

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
CENTRO TECNOLÓGICO – CTC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



ANÁLISE DE INCERTEZA NA PREVISÃO DOS MODELOS
METEOROLÓGICOS E HIDROLÓGICO DA FERRAMENTA
COMPUTACIONAL SPEHC NA SUB-BACIA DO RIO DO PEIXE

Robespierre Xavier da Silva Junior

Florianópolis
2016

Robespierre Xavier da Silva Junior

ANÁLISE DE INCERTEZA NA PREVISÃO DOS MODELOS
METEOROLÓGICOS E HIDROLÓGICO DA FERRAMENTA
COMPUTACIONAL SPEHC NA SUB-BACIA DO RIO DO PEIXE

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Universidade Federal de
Santa Catarina como requisito parcial para a
obtenção do grau de bacharelado em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Nádia Bernardi
Bonumá.

Coorientador: Me. Pedro Guilherme de Lara.

Florianópolis
2016

Robespierre Xavier da Silva Junior

**ANÁLISE DE INCERTEZA NA PREVISÃO DOS MODELOS
METEOROLÓGICOS E HIDROLÓGICO DA FERRAMENTA
COMPUTACIONAL SPEHC NA SUB-BACIA DO RIO DO PEIXE**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Civil, e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 05 julho de 2016.



Prof.ª Nádia Bernardi Bonumá, Dr.ª
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

*“Só enxerguei mais longe, foi porque
subi nos ombros do gigante”
(Sir Isaac Newton)*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe Claudia, por me apoiar em todas as decisões que eu decidi tomar nessa caminhada de vida e por trazer tantas palavras de apoio que foram o incentivo de querer sempre mais, ao meu pai Robespierre, por estar interessado em saber como os meus estudos estão sendo encaminhados, também quero agradecer a minha avó Ivone, por me proporcionar todas as bases sólidas e concisas para que eu mantivesse meu ritmo de estudo e nunca precisasse me preocupar com os empecilhos corriqueiros da vida, a minha avó Conceição, pelo seu carinho e sua garra, ao meu avô Francisco (*in memorium*), por me dar os conselhos mais valiosos e sempre me colocar em primeiro lugar em todos os aspectos, também quero agradecer a minha madrinha Gessy, que mesmo estando longe sempre confiou em mim e sempre teve o interesse em me ajudar cada vez mais, e a minha namorada 杨海飞 (Yang Hai Fei), por não me deixar desanimar e por me fazer sentir o sentimento mais lindo que eu já vivi, além dessas pessoas não poderia deixar de agradecer as minhas irmãs Ana Claudia e Vitória, pois, eu quero oferecer o meu completo apoio para que vocês tornem-se felizes. Os agradecimentos também se estendem a todos aqueles que diretamente ou indiretamente acreditaram nas minhas habilidades e capacidades.

Quero agradecer ao meu coorientador Pedro, pela quantidade de informações repassadas e por sempre estar a disposição para tirar dúvidas e responder os mais diversos questionamentos, a Professora Nádia, por aceitar ser a minha orientadora e ser sempre tão gentil nos nossos encontros, mostrando o caminho melhor a ser tomada e trazendo direções para serem tomadas.

RESUMO

Este trabalho tem como princípio apresentar a análise de incerteza nas previsões meteorológicas e hidrológicas da ferramenta computacional SPEHC. Para tanto, inicia-se o presente estudo apresentando uma introdução que salienta quais modelos meteorológicos e hidrológico utilizados nos cálculos. Além dos modelos implementados, os estudos tiveram como foco realizar análises na sub-bacia do Rio do Peixe, que tem como exutório o município de Tangará. Os resultados encontrados foram dispostos em três partes distintas que são as seguintes: análise de incerteza meteorológica, calibração do modelo hidrológico e análise de incertezas hidrológicas. Os estudos de incerteza meteorológica tiveram como início determinar para a região do presente estudo a diferença nos valores acumulados de precipitação dos dados do TRMM (que são utilizados na calibração do modelo) e os valores observados nos sete pluviômetros espalhados na região da sub-bacia hidrográfica. Após este cálculo foi elaborada uma análise em um evento crítico de precipitação, sendo que os modelos meteorológico BRAMS e ETA não foram coerentemente representativos nas estimativas pluviométricas nesse período de estudo. A segunda parte dos resultados apresentou a calibração do modelo hidrológico *PM Tank Model* que é utilizado na ferramenta computacional SPEHC. Para tanto, optou-se por elaborar uma série de dez calibrações diferentes para a mesma região. Este fato foi proposto para servir de base nas análises de previsão hidrológica. Na última etapa deste estudo foram analisados os dados de previsão hidrológica e concluiu-se que todas as análises referentes a previsão de vazão são diretamente interligadas a qualidade dos dados de precipitação. Sendo assim, o estudo de previsão hidrológica se ateve a analisar qualitativamente os resultados encontrados e identificando padrões assumidos nos referidos gráficos. Por fim, o presente estudo concluiu que as previsões hidrológicas são dependentes das previsões meteorológicas e portanto todas as incertezas atreladas a estas são repassadas a modelagem de vazão.

Palavras-chave: SPEHC, Previsão meteorológica, Previsão hidrológica, Análise de incertezas, PM Tank Model.

ABSTRACT

This paper has the principle analyzing uncertainties in weather and hydrological forecasts on software SPEHC. Therefore, begins this study presenting an introduction about meteorological and hydrological models used in the calculations. In addition to the models implemented, studies have focused on performing analysis on the Fish River sub-basin, where the discharge measure is in the city of Tangará. The results were arranged in three distinct parts which are as follows: weather uncertainty analysis, calibration of the hydrological model and analysis of hydrological uncertainties. The weather uncertainty studies beginning to determine for this study region the difference in cumulative values of precipitation from TRMM (used in model calibration) and the values observed in the seven rain gauges in the sub-basin area. After this, was prepared an analysis in a critical event of precipitation, and the weather models BRAMS and ETA were not consistently representative in rainfall estimates in this study. The second part of the results are the calibration of the PM Tank Model that is used on SPEHC. Therefore, it was decided to prepare a series of ten different calibrations for the same region. This fact has been proposed as the principle for the hydrological forecasting analyzes. In the last part of this study, the hydrological forecast were analyzed and it was concluded that all the analyzes regarding the flow prediction is directly linked to the quality of the precipitation. Therefore the hydrological forecast study only analyze the qualitatively results founded and identifying patterns assumed in these graphics. This study concluded that hydrological forecasts are dependent on weather forecasts and all the uncertainties linked to these are passed on modeling flow.

Key words: SPECH, weather forecast, Hydrological Forecast, Analyzing uncertainties, PM Tank Model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Esquema do ciclo da água.	18
Figura 2– Representação da bacia hidrográfica.	19
Figura 3– Pluviômetro (Esquerda) e Pluviógrafo (Direita).	22
Figura 4– Radar meteorológico.	22
Figura 5– Lisímetro.	23
Figura 6– Molinetes.	25
Figura 7 – Arranjo de Tanque conceitual do modelo Tank Model.	38
Figura 8 – Arranjo de Tanque conceitual do modelo Tank Model.	40
Figura 9 – Arranjo do sistema de previsão delft-FEWS.	42
Figura 10– Esquema de funcionamento do SPEHC.	44
Figura 11– Localização da área de estudo.	45
Figura 12 – Previsão hidrológica utilizando o SPEHC.	46
Figura 13 – Localização da sub-bacia do Rio do Peixe.	49
Figura 14 – Localização das estações pluviométricas e fluviométricas na sub-bacia do Rio do Peixe.	51
Figura 15 - Mapa de classificação do solo na sub-bacia do Rio do Peixe.	54
Figura 16 - Mapa de profundidade do solo na sub-bacia do Rio do Peixe.	56
Figura 17 – Uso do solo na sub-bacia do Rio do Peixe.	58
Figura 18 – Mapa hipsométrico da sub-bacia do Rio do Peixe.	59
Figura 19 – Precipitação média mensal acumulada nas estações pluviométricas.	60
Figura 20– Vazões médias mensais (1977-2015) para a estação fluviométrica de Rio das Antas.	62
Figura 21 – Curva de permanência da estação fluviométrica de Rio das Antas com dados de vazões médios mensais entre 1977-2015.	62
Figura 22 – Vazões médias mensais (1977-2015) para a estação fluviométrica de Tangará.	63
Figura 23 – Curva de permanência da estação fluviométrica de Tangará com dados de vazões médios mensais entre 1977-2015.	64
Figura 24 – Evapotranspiração média mensal (1977-2004) na sub-bacia do Rio do Peixe.	65
Figura 25 – Diagrama de massas do estudo de precipitação.	70
Figura 26 - Calibração CA 1 para o período de 6 meses de dados.	79
Figura 27 - Calibração CA 9 para o período de 12 meses de dados.	79
Figura 28 - Previsões de vazão calibração CA 1 (BRAMS).	81
Figura 29 - Previsões de vazão calibração CA 9 (BRAMS).	82
Figura 30 - Análise de Previsão de Vazão (BRAMS).	83
Figura 31- Previsões de vazão calibração CA 1 (ETA).	85
Figura 32- Previsões de vazão calibração CA 9 (ETA).	85
Figura 33 - Análise de Previsão de Vazão (ETA).	86
Figura 34 - Hidrograma e Hietograma CA 2 para o período de 6 meses.	100
Figura 35- Hidrograma e Hietograma CA 3 para o período de 6 meses.	100

Figura 36- Hidrograma e Hietograma CA 4 para o período de 6 meses.	101
Figura 37 - Hidrograma e Hietograma CA 5 para o período de 6 meses.	101
Figura 38 - Hidrograma e Hietograma CA 6 para o período de 12 meses.	102
Figura 39- Hidrograma e Hietograma CA 7 para o período de aproximadamente 12 meses.....	102
Figura 40- Hidrograma e Hietograma CA 8 para o período de aproximadamente 12 meses.....	103
Figura 41- Hidrograma e Hietograma CA 10 para o período de 12 meses. ...	103
Figura 42 - Previsões de vazão calibração CA 2 (BRAMS).	105
Figura 43 - Previsões de vazão calibração CA 3 (BRAMS).	105
Figura 44 - Previsões de vazão calibração CA 4 (BRAMS).	106
Figura 45 - Previsões de vazão calibração CA 5 (BRAMS).	106
Figura 46 - Previsões de vazão calibração CA 6 (BRAMS).	107
Figura 47 - Previsões de vazão calibração CA 7 (BRAMS).	107
Figura 48 - Previsões de vazão calibração CA 8 (BRAMS).	108
Figura 49 - Previsões de vazão calibração CA 10 (BRAMS).	108
Figura 50 - Previsões de vazão calibração CA 2 (ETA).	109
Figura 51 - Previsões de vazão calibração CA 3 (ETA).	109
Figura 52 - Previsões de vazão calibração CA 4 (ETA).	110
Figura 53 - Previsões de vazão calibração CA 5 (ETA).	110
Figura 54 - Previsões de vazão calibração CA 6 (ETA).	111
Figura 55 - Previsões de vazão calibração CA 7 (ETA).	111
Figura 56 - Previsões de vazão calibração CA 8 (ETA).	112
Figura 57 - Previsões de vazão calibração CA 10 (ETA).	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -Comparativo entre os dados observados de precipitação, e os resultados gerados pelo modelo BRAMS 5km, 10 km e 20 km, para cidade de Veranópolis entre os anos de 2007 e 2008.....	35
Tabela 2 - Índices estatísticos analisados referentes ao Modelo BRAMS com as respectivas resoluções 5km, 10km e 20km, para cidade de Veranópolis entre os anos de 2007 e 2008.....	36
Tabela 3 - Índices estatísticos analisados referentes ao Modelo Tank Model (TM) e o PM Tank Model (PM) no ano de 2012.	40
Tabela 4 - Dados resumidos das estações fluviométricas.....	52
Tabela 5 - Dados resumidos das estações pluviométricas.....	52
Tabela 6 - Porcentagem dos solos na sub-bacia.	53
Tabela 7 -Porcentagem em relação a profundidade das camadas de solo.....	55
Tabela 8 - Porcentagem em relação ao uso do solo da sub-bacia.....	57
Tabela 9 - Precipitação média anual acumulada em cada estação pluviométrica.	60
Tabela 10 - Temperatura média mensal e anual para os períodos de estudo.	65
Tabela 11 - Umidade relativa do ar média mensal e anual para os períodos de estudo.	65
Tabela 12 -Período de retorno de eventos críticos de vazão no Rio do Peixe.	66
Tabela 13 - Principais equações no qual foram calculados os tempos de concentração na sub-bacia.	67
Tabela 14 - Funções objetivo em relação a precipitação observada e calculada.	69
Tabela 15 - Período anterior ao evento crítico de precipitação.	71
Tabela 16 - Período de chegada do evento crítico de precipitação.....	72
Tabela 17 -Período de passagem do evento crítico de precipitação.....	72
Tabela 18 -Período de continuação da passagem do evento crítico de precipitação.....	73
Tabela 19 - Período de término do evento crítico de precipitação.	73
Tabela 20 - Período posterior ao evento crítico de precipitação.	74
Tabela 21 - Período de chegada do próximo evento de precipitação.	74
Tabela 22 -Períodos utilizados nas calibrações do modelo hidrológico.	76
Tabela 23 - Evapotranspiração potencial mensal média.....	78

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos Gerais	16
1.2	Objetivos Específicos.....	16
1.3	Estrutura do trabalho.....	16
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	CICLO HIDROLÓGICO	18
2.2	BACIA HIDROGRÁFICA	19
2.3	BALANÇO DE MASSAS	19
2.4	ELEMENTOS HIDROLÓGICOS	20
2.4.1	Precipitação.....	20
2.4.2	Evapotranspiração.....	23
2.4.3	Vazão (Escoamento Superficial).....	24
2.5	PARÂMETROS FÍSICOS.....	26
2.5.1	Tempo de concentração.....	26
2.5.2	Tempo de base	27
2.5.3	Condutividade Hidráulica	27
2.5.4	Porosidade.....	27
2.5.5	Profundidade do solo	27
2.5.6	Capacidade de infiltração mínima do solo.....	28
2.5.7	Ponto de murcha	28
2.5.8	Capacidade de campo.....	28
2.5.9	Pedologia	29
2.5.9.1	Cambissolos	29
2.5.9.2	Latossolos.....	29
2.5.9.3	Neossolos	30
2.5.9.4	Nitossolos	30
2.6	FUNÇÕES OBJETIVO	30
2.7	PREVISÕES CLIMATOLÓGICAS	31
2.7.1	Modelo ETA.....	32
2.7.2	Modelo BRAMS	33
2.8	MODELOS HIDROLÓGICOS.....	37
2.8.1	Tank Model.....	37
2.8.2	PM Tank Model.....	38

2.9	PREVISÕES HIDROLÓGICAS	41
2.9.1	Delft-FEWS.....	42
2.9.2	HEC-RTS	43
2.9.3	SPEHC	44
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	48
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	48
3.2	FONTES PRINCIPAIS DOS DADOS.....	50
3.3	DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS	50
3.3.1	Dados Fluviométricos	52
3.3.2	Dados Pluviométricos	52
4.	CARACTERIZAÇÃO DA SUB-BACIA DO RIO DO PEIXE.....	53
4.1	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO.....	53
4.2	PROFUNDIDADE DO SOLO.....	55
4.3	USO DO SOLO.....	57
4.4	MAPA HIPSOMÉTRICO.....	59
4.5	CARACTERIZAÇÃO HIDROMETEOROLÓGICA.....	60
4.5.1	Precipitação.....	60
4.5.2	Fluviometria	61
4.5.2.1	Estação Fluviométrica Rio das Antas.....	61
4.5.2.2	Estação Fluviométrica Tangará.....	63
4.5.3	Evapotranspiração (ETP)	64
4.5.4	Retorno de eventos críticos	66
4.6	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO ESTIMADO	67
5.	RESULTADOS E ANÁLISES	68
5.1	INCERTEZAS METEOROLÓGICAS.....	68
5.1.1	Precipitação TRMM.....	68
5.1.2	Análise de evento meteorológico	71
5.2	CALIBRAÇÃO DO SPEHC	75
5.3	INCERTEZAS HIDROLÓGICAS.....	80
5.3.1	Previsão e análise de vazão utilizando o modelo BRAMS	80
5.3.2	Previsão e análise de vazão utilizando o modelo ETA.....	84
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	87
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
	APÊNDICES.....	95

APÊNDICE A - Vazões médias mensais.....	96
APÊNDICE B - Evapotranspiração média mensal.....	98
APÊNDICE C - Equações para o cálculo estimado do tempo de concentração.	99
APÊNDICE D - Hidrogramas e Hietogramas das calibrações estudadas.....	100
APÊNDICE E - Dados utilizados nas calibrações e Funções Objetivo.	104
APÊNDICE F–Previsões de Vazão modelo BRAMS.....	105
APÊNDICE G –Previsões de Vazão modelo ETA.	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas.

BRAMS - *Brazilian Regional Atmospheric Modeling System.*

CPRM– Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climática.

CRU– *Climatic Research Unit.*

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

EPAGRI –Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina.

FATMA– Fundação de Amparo à Tecnologia e ao Meio Ambiente.

IBGE –Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia.

RAMS - *Regional Atmospheric Modeling System.*

SACE – Sistema de Alerta de Eventos Críticos.

SAD – *Datum Sul-americano.*

SAISP – Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo.

SPEHC - *Sistema de Previsão de Eventos Hidrológicos Críticos.*

TRMM – *Tropical Rainfall Measuring Mission.*

1. INTRODUÇÃO

Os Países em desenvolvimento juntos, na última década tiveram gastos de aproximadamente 1,5 trilhão de dólares com eventos de desastres naturais, de acordo com a Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2014). Infelizmente o Brasil está entre os países que gastam quantias consideráveis com eventos de enchentes e escorregamentos, porém, segundo dados (IBGE, 2013) apenas 33% dos municípios brasileiros tinham instrumentos de gerenciamento de riscos de desastres decorrentes de enchentes ou inundações graduais, ou enxurradas ou inundações bruscas, nas áreas urbanas. Esses problemas geralmente são causados devido aos seguintes fatores, uso e ocupação do solo feito de maneira irregular, estreitamento de rios, impermeabilização parcial significativa da bacia hidrográfica, entre outros.

Os eventos críticos de enchentes, enxurradas ou inundações, acontecem de forma cíclica no território nacional, e as cidades e vilarejos mais afetados são aqueles que estão localizados nas beiras ou imediações dos rios, muitas vezes no exutório da Bacia Hidrográfica. Uma das medidas mitigadoras desses desastres naturais é a utilização de sistemas de monitoramento e previsão de eventos críticos.

Os sistemas de monitoramento e alertas hidrológicos visam à melhor convivência da população com enchentes, inundações e secas, através da geração de boletins e relatórios com meses, dias ou horas de antecedência em relação aos eventos críticos (CPRM, 2015). Para geração desses relatórios e boletins são necessários dados da rede telemétrica, e de estações meteorológicas localizados na área de abrangência da Bacia Hidrográfica. Dois exemplos de sistemas de monitoramento e alertas operantes em território nacional são: SAISP, e o SACE.

A importância do gerenciamento de riscos de desastres naturais não é apenas relacionado ao âmbito financeiro, mas também é atualmente a forma mais eficaz de salvar vidas. Segundo dados do ministério da ciência e tecnologia, em 2011 o número de mortos por desastres naturais ultrapassou a marca de 1500 pessoas. As medidas cabíveis dos órgãos públicos para

redução do número de óbitos aos poucos estão sendo tomadas e uma maior importância nos estudos de previsões hidrológicas e meteorológicas a cada ano ganham mais recursos. O objetivo final dos sistemas de previsões é zerar o número de mortes, porém, o grande desafio refere-se ao grau de incertezas nos resultados, pois, quanto maior o período de previsão até o evento crítico maior são as imprecisões nos dados gerados. Este estudo tem como proposta servir de mais uma fonte de pesquisa para facilitar e estimular para que sejam realizados trabalhos envolvendo estudos de previsão hidrológica e meteorológica.

1.1 Objetivos Gerais

Este trabalho tem como objetivo a análise de incertezas na previsão dos modelos meteorológicos e hidrológicos da ferramenta computacional SPEHC.

1.2 Objetivos Específicos

- Implementar o SPEHC na sub-bacia do Rio do Peixe;
- Analisar incertezas provenientes dos dados do TRMM;
- Analisar incertezas de previsão meteorológicas para os modelos ETA e BRAMS;
- Analisar incertezas e respostas das previsões hidrológicas na sub-bacia do Rio do Peixe;

1.3 Estrutura do trabalho

Esse trabalho é constituído por oito capítulos: Introdução, Revisão bibliográfica, Materiais e métodos, Caracterização da sub-bacia do Rio do Peixe, Resultados e Análises, Conclusões, Referências Bibliográficas e Apêndices. No primeiro capítulo, o tema do trabalho é apresentado de maneira abrangente e também são descritos os objetivos do trabalho.

O segundo capítulo aborda a Revisão bibliográfica, onde são apresentados os aspectos gerais relativos aos estudos hidrológicos e climatológicos, neste mesmo capítulo são descritos princípios básicos para o entendimento dos modelos de cálculo utilizados.

No capítulo três, Materiais e métodos, são apresentados os mapas utilizados e a base de dados consultada, permitindo assim o entendimento dos fenômenos recorrentes na região de estudo.

O capítulo quatro, Caracterização da sub-bacia do Rio do Peixe, apresenta gráficos, tabelas e figuras que permitem contextualizar os fenômenos e padrões da sub-bacia hidrográfica.

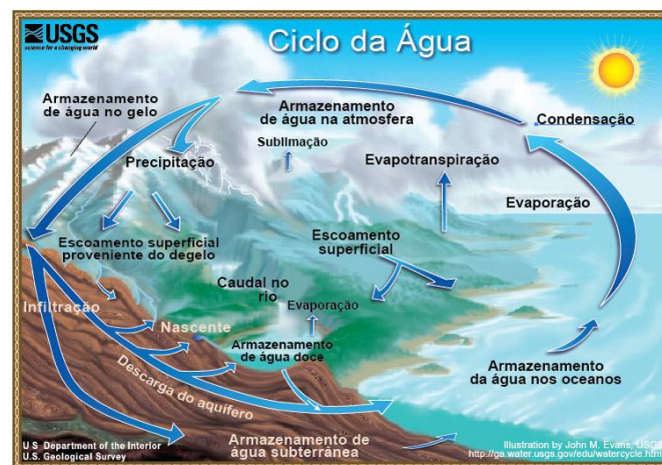
No capítulo cinco, Resultados e Análises, são descritos com o auxílio de gráficos e tabelas todos os procedimentos realizados na obtenção dos resultados no presente estudo. Nos três últimos capítulos encontram-se, respectivamente, as Conclusões, as Referências bibliográficas e os Apêndices.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CICLO HIDROLÓGICO

É o fenômeno de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, que é impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação do planeta Terra (SILVEIRA,1993, *apud* KOBIYAMA, 1999). Segundo Righetto (1998) o ciclo hidrológico é um processo natural de evaporação, condensação, precipitação, armazenamento, escoamento superficial, infiltração, percolação da água, escoamentos fluviais e interações entre esses componentes. O ciclo hidrológico também pode ser chamado de ciclo da água, no qual ela passa por várias mudanças de estado físico, entre eles, sólido, líquido e gasoso.

Figura 1– Esquema do ciclo da água.



Fonte: Adaptado de USGS (2015).

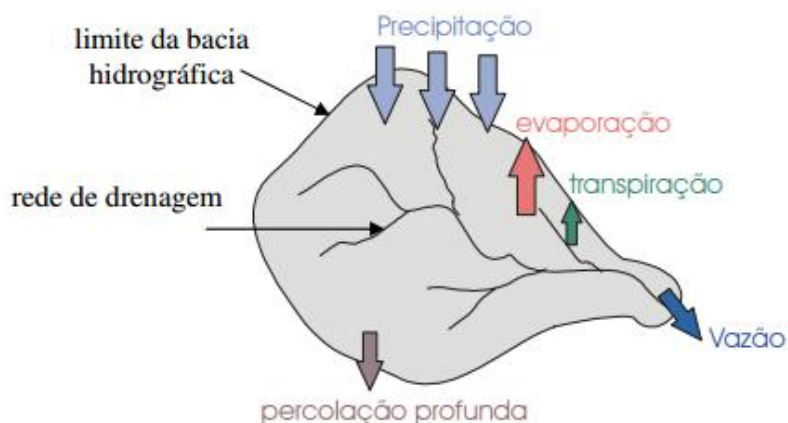
Nos projetos de engenharia necessita-se demarcar uma região específica para a realização dos estudos hidrológicos, porque os cálculos em escala global gerariam resultados não condizentes com os observados regionalmente ou localmente. Sendo assim, para o embasamento físico das teorias de mecânica dos fluídos, demarca-se uma região de controle, a qual denominamos de bacia hidrográfica.

2.2 BACIA HIDROGRÁFICA

De acordo com a definição de Kobiyama (1999), bacia hidrográfica é uma região na qual o escoamento superficial converge para um ponto denominado exutório. Nesse contorno, são abordados alguns fatores preponderantes para o ciclo hidrológico, por exemplo: evaporação, transpiração, precipitação, escoamento superficial, infiltração e a percolação profunda (RIGHETTO, 1998).

O estudo a nível de bacia hidrográfica é entendido como sendo de transformar uma entrada de volume de água concentrada no tempo (precipitação), em uma saída de água de forma mais distribuída no tempo (vazão) (PAZ, 2004).

Figura 2– Representação da bacia hidrográfica.



Fonte: Adaptado de PAZ (2004).

2.3 BALANÇO DE MASSAS

Com a definição da região de controle, pode-se utilizar a equação de balanço de massas, que é definida pelas leis básicas de conservação de massa, a segunda lei de Newton, o princípio da quantidade de movimento angular, a primeira e segunda leis da termodinâmica (FOX *et al.*, 2010).

Manipulando as equações anteriormente descritas chega-se a equação básica da conservação de massas, que é apresentada a seguir.

