.; HARMEL, R.; VEITH, T. L. *Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations*. Transactions of the ASABE 50, 885–900. 2007.

ONS, 2008. *Ata de reunião subgrupo de hidrologia do GT2*. Operador Nacional do Sistema Elétrico. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/documentos/Ata_Reuni%C3%A3o_13%C2%AA_SGHidrologia_Minuta1.pdf. Acesso em: 26/04/2015.

ONS, 2013. *Relatório anual de previsão de vazões 2013*. Disponível em: <http://www.ons.org.br/download/operacao/hidrologia/pvanual-2013.zip>. Acesso em: 26/04/2015.

ONS, 2015a. *Setor elétrico*. Disponível em: http://www.ons.org.br/institucional/modelo_setorial.aspx. Acesso em: 26/04/2015.

ONS, 2015b. *Relacionamentos ONS*. Disponível em: <http://www.ons.org.br/institucional/linguas/relacionamentos.aspx>. Acesso em: 26/04/2015.

SOUZA, Wanderson dos S.; SOUZA, Francisco de A. S. *Rede neural artificial aplicada à previsão de vazão da bacia hidrográfica do rio Piancó*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Vol. 14, no. 2, 2010.

TUCCI, C.E.M; COLLISCHONN, W. *Previsão de vazão em curto prazo com base na precipitação: modelos conceituais*. Em Workshop Previsão de Vazão, 2007.