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint \rho dV + \iint \rho \vec{v} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (1)$$

Onde:

$\frac{\partial}{\partial t} \iiint \rho dV$:É a taxa de variação dentro do volume de controle;

$\iint \rho \vec{v} \cdot d\vec{A}$:É a taxa de saída/entrada na superfície do volume de controle;

Esta premissa propõe o conceito de Balanço hídrico que é a contabilidade da água que entra e que sai da bacia hidrográfica, esta por si só é a própria lei da conservação das massas, portanto, esse balanço é importante para o acompanhamento da quantidade de água armazenada no sistema. Segundo a hipótese de Budyko (ARORA, 2002 *apud* GERRITS *et al.*, 2009), os processos hidrológicos podem ser quantificados da seguintes forma:

$$P=Q+ET \quad (2)$$

Onde P é a precipitação (mm/ano), Q é a vazão (mm/ano) e ET é a evapotranspiração (mm/ano). O modelo não apresenta alto grau de complexidade, mas torna-se útil no enquadramento das bacias hidrográficas de acordo com características físicas e condições climatológicas (DONOHUE, 2006).

2.4 ELEMENTOS HIDROLÓGICOS

2.4.1 Precipitação

A precipitação é a água proveniente do vapor de água da atmosfera, depositada na superfície terrestre como chuva, granizo, orvalho, neblina, neve ou geada (KOBAYAMA, 1999), a partir desta definição Righetto (1998) completa, que a condensação do vapor de água e formação de nuvens tem que ser suficientemente intensa e acompanhada de movimentos das partículas,

ocorrendo assim a aglutinação das mesmas até chegarem a massas suficientemente robustas para serem precipitadas.

De acordo com Wisler (1967), são propostos três tipos principais de precipitação, sendo elas, a que se dá pela convecção térmica, a orográfica e a ciclônica.

- Convecção térmica: é mais comum nos trópicos, porém ocorre frequentemente em muitos locais do hemisfério norte, é causada pelo aquecimento desigual da superfície terrestre, o que proporciona o aparecimento de camadas de ar com diferentes densidades, entretanto com um certo equilíbrio térmico. A partir do rompimento desse equilíbrio tem-se uma rápida ascensão de ar menos denso, causando sua expansão e resfriamento, gerando assim condensação e precipitação;
- Orográfica: é causada por barreiras topográficas, o fenômeno ocorre quando o ar é forçado a transpor montanhas, com esse impedimento ele acaba elevando-se a grandes altitudes, atingindo regiões com pressões atmosféricas menores, sendo assim, o ar se expande, esfria e por fim gera precipitação;
- Ciclônica: é resultado da ascensão de ar quente sobre as correntes de ar frio, o que gera velocidades de ventos elevadas e em decorrência disso, ocorrem trocas de calor entre o ar em diferentes temperaturas o que culmina na ocorrência de condensação e precipitação;

O entendimento da forma de precipitação é de extrema importância para o pesquisador e para a correta identificação do uso do modelo de previsão e medição climatológica. Atualmente estão à disposição os sistemas convencionais e os modernos para obtenção de dados de precipitação (KOBAYAMA, 2012).

Os sistemas convencionais podem ser por pluviômetros, que são receptáculos simples da água precipitada ou através de pluviógrafos que registram o volume acumulado precipitado no decorrer do tempo (Figura 3).

Os sistemas modernos consistem na obtenção de dados de precipitação através de radares meteorológicos, sendo que essa coleta é realizada por satélites com subsistemas espaciais e terrestres (Figura 4).

Figura 3– Pluviômetro (Esquerda) e Pluviógrafo (Direita).



Fonte: Brasil (2015).

Figura 4– Radar meteorológico.



Fonte: Brasil (2015).

2.4.2 Evapotranspiração

É o processo combinado de evaporação da água na superfície do solo e a transpiração realizada pela flora e fauna (RIGHETTO, 1998). Quantificar o fenômeno de evapotranspiração através de equacionamento é muito complexo, porque os fenômenos físicos envolvidos tem uma variabilidade considerável. A partir dessa premissa, são utilizados dois conceitos de evapotranspiração: potencial e real.

Segundo Paz (2004) a evapotranspiração potencial é a quantidade de água transferida para a atmosfera, por evaporação e transpiração, de uma superfície extensa completamente coberta de vegetação de porte baixa e bem suprida de água.

A evapotranspiração real é a perda de água para a atmosfera por evaporação e transpiração, nas condições atmosféricas e de umidade do solo existente (TUCCI, 2000 *apud* PAZ, 2004).

Kobiyama (2012) cita alguns fatores intervenientes relacionados a evapotranspiração e eles são os seguintes: umidade relativa do ar atmosférico, vento, temperatura, salinidade da água e a radiação solar. Para a quantificação da evapotranspiração utiliza-se o aparelho denominado lisímetro (Figura 5), ou realiza-se estimativas através de métodos matemáticos, como exemplos os métodos de Thornthwaite e de Penman.

Figura 5– Lisímetro.



Fonte: Brasil (2015).

2.4.3 Vazão (Escoamento Superficial)

O escoamento superficial é tratado como a fase do ciclo hidrológico na qual a água, por efeito da força gravitacional, se desloca na superfície da terra (KOBİYAMA, 2012). De acordo com Pinto *et al.* (1976) no início do escoamento superficial tem-se a formação de uma película laminar que à medida que a precipitação prossegue ela tende a aumentar de tamanho, até o ponto de equilíbrio. Tendo como base o escoamento superficial chega-se ao conceito de vazão, esta é o volume de água escoada por unidade de tempo em relação a uma seção do curso d'água.

Distinguem-se as vazões em dois tipos, as normais e de inundações (PINTO *et al.*, 1976), já segundo Kobiyama (2012) deve-se distinguir os fenômenos de cheias, que é a elevação normal do curso da água, e inundação que é a elevação não usual dos cursos da água, provocando transbordamentos e em muitos casos prejuízos econômicos e sociais.

Segundo Tucci (1993), existem vários métodos para medir a descarga líquida de um curso d'água, e de acordo com Righetto (1998) o método mais adequado para calculá-la é o da curva-chave que utiliza-se dos métodos de medição de descarga líquida, sendo esta definida como uma relação entre a vazão e o nível d'água na seção do rio, segundo Kobiyama (2012), a seção de controle para medição da vazão deve ser disposta em um trecho relativamente estável, retilíneo e de fácil acesso. Para medir o nível de um curso de água, deve-se colocar uma régua limimétrica vertical na calha do curso do rio e observar com regularidade o nível da água, sendo assim, tem-se um eixo do gráfico, para completar a curva chave necessita-se da vazão no mesmo ponto e no momento da medida da cota, Tucci (1993) relata que para medições de vazões temos seis classificações que são as seguintes: por capacidade, por medição das velocidades do fluxo da água, por diluição de um traçador, por um dispositivo hidráulico, por fórmulas e por métodos como (eletromagnético, modelo reduzido, avaliação visual e etc). O método mais famoso e também um dos mais simples e relativamente confiável para realizar as medidas de vazões é o de molinetes, método o qual é mostrado na Figura 6.

Figura 6– Molinetes.



Fonte: Adaptado Revista Ambiente e Água (2015).

Após as medições, a curva chave do rio é gerada, sendo esta de grande importância na calibração de modelos hidrológicos, pois os valores encontrados de vazão são os reais medidos na calha do rio.

O cálculo e análise dos hidrogramas de vazão são importantes nos estudos hidrológicos, porque são eles que dão a diretriz para o pesquisador tomar a melhor decisão com um embasamento físico. Alguns fatores são preponderantes para a mudança da forma do hidrograma e se ater a esses conceitos é importante no entendimento dos fenômenos hidrológicos (TUCCI, 2013). Alguns fatores que tendem a mudar a forma com que o escoamento é gerado na bacia são listados a seguir:

- Bacia rural ou urbanizada, hidrogramas gerados em áreas urbanizadas tendem a ter uma vazão superficial de pico maior e mais rápida após o início da chuva do que em regiões rurais;
- Regularização da calha do rio, quando tem-se esse tipo de obra a vazão de pico tende a ser dissipada em um certo período de tempo, evitando assim vazões de pico muito elevadas;
- Variação da duração e intensidade da precipitação, tende a gerar hidrogramas que não se assemelham ao formato de sino, sendo assim, a vazão de pico permanece por um tempo maior comparado a precipitações corriqueiras.

- Efeito da forma da bacia hidrográfica, pois em bacias alongadas a vazão de pico tende a ser retardada no tempo em relação a bacias com formatos radiais.

2.5 PARÂMETROS FÍSICOS

O entendimento cada vez mais aprofundado dos fenômenos que ocorrem nas bacias hidrográficas, induzem os estudos hidrológicos ao entendimento dos fatores que influenciam diretamente os seus cálculos, sendo assim, a quantidade parâmetros físicos referentes ao sistema estudado são inúmeras, porém, existem alguns fatores que apresentam uma maior representatividade nos modelos, contribuindo para um equacionamento hidrológico com um certo grau de coerência no embasamento físico, alguns deles estão listados a seguir.

2.5.1 Tempo de concentração

Segundo Pinto *et al.* (1976) tempo de concentração em relação a uma seção de um curso de água é o tempo calculado a partir do início da precipitação para que toda a bacia hidrográfica passe a contribuir com a vazão na seção da qual está sendo realizado o estudo. De acordo com Tucci (2013) é o tempo necessário para a água precipitada no ponto de maior distância na bacia hidrográfica, deslocar-se até o exutório, que também é definido como o marco de tempo entre o fim da precipitação e o ponto de inflexão do hidrograma. Já Righetto (1998) define que tempo de concentração é correspondente ao tempo para que as últimas partículas de chuva precipitadas no ponto mais distante da bacia hidrográfica e que não infiltraram no solo atinjam a seção na qual está sendo levantado o hidrograma de cheia.

2.5.2 Tempo de base

É o tempo que determina o início do hidrograma e o fim do mesmo, ele é determinado entre o início da precipitação na bacia hidrográfica e o período de tempo no qual o curso de água volta as condições iniciais antes da precipitação (TUCCI, 2013).

2.5.3 Condutividade Hidráulica

É considerada a razão entre a velocidade de percolação da água no solo e o gradiente hidráulico do mesmo (CAPUTO, 2007). Segundo Das (2007) a condutividade hidráulica depende de vários fatores, sendo estes: viscosidade do fluido, distribuição do tamanho dos poros, distribuição granulométrica, índice de vazios, rugosidade das partículas minerais e grau de saturação do solo. Reichardt (1990 *apud* MESQUITA *et* MORAES, 2004) ressalta que o maior valor de condutividade hidráulica é atingido quando o solo encontra-se saturado. Também é possível observar que o valor de condutividade hidráulica varia consideravelmente para diferentes tipos de solo (DAS, 2007).

2.5.4 Porosidade

De acordo com Caputo (2007); Das (2007); Pinto (2013) a porosidade é calculada como a razão entre o volume de vazios e o volume total de uma determinada amostra de solo. Pinto (2013) ressalta que os valores encontrados geralmente ficam entre 30 e 70%.

2.5.5 Profundidade do solo

A formação de solo é condicionada pela maior ou menor penetração da água e pela alterabilidade dos minerais presentes no mesmo (OLIVEIRA, 2011), sendo assim, pode-se dividir a profundidade do solo em dois grupos principais,

aqueles que tem variação no tipo de rocha e outros que apresentam o mesmo tipo de rocha.

Em locais constituídos por rochas de maior alterabilidade tem-se uma maior profundidade do solo (OLIVEIRA, 2011), para tanto, na maioria dos estudos hidrológicos os valores efetivamente considerados de profundidade do solo são aqueles em que a água pode-se movimentar sob o efeito da força gravitacional.

2.5.6 Capacidade de infiltração mínima do solo

Segundo Libardi (2005, *apud* PINHEIRO *et al.*, 2009) salienta que durante o processo de infiltração, com o solo inicialmente seco ou parcialmente saturado, a capacidade de infiltração do mesmo tende a decrescer com o passar do tempo atingindo um valor denominado infiltração mínima.

2.5.7 Ponto de murcha

O ponto de murcha é definido como o teor de umidade do solo no qual as plantas murcham e não recuperam as suas condições iniciais (EMBRAPA, 2005). Segundo Timm *et Reichardt* (2004 *apud* Salvestro *et al.*, 2011) retratam que o fenômeno depende das condições do solo como: Condutividade hidráulica, difusidade e relações entre umidade e potencial. A partir dessas definições pode-se chegar à conclusão que o ponto de murcha permanente pode ser tomado como o limite mínimo de água disponível no solo.

2.5.8 Capacidade de campo

Capacidade de campo é a propriedade do solo na qual é caracterizada a quantidade de água retida no mesmo. Pode-se definir como um volume máximo de água que um solo pode armazenar por um certo período sem

ocorrer o fenômeno de evapotranspiração (VEIHMEYER *et* HENDRICKSON, 1931 apud FABIAN *et* FILHO, 1999).

2.5.9 Pedologia

A classificação dos solos é importante para o entendimento do comportamento da bacia hidrológica, segundo EMBRAPA (2006) os solos brasileiros foram analisados, catalogados e submetidos a uma classificação na qual materiais de propriedades similares fossem agrupados, facilitando estudos posteriores.

O desenvolvimento dos estudos pedológicos trouxeram aos pesquisadores dados cada vez mais precisos e confiáveis, pois, análises hidrológicas devem utilizar-se de técnicas que correlacionam características e propriedades físicas dos solos. A seguir são apresentadas algumas classes de solos descrevendo sucintas porém importantes definições.

2.5.9.1 Cambissolos

De acordo com EMBRAPA (2006), são compreendidos por materiais de origem mineral e devido à heterogeneidade dos mesmos, às formas de relevo e às condições climáticas, suas características variam consideravelmente de um local para outro. Portanto, a classe comporta desde solos fortemente até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos e de alta a baixa saturação por bases e atividade química da fração argila. Cabe salientar que essa classe quando originária de rochas magmáticas, como granitos, tendem a ter relação silte/argila maior ou igual a 0,7.

2.5.9.2 Latossolos

Segundo Maciel Filho (1994) são solos predominantes de regiões tropicais cujas características principais estão relacionadas com a atividade

reduzida da parte argilosa e elevado grau de estabilidade dos agregados. De acordo com EMBRAPA (2006) os mesmos tem características que variam entre fortemente e bem drenado e como são solos provenientes de avançado estado de intemperização apresentam profundidades elevadas, ultrapassando a marca de 1m.

2.5.9.3 Neossolos

Solos constituídos de material mineral ou por materiais orgânicos que não apresentam grandes espessuras, estes solos tem como característica permeabilidade variando de baixa até alta e tendem a ser utilizados na agricultura, porém, geralmente são encontrados em regiões próximas aos cursos d'água que são áreas de proteção de matas ciliares, como também em regiões com grandes declives, podendo gerar instabilidades quando a sua parte arenosa prevalece sobre as outras (EMBRAPA,2006).

2.5.9.4 Nitossolos

De acordo com a EMBRAPA (2006), apresentam material mineral, porém com texturas argilosa ou muito argilosa, por apresentarem a fração argila predominante eles tendem a assumir a maioria das propriedades daqueles solos tipicamente argilosos, mantendo baixa permeabilidade, condutividade hidráulica e porosidade.

2.6 FUNÇÕES OBJETIVO

No ramo da hidrologia além da manipulação das equações e um embasamento físico e matemático, um importante fator que rege a escolha de adequabilidade dos modelos hidrológicos é o tratamento estatístico dos resultados calculados por intermédio das funções objetivo. A seguir são

listadas algumas funções que geralmente são utilizadas na análise de estudos hidrológicos.

$$MB = \frac{1}{N} \sum_1^N (Modelo - Observado) \quad (3)$$

$$MAGE = \frac{1}{N} \sum_1^N |Modelo - Observado| \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_1^N (Modelo - Observado)^2} \quad (5)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_1^N (Observado - Modelo)^2}{\sum_1^N (Observado - \overline{Modelo})^2} \quad (6)$$

$$\Delta V = \frac{\sum_1^N Modelo - \sum_1^N Observado}{\sum_1^N Observado} .100\% \quad (7)$$

Onde:

MB- Viés Médio, MAGE- Erro Médio Absoluto, RMSE- Raiz do erro quadrático médio, NSE- Coeficiente de Nash e Sutcliffe, ΔV - Diferença percentual volumétrica, Modelo- Valor calculado por intermédio da modelagem e Observado- Valores observados em campo.

2.7 PREVISÕES CLIMATOLÓGICAS

A previsão de eventos climatológicos é uma ferramenta muito importante para a sociedade moderna, pois, prever eventos futuros faz com que os seres humanos possam se preparar melhor para os problemas que estão por vir.

Com o advento tecnológico os cálculos meteorológicos estão sendo cada vez mais difundidos e implementados, portanto, as incertezas inerentes aos modelos vem diminuindo a cada dia, os computadores por oferecem um poder de processamento dos dados em maior quantidade e em menos tempo são os agentes facilitadores desses cálculos. A seguir são apresentados dois

modelos climatológicos que visam gerar resultados com maior grau de precisão para o continente sul americano.

2.7.1 Modelo ETA

É um modelo numérico atmosférico que representa a ocorrência de processos físicos e dinâmicos na atmosfera (CPTEC, 1996). Este é um modelo regional, o qual necessita de modelos globais que o complementem, isto é, requer informações de contorno, de acordo com Lima *et al.* (2014), a necessidade da criação de modelos regionais é devido a diminuição do tempo de processamento computacional em relação aos de escala global e assim tornando-os mais econômicos.

O nome do modelo faz referência a letra grega η que é utilizada para definir a coordenada vertical (MENSIGER, 1994 *apud* LIMA, 2014), alguns modelos atmosféricos costumam utilizar a coordenada sigma para os cálculos, porém em regiões de topografia íngreme a utilização da coordenada eta gera resultados mais satisfatórios e mais condizentes com a realidade dos que os valores encontrados pela coordenada sigma. Analisando a equação proposta para coordenada eta, pode-se observar que ela é a coordenada sigma, porém com a adição de um fator de correção.

$$\sigma = \left(\frac{P - P_T}{P_S - P_T} \right) \quad (8)$$

$$\eta = \left(\frac{P - P_T}{P_S - P_T} \right) * \left(\frac{P_{ref}(z_s) - P_T}{P_{ref}(0) - P_T} \right) \quad (9)$$

Onde: σ é a coordenada sigma, η é a coordenada eta, P , P_T , P_S e P_{ref} são respectivamente, os valores de pressão em um determinado ponto na atmosfera, no topo, na superfície e em uma atmosfera de referência e Z_s é a altitude topográfica do modelo.

A partir da coordenada eta, e dos dados de temperatura do ar, umidade do ar, vento horizontal, pressão atmosférica à superfície, energia cinética turbulenta, umidade e temperatura do solo e água líquida ou gelo das nuvens,

pode-se calcular as seguintes equações: movimento horizontal, hidrostática, termodinâmica, derivadas da continuidade e a umidade.

Para a utilização da modelagem de previsão climatológica através da coordenada eta é necessário a validação deste modelo regional, e a comparação com dados medidos é de extrema importância. Os modelos eta estudados por Lima *et al.* (2014) foram os de 40km e 20km de resolução horizontal e como foi citado anteriormente para a utilização de um modelo regional são necessárias condições de contorno global, sendo assim, os dados foram obtidos a partir do modelo global inglês HadCM3, e para comparação dos dados do modelo eta, foi observado a concordância com os dados do CRU.

Segundo Chou *et al.* (2012) *apud* Lima *et al.* (2014), as simulações entre os anos de 1961 até 1990, mostraram que em média os valores encontrados nos campos utilizando as coordenadas eta 20km e 40km são bastante semelhantes, porém a análise de 20km mostrou resultados mais condizentes com a realidade quando foram medidos eventos com valores extremos de precipitação sobre a Amazônia. De acordo com os dados gerados de clima presente de circulação atmosférica de altos níveis, circulação atmosférica de baixos níveis, precipitação e temperatura do ar, o modelo eta-20km foi o mais condizente com a realidade mostrando-se um modelo confiável para ciclos anuais de precipitação.

2.7.2 Modelo BRAMS

O BRAMS (*Brazilian Regional Atmospheric Modeling System*) é um modelo meteorológico desenvolvido por brasileiros, com objetivo de reformar o modelo já existente RAMS (*Regional Atmospheric Modeling System*) (TEICHRIEB, 2008). Os modelos tem várias semelhanças, porém o BRAMS tem uma representação melhor da atmosfera do Brasil.

O RAMS é um modelo que se utiliza do sistema de gradeamento, no qual a projeção utilizada para a definição da coordenada da grade é a projeção estereográfica, no qual o pólo de projeção fica no centro da área de domínio, já na vertical temos o uso da coordenada σ_z (sigma z), que garante um contorno da superfície topográfica.

As equações utilizadas no BRAMS são aquelas referentes a uma atmosfera não hidrostática que permite a descrição de processos físicos nos quais a velocidade vertical é intensa (TRIPOLI *et* COTON, 1982 *apud* TEICHRIEB, 2008). As equações prognósticas do modelo são as seguintes: equação do movimento, da termodinâmica, da continuidade, da continuidade de massa e razão de mistura dos tipos de água. Essas equações levam em conta muitos efeitos que ocorrem na atmosfera e no hemisfério sul do planeta Terra, um exemplo que pode ser ressaltado é nas equações do movimento onde o efeito Coriolis é considerado.

De acordo com Teichrieb (2008), alguns fenômenos físicos tem grande influência nas variáveis atmosféricas e sendo assim é necessários utilizar recurso de parametrização, portanto os principais processos são os seguintes:

- Parametrização de radiação (solar e terrestre);
- Parametrização de convecção;
- Parametrização de microfísica de nuvens;
- Parametrização de turbulência;
- Parametrização do solo/vegetação;

Na Tabela 1 são apresentados dados de precipitação calculados por Teichrieb (2008) para a estação da cidade de Veranópolis/RS, nos quais o autor utilizou dados medidos e a modelagem BRAMS de previsão climatológica com resolução de 5km, 10km e 20km.

Tabela 1 -Comparativo entre os dados observados de precipitação, e os resultados gerados pelo modelo BRAMS 5km, 10 km e 20 km, para cidade de Veranópolis entre os anos de 2007 e 2008.

Meses do Ano	Precipitação (mm)			
	Dados Observados	BRAMS		
		5 km	10 km	20 km
Junho	46,20	260,57	287,87	225,86
Julho	234,70	230,13	241,66	202,63
Agosto	95,30	213,23	221,12	182,38
Dezembro	164,39	228,24	194,32	131,49
Janeiro	97,89	113,84	109,69	77,02
Fevereiro	50,60	112,48	120,24	105,25

Fonte: Adaptado de TEICHRIEB (2008).

Analisando os valores apresentados anteriormente nota-se que os dados de precipitação são acumulados mensalmente. A partir dessa premissa é de grande interesse a observação dos dados utilizando uma análise estatística, para com isso obter as conclusões necessárias, e portanto embasar a escolha da modelagem que mais se aproxima dos dados observados.

Na Tabela 2 são analisados os dados de precipitação para o modelo BRAMS de 5km, 10km e 20km através dos parâmetros estatísticos MB, MAGE e RMSE. Os valores de MB negativo indicam que a precipitação gerada pelo modelo foi subestimada, obtendo assim valores menores dos que foram observados. Os dados em negrito representam os valores estatísticos mais próximo de zero, e por uma análise dos resultados infere-se que o modelo BRAMS 20km é o que gerou valores de precipitação mais próximos dos valores observados. A justificativa possível, pode ser acolhida pelo fato de o modelo parametrizar a precipitação para a grade de 20km, e para as grades 5km e 10km o modelo faz uso de uma interpolação dos dados (TEICHRIEB ,2008).

Tabela 2 - Índices estatísticos analisados referentes ao Modelo BRAMS com as respectivas resoluções 5km, 10km e 20km, para cidade de Veranópolis entre os anos de 2007 e 2008.

Precipitação			
Índices	5 km	10 km	20km
	jun/07		
MB	7,15	8,06	5,99
MAGE	7,83	8,53	6,54
RMSE	20,87	22,54	16,31
jul/07			
MB	-0,15	0,22	-1,03
MAGE	6,72	6,72	5,00
RMSE	14,31	14,44	10,30
ago/07			
MB	3,80	4,06	2,81
MAGE	4,09	4,50	3,11
RMSE	7,78	9,06	5,96
dez/07			
MB	2,06	0,96	2,81
MAGE	6,92	5,46	3,11
RMSE	13,39	9,06	5,96
jan/08			
MB	0,51	0,38	-0,67
MAGE	4,06	3,62	3,58
RMSE	7,58	6,91	6,32
fev/08			
MB	2,13	2,40	1,88
MAGE	2,58	2,85	2,69
RMSE	4,34	4,90	4,22

Fonte: Adaptado de TEICHRIEB (2008).

2.8 MODELOS HIDROLÓGICOS

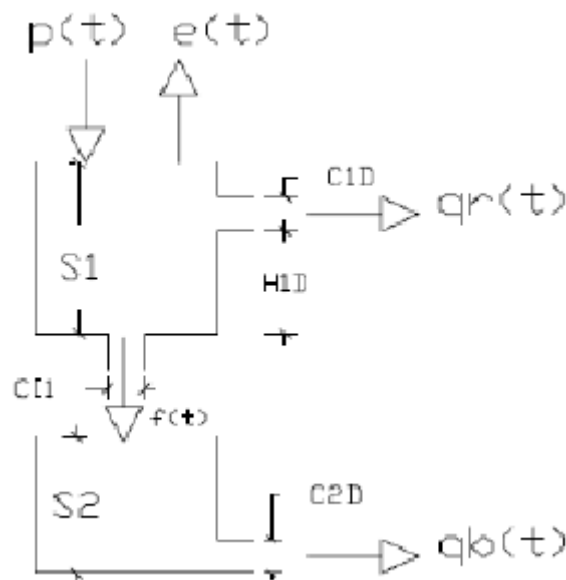
Modelos hidrológicos são ferramentas úteis no desenvolvimento de medidas para prevenção contra enchentes e inundações, além deste ponto são extremamente importantes na tomada de decisões para o gerenciamento de recursos hídricos (BEVEN, 2001; ZHANG *et al.*, 2006 *apud* DE LARA *et al.*, 2012). Segundo Filho *et al.*, (2012) devido à aplicação de princípios de uma ou mais teorias e conceitos, os modelos hidrológicos são capazes de reproduzirem os fenômenos hídricos dentro de uma escala temporal preestabelecida, estimando componentes de fluxos hidrológicos, Tucci (2014) complementa salientando que esses modelos são ferramentas utilizadas para representar os processos hidrológicos que ocorrem na bacia hidrográfica, comparando-os com os valores observados.

2.8.1 Tank Model

De acordo com Sugawara (1995) a modelagem de taque é uma proposta de análise simples e eficaz dos acontecimentos que geralmente ocorrem em uma bacia hidrográfica, sendo assim, o mesmo propôs um modelo que é composto por 4 tanques em série verticalmente dispostos, sendo que no taque superior ocorrem os fenômenos de trocas de água com a atmosfera, portanto o mesmo recebe a precipitação e é subtraída a evaporação, já nos outros tanques temos os escoamentos do sistema. Segundo De Lara (2012) muitos pesquisadores aplicaram essa formulação em diferentes condições de clima e uso do solo em bacias pelo mundo todo, principalmente naquelas localizadas na Ásia, então para facilitar a observação dos dados gerados, mantendo a precisão dos resultados, pode-se reduzir o número de tanques da formulação para apenas dois, garantindo ainda assim a precisão nos resultados, a Figura 7 representa este modelo, identificando as entradas e saídas de dados, nos quais p é a precipitação, e a evapotranspiração, $S1$ o armazenamento no primeiro tanque, q_r o escoamento superficial, f é fluxo de água do primeiro para o segundo tanque, $S2$ o armazenamento no segundo tanque e q_b o

escoamento de base. Os parâmetros **H1D**, **C1D**, **C11** e **C2D** são tomados como ajustes do modelo de tanque.

Figura 7 – Arranjo de Tanque conceitual do modelo Tank Model.



Fonte: Adaptado de DE LARA *et* KOBIYAMA (2012).

O Tank Model é conceitualmente simples, porém, a sua calibração é deficiente devido a arbitrariedade dos parâmetros de ajuste dos tanques (DE LARA *et* KOBIYAMA, 2012). Esses ajustes são originários da concepção matemática proposta por Sugawara (1995), pois, os cálculos não foram embasados fisicamente e a partir desta premissa essas calibrações necessárias ao modelo acabam comprometendo a compreensão dos fenômenos hidrológicos que ocorrem na região estudada.

2.8.2 PM Tank Model

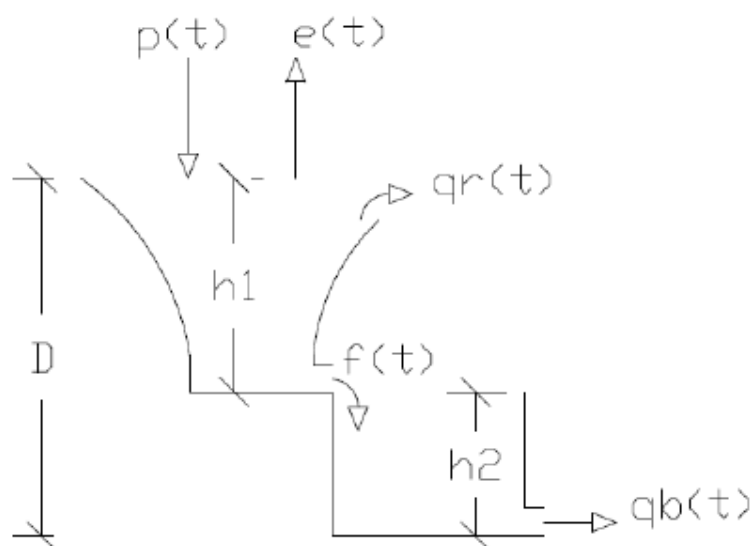
Partindo-se da compreensão que o modelo de tanque proposto por Sugawara (1995) apenas leva em conta o balanço de massas que ocorre na bacia hidrográfica, a formulação de um novo modelo complementando o antigo seria de grande importância no campo de estudos hidrológicos, pois, a questão de não levar em conta as propriedades físicas do solo torna o Tank Model uma "caixa preta", no qual as calibrações não tem nenhum sentido físico, então a partir de estudos De Lara *et* Kobiyama (2012) propuseram um modelo que

proporciona um embasamento físico, levando-se em consideração o solo da bacia em estudo, este modelo é denominado PM Tank Model (Physically-Modified Tank Model).

Para formular as equações do novo modelo é necessário estabelecer que três hipóteses básicas da mecânica dos fluidos sejam obedecidas, estas são as seguintes: (i) O volume de controle é uma superfície fechada; (ii) O escoamento ocorre perpendicularmente a Superfície de controle; (iii) O fluido é incompressível (DE LARA *et* KOBIYAMA, 2012). A hipótese (i) é garantida pela definição discutida anteriormente no qual a região de estudo é uma bacia hidrográfica. Definindo que o fluxo ocorre no exutório, e este é perpendicular a superfície de controle, tem-se que a hipótese (ii) é atendida. Por último temos que o fluido em questão é a água, e por ter valores muito baixos de variação de volume quando é sujeito a variações de pressões podemos considerá-la como incompressível, validando a hipótese (iii) (SILVA, 2011).

Para ocorrer o embasamento físico do modelo é necessário a utilização de parâmetros físicos de ajuste que adotem um certo grau de representatividade da região de estudo, após análises foram considerados os seguintes parâmetros: tempo de concentração, tempo de resposta do escoamento de base, condutividade hidráulica saturada, profundidade do solo, capacidade de infiltração mínima do solo, ponto de murcha permanente e relação entre hidrograma e o hietograma (DE LARA *et* KOBIYAMA, 2012). Além da introdução de parâmetros físicos no modelo, as equações receberam um tratamento especial, no qual elas passaram a serem escritas na forma hiperbólica não linear, tanto na geração de escoamento superficial como na infiltração, a Figura 8 mostra o arranjo conceitual do PM Tank Model (DE LARA *et* KOBIYAMA, 2012).

Figura 8 – Arranjo de Tanque conceitual do modelo Tank Model.



Fonte: Adaptado de DE LARA et KOBIYAMA(2012).

O equacionamento do PM Tank Model é simples e semelhante ao definido no Tank Model, porém, a introdução de parâmetros físicos e a manipulação nas equações para deixá-las com caráter hiperbólico não linear, trazem uma robustez aos cálculos (DE LARA et KOBIYAMA, 2012). A seguir, a Tabela 3 evidencia as diferenças nos resultados encontrados para os dois modelos em um estudo realizado na bacia do Itacorubi, Florianópolis, Santa Catarina, localizada na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). As funções objetivo utilizadas foram RMSE, NSE e a Variação de volume (ΔV).

Tabela 3 - Índices estatísticos analisados referentes ao Modelo Tank Model (TM) e o PM Tank Model (PM) no ano de 2012.

Evento	RMSE [m ³ /s]		NSE [adim]		ΔV [%]	
	TM	PM	TM	PM	TM	PM
1	0,04	0,01	0,66	0,96	-7,70	1,64
2	0,01	0,00	0,41	0,99	-1,00	0,00
3	0,06	0,02	0,79	0,98	-7,90	-0,60
4	0,04	0,01	0,85	0,96	5,30	0,30
5	0,01	0,00	0,80	0,96	-10,90	0,00
6	0,03	0,01	0,86	0,98	0,00	1,97
7	0,05	0,01	0,70	0,98	1,37	-1,96

Fonte: Adaptado de DE LARA et KOBIYAMA (2012).

Por intermédio da análise dos resultados encontrados pode-se observar que os valores de RMSE no PM Tank Model são próximos de zero e menores que os encontrados no Tank Model, já a análise pelo adimensional Nash (NSE) aponta que os valores próximos de 1,00 são os ideais na modelagem, sendo assim o PM Tank Model gera resultados condizentes com os dados observados, portanto, nota-se uma grande estabilidade nos valores obtidos, de acordo com De Lara *et Kobiyama* (2012) essa função objetivo apresenta uma eficiência de 13% a 60% em relação aos valores encontrados no Tank Model. Por último temos os valores de ΔV que é um recurso essencial para verificar a defasagem entre os valores observados e calculados pelos modelos, pode-se novamente notar que o PM Tank Model gerou uma série de resultados com uma maior representatividade dos fenômenos que ocorrem na bacia hidrográfica.

2.9 PREVISÕES HIDROLÓGICAS

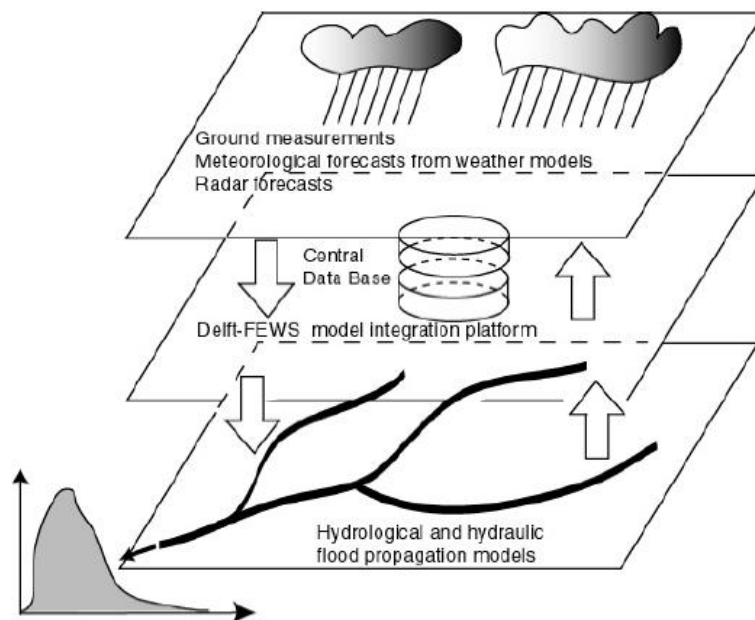
Os estudos voltados a previsão de variáveis hidrológicas ganham a cada dia maior notoriedade no cenário mundial, pois, os eventos críticos hidrológicos influenciam consideravelmente a vida dos cidadãos que habitam regiões limítrofes aos corpos d'água. Uma das dificuldades enfrentadas na elaboração e pesquisa na área de previsões hidrológicas é relacionada aos níveis de incertezas inerentes a essas ferramentas (TUCCI, 2013).

As previsões hidrológicas podem ser segregadas em duas grandes linhas de estudo, as denominadas por métodos determinísticos e as relacionadas as variáveis estocásticas, de acordo com Viali (2006) um modelo é tido determinístico quando as variáveis de entrada são conhecidas e apresenta apenas um conjunto de saída, já o modelo estocástico pode ser determinado como aquele que tem uma série de entradas aleatórias e suas saídas também apresentam as mesmas aleatoriedades (MORAIS *et* PORTUGAL, 1999). A seguir são apresentadas algumas modelagens de previsão hidrológica utilizando métodos determinísticos.

2.9.1 Delft-FEWS

Este é um sistema de previsão hidrológica inventado e testado em larga escala em solo europeu, entre os anos de 2002 e 2013 ele já era utilizado em 40 centros de estudo hidrológico (PINTO *et al.*, 2013). De acordo com Verwey *et al.*, (2006) a plataforma facilita a integração dos sistemas de previsão meteorológicos com o hidrológico, portanto, transmitindo dados como um modelo hidráulico em um ambiente de previsão aberto. A Figura 9 apresenta a rotina utilizada na ferramenta computacional delft-Fews, em que os dados de entrada são obtidos por radares de previsão meteorológica e processados por um sistema central de base de dados, gerando ao final o escoamento superficial em uma seção predeterminada na bacia hidrográfica, o modelo também apresenta uma peculiaridade pois ele pode ser retroalimentado com os dados hidrológicos e hidráulicos, assim gerando resultados mais confiáveis e condizentes com os valores observados em campo.

Figura 9 – Arranjo do sistema de previsão delft-FEWS.



Fonte: Adaptado de VERWEY *et al.* (2006).

Cabe destacar que apesar de ser um modelo utilizado em vários países europeus, a sua aplicabilidade na América do sul é moderada, Pinto *et al.*, (2013) apresentam duas pesquisas que implementam o sistema delft-FEWS, que são o "sistema de monitoramento e previsão em tempo real para hidrodinâmica e ondas no interior da Baía de Guanabara e zona costeira em seu redor" e o "sistema de operação otimizada de reservatórios em tempo real, com foco no controle de cheias". Apesar da pequena aplicabilidade o sistema traz grandes benefícios para o Brasil, pois este é um sistema que auxilia na tomada de decisões em momentos de ocorrência de eventos hidrológicos críticos.

2.9.2 HEC-RTS

O HEC-RTS é um sistema de simulação hidrológica em tempo real, o qual provê suporte para tomada de decisões através da modelagem de eventos hidrológicos utilizando uma combinação de modelos, que são os seguintes: Escoamento superficial, previsão quantitativa de precipitação, simulação de operação de reservatórios e cenários de vazão na calha do rio.

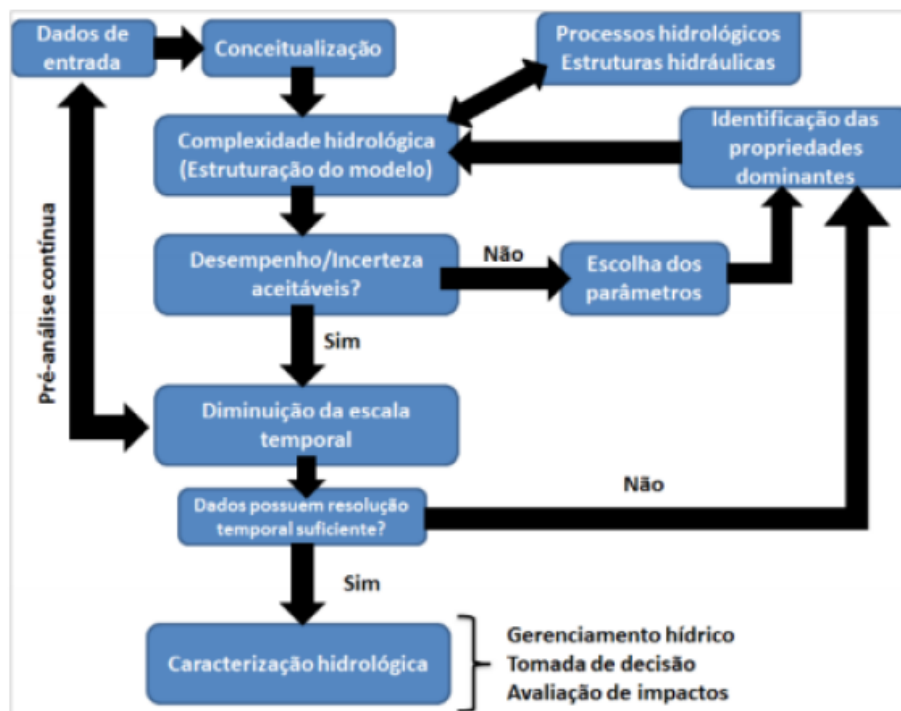
O modelo se utiliza de sensores de precipitação e cota do rio para instaurar a sua base de dados e assim tornar possível a calibração do mesmo, sendo que a combinação de dados observados e a estipulação de cenários futuros são essenciais para a modelagem do sistema (CHARLEY, 2010). Por ser uma combinação de vários sistemas trabalhando em conjunto, o modelo tem como uma vantagem a utilização de poucas condições que servem de embasamento para os cálculos futuros, sendo que todas estão relacionadas a bacia hidrográfica estudada, sendo estas as seguintes: déficit inicial, razão de perda constante, escoamento superficial por área e fator de recessão.

De acordo com Charley (2010) por apresentar uma variedade grande de resultados e uma série de análises o modelo HEC-RTS é de grande utilidade na tomada de decisões relacionadas a eventos hidrológicos críticos e operações de comportas de usinas hidrelétricas.

2.9.3 SPEHC

SPEHC é a sigla para Sistema de Previsão de Eventos Hidrológicos Críticos, este é composto por um sistema de assimilação de dados de diversas fontes como telemetria, radar meteorológico e modelos meteorológicos (DE LARA *et al.*, 2015). Ele pode ser utilizado de maneira integrada com sistemas de gestão e monitoramento, trazendo os seguintes benefícios: Previsão de vazões, disponibilidade hídrica, operação de barragens, avaliação de impactos ambientais, entre outros. Segundo Sacramento *et al.*, (2014) o SPEHC se distingue dos atuais sistemas de previsão hidrológica utilizados, por sua amplitude de aplicação e por trazer em sua estrutura a implementação do modelo matemático PM Tank Model, este por ter um forte embasamento físico tende a gerar resultados com menor grau de incerteza e menos aleatoriedades. A Figura 10 representa um esquema do funcionamento e de como são empregados o sistema hidrológico e a formulação hidrológica.

Figura 10– Esquema de funcionamento do SPEHC.

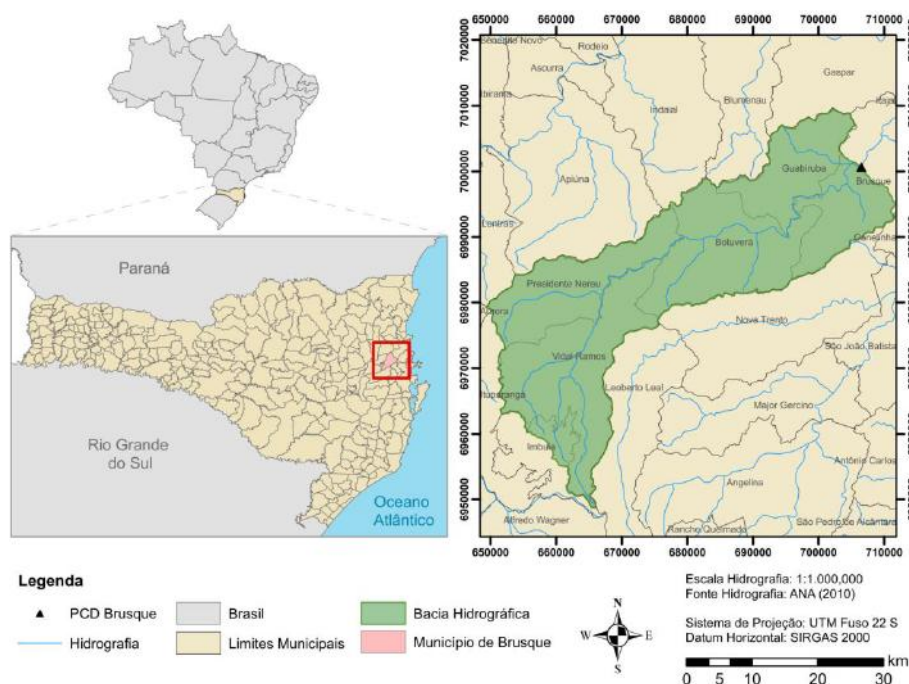


Fonte: Adaptado de SACRAMENTO *et al.* (2014).

Por utilizar o modelo PM Tank Model, os seguintes parâmetros físicos são necessários nos cálculos computacionais do SPEHC: tempo de concentração, tempo de resposta do escoamento de base, condutividade hidráulica saturada, profundidade do solo, capacidade de infiltração mínima do solo, ponto de murcha permanente, interceptação, porosidade, capacidade de campo e relação entre hidrograma e o hietograma. Além dos parâmetros físicos, os dados referentes aos elementos hidrológicos são importantes na aplicação e calibração da modelagem, os valores de evapotranspiração são adicionados a plataforma pelo próprio usuário, tratando-se assim de um estudo prévio da região que deverá ser analisada, já para precipitação segundo De Lara et al., (2015) podem ser utilizados dados de satélite, como TRMM-NASA, GPM entre outros, e com dados fluviométricos das estações telemétricas locais a calibragem do modelo torna-se possível.

Para exemplificar a aplicabilidade do SPEHC e os seus padrões de resposta, pode-se analisar um estudo real de caso que foi realizado na bacia hidrográfica do Rio Itajaí-Mirim, tomando como ponto de interesse a cidade de Brusque/SC, a região em questão tem área de drenagem de 1.240 Km² e a Figura 11 ilustra a localização e forma da bacia hidrográfica.

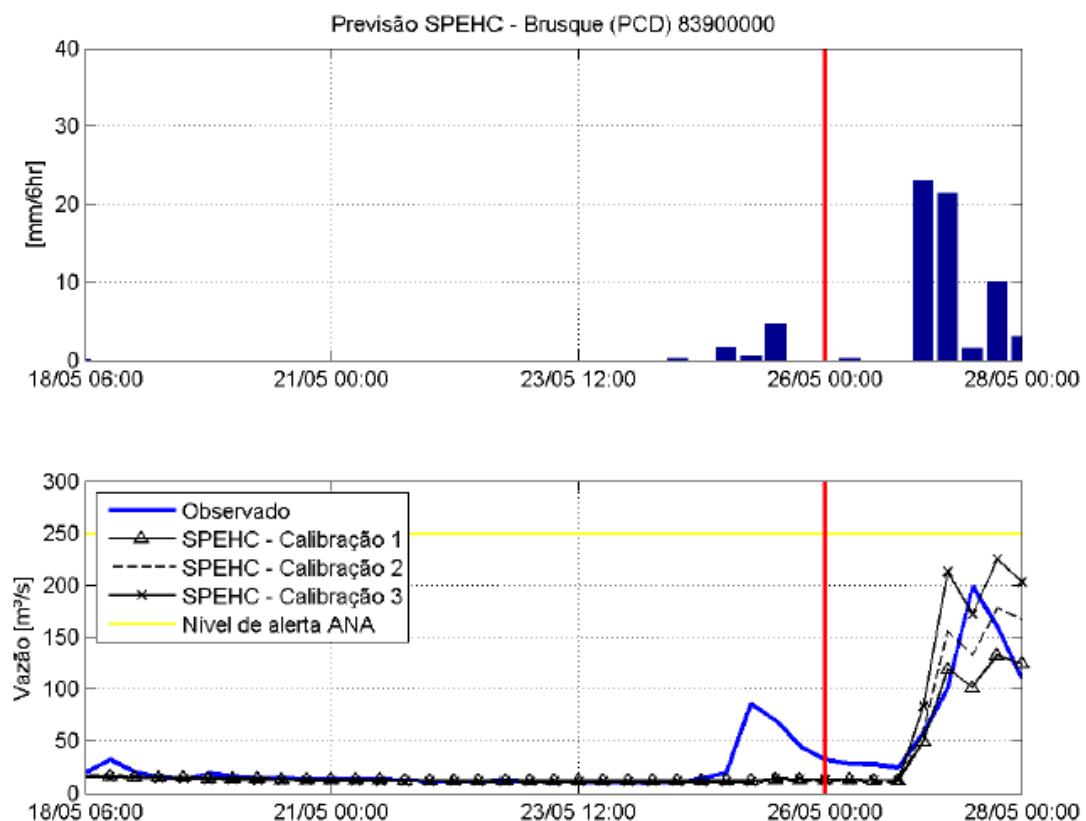
Figura 11– Localização da área de estudo.



Fonte: Adaptado de DE LARA *et al.* (2015).

Para calibração do modelo foram utilizados dados de precipitação do satélite TRMM-NASA e dados fluviométricos da estação da ANA, denominada Brusque (PCD), já no ato da previsão hidrológica foi empregado o modelo meteorológico BRAMS (3dias/ 5x5 km) (DE LARA *et al.*, 2015). A Figura 12 apresenta a análise realizada dos dados de precipitação e vazão e a série de previsões hidrometeorológicas. Neste estudo foi feito o uso de 3 calibrações diferentes, para que a análise dos dados no que tange o comportamento da bacia hidrográfica torne-se mais representativa, já que a calibração 1 não representa as vazões de pico no gráfico gerado. A linha vermelha no gráfico representa o momento de início da previsão e a linha amarela presente apenas no gráfico de vazões, indica o nível de alerta proposto pela ANA na estação telemétrica de Brusque/SC (PCD), que é de 250 m³/s.

Figura 12 – Previsão hidrológica utilizando o SPEHC.



Fonte: Adaptado de DELARA *et al.* (2015).

De acordo com De Lara *et al.*, (2015) a incerteza do modelo hidrológico é dependente da incerteza da precipitação. Pode-se ressaltar que a quantidade de estudos e ferramentas computacionais fisicamente embasadas e com incertezas calculadas aumentam consideravelmente o grau de confiabilidade nos modelos, portanto, os estudos de previsão hidrológica devem ser constantemente atualizados e revisados.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

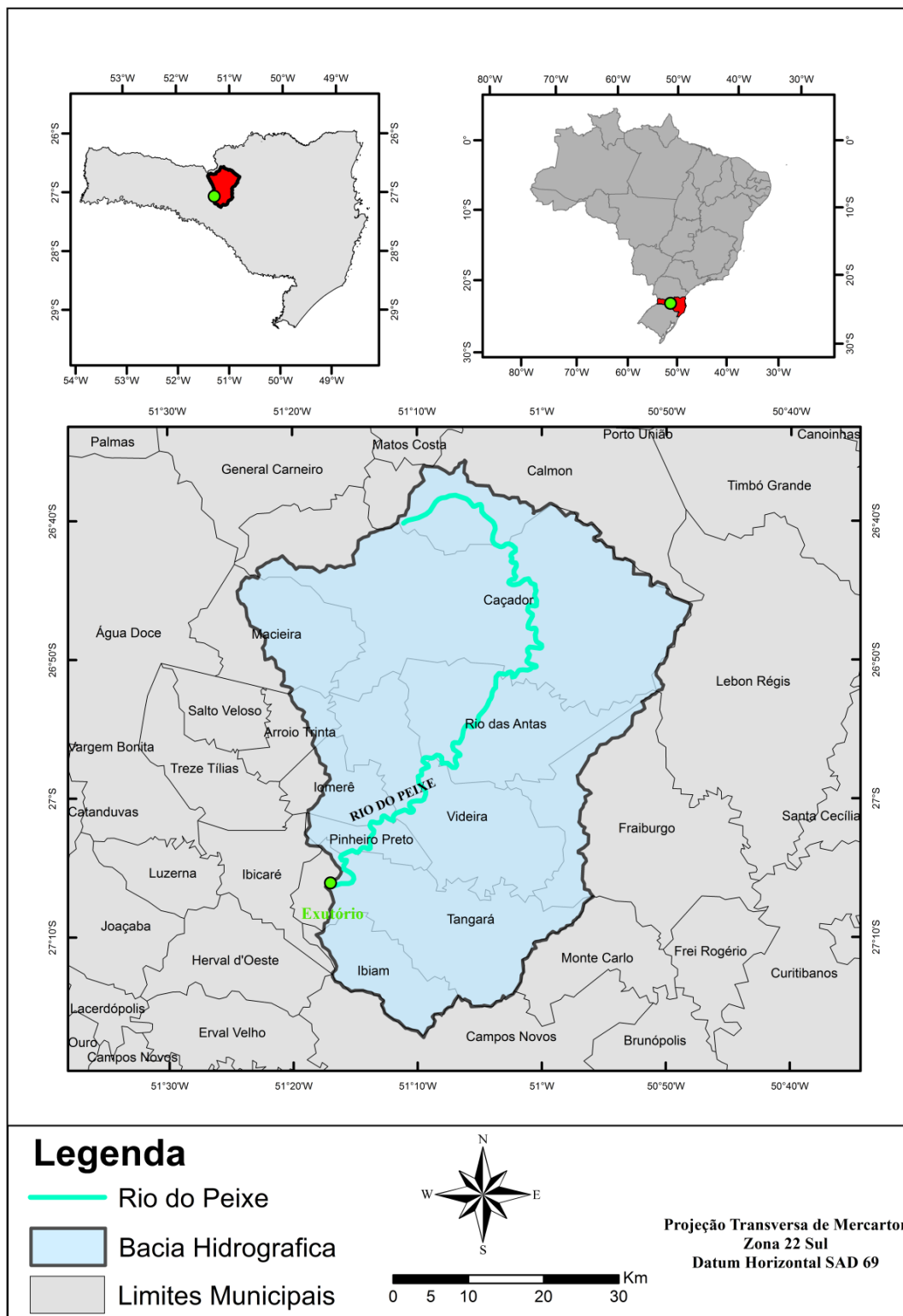
Segundo o Comitê Rio do Peixe (2016), a Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe, localizada no meio oeste do estado de Santa Catarina, tem 876 m de altitude média e as coordenadas que a delimitam são: latitude: S 26°36'24" e S 27°29'19" e longitude: W 50°48'04" e W 51°53'57". Ela conta com uma área territorial de 5.238 km² e um perímetro de 425 Km, tendo como abrangência uma população estimada de 385.160 pessoas.

A região estudada neste trabalho é uma sub-bacia do Rio do Peixe (Figura 13) e as coordenadas que a delimitam são: latitude: S26°36'24" e S 27°08'20" e longitude: W 50°48'04' e W 51°22'15". Contando com uma área de 2.621 Km², um perímetro de 267 Km e abrange um total de 13 municípios, sendo eles: Arroio Trinta, Calmon, Caçador, Fraiburgo, Ibiam, Ibicaré, Iomerê, Lebon Régis, Macieira, Pinheiro Preto, Rio das Antas, Tangará e Videira. Segundo dados do IBGE (2010), a população atendida por esta sub-bacia corresponde a aproximadamente 199.077 pessoas.

Superficialmente a sub-bacia é formada por rochas de basalto que fazem parte da Formação Serra Geral do Grupo São Bento. As rochas foram originadas por consecutivos derrames vulcânicos que cobriram a bacia sedimentar do Paraná (SCHOBENHAUS; NEVES, 2003 *apud* SPINELLI, 2012). Essas rochas, devido as suas fraturas, formaram um importante aquífero na região, denominado de Serra Geral.

O Rio do Peixe que é o maior afluente da região, nasce no município de Calmon, ao norte da sub-bacia hidrográfica, na altitude de aproximadamente 1250 m, já o exutório está localizado no município de Tangará, sendo as suas coordenadas as seguintes: latitude: S 27°06'08" e longitude: W 51°16'59".

Figura 13 – Localização da sub-bacia do Rio do Peixe.



Fonte: Acervo próprio.

3.2 FONTES PRINCIPAIS DOS DADOS

A topografia em formato shp (shapefile) e o mapa altimétrico do Estado de Santa Catarina, foram retirados do acervo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e comparados aos mapas dispostos no portal da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI). Para a elaboração do mosaico contendo a sub-bacia estudada, foram necessários a junção dos mapas de Caçador, Videira, Lebon Régis e Curitibanos, em escala 1:100.000. O datum adotado foi o South American Datum 1969 (SAD 69 - IBGE).

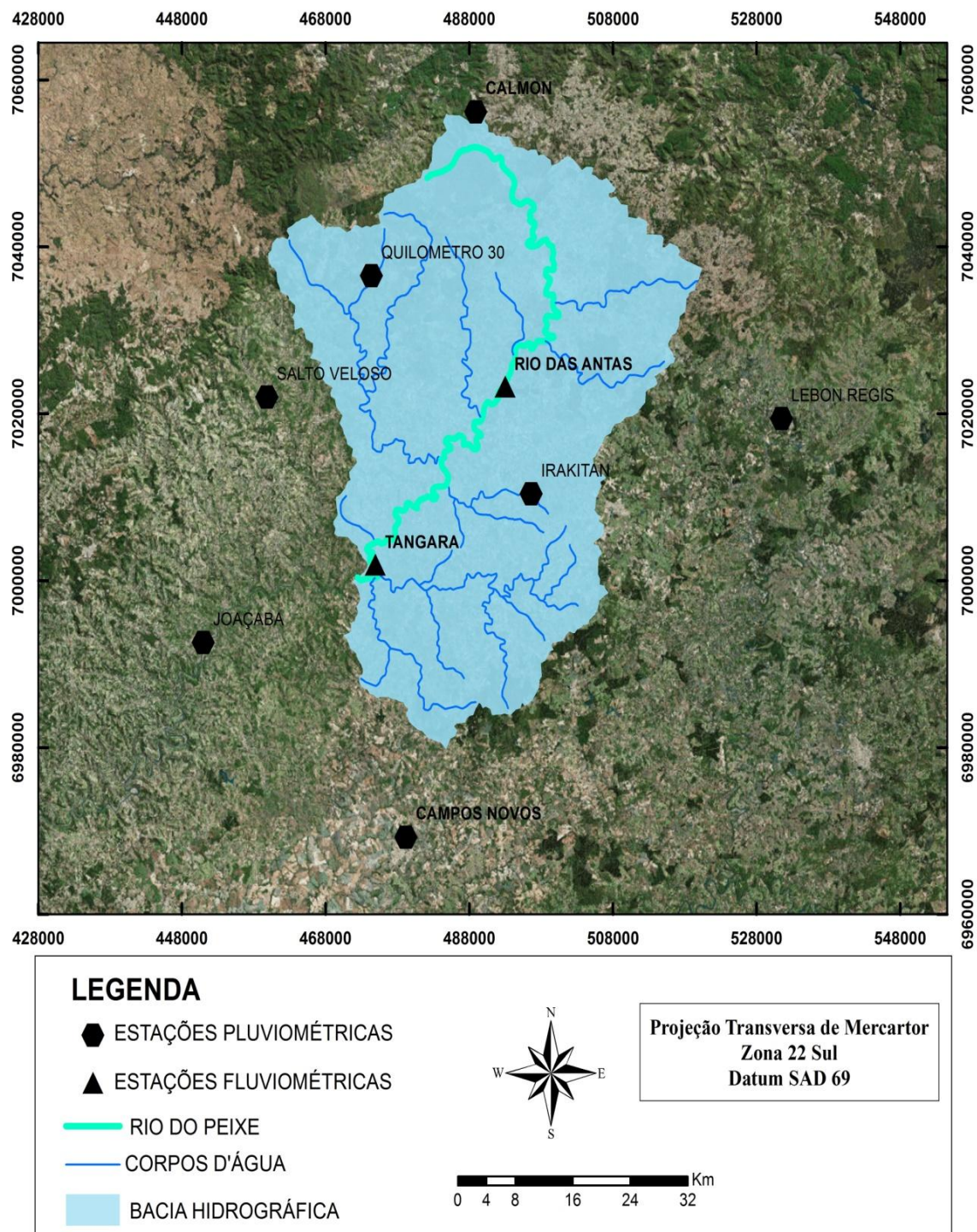
A classificação do uso do solo teve como base os arquivos shp (shapefile) disponibilizados pela Fundação de Amparo à Tecnologia e ao Meio Ambiente (FATMA), os dados geológicos da sub-bacia tiveram como base os mapas elaborados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), e também foram complementados pelas classificações disposta em Filho (1994) e atualizadas em EMBRAPA (2004).

As informações referentes às estações Fluviométricas e Pluviométricas são dispostas pela Agência Nacional de Águas (ANA) - HidroWeb, e são de responsabilidade do Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

3.3 DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS

A Figura 14 apresenta as estações que serviram de fonte para a elaboração e validação dos estudos na sub-bacia do Rio do Peixe, a região abriga estações pluviométricas e fluviométricas, e devido ao fato destas apresentarem uma dispersão geográfica favorável, a obtenção de dados tornou-se mais representativas no estudo em questão.

Figura 14 – Localização das estações pluviométricas e fluviométricas na sub-bacia do Rio do Peixe.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.1 Dados Fluviométricos

A Sub-bacia do Rio do peixe compreende em seu interior duas estações fluviométricas, estas estão sobre controle da ANA, e apresentam o mesmo período de medição dos dados de vazão. A Tabela 4 apresenta alguns dados das estações de forma resumida, sendo que os períodos com falhas foram descartados nos cálculos de vazão.

Tabela 4 - Dados resumidos das estações fluviométricas.

Código	Nome do município	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Área de drenagem (km ²)	Período
72715000	Rio das Antas	-26°53'45"	-51°04'32"	840	801	1977-2015
72810000	Tangará	-27°05'17"	-51°15'29"	630	2010	1977-2015

Fonte: Acervo próprio.

Por intermédio da base de dados obtida, foi possível o entendimento do comportamento da sub-bacia hidrográfica, e assim, trazer uma fonte a mais para facilitar a compreensão dos estudos de previsão hidrológica.

3.3.2 Dados Pluviométricos

As estações pluviométricas foram selecionadas dentre aquelas que geram alguma contribuição para região de estudo, as quais estão compreendidas nos limites e nas imediações da Sub-bacia do Rio do Peixe. As estações estão sob o controle da ANA e do INMET, a Tabela 5 apresenta os dados de localização e o período de obtenção das medições pluviométricas.

Tabela 5 - Dados resumidos das estações pluviométricas.

Código	Nome do município	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Período
2651044	CALMON	-26°35'56"	-51°07'00"	1200	1980-2015
2651036	QUILÔMETRO 30	-26°46'33"	-51°15'46"	1133	1977-2015
2651052	SALTO VELOSO	-26°54'24"	-51°24'35"	1000	1944-2015
2650019	LEBON RÉGIS	-26°55'48"	-50°41'17"	1000	1977-2015
2751022	IRAKITAN	-27°00'42"	-51°02'22"	1000	2001-2015
2751002	CAMPOS NOVOS	-27°22'60"	-51°12'56"	964,23	1923-1998
2751004	JOAÇABA	-27°10'18"	-51°30'01"	560	1944-2015

Fonte: Acervo próprio.

4. CARACTERIZAÇÃO DA SUB-BACIA DO RIO DO PEIXE

4.1 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

A Sub-bacia do Rio do Peixe encontra-se em região de derrame basáltico (LINDNER, 2007), com predominância de nitossolos, neossolos, cambissolos e latossolos. A Tabela 6 apresenta estes solos e suas porcentagens em relação a área total de abrangência da sub-bacia hidrográfica do Rio do Peixe, portanto, pode-se verificar que os nitossolos representam 60,89% dos tipos de solos encontrados na região, já os menos representativos são os latossolos que abrangem apenas 3,60 % da região. A Figura 15 tem como premissa apresentar de maneira visual como os solos estão bem distribuídos na sub-bacia, exceto os latossolos, estes apresentam-se em maior quantidade nas regiões centrais.

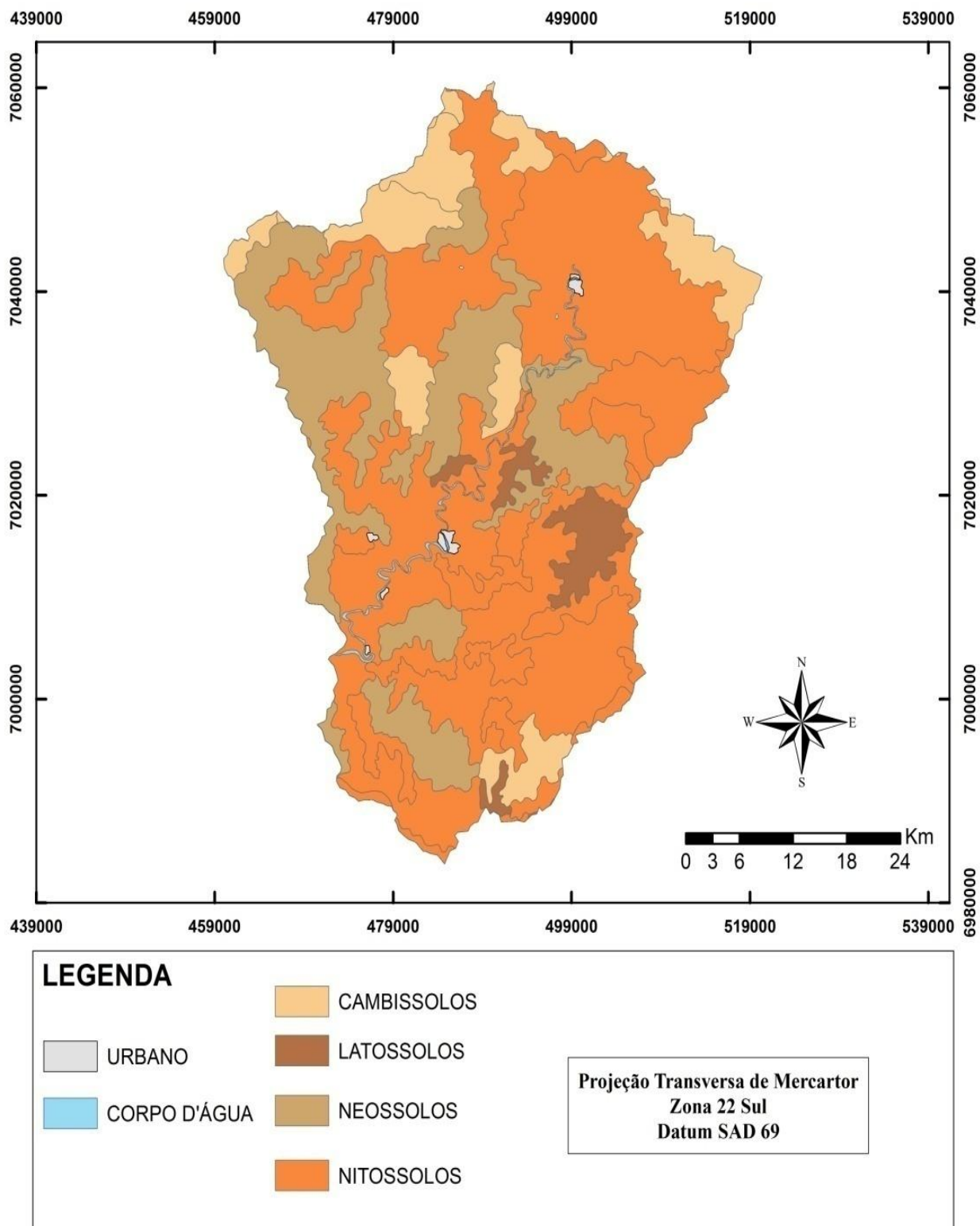
Os nitossolos por se apresentarem em maior quantidade inferem à região, características de terrenos argilosos, dentre as quais pode-se destacar as baixas permeabilidade, condutividade hidráulica e porosidade.

Tabela 6 - Porcentagem dos solos na sub-bacia.

SOLOS	%
CAMBISSOLOS	11,95%
LATOSSOLOS	3,60%
NEOSSOLOS	23,56%
NITOSSOLOS	60,89%

Fonte: Acervo próprio.

Figura 15 - Mapa de classificação do solo na sub-bacia do Rio do Peixe.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 PROFUNDIDADE DO SOLO

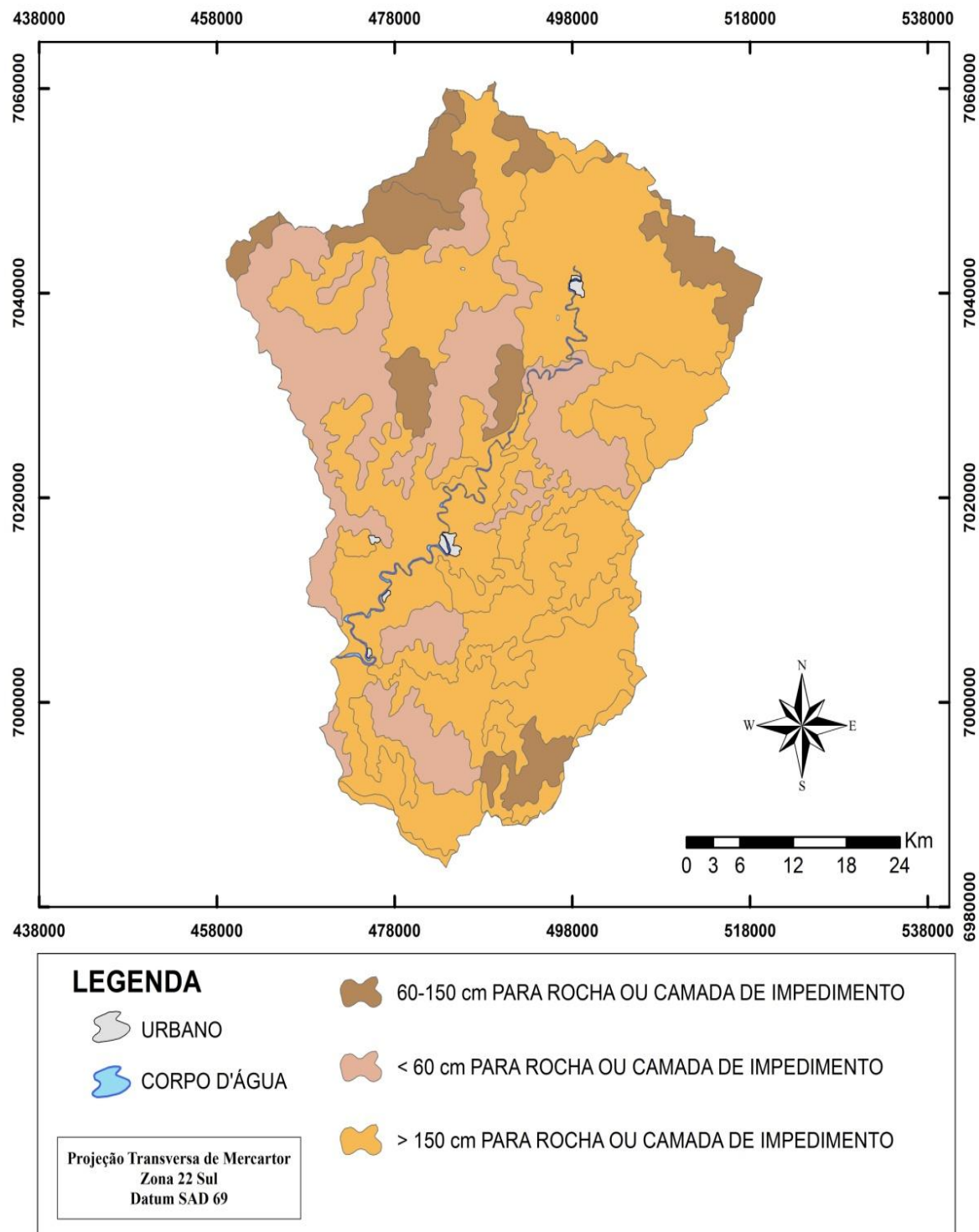
Os solos da região foram divididos em 3 grupos, os considerados rasos, que correspondem a profundidades menores que 60 cm até o impenetrável, os intermediários, que correspondem àqueles que estão entre 60 e 150 cm do impenetrável e os solos que apresentam grandes profundidades correspondendo a valores maiores que 150 cm. A Tabela 7 propõe as porcentagens de predominância de cada grupo de camada de solo, sendo que, como já era esperado para a região, o grupo que apresenta solos com profundidades maiores que 150cm estão em maior quantidade na sub-bacia, representando um percentual de 65,63% da mesma. Analisando a Figura 16, pode-se averiguar como os 3 grupos estão dispostos na região estudada e a predominância dos solos denominados profundos, porém, em regiões próximas ao corpo d'água principal, ocorre o aparecimento em grande quantidade de solos considerados rasos. Por se tratar de uma relação que será estudada para servir de parâmetro na entrada de dados do modelo hidrológico, a precisão das profundidades não foi levada em conta.

Tabela 7 -Porcentagem em relação a profundidade das camadas de solo.

CAMADAS DE SOLO	%
60-150 cm PARA ROCHA OU CAMADA DE IMPEDIMENTO	11,45%
< 60 cm PARA ROCHA OU CAMADA DE IMPEDIMENTO	22,92%
> 150 cm PARA ROCHA OU CAMADA DE IMPEDIMENTO	65,63%

Fonte: Acervo próprio.

Figura 16 - Mapa de profundidade do solo na sub-bacia do Rio do Peixe.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 USO DO SOLO

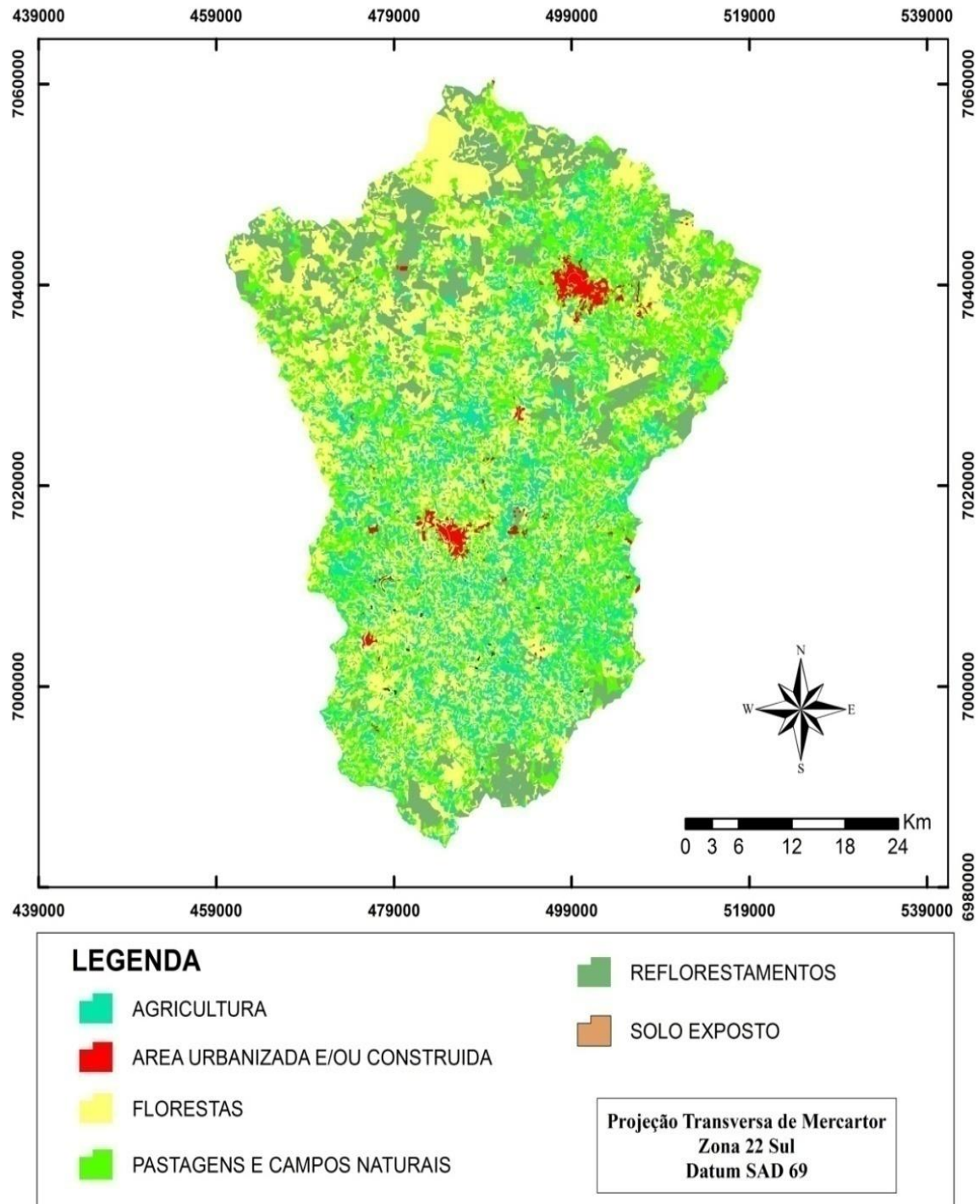
A Tabela 8 apresenta a porcentagem de uso do solo na sub-bacia, pode-se observar que a região foi dividida em 6 categorias diferentes, que são elas: reflorestamentos, pastagens e campos naturais, florestas, área urbanizada, agricultura e solo exposto. As porcentagens de uso do solo foram calculadas a partir do mapa apresentado na Figura 17, na qual pode-se verificar espacialmente as proporções e disposição do uso e cobertura do solo. A região apresenta aproximadamente 2% de sua área total urbanizada, e tem como os usos mais importantes aqueles relacionados a áreas de reflorestamento (31%), pastagens e campos naturais (29,31%) e agricultura (26,80%).

Tabela 8 - Porcentagem em relação ao uso do solo da sub-bacia.

CLASSE DE USO DO SOLO	%
AGRICULTURA	26,80%
AREA URBANIZADA E/OU CONSTRUIDA	1,99%
FLORESTAS	31,00%
PASTAGENS E CAMPOS NATURAIS	29,31%
REFLORESTAMENTOS	10,81%
SOLO EXPOSTO	0,09%

Fonte: Acervo próprio.

Figura 17 – Uso do solo na sub-bacia do Rio do Peixe.

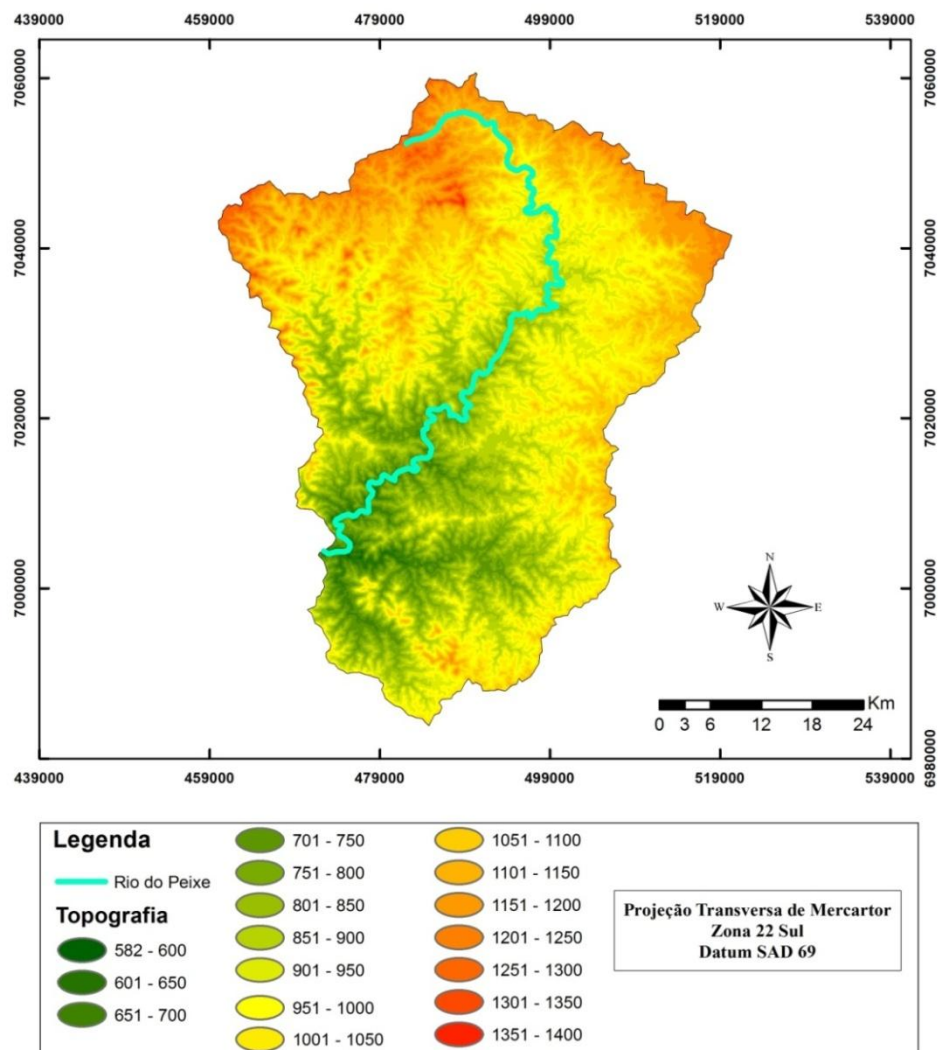


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 MAPA HIPSOMÉTRICO

O mapa hipsométrico é importante na identificação da topografia da região, pode-se observar na Figura 18 que a sub-bacia apresenta altitudes que variam de 582 até 1400 metros, sendo que as altitudes mais elevadas caracterizam os limites da bacia e a nascente do Rio do Peixe, já as altitudes mais baixas são encontradas nas regiões próximas ao exutório, que está localizado na cidade de Tangará.

Figura 18 – Mapa hipsométrico da sub-bacia do Rio do Peixe.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5 CARACTERIZAÇÃO HIDROMETEOROLÓGICA

4.5.1 Precipitação

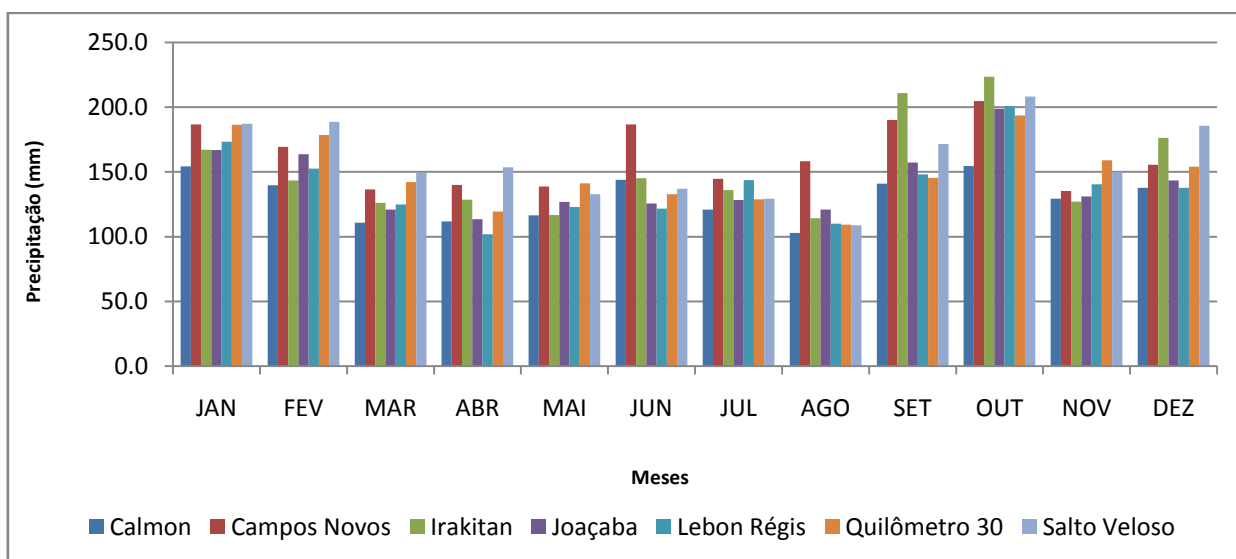
O regime de precipitações na sub-bacia estudada é fator preponderante na definição do período no qual serão realizadas as calibrações e as previsões hidrológicas, sendo assim, na Tabela 9 são apresentadas as precipitações médias anuais acumuladas nas estações pluviométricas da região de estudo, portanto, pode-se observar que Campos Novos tem o maior volume de precipitação média anual acumulada, já Calmon apresenta o menor volume anual. A Figura 19 refere-se ao comportamento da precipitação no decorrer do ano, sendo que o mês de outubro tem o maior volume médio de precipitações e o mês de abril tem o menor valor médio.

Tabela 9 - Precipitação média anual acumulada em cada estação pluviométrica.

ESTAÇÕES	PRECIPITAÇÃO (mm/ano)
Calmon	1564
Campos Novos	1947
Irakitan	1816
Joaçaba	1698
Lebon Régis	1678
Quilômetro 30	1791
Salto Veloso	1902

Fonte: Acervo próprio.

Figura 19 – Precipitação média mensal acumulada nas estações pluviométricas.



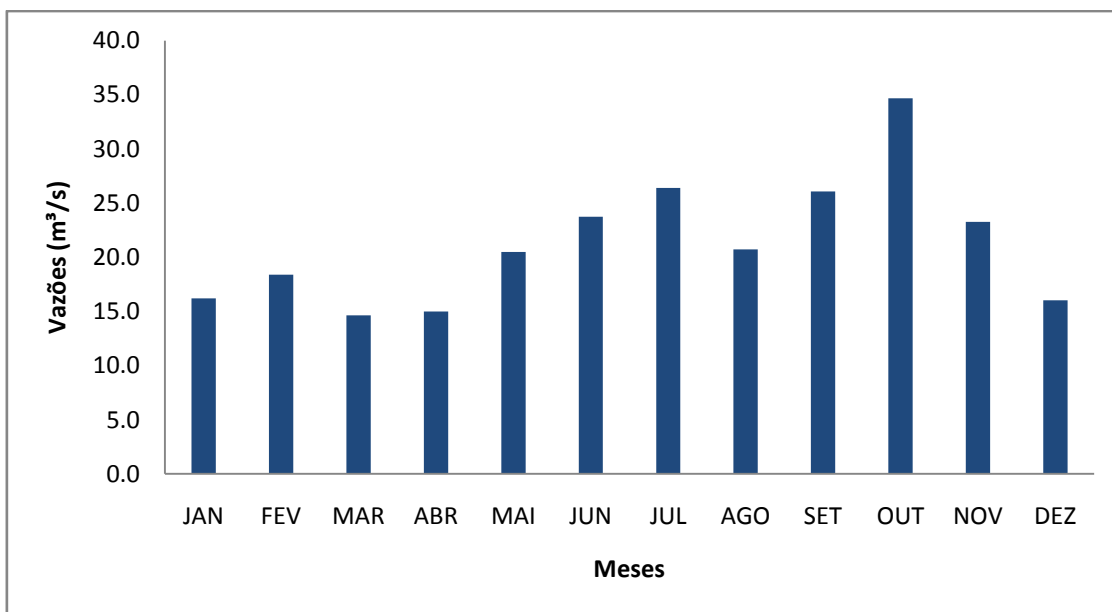
Fonte: Acervo próprio.

4.5.2 Fluviometria

4.5.2.1 Estação Fluviométrica Rio das Antas

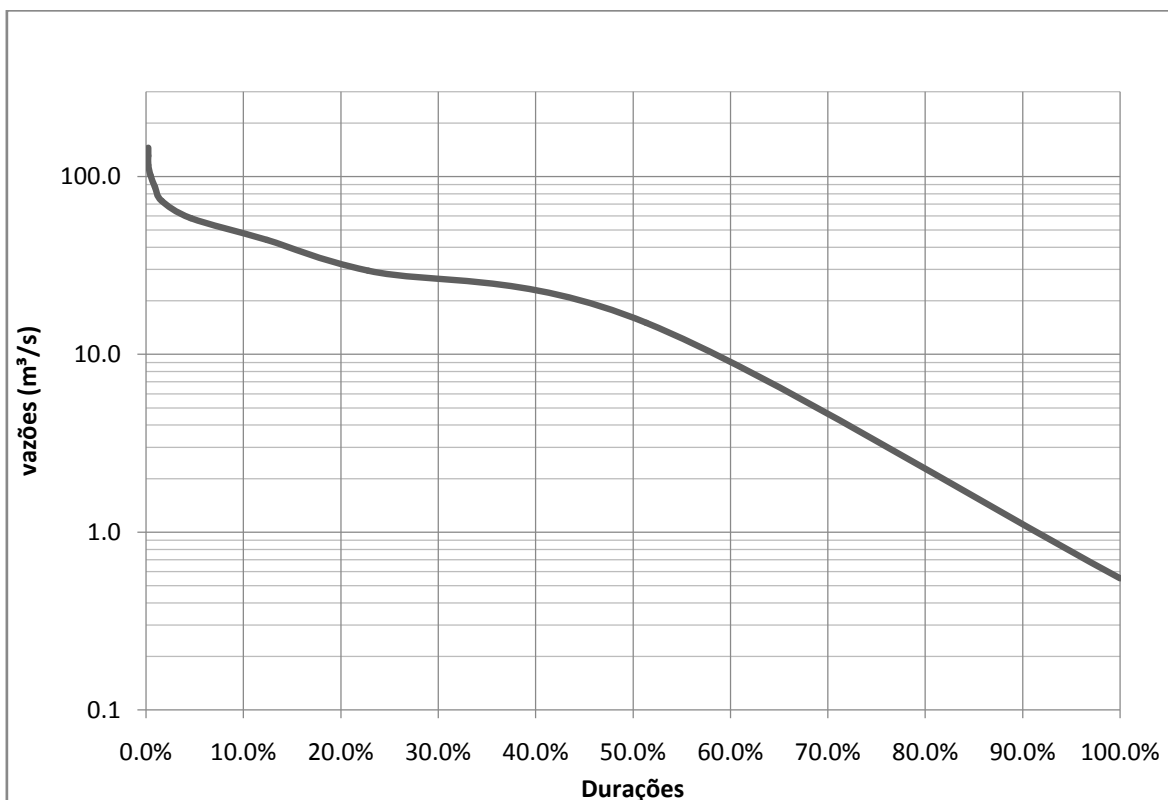
A Figura 20 apresenta o comportamento das vazões médias mensais no período entre os anos de 1977 e 2015, de acordo com os dados apresentados, os meses de março e abril apresentam as menores vazões do período, caracterizando uma época de estiagem na sub-bacia, já os meses de julho, setembro e outubro são referentes às épocas de maior vazão média, apresentando assim, períodos de cheia. Esses dados estão coerentes em relação a aqueles apresentados por Lindner (2007). Além das médias mensais é importante a análise da curva de permanência da estação fluviométrica, pois é a partir dela que o pesquisador toma decisões importantes relacionadas às frequências de vazões que mais ocorrem no curso d'água estudado. A Figura 21 apresenta a curva de permanência utilizando os dados médios mensais entre os anos de 1977 e 2015, observando a mesma pode-se analisar que para 90% do tempo de frequência os valores médios de vazões são maiores ou iguais a $1\text{m}^3/\text{s}$ e apenas 10% do período o valor iguala ou supera os $50\text{m}^3/\text{s}$. O Apêndice A apresenta os dados de vazões médias mensais no decorrer dos anos.

Figura 20– Vazões médias mensais (1977-2015) para a estação fluviométrica de Rio das Antas.



Fonte: Acervo próprio.

Figura 21 – Curva de permanência da estação fluviométrica de Rio das Antas com dados de vazões médias mensais entre 1977-2015.



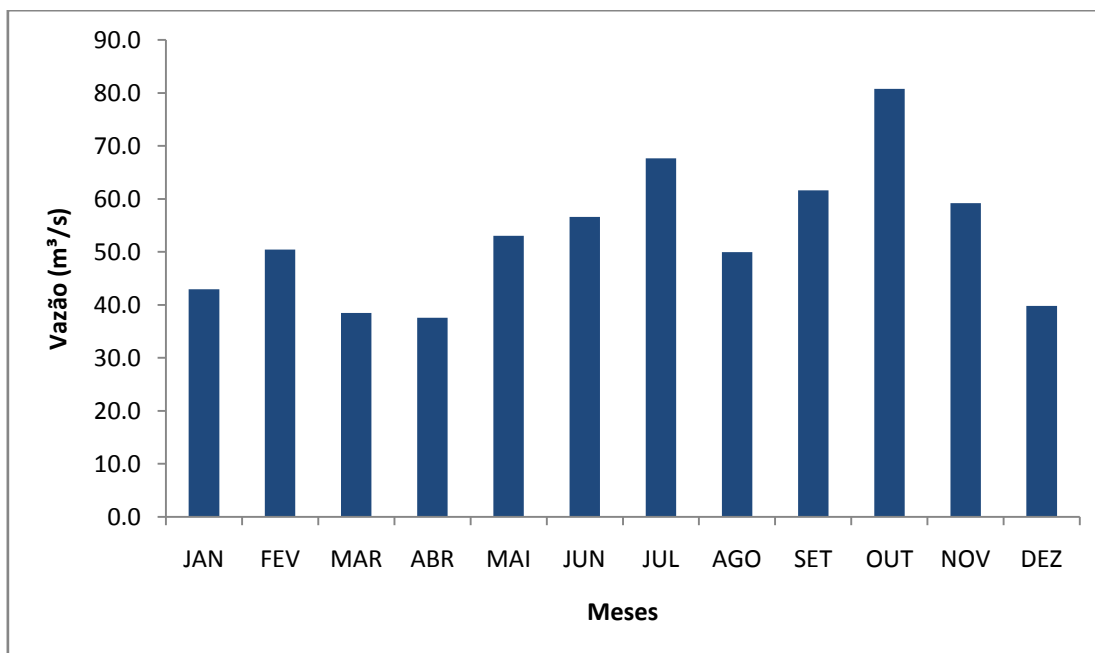
Fonte: Acervo próprio.

4.5.2.2 Estação Fluviométrica Tangará

De maneira semelhante ao estudo apresentado na estação fluviométrica de Rio das Antas, foi elaborado o estudo para a estação fluviométrica de Tangará, a Figura 22 apresenta o diagrama com os valores médios mensais, no qual pode-se observar que os meses de março e abril continuam apresentando períodos correspondentes a estiagem na região estudada e os meses de julho, setembro e outubro são aqueles que apresentam o período de cheia na sub-bacia.

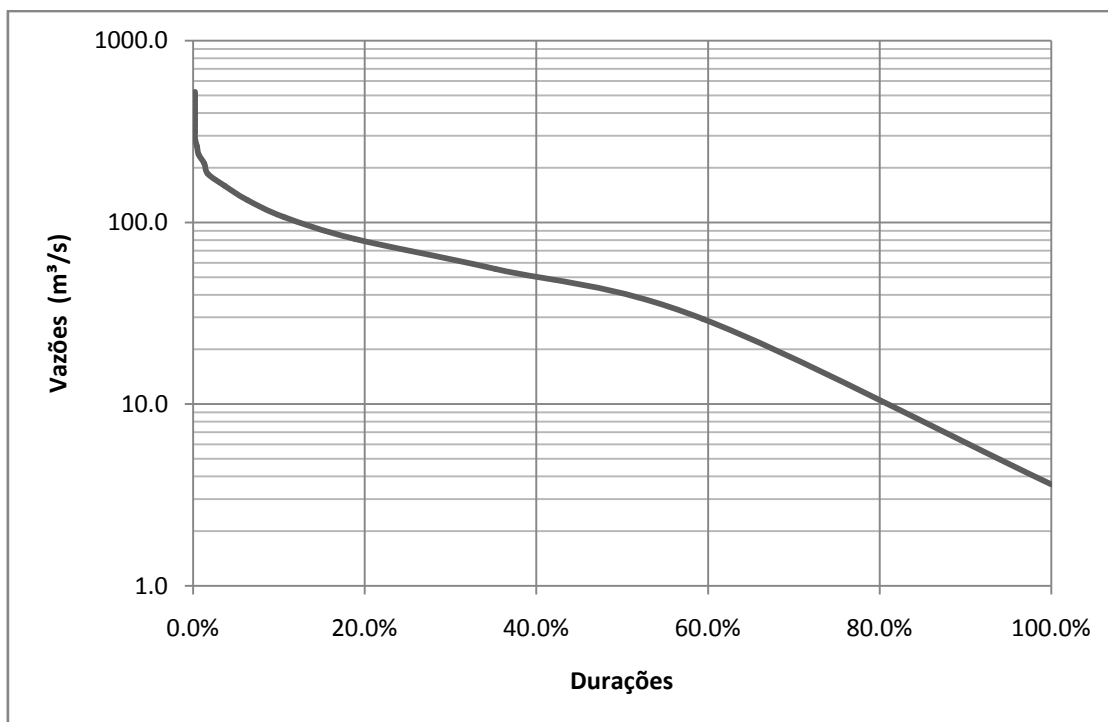
A Figura 23 representa a curva de permanência com a utilização dos valores de vazões médias mensais, como apresentado anteriormente em Rio das Antas, analisando-a é possível evidenciar alguns dados importantes, destaca-se quem em 90% das durações as vazões são superiores ou iguais a $6\text{m}^3/\text{s}$ e em apenas 10% das mesmas as vazões médias ultrapassam $100\text{m}^3/\text{s}$. O Apêndice A apresenta os dados de vazões médias mensais no decorrer dos anos.

Figura 22 – Vazões médias mensais (1977-2015) para a estação fluviométrica de Tangará.



Fonte: Acervo próprio.

Figura 23 – Curva de permanência da estação fluviométrica de Tangará com dados de vazões médias mensais entre 1977-2015.



Fonte: Acervo próprio.

4.5.3 Evapotranspiração (ETP)

Os dados de evapotranspiração da bacia do Rio do Peixe foram obtidos através do estudo realizado por Lindner (2007), cuja pesquisa foi realizada entre os anos de 1977 e 2004. O presente estudo, optou por utilizar valores de evapotranspiração média mensal apresentados por Lindner (2007), pois analisando o comportamento destes no decorrer dos anos, os mesmos apresentam uma ETP média anual com desvio padrão 4 mm, portanto, verifica-se que a sub-bacia vem apresentando no decorrer dos anos valores anuais médios muito próximos, tornando assim a utilização destes coerentes na modelagem hidrológica. Para embasar a escolha do uso dos dados de ETP proposto por Lindner (2007) foram verificados, utilizando os dados da estação climatológica de Campos Novos, a temperatura, umidade relativa do ar e o uso/ocupação do solo na região, as Tabelas 10 e 11 demonstram que tanto variação de temperatura como a umidade relativa do ar média foram muito próximas em relação ao período estudado por Lindner (2007), sendo assim,

juntamente com as mudanças discretas em relação ao uso e ocupação do solo na região pode-se inferir que a utilização dos dados de ETP proposto pela presente pesquisa apresentam resultados coerentes com o estudo atual.

Tabela 10 - Temperatura média mensal e anual para os períodos de estudo.

Temperatura °C													
Anos/Meses	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
1977-2004	21,5	21,4	20,5	17,7	15,0	13,4	13,4	14,5	15,6	17,4	19,1	20,8	17,5
2005-2015	21,5	21,7	20,4	17,9	14,5	13,4	13,1	15,0	15,5	18,0	19,6	21,2	17,7

Fonte: Acervo próprio.

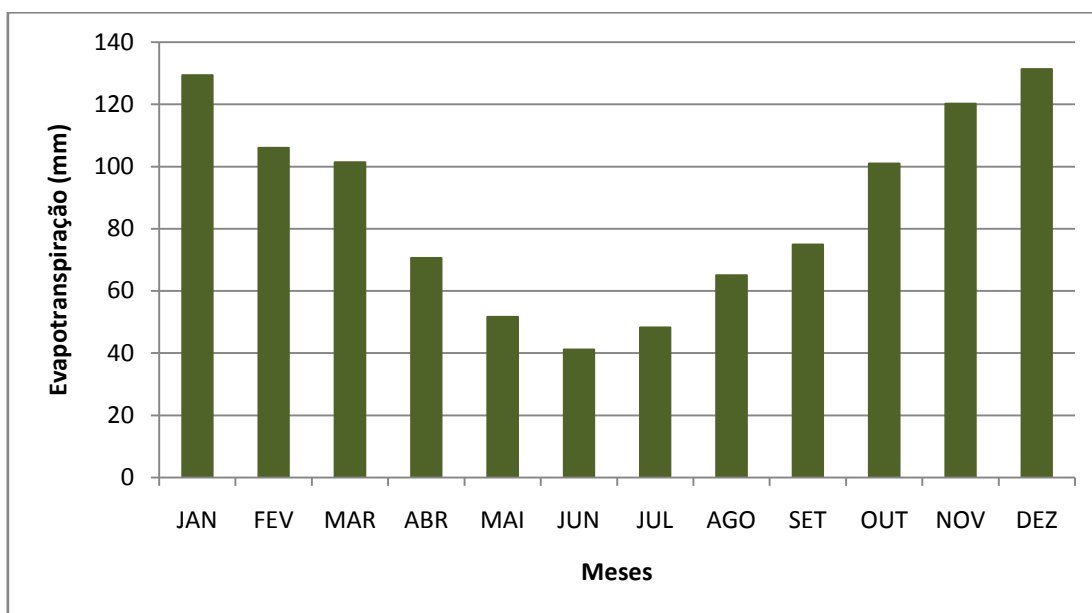
Tabela 11 - Umidade relativa do ar média mensal e anual para os períodos de estudo.

Umidade Relativa (%)													
Anos/Meses	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
1977-2004	75,1	78,7	78,7	77,4	78,3	79,2	76,7	72,7	74,9	73,8	71,1	71,8	75,7
2005-2015	77,0	77,8	78,0	77,9	81,7	82,5	79,2	74,4	77,3	77,7	71,8	71,9	77,3

Fonte: Acervo próprio.

O comportamento da ETP média no decorrer do ano está apresentado na Figura 24, nela é possível notar a ocorrência de períodos bem definidos de evapotranspiração em relação às estações do ano. No Apêndice B são apresentados os dados de evapotranspiração no decorrer dos anos.

Figura 24 – Evapotranspiração média mensal (1977-2004) na sub-bacia do Rio do Peixe.



Fonte: Adaptado de LINDNER (2007).

4.5.4 Retorno de eventos críticos

A bacia do Rio do Peixe caracteriza-se por apresentar uma região afetada recorrentemente por eventos hidrológicos críticos, segundo Lindner (2007) entre os anos de 1972 e 2007 houve na região 168 eventos críticos relacionados com excesso hídrico na Bacia hidrológica, partindo desta premissa e por análises realizadas por buscas em fatos históricos, pode-se afirmar que a sub-bacia do Rio do Peixe estudada, apresenta situações semelhantes às encontradas na bacia como um todo.

Para calibrar um modelo de previsão hidrológica como o SPEHC é importante analisar o período que será utilizado no ato da calibração, pois a mesma pode tornar-se pouco representativa, caso se no período estudado os valores de vazão tenham períodos de recorrência muito espaçados, sendo assim optou-se por realizar um estudo sucinto, por meio de análise estatística para determinar o período de retorno de máximas vazões de inundação para região estudada. A Tabela 12 apresenta a relação entre os períodos de retorno e as suas vazões respectivamente, o método para a análise estatística dos períodos de retorno foi o Gumbel, pois o coeficiente de assimetria no período entre 1977 e 2015 tem valor menor que 1,50, o que habilita o método como o mais indicado.

Tabela 12 -Período de retorno de eventos críticos de vazão no Rio do Peixe.

T (anos)	Q (m ³ /s)
5	1008,16
10	1235,49
20	1453,56
30	1579,00
40	1667,45
50	1735,82
60	1791,56
70	1838,63
80	1879,35
90	1915,25
100	1947,34
200	2158,08
500	2436,12
1000	2646,25

Fonte: Acervo próprio.

4.6 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO ESTIMADO

Mota (2012); Melo et al. (2010); Lindner (2007) foram alguns dos autores que apresentaram estudos utilizando fórmulas para o cálculo estimado do tempo de concentração de uma bacia hidrográfica, portanto com um embasamento literário e de pesquisa é coerente estimar o tempo de concentração utilizando as principais equações desenvolvidas para este fim. A Tabela 13 é referente às equações para o cálculo dos tempos de concentração e os valores encontrados para os mesmos, como as fórmulas diferem entre si é plausível a utilização da média aritmética dos valores encontrados, excluindo o maior e o menor valor que são respectivamente Pasini e Carter. O valor de Tc estimado para a sub-bacia é de 27 horas, o qual apresenta um valor coerente ao apresentado por Lindner; Jaeger (2007) que foi de 25 horas para a mesma região de estudo. No Anexo C são apresentadas as 10 fórmulas utilizadas e os valores que serviram como variáveis de entrada nas equações.

Tabela 13 - Principais equações no qual foram calculados os tempos de concentração na sub-bacia.

Equação	Tc (h)
KIRPICH	18
V. TE CHOW	17
DOOGE	22
JOHNSTONE	18
C.ENGINEERS	18
GIANDOTTI	26
<u>PASINI</u>	<u>92</u>
VENTURA	85
PICKING	11
<u>CARTER</u>	<u>8</u>
Tc:	27

Fonte: Acervo próprio.

5. RESULTADOS E ANÁLISES

5.1 INCERTEZAS METEOROLÓGICAS

5.1.1 Precipitação TRMM

O SPEHC utiliza dados de precipitação do satélite TRMM para realizar os cálculos do modelo PM Tank Model, embora existam várias fontes de incertezas que afetam a precisão da resposta hidrológica em bacias hidrográficas, destaca-se entre elas a precipitação (KRZYSZTOFOWICZ, 1999; KRZYSZTOFOWICZ, 2001; HOSSAIN *et al.*, 2004; HOSSAIN *et al.*, 2004; KAVETSKI *et al.*, 2006; KAVETSKI *et al.*, 2006; NIKOLOPOULOS *et al.*, 2010 *apud* FALCK, 2015).

De acordo com Falck (2015) o TRMM apresenta resultados de estimativa de precipitação média mensal, ao longo de várias bacias estudadas, coincidentes com os valores observados, porém esses acertos são reduzidos consideravelmente quando são tomadas escalas de tempo diárias, nas quais os dados de precipitação de pico acabam sendo majorados. Analisando o estudo realizado por Collischonn *et al.*, (2007) em relação aos dados de precipitação obtidos pelo TRMM, pode-se concluir que os valores calculados pelo satélite quando comparados aos medidos por pluviômetros dispostos na Bacia do Alto Paraguai, inferiram uma diferença de volumes de precipitação acumulados em um período de doze meses, menor que 8%, sendo que os valores calculados pelo satélite apresentam-se constantemente maiores que os efetivamente observados.

Partindo de análises realizadas por vários autores, é de suma importância a averiguação dos resultados de precipitação do TRMM gerados na sub-bacia de estudo em questão, pois a análise de incertezas meteorológicas e do modelo são dependentes dos valores de precipitação.

O período de estudo com precipitações diárias foi entre 01/01/2015 e 01/07/2015, dispondo assim de 6 meses de dados diários de chuva, para obtenção dos valores observados foram utilizadas as 7 estações pluviométricas apresentadas na Tabela 5, e para determinação da chuva efetiva na sub-bacia hidrográfica este trabalho propõe 3 métodos distintos que são: Thiessen, média aritmética e inverso do quadrado da distância.

A Tabela 14 apresenta a relação de quatro funções objetivo, relacionando os dados do TRMM e os métodos utilizados para obter os dados de precipitação efetiva, verifica-se que todos os métodos apresentam uma variação de volume menor ou igual a 3% em relação aos dados do satélite, apontando assim, que a sub-bacia no que refere-se a valores de precipitação acumulada no tempo, tem pequenas diferenças, inferindo ao estudo um grau menor de incerteza. Os valores de MB (viés médio) também são próximos ao valor ótimo que é o zero. Analisando o MAGE e o RMSE, observa-se que os valores calculados (TRMM) e os observados, diferem ligeiramente quanto ao tempo e o volume precipitado.

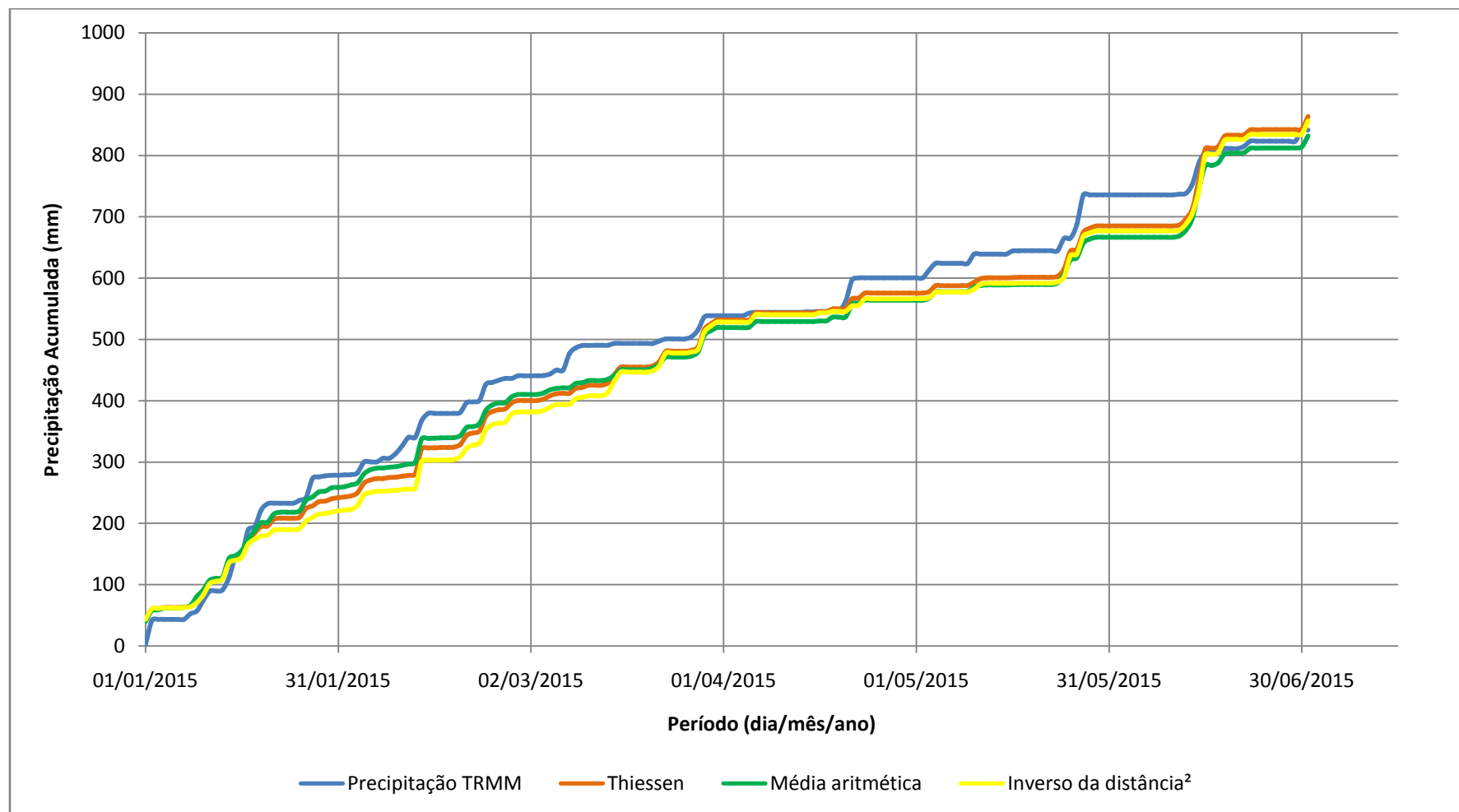
Tabela 14 - Funções objetivo em relação a precipitação observada e calculada.

Métodos	MB	MAGE	RMSE	ΔV
THIESSEN	-0,12	4,23	8,18	-3%
MÉDIA ARIT.	0,05	3,99	7,61	1%
INVER. DIST².	-0,08	4,39	8,80	-2%

Fonte: Acervo próprio.

A Figura 25, apresenta as precipitações acumuladas para os métodos de obtenção da chuva efetiva relacionada aos dados observados e também apresenta os dados gerados pelo satélite TRMM. Analisando o gráfico, pode-se observar que os valores do TRMM apresentam ao longo do período de estudo, precipitações maiores e adiantadas no tempo em relação aos dados observados, porém, no final do tempo de estudo os dados do inverso do quadrado da distância e do método de Thiessen, apresentaram valores acumulados maiores que o do TRMM. A utilização desses dados para previsão hidrológica de eventos, traz ao modelo uma incerteza referente ao pico de precipitação, pois, o satélite gera dados de chuva em muitos momentos que os pluviômetros não acusam precipitação na região estudada.

Figura 25 – Diagrama de massas do estudo de precipitação.



Fonte: Acervo próprio.

5.1.2 Análise de evento meteorológico

Analisar o comportamento dos modelos meteorológicos de previsão é um fator importante no presente estudo, pois, a precipitação é "peça chave" na qualidade dos resultados obtidos nos atos de previsão, portanto, optou-se por utilizar os dois modelos meteorológicos citados anteriormente (ETA e BRAMS) e compará-los aos dados gerados pelo TRMM na região do presente estudo. A análise teve como alvo principal um evento crítico de precipitação que ocorreu entre os dias 20/05/2016 e 21/05/2016, portanto elaborou-se uma série de previsões meteorológicas e optou-se por analisar as primeiras 60 horas previstas.

A Tabela 15 apresenta o período que precedeu o evento crítico citado anteriormente, nela pode observar que tanto os valores previstos pelo ETA como pelo BRAMS, apresentaram resultados condizentes aos dispostos pelo TRMM.

Tabela 15 - Período anterior ao evento crítico de precipitação.

DATA	TRMM (mm)	N° (Horas)	ETA (mm)	BRAMS (mm)
17/05/2016 18:00	0,0	6	0,0	0,0
18/05/2016 00:00	0,0	12	0,0	0,0
18/05/2016 06:00	0,0	18	0,0	0,0
18/05/2016 12:00	0,0	24	0,0	0,0
18/05/2016 18:00	0,0	30	0,0	0,0
19/05/2016 00:00	0,0	36	0,0	0,0
19/05/2016 06:00	0,0	42	0,0	0,0
19/05/2016 12:00	0,0	48	0,0	0,0
19/05/2016 18:00	0,0	54	0,0	0,0
20/05/2016 00:00	0,0	60	0,2	0,0

Fonte: Acervo próprio.

Na Tabela 16 o evento crítico de precipitação inicia-se após 54 horas do ato de previsão, porém ressalta-se que nesse instante de tempo as previsões foram subestimadas. O modelo BRAMS apresentou precipitações com intensidades maiores do que as calculadas pelo modelo ETA.

Tabela 16 - Período de chegada do evento crítico de precipitação.

DATA	TRMM (mm)	N° (Horas)	ETA (mm)	BRAMS (mm)
18/05/2016 18:00	0,0	6	0,0	0,0
19/05/2016 00:00	0,0	12	0,0	0,0
19/05/2016 06:00	0,0	18	0,0	0,0
19/05/2016 12:00	0,0	24	0,0	0,0
19/05/2016 18:00	0,0	30	0,0	0,0
20/05/2016 00:00	0,0	36	0,0	0,0
20/05/2016 06:00	0,0	42	0,0	0,0
20/05/2016 12:00	0,0	48	0,2	2,3
20/05/2016 18:00	54,9	54	1,7	10,1
21/05/2016 00:00	73,5	60	2,5	6,2

Fonte: Acervo próprio.

A previsão realizada no dia 19/05/2016 apresentou 30 horas após seu ato inicial os primeiros indícios da chegada do evento de precipitação crítica, e verificando a Tabela 17, observa-se que o seu término ocorreu após a marca de 42 horas. Os modelos meteorológicos novamente subestimaram as precipitações, porém, um fator a ser observado é relacionado ao BRAMS que apresentou intensidades pluviométricas no momento de ocorrência do evento crítico maiores que as propostas pelo modelo ETA.

Tabela 17 -Período de passagem do evento crítico de precipitação.

DATA	TRMM (mm)	N° (Horas)	ETA (mm)	BRAMS (mm)
19/05/2016 18:00	0,0	6	0,0	0,0
20/05/2016 00:00	0,0	12	0,0	0,0
20/05/2016 06:00	0,0	18	0,3	0,1
20/05/2016 12:00	0,0	24	0,5	0,0
20/05/2016 18:00	54,9	30	3,7	15,4
21/05/2016 00:00	73,5	36	1,0	4,6
21/05/2016 06:00	22,7	42	0,4	11,7
21/05/2016 12:00	0,0	48	0,2	18,5
21/05/2016 18:00	0,0	54	0,0	0,5
22/05/2016 00:00	0,0	60	0,6	0,4

Fonte: Acervo próprio.

A Tabela 18 corresponde ao período no qual a previsão meteorológica está mais próxima ao início do evento crítico, novamente os modelos meteorológicos apresentaram resultados ineficazes no que diz respeito a este período de estudo. Cabe ressaltar que o BRAMS gerou resultados de precipitação maiores dos que foram gerados pelo ETA.

Tabela 18 - Período de continuação da passagem do evento crítico de precipitação.

DATA	TRMM (mm)	N° (Horas)	ETA (mm)	BRAMS (mm)
20/05/2016 18:00	54,9	6	3,3	7,9
21/05/2016 00:00	73,5	12	1,6	8,9
21/05/2016 06:00	22,7	18	0,1	17,2
21/05/2016 12:00	0,0	24	0,1	1,3
21/05/2016 18:00	0,0	30	0,0	0,2
22/05/2016 00:00	0,0	36	1,1	0,0
22/05/2016 06:00	0,0	42	0,0	25,8
22/05/2016 12:00	0,0	48	4,4	1,3
22/05/2016 18:00	0,0	54	6,3	0,3
23/05/2016 00:00	0,0	60	2,5	0,9

Fonte: Acervo próprio.

As Tabelas 19 e 20 representam o término da passagem do evento crítico e portanto o TRMM não apresentou indícios de ocorrência de precipitação, sendo assim, os modelos meteorológicos também apresentaram valores mais representativos do regime pluviométrico no período de estudo.

Tabela 19 - Período de término do evento crítico de precipitação.

DATA	TRMM (mm)	N° (Horas)	ETA (mm)	BRAMS (mm)
23/05/2016 18:00	0,0	6	0,0	0,0
24/05/2016 00:00	0,0	12	0,0	0,0
24/05/2016 06:00	0,0	18	0,0	0,0
24/05/2016 12:00	0,0	24	0,0	0,0
24/05/2016 18:00	0,0	30	0,0	0,0
25/05/2016 00:00	0,0	36	0,0	0,0
25/05/2016 06:00	0,0	42	0,0	0,0
25/05/2016 12:00	0,0	48	0,0	0,0
25/05/2016 18:00	0,0	54	0,0	0,0
26/05/2016 00:00	0,0	60	0,2	0,0

Fonte: Acervo próprio.

Tabela 20 - Período posterior ao evento crítico de precipitação.

DATA	TRMM (mm)	N° (Horas)	ETA (mm)	BRAMS (mm)
24/05/2016 00:00	0,0	6	0,0	0,0
24/05/2016 06:00	0,0	12	0,0	0,0
24/05/2016 12:00	0,0	18	0,0	0,0
24/05/2016 18:00	0,0	24	0,0	0,0
25/05/2016 00:00	0,0	30	0,0	0,0
25/05/2016 06:00	0,0	36	0,0	0,0
25/05/2016 12:00	0,0	42	0,0	0,0
25/05/2016 18:00	0,0	48	0,0	0,0
26/05/2016 00:00	0,0	54	0,1	0,0
26/05/2016 06:00	0,0	60	0,2	0,0

Fonte: Acervo próprio.

O estudo de precipitação ateve-se a elaborar previsões até a chegada do próximo evento de precipitações, o qual este está apresentado na Tabela 21. Neste estudo nos momentos iniciais de previsão o modelo ETA majorou consideravelmente as precipitações, porém, quando analisa-se o momento referente a 54 horas de previsão, observar-se que o referido modelo foi assertivo quanto ao precipitado acumulado.

Tabela 21 - Período de chegada do próximo evento de precipitação.

DATA	TRMM (mm)	N° (Horas)	ETA (mm)	BRAMS (mm)
27/05/2016 18:00	0,9	6	9,7	0,6
28/05/2016 00:00	0,0	12	2,1	6,8
28/05/2016 06:00	0,0	18	0,4	1,6
28/05/2016 12:00	0,0	24	0,7	1,0
28/05/2016 18:00	0,0	30	2,2	9,2
29/05/2016 00:00	0,0	36	0,1	1,1
29/05/2016 06:00	1,1	42	0,0	7,8
29/05/2016 12:00	0,1	48	0,3	0,4
29/05/2016 18:00	7,9	54	7,7	0,4
30/05/2016 00:00	0,0	60	2,2	0,2

Fonte: Acervo próprio.

Após a análise quantitativa de precipitação disposta pelos métodos de previsão hidrológica, pode-se inferir que para este evento crítico e para esta região de estudo, os modelos ETA e BRAMS, mostraram-se pouco eficazes, trazendo uma pequena representatividade da precipitação que realmente ocorreu. Por intermédio de análise qualitativa é coerente ressaltar que tanto o modelo BRAMS como o ETA apresentaram precipitações quando estas foram

calculadas pelo TRMM, porém, vale ressaltar que o volume acumulado no período de tempo a cada 6 horas foi subestimado nos cálculos de previsão.

5.2 CALIBRAÇÃO DO SPEHC

Para realização de estudos de previsão hidrológica é necessário primordialmente calibrar o modelo hidrológico utilizado, pois, é a partir destas calibrações que são retirados os valores confiáveis de previsão hidrológica para o período de estudo, então como disposto ao decorrer desse trabalho foram utilizados todos os dados a disposição para embasar os ajustes no PM Tank Model, que é a modelagem hidrológica base do SPEHC.

Os dados de entrada do modelo, os quais serão ajustados para região de estudo em questão, são os seguintes: Período de calibração, interceptação, armazenamento inicial, tempo de concentração, tempo do escoamento de base, centro geométrico, área de drenagem, porosidade, condutividade hidráulica saturada, profundidade do solo, evapotranspiração, hietograma e hidrograma. Um fator importante a se ressaltar é que as precipitações utilizadas na calibração são provenientes dos dados de chuva potencial dispostos pelo TRMM.

Para o presente estudo optou-se por realizar 10 calibrações que foram enumeradas no seguinte formato, CA n, no qual (n) representa um número inteiro variando de 1 até 10. A seguir estão explicitadas as propriedades que foram utilizadas nos atos de calibração do modelo hidrológico.

- Período de calibração: A escolha do período e o número de dias para realização da calibração é importante para garantir a representatividade do modelo, sendo assim, utilizou-se alguns fatores determinantes para embasar as melhores escolhas temporais, que neste caso foram: período de retorno de eventos críticos, evitando datas com vazões que compreendessem períodos de recorrência maiores que 5 anos, período de dados sem falhas nas vazões calculadas na estação telemétrica, que no caso foram analisadas as telemétricas a disposição e conferidas a consistência dos dados de vazão apresentados, análise da curva de

permanência e diagrama de barras das vazões, portanto evitando períodos de fortes estiagens que poderiam comprometer o resultados das vazões simuladas. A partir dessas premissas foram escolhidos os períodos dispostos na Tabela 22, sendo que de CA 1 até CA 5 tem-se 6 meses de dados, e a partir de CA 6 até CA 10 foram simulados aproximadamente 12 meses de dados;

Tabela 22 -Períodos utilizados nas calibrações do modelo hidrológico.

Calibrações	Períodos	
	Início	Fim
CA 1	08/06/2015	08/12/2015
CA 2	08/06/2015	08/12/2015
CA 3	08/03/2015	08/09/2015
CA 4	08/03/2015	08/09/2015
CA 5	08/06/2015	08/12/2015
CA 6	08/03/2015	08/03/2016
CA 7	01/04/2015	24/03/2015
CA 8	01/04/2015	24/03/2015
CA 9	08/03/2015	08/03/2016
CA 10	08/03/2015	08/03/2016

Fonte: Acervo próprio.

- **Interceptação:** Analisando o mapa de uso do solo e as porcentagens calculadas para cada classe de solo, pode-se inferir que mais de 40% da superfície de drenagem da bacia é coberta por florestas naturais e áreas de reflorestamento, então partindo dessa observação optou-se como primeira estimativa em todas as calibrações realizadas, verificar se valores menores que 40% de interceptação eram condizentes com a área estudada, e como já era esperado esses valores trouxeram resultados inconsistentes no ato da calibração, portanto foi necessário um aumento progressivo na porcentagem interceptada da precipitação, trazendo ao estudo uma margem de valores calibrados que variam entre 43% e 59%;
- **Armazenamento inicial:** Trata-se de uma propriedade que serve como "ajuste fino", pois, notou-se que a sensibilidade da mesma é relativamente alta, portanto muitas das vezes a variação de décimos de milímetros causam alterações significativas nas vazões simuladas, outro

fator importante a salientar-se está relacionado a mudança substancial destes valores em relação ao período de início das simulações hidrológicas. As calibrações mostraram como valor máximo de água acumulada no solo de 199,2 mm e o mínimo de 106,9 mm;

- Tempo de concentração: Conforme observado no capítulo anterior a estimativa do tempo de concentração utilizando fórmulas consagradas nas bibliografias resultaram em um tempo de 27 horas, portanto, utilizou-se esse valor como parâmetro para a realização das calibrações e chegou-se a valores de T_c entre 27 e 47 horas. Um fator importante a se ressaltar é que essa diferença nos tempos de concentração acaba por modificar os hidrogramas e assim resulta valores diferentes de vazões no momento da previsão hidrológica;
- Tempo de escoamento de base: Essa propriedade foi utilizada como um fator de calibração "grosseira" até atingir o ponto ideal, a mesma refere-se a um ponto crítico que acaba por delimitar um ponto onde qualquer alteração do mesmo gera dispersão dos valores de vazão calculados em relação aos observados, além de culminar em alterações significativas nas funções objetivo. Após algumas simulações, chegou-se aos valores máximo 195 dias e valor mínimo 120 dias;
- Porosidade: Utilizando-se o mapa de classificação dos solos na sub-bacia estudada e da porcentagem relativa de cada um dos solos, pode-se estimar um valor significativo, o mesmo serviu como parâmetro para o cálculo da porosidade representativa da região, com a realização dos cálculos obteve-se um valor de 0,59, sendo assim, as calibrações foram realizadas tendo como embasamento o valor estimado, e então, calibrou-se o modelo com valores de porosidade variando entre 0,5 e 0,9;
- Condutividade Hidráulica: O valores de condutividade hidráulica são embasados naqueles apresentados por Caputo (2007) e Das (2007) em suas análises de solos, através da utilização destes valores e do mapa de classificação dos solos, para melhor representar essa propriedade física na região de estudo, chegou-se a valores variando entre 60 e 100 mm/h;

- Profundidade do solo: Como já analisado, a região apresenta solos variando entre medianamente e muito profundos, portanto, optou-se por embasar o estudo relacionando os valores especificados na Tabela 7 e o comportamento da bacia hidrográfica perante os mesmos, sendo assim, obteve-se que profundidades entre 1500 mm e 2200 mm apresentam resultados condizentes com a região do presente estudo;
- Evapotranspiração: Os dados de evapotranspiração na modelagem são adicionados no formato mensal, portanto, utilizou-se os resultados apresentados por Lindner (2007) como valores de entrada e estes estão dispostos na Tabela 23;

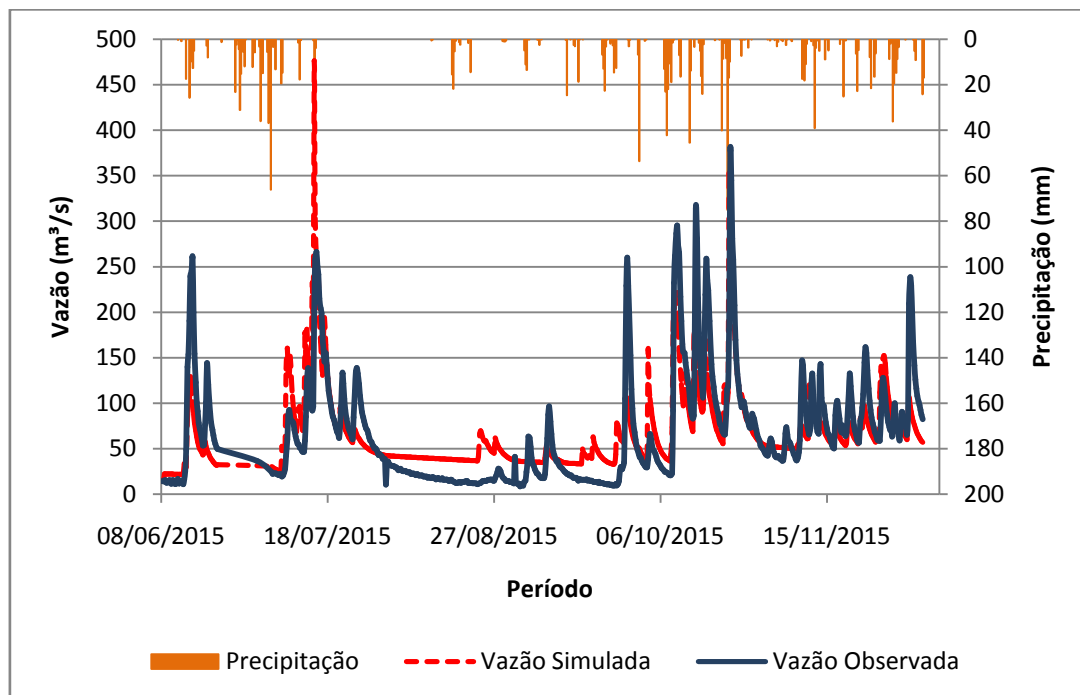
Tabela 23 - Evapotranspiração potencial mensal média.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
ETP (mm)	129	106	101	71	52	41	48	65	75	101	120	131

Fonte: Adaptado de LINDNER (2007).

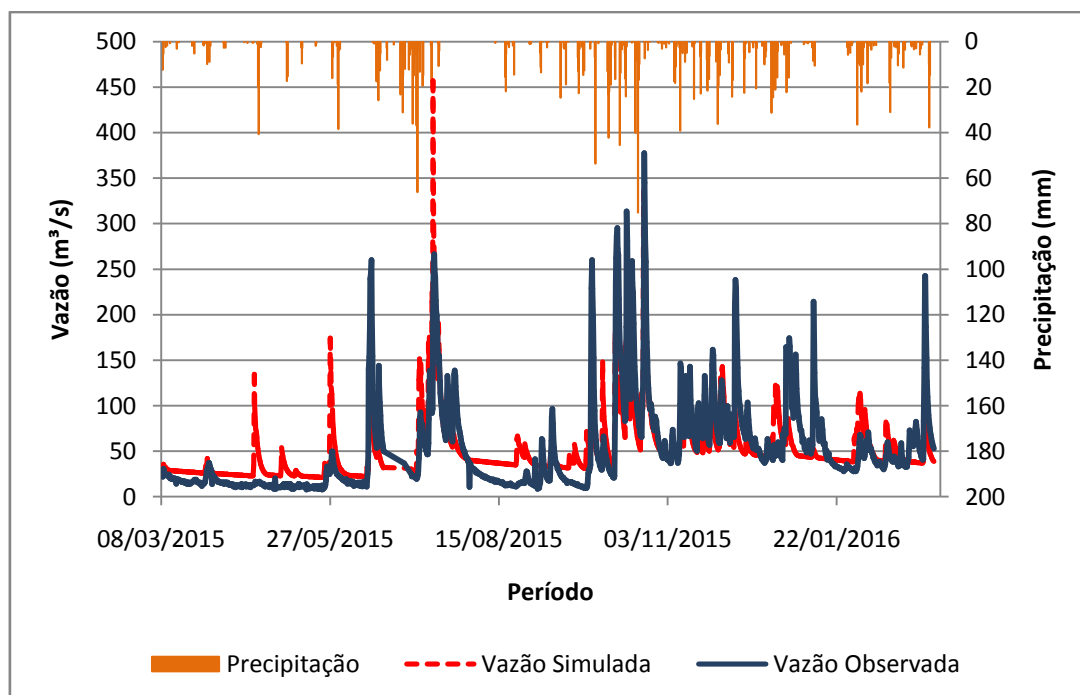
- Fatores Geométricos: Como geometria são inseridos na modelagem duas medidas preponderantes que são a área de drenagem da sub-bacia hidrográfica, equivalente a 2621 Km² e o centro geométrico da mesma, que tem como longitude W 56°06'38" e latitude S 26°55'08";
- Hidrograma e Hietograma: Em conjunto a realização dos ajustes necessários para a calibração do modelo é importante a verificação do comportamento das vazões simuladas perante os dados observados, portanto as Figuras 26 e 27 apresentam dois períodos e calibrações diferentes para a região do presente estudo, por se tratar de um total de dez calibrações os hietogramas juntamente com os hidrogramas das calibrações restantes estão dispostos no Apêndice D.

Figura 26 - Calibração CA 1 para o período de 6 meses de dados.



Fonte: Acervo próprio.

Figura 27 - Calibração CA 9 para o período de 12 meses de dados.



Fonte: Acervo próprio.

- Funções Objetivo: Correlato a todos os atos de calibração apresentados anteriormente, utilizou-se das funções objetivo para realizar o embasamento deste estudo, elas também serviram como um parâmetro

de escolha das calibrações que foram utilizadas no mesmo. O Apêndice E além de apresentar todos os valores encontrados para cada calibração também são apresentadas as funções objetivo que serviram de apoio para as referidas escolhas.

5.3 INCERTEZAS HIDROLÓGICAS

Por meio das calibrações propostas no item anterior, foram elaboradas previsões de vazão utilizando-se os modelos de previsão meteorológica BRAMS e ETA, porém, foi definido como premissa para este estudo que as calibrações realizadas não fossem modificadas, portanto, em nenhum momento dos atos de previsão ocorreu a recalibração parcial ou total do modelo proposto. Esta estratégia foi mantida para que proporcione uma sequência operacional do sistema de previsão hidrológica de maneira simples e rápida, trazendo assim benefícios de agilidade e técnica para órgãos como as defesas civis estaduais e outras entidades que necessitem de dados de previsão fluviométrica.

5.3.1 Previsão e análise de vazão utilizando o modelo BRAMS

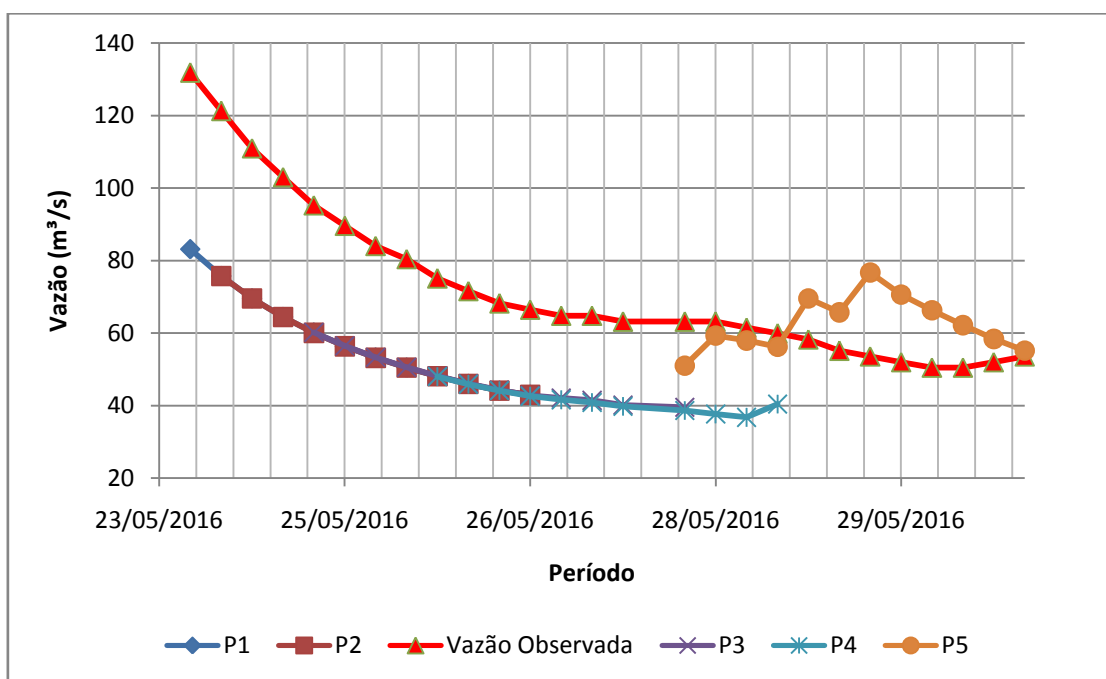
Utilizando a ferramenta computacional SPEHC e por intermédio do modelo meteorológico BRAMS, foram calculadas 5 (cinco) previsões meteorológicas distintas para a região de estudo, e portanto, obteve-se uma série de dados de previsão de vazão para cada calibração apresentada anteriormente.

As Figuras 28 e 29 apresentam a sequência de previsões de vazão, juntamente com os valores observados no ponto do exutório da sub-bacia do presente estudo, como pode-se observar os gráficos apresentam uma disparidade já nos primeiros valores de previsão, este fator pode ser explicado pelo que foi apresentado no item 5.1.2 que corresponde a análise de evento meteorológico, e portanto, devido ao fato do modelo BRAMS subestimar as precipitações da região de estudo, a análise quantitativa da modelagem hidrológica obteve uma decalagem dos dados, porém é possível observar que o comportamento do hidrograma de previsão apresenta semelhanças em relação aos dados observados, principalmente nos momentos de recessão do

gráfico. Além dos hidrogramas de previsões apresentados para as calibrações CA 1 e CA 9, foram elaborados todos os gráficos das outras calibrações para que possam ser observados os comportamentos para o período de estudo, os mesmos estão dispostos no Apêndice F.

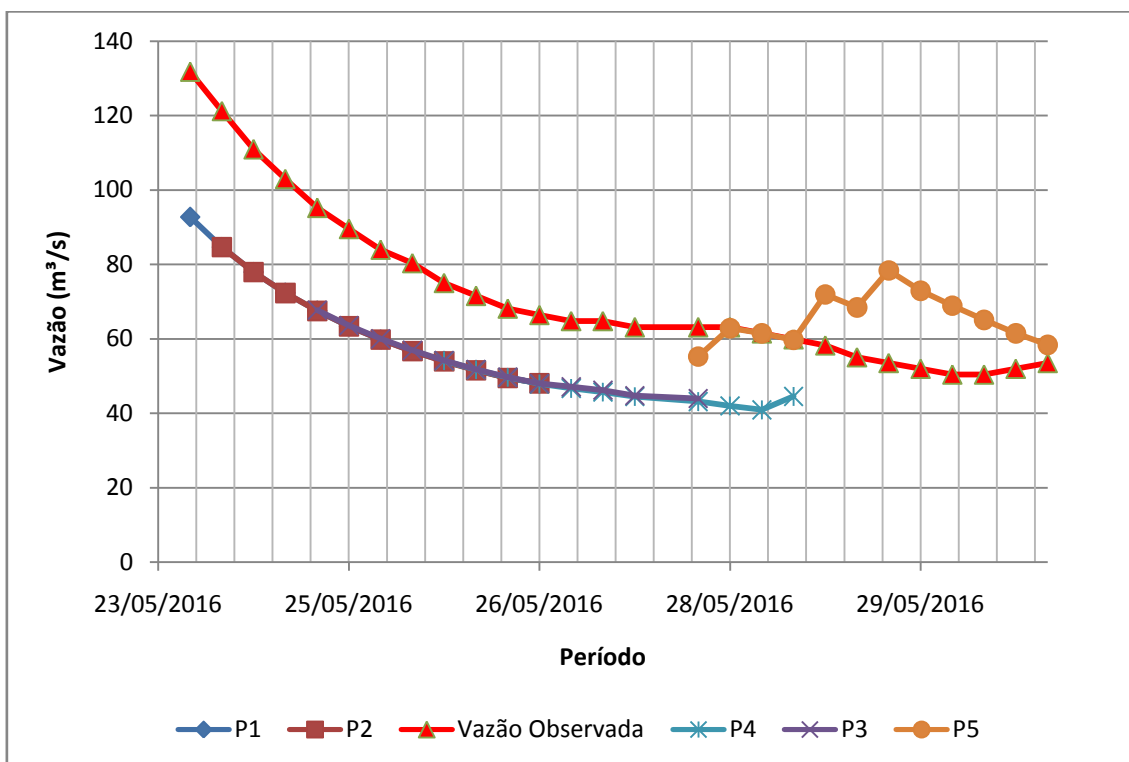
Analisando as previsões a disposição, é possível determinar que a previsão P5 apresenta como ponto inicial valores próximos aos observados, portanto esse estudo que está disposto na Figura 30, mostra o comportamento desta previsão para todas as calibrações realizadas, na mesma pode-se observar que a linha amarela representa o início do primeiro passo de previsão que é de 6 horas, já o gráfico vermelho apresenta os valores observados no exutório da bacia por intermédio da obtenção dos dados da estação telemétrica Tangará (72810000). Realizando uma análise qualitativa dos resultados desta previsão, infere-se que na ausência de dados mais rebuscados a previsão realizada pode servir de orientação para a tomada de decisões nos casos em que se necessite determinar vazões futuras.

Figura 28 - Previsões de vazão calibração CA 1 (BRAMS).



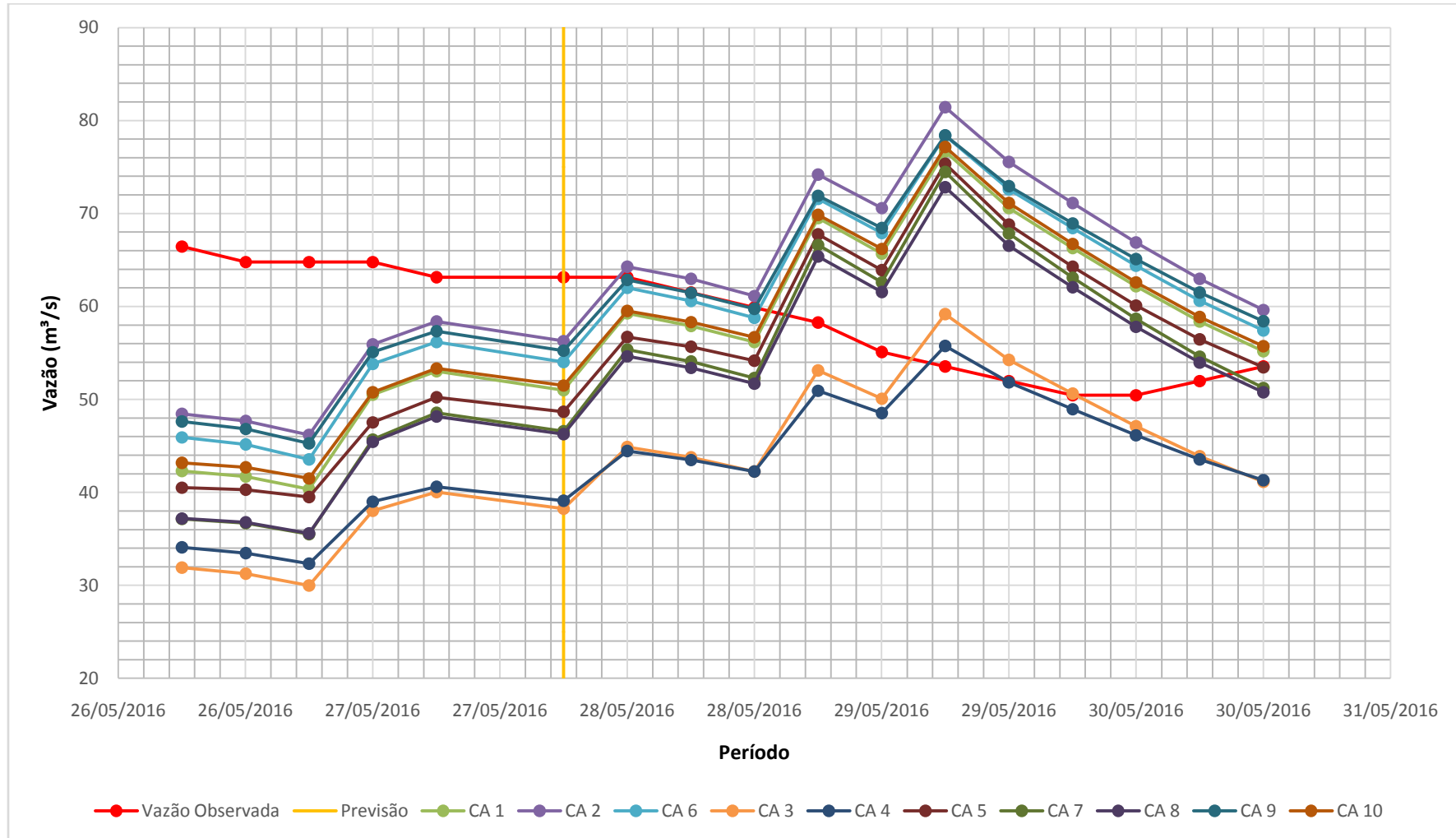
Fonte: Acervo próprio.

Figura 29 - Previsões de vazão calibração CA 9 (BRAMS).



Fonte: Acervo próprio.

Figura 30 - Análise de Previsão de Vazão (BRAMS).



Fonte: Acervo próprio.

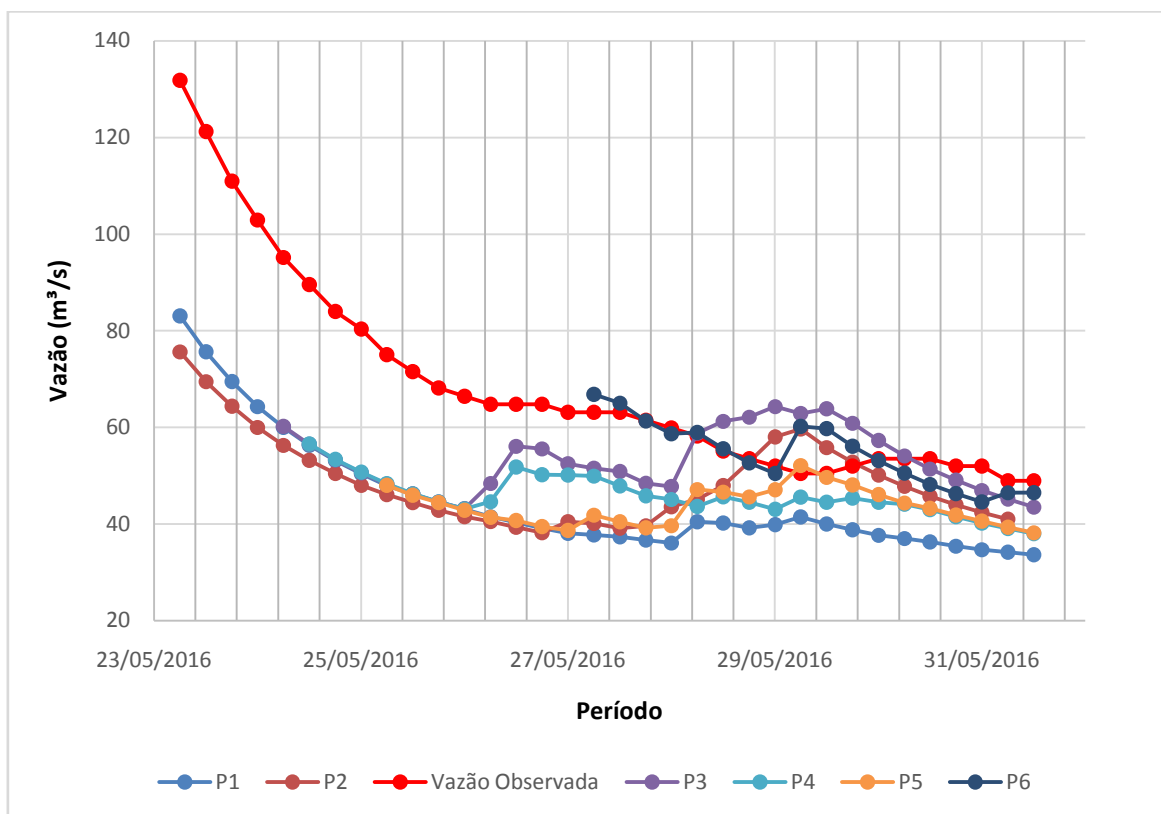
5.3.2 Previsão e análise de vazão utilizando o modelo ETA

Semelhante ao que foi proposto no item anterior também foi realizado neste, por intermédio do modelo meteorológico ETA foram calculadas 6 (seis) previsões meteorológicas distintas para a região de estudo, e portanto, obteve-se uma série de dados de previsão de vazão para cada calibração apresentada anteriormente.

As Figuras 31 e 32 apresentam a sequência de previsões de vazão juntamente com os valores observados no ponto do exutório da sub-bacia do presente estudo, um fator a se ressaltar é de que o modelo ETA apresenta um horizonte maior de previsões do que aquelas relacionadas ao modelo BRAMS. Como pode-se observar os gráficos apresentam uma disparidade já nos primeiros valores de previsão, isso também foi apresentado no item anterior quando a análise de estudo era o modelo BRAMS, e então, este fator pode ser explicado, pelo modelo ETA subestimar as precipitações da região de estudo a análise quantitativa da modelagem hidrológica obteve um déficit nos resultados, porém é possível observar que o comportamento do hidrograma de previsão apresenta semelhanças aos dados observados principalmente nos momentos de recessão do gráfico. Além dos hidrogramas de previsões apresentados para as calibrações CA 1 e CA 9 foram elaborados todos os gráficos das outras calibrações para que possam ser observados os comportamentos para o período de estudo, portanto esses gráficos estão dispostos no Apêndice G.

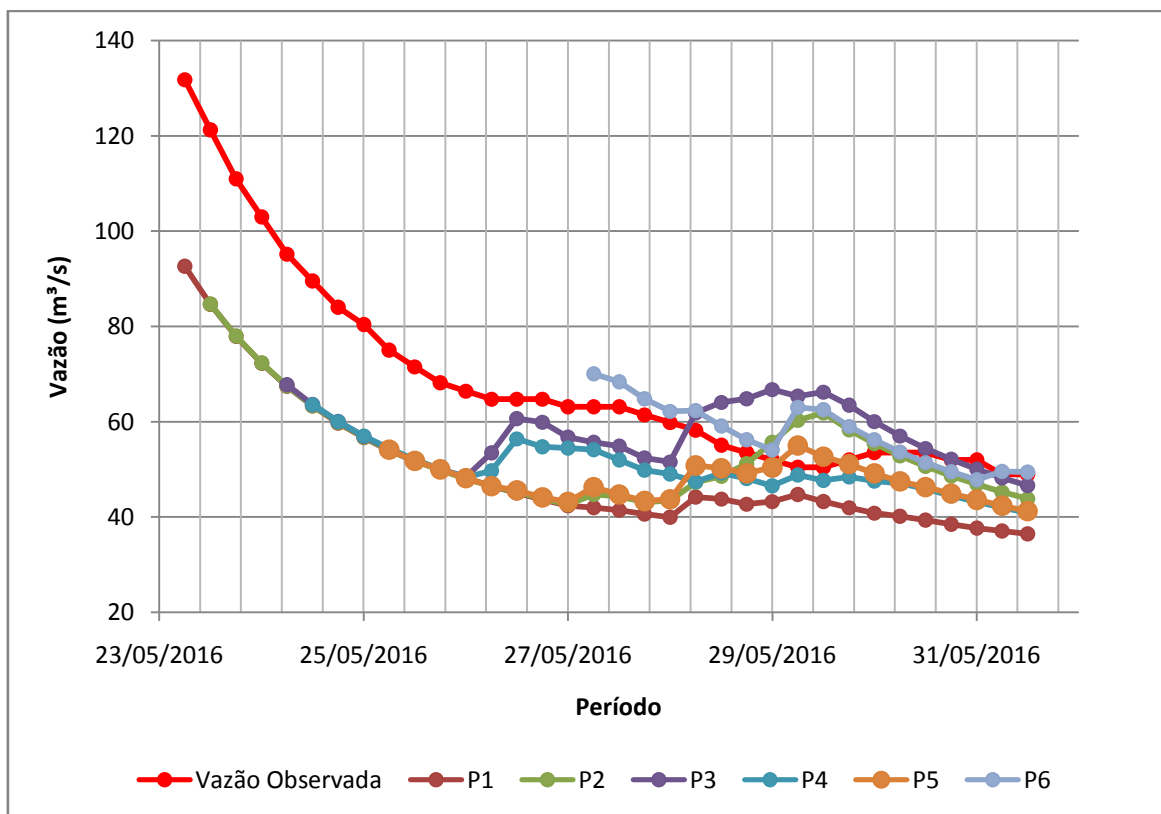
Analisando as previsões a disposição é possível determinar que a previsão P6 apresenta como ponto inicial valores próximos aos observados, portanto esse estudo que está disposto na Figura 33 mostra o comportamento desta previsão para todas as calibrações realizadas, na mesma pode-se observar que a linha amarela representa o início do primeiro passo de previsão que é de 6 horas, já o gráfico vermelho apresenta os valores observados no exutório da bacia. Analisando qualitativamente os resultados encontrados pode-se observar que na ausência de dados mais precisos utilizar estes dados traz um embasamento caso necessite tomar alguma decisão urgente, porém é importante ressaltar que a região de estudo necessita de uma série maior de previsões hidrológicas.

Figura 31- Previsões de vazão calibração CA 1 (ETA).



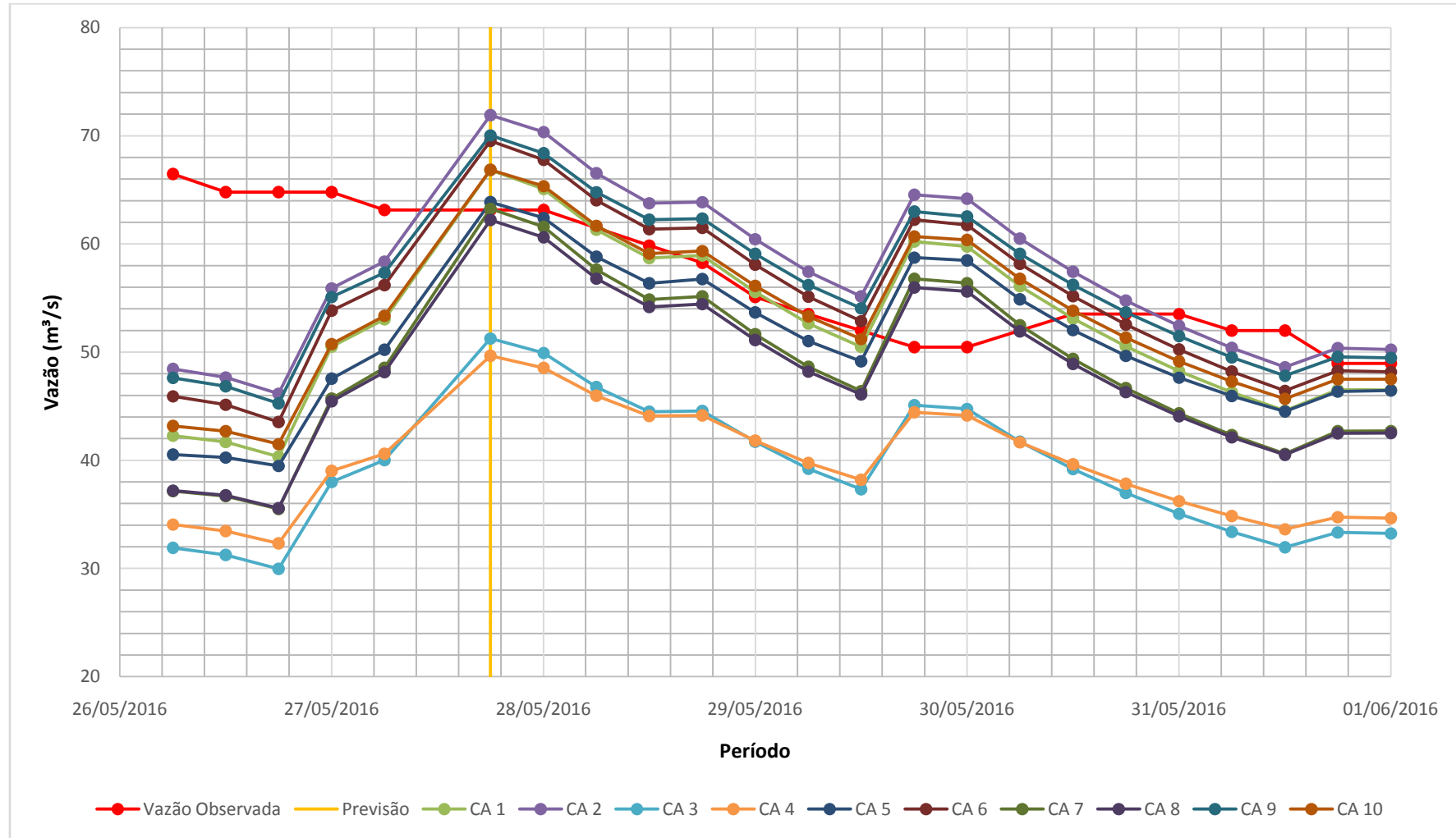
Fonte: Acervo próprio.

Figura 32- Previsões de vazão calibração CA 9 (ETA).



Fonte: Acervo próprio.

Figura 33 - Análise de Previsão de Vazão (ETA).



Acervo próprio.

Fonte:

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados propostos foram analisados em três partes distintas sendo aquelas referentes, as previsões meteorológicas, as calibrações e as previsões hidrológicas.

As previsões meteorológicas foram as primeiras a serem analisadas, pois, é a partir destas que as análises de incertezas qualitativas e quantitativas podem ser elaboradas. A primeira parte, restringiu-se a correlacionar os dados de precipitação efetiva calculados por intermédio do TRMM e aqueles disponíveis nos pluviômetros localizados na região do presente estudo. A conclusão estabelecida foi de que os valores de precipitação acumulada gerados pelo TRMM, por um período de tempo determinado, representam consideravelmente a sub-bacia quando comparados com aqueles medidos pelos pluviômetros, porém, analisando os dados em pequenos períodos de tempo pode-se inferir que as precipitações geradas pelo satélite apresentam majorações dos valores observados, portanto, este fator pode ser explicado, pois, no que concerne ao TRMM, este se restringe a analisar as nuvens, e sendo assim, ele trabalha com a possibilidade de precipitações, e por conseguinte, as precipitações podem vir a ser calculadas com uma margem de erro. A segunda parte das análises climatológicas foi proposta por intermédio do estudo de um evento crítico de precipitações, sendo que foram realizadas previsões, tanto utilizando o modelo BRAMS quanto o modelo ETA. O resultado propôs que para este evento crítico os modelos de previsão climatológica elaboraram resultados não condizentes com os reais valores precipitados na região de estudo, pois, nos períodos que ocorreram precipitações intensas os modelos acabaram minorando os volumes precipitados, entretanto, pode-se observar que nos instantes que houveram precipitações, os modelos ETA e BRAMS as previram, portanto, a análise de incertezas referente ao estudo quantitativo e qualitativo foram comprometidas, mas, na ausência de modelos mais precisos, estes podem ser utilizados com cautela pelos estudos de previsão de vazão.

Após os resultados de previsão climatológica referente as precipitações, foram elaboradas calibrações de vazão para servir como subsídio para as

análises posteriores nos cálculos hidrológicos. As calibrações foram embasadas pelos dados obtidos, calculados e observados na sub-bacia hidrográfica, porém, o período de dados observados na estação telemétrica Tangará (72810000) localizada no exutório da região do presente estudo era de apenas um ano de base de dados coerentes com o curso d'água, portanto, optou-se por calibrar o modelo com dados de 12 meses e 6 meses, para que assim proponha ao estudo uma análise mais abrangente dos resultados. O estudo optou por manter dez calibrações, sendo que estas foram dispostas com intervalos de parâmetros coerentes para que assim houvesse um enriquecimento substancial no momentos das análises hidrológicas, além destes fatores, o presente estudo não se ateu a realização de recalibrações sucessivas do modelo, pois, a proposta deste estudo é de gerar um conjunto de dados fixos que podem posteriormente ser utilizados por entidades que não apresentam em seu quadro técnico profissionais habilitados para elaborar corretamente e coerentemente estes procedimentos. Para finalizar, as calibrações tiveram como análise dos dados de saída os valores calculados pelas funções objetivo, sendo que estes foram qualificados como variando de regular à bom.

A última parte do estudo propôs como análise as incertezas presentes na elaboração das previsões hidrológicas de vazão. Estas previsões foram realizadas nos momentos posteriores ao evento crítico observado na análise climatológica de precipitações, portanto, os inícios das previsões apresentaram defasagens em relação aos dados observados. A análise de incertezas hidrológicas referente as vazões está intrinsecamente ligada as previsões climatológicas, pois, são estas que interferem a obtenção dos resultados da modelagem hidrológica. Como apresentado anteriormente as precipitações nos atos de previsão meteorológica foram minoradas em suma maioria pelos modelos ETA e BRAMS, sendo assim, a análise quantitativa dos resultados para este caso não apresentam valores coerentes, entretanto, qualitativamente pode-se observar que o comportamento das vazões nos períodos de recessão do hidrograma são semelhantes aos valores de vazão observada. Outro fator a ser indagado relaciona-se a realização das previsões de vazão, pois, se no início da previsão os valores observados e aqueles simulados forem muito próximos o comportamento dos hidrogramas tende a ser semelhantes, portanto,

a modelagem gerou resultados que podem na ausência de estudos mais prolongados fornecer informações e base para a tomada de decisões.

O presente estudo conclui que as previsões hidrológicas são dependentes das previsões meteorológicas e portanto todas as incertezas atreladas a estas são repassadas a modelagem de vazão. Na falta de dados mais precisos, tanto as previsões climatológicas quanto as hidrológicas podem ser utilizadas na tomada de decisões e como fator inicial para estudos mais profundos.

O presente trabalho propõe como estudos posteriores os seguintes:

- Realização de um maior número de previsões climatológicas compreendendo um maior número de eventos críticos;
- Implementação de outros modelos de previsão climatológica para análise de precipitação na região de estudo;
- Realizar recalibrações necessárias para aprimorar os resultados obtidos nesse estudo;
- Calcular um número maior de previsões hidrológicas;

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações: vol. 1 – Mecânica das rochas**. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

CHARLEY, William J. **HEC-RTS (Real-time simulation) version 2** for real time flood forecasting and water control. Hydrologic Engineering Center, Davis, California, 2010. 12p.

DARDENGO, Maria Christina Junger Delongo et al. **Avaliação da capacidade de campo em dois solos da região sul do estado do espírito santo por diferentes métodos de determinação**. IX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e V Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, Alegre, p. 1737-1739, [s.n].

DAS, Braja M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 6 ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

DE LARA, Pedro Guilherme *et al.* **SPEHC- Sistema de Previsão de Eventos Hidrológicos Críticos**. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília, DF, 2015. 8p.

DE LARA, Pedro Guilherme. **Caracterização Hidrológica da Bacia do rio Tokoro, Hokkaido, Japão: Método da desagregação**. Trabalho de conclusão de curso. 116f. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

DE LARA, Pedro Guilherme; KOBAYAMA, Masato. **Proposta de Modelo Conceitual: PM Tank Model**. RBRH- Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 17, n.3, p. 149-161, 2012.

DE MORAIS, Igor A. C.; PORTUGAL, Marcelo S. **Modelagem e Previsão de Volatilidade Determinística e Estocástica para Série do Ibovespa**. Programa de pós-Graduação em Economia da UFRGS, 1999. p. 1-4.

DOS SANTOS, Peterson. **Análise de frequência e regionalização de vazões máximas sazonais na região sul do Brasil**. Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. 155p.

FABIAN, Adelar José; FILHO, Theophilo Benedictoottoni. **Determinação de capacidade de campo *in situ* ou através de equações de regressão**. Pesquisa Agropecuária brasileira. Brasília, v.35, n.5, p. 1029-1036, 2000.

FAN, Fernando Minardi; RAMOS, Maria-Helena; COLLISCHONN, Walter. **Sobre o uso de previsões hidrológicas probabilísticas para tomada de decisão**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2015. p 914-926.

FILHO, Carlos Leite Maciel. **Introdução à geologia de engenharia**. Santa Maria: UFSM, 1994. 284p.

FILHO, Gilberto Milhomem Marinho et al. **Modelos Hidrológicos: Conceitos e Aplicabilidades**. Revista de Ciências Ambientais. Canoas, v.6, n.2, p 35 a 47, 2012.

JACOMINE, Paulo Klinger Tito. **A Nova Classificação Brasileira de Solos**. Anais da Academia Pernambucana de ciência Agrônômica, Recife, vols. 5 e 6, p. 161-179, 2008-2009.

KOBIYAMA, Masato. **Hidrologia**. 2012, Notas de Aula. Impresso.

KOBIYAMA, Masato. **Manejo de Bacias Hidrográficas- Conceitos Básicos**.XXIX Semana de Estudos do Curso de Engenharia Florestal, UFPR, 1999.

LIMA, José Wanderley Marangon. **Efeito e Mudanças Climáticas na Geração de Energia Elétrica**. São Paulo: AES Tietê, 2014. p 65-91.

LINDNER, Elfride Anrain. **Estudo de eventos hidrológicos extremos na bacia do rio do peixe - SC** com aplicação de índice de umidade desenvolvida a partir do Tank Model. Tese de doutorado- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.215p.

LOPES, Andréa Regina de Britto Costa. **Recursos hídricos e uso da terra na bacia do Rio do Peixe/SC**, mapeamento das áreas de vulnerabilidade e risco de contaminação do sistema aquífero serra geral. Tese de Doutorado-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. 317p.

MARTINS, José Manuel Almeida. **Controlo em tempo real de estruturas hidráulicas**. Dissertação de mestrado, Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2014. 78p.

MELO, Aline Rose P. *et al.* **Comparativo do tempo de concentração no resultado da vazão de uma bacia hidrográfica**, através do método racional ($A \leq 4 \text{Km}^2$). Relatório técnico científico - Faculdade de Engenharia de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. 48p.

MESQUITA, Maria da Glória Bastos de Freitas; MORAES, Sergio Oliveira. **A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo**. Ciência Rural. Santa Maria, v34, n.3, p.963-969, 2004.

MOTA, Aline de Almeida. **Tempo de concentração em pequena bacia experimental**. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. 131p.

NETTO, A. O. Aguiar; NACIF, P. G. S; REZENDE, J. O. **Avaliação do conceito de capacidade de campo para um latossolo amarelo**. São Cristovão, 1999.

PEREIRA, José Rodrigues et al. **Ponto de murcha permanente de um neossolo flúvico usando novas plantas indicadoras**. Comunicado Técnico. Campina Grande, 2005.

PINHEIRO, Adilson; TEIXEIRA, Lizandra Poeta; KAUFMANN, Vander. **Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola**. Revista Ambiente e Água. Taubaté, v.4, n.2, p. 188-199, 2009.

PINTO, Rocianne Bortolazzo. *et al.* **Sistema integrador Delf-FEWS: Usos e aplicações no cenário Brasileiro.** XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, 2013. 8p.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas.** Oficina de Textos, São Paulo, 2006.

PINTO, Nelson L. de Sousa *et al.* **Hidrologia Básica.** São Paulo: Blucher, 1976. 278p.

RIGHETTO, Antonio Marozzi. **Hidrologia e Recursos Hídricos.** São Carlos: EESC/USP, 1998. 840p.

ROOIJ, Erik.; VAN HEERINGEN, Klaas-Jan. **How Delft-FEWS incorporates real-time sensor data with dynamic modeling to allow real time control of sewer systems.** Deltares, Holanda, 2012. 7p.

SACRAMENTO, Isaac *et al.* **SPEHC- Solução Computacional para Prevenção e Tomada de Decisão Quanto a Desastres Hidrológicos.** XXXIV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, Brasília, DF, 2014. 4p.

SALVESTRO, Alexandre C.; BRANDÃO, Diego; FREITAS, Paulo Sérgio L. **Determinação do ponto de murcha permanente do feijoeiro cultivado em nitossolo vermelho distroférico e latossolo vermelho.** VII Encontro Internacional de Produção Científica. Maringa,2011.

SIVAPALAN, M. *et al.* **Water Cycles Dynamics in a Changing environment: Improving predictability through synthesis** Water Resources Research, Vol 47, 2011. 7p.

SPINELLI, Kátia. **Variabilidade Pluviométrica na Bacia do Rio do Peixe - Santa Catarina.** Dissertação de mestrado- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.126p.

TEICHERIEB, Claudio Alberto. **Sensibilidade do BRAMS para Descrição de Chuva e Temperatura, no Nordeste do Rio Grande do Sul, para Diferentes Resoluções Espaciais.**2008, 79f. Dissertação de Mestrado- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

TUCCI, E. M. **Hidrologia:** ciência e aplicação. Porto Alegre: UFRGS/ABRH,2013. 943p.

VERARDO, Gustavo Frasson.; FERRAZ, Simone Erotildes Teleginski.; SOUTO, Roberto Pinto. **Avaliação do Modelo BRAMS-** Projeto CLIMARS na Previsão de Precipitação para o Rio Grande do Sul. Encontro Sul-Americano de Meteorologia, Santa Maria, [s.d]. 10p.

VERWEY, Andri. *et al.* **The potential of the delft-FEWS flood forecasting platform for application in the mekong basin.** 4° Annual Mekong Flood Forum, Siem Reap, Cambodia, 2006. 6p.

WISLER, C. O.; BRATER, E. F. **Hydrology.** New York: John Willey & Sons, 1967. 408p.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Vazões médias mensaisVazões médias mensais (m³/s) na estação fluviométrica de Rio das Antas.

ANO/MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média do Ano
1977	14,48	27,56	23,96	14,36	6,81	10,32	11,24	26,54	13,16	38,95	23,59	14,52	18,79
1978	7,41	7,72	15,12	4,06	3,19	4,14	17,44	11,16	17,20	8,87	14,25	13,07	10,30
1979	3,91	2,51	5,95	12,02	44,66	16,95	13,47	13,82	14,94	75,66	48,31	37,35	24,13
1980	10,90	8,44	21,87	8,56	13,56	10,15	23,85	45,42	32,78	20,25	18,67	24,56	19,92
1981	16,71	12,45	4,94	4,52	4,57	7,60	5,73	7,29	12,17	11,27	14,61	13,34	9,60
1982	6,02	18,21	11,86	7,08	9,70	29,22	43,57	23,73	12,43	41,15	87,22	24,66	26,24
1983	21,97	30,38	49,17	24,99	52,07	50,06	102,25	44,96	45,74	18,69	17,09	12,85	39,19
1984	13,79	8,36	11,10	12,74	15,38	33,04							15,74
1985	10,00												
1986	10,00								19,56	22,24	19,58	18,02	17,88
1987	28,22	17,23	8,63	9,20	64,52	24,08	18,71	17,16	10,32	24,86	11,06	7,11	20,09
1988	11,75	18,24	11,94	12,87	64,35	27,70	9,83	5,92	8,35	17,19	6,79	8,21	16,93
1989	21,23	18,04	8,95	9,94	18,61	5,67	15,53	9,53	36,77	24,93	9,97	4,86	15,34
1990	29,76	14,62	16,83	30,05	29,85	72,68	29,18	36,84	28,00	32,61	25,18	15,65	30,10
1991	5,99	8,45	11,42	15,41	11,25	33,86	39,55	26,93				9,34	18,02
1992	9,09	8,29	10,76	13,42	66,17	68,24	58,83	13,56	15,01	12,62	18,90	9,34	25,35
1993	15,49	27,44	13,51	7,41	27,25	21,27	22,62	10,56	36,81	49,24	6,07	10,95	20,72
1994	5,39	42,25	12,90	15,95	26,36	38,78	61,55	18,17	10,80	27,34	52,71	19,00	27,60
1995	50,71	29,87	20,85	9,70	2,27	6,48	7,36	2,19	30,44		4,21	4,41	15,32
1996	19,89	29,16	35,19	22,52	3,70	20,02	30,03	24,33	25,72	41,60	24,04	18,39	24,55
1997	24,84	42,42	16,70	4,79	7,65	32,43	31,67	42,01	17,19	145,36	83,44	14,65	38,60
1998	36,92	56,40	46,96	87,97	30,12	11,25	35,41	70,52	49,86	50,00	10,32	9,61	41,28
1999	10,09	11,58	4,48	5,61	2,82	23,11	29,22	6,85	7,77	66,30	5,42	4,92	14,85
2000	7,83	15,28	25,86	11,02	10,35	10,65	18,04	13,82	56,69	50,18	9,75	30,55	21,67
2001	23,08	61,01	17,47	13,35	25,92	16,77	23,68	13,77	16,87	45,40	18,58	16,08	24,33
2002	5,01	4,23	4,66	2,47	9,17	10,93	6,61	24,70	32,30	50,12	34,06	25,43	17,48
2003	9,77	13,16	14,22	8,08	3,62	17,11	7,99	3,51	3,35	3,76	19,08	57,64	13,44
2004	12,88	7,78	3,24	3,17	21,27	14,09	44,13	8,91	16,94	40,32	48,84	14,98	19,71
2005	10,99	3,79	2,77	18,93	39,71	31,42	12,36	10,01	89,09	55,21	18,51	8,80	25,13
2006	9,12	9,10	17,73	7,46	1,37	0,84	0,96	8,29	18,38	16,90	15,94	18,72	10,40
2007	15,19	15,13	12,43	26,28	57,98	12,95	31,31	13,56	15,01	36,70	46,19	19,82	25,21
2008	22,32	13,46	8,58	12,59	10,82	16,75	9,50	15,07	32,95	53,99	46,49	8,83	20,95
2009	14,34	12,91	7,74	2,96	5,31	7,14	21,57	34,47	48,98	42,10	15,13	14,67	18,94
2010	24,06	15,57	21,13	56,68	32,16	11,64	3,51	7,16	3,89	6,79	23,00	51,56	21,43
2011	33,57	50,25		29,12	7,98	22,73	46,02	67,30	49,55	6,10	4,12	1,07	28,89
2012	3,14	4,40	3,96	15,35	8,06	27,60	22,98	14,39	2,79	9,25	3,22	8,48	10,30
2013	19,19	9,95	17,56	11,78	5,85	42,57	28,10	39,75	61,09	10,19	1,16	1,02	20,68
2014	21,54	1,05	3,98	0,55	7,98	64,05	11,15	0,83	23,00	23,03	9,15	4,18	14,21
2015	15,31	3,46	2,82	1,88	5,91	24,14	55,43	13,07	22,81				16,09
Média	16,20	18,38	14,65	15,00	20,50	23,74	26,40	20,72	26,08	34,68	23,28	16,02	
Mínima	3,14	1,05	2,77	0,55	1,37	0,84	0,96	0,83	2,79	3,76	1,16	1,02	
Máxima	50,71	61,01	49,17	87,97	66,17	72,68	102,25	70,52	89,09	145,36	87,22	57,64	
Desvio Padrão	10,07	15,24	11,04	16,20	19,68	17,60	20,48	17,04	18,97	27,02	20,90	12,42	

Fonte: Acervo de dados da ANA.

Vazões médias mensais (m³/s) na estação fluviométrica de Tangará.

ANO/MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média do Ano
1977	30,63	61,62	70,68	32,72	9,73	18,19	24,38	69,36	34,39	94,30	74,39	27,62	45,67
1978	15,71	12,87	25,53	6,19	3,62	5,51	40,32	22,83	38,78	14,49	33,74	24,41	20,33
1979	6,33	4,51	14,80	21,94	147,07	31,49	28,04	25,97	27,60	183,61	103,13	76,60	55,92
1980	18,29	20,98	64,55	12,17	26,25	17,90	65,25	119,04	69,65	38,40	32,64	71,47	46,38
1981	38,59	77,93	8,20	10,58	7,78	13,17	6,91	8,83	21,90	21,63	28,43	23,67	22,30
1982	7,68	39,62	15,67	6,50	14,14	67,47	123,01	69,16	24,61	103,93	213,54	56,19	61,79
1983	44,14	69,17	127,51	50,17	140,78	129,92	520,89	30,08	128,81	44,46	47,95	26,03	113,33
1984	19,21	21,12	33,80	30,10	38,31	81,24	34,46	184,22	54,01	47,37	60,66	38,83	53,61
1985	19,62	77,93	20,10	22,22	15,26	8,88	14,46	7,45	20,19	20,83	48,23	6,91	23,51
1986	15,99	54,80	23,27	62,27	42,71	37,22	13,35	18,13	37,07	55,72	66,00	43,96	39,21
1987	73,60	60,46	13,81	14,30	171,35	51,75	40,38	35,87	18,50	70,25	19,99	12,77	48,59
1988	22,87	29,64	20,90	28,99	176,81	84,75	24,88	10,13	16,39	48,95	18,26	19,01	41,80
1989	58,95	69,22	29,21	25,74	44,75	16,04	31,29	30,21	122,95	72,05	28,48	10,89	44,98
1990	75,46	32,85	50,48	73,02	83,50	216,82	72,92	69,09	77,38	105,83	83,83	39,45	81,72
1991	15,43	18,56	9,88	15,69	10,88	63,70	54,43	64,37	12,00	37,55	28,30	26,05	29,74
1992	20,04	27,08	33,86	15,65	167,47	88,27	153,20	37,96	68,86	34,73	37,43	31,03	59,63
1993	37,76	55,69	32,95	19,46	64,01	52,83	45,60	22,96	102,35	124,95	31,27	25,66	51,29
1994	9,99	103,03	24,69	47,04	68,68	101,99	112,16	27,95	17,67	65,18	104,73	45,39	60,71
1995	143,75	74,60	39,82	18,09	8,22	18,53	19,99	9,88	67,06	75,76		15,80	44,68
1996	58,88	78,67	75,83	48,62	9,70	38,53	78,67	65,73	76,77	107,07	50,39	54,04	61,91
1997	49,32	118,10	29,11	8,71	12,12	71,36	98,61	96,80	31,47	234,02	237,39	42,03	85,76
1998	121,08	122,26	130,94	199,49	68,61	25,47	66,96	174,00	137,50	96,65	19,72	22,70	98,78
1999	26,31	37,97	13,04	25,07	9,20	36,81	104,69	12,01	17,37	102,49	14,74	9,88	34,13
2000	24,42	38,12	55,95	36,66	34,47	27,51	59,26	38,33	168,41	152,17	35,33	66,67	61,44
2001	62,10	151,07	44,72	45,80	71,21	48,27	63,51	29,26	45,61	129,10	50,20	37,22	64,84
2002	15,38	12,97	17,98	12,30	32,36	28,81	16,46	57,75	68,05	107,57	105,84	100,06	47,96
2003	27,64	24,88	63,15	16,19	11,21	25,16	18,75	8,27	6,06	14,16	40,42	92,64	29,05
2004	36,60	18,32	9,11	12,44	38,68	30,32	81,76	16,37	32,32	97,72	78,86	32,22	40,39
2005	23,47	8,47	5,69	40,44	88,88	83,88	22,79	14,98	137,44	150,07	49,10	19,05	53,69
2006	15,68	17,78	46,08	18,84	8,14	5,64	6,33	23,84	24,55	21,44	34,27	35,66	21,52
2007	28,80	31,34	34,25	72,75	140,69	25,34	71,47	17,95	40,42	84,23	114,74	48,61	59,22
2008	33,70	19,13	13,85	36,61	33,57	45,22	24,08	27,28	60,19	120,41	118,93	22,24	46,27
2009	36,02	42,18	23,71	7,51	13,49	20,88	71,57	99,89	106,44	114,91	55,71	68,07	55,03
2010	75,99	71,31	76,96	200,69	117,79	59,26	55,06	65,29	13,17	20,09	22,31	123,85	75,15
2011	77,30	145,84	80,32	83,70	19,23	49,99	105,97	159,28	161,32	71,95	28,57	14,03	83,12
2012	28,79	17,66	13,11	25,49	19,07	36,70	50,03	48,16	10,87	31,93	14,89	19,30	26,33
2013	54,85	32,01	50,80	18,63	13,55	103,12	62,19	92,23	149,71	54,92	28,38	36,46	58,07
2014	96,38	15,64	32,15	28,76	64,58	271,21	54,50	14,30	92,25	97,54	28,63	46,87	70,24
2015	107,03	52,45	23,91	14,57	19,73	68,58	99,12	23,17					51,07
Média	42,92	50,46	38,47	37,59	53,02	56,61	67,63	49,96	61,58	80,75	59,17	39,82	
Mínima	6,33	4,51	5,69	6,19	3,62	5,51	6,33	7,45	6,06	14,16	14,74	6,91	
Máxima	143,75	151,07	130,94	200,69	176,81	271,21	520,89	184,22	168,41	234,02	237,39	123,85	
Desvio Padrão	32,69	37,69	29,81	42,89	52,68	53,65	82,40	45,92	47,65	49,76	50,03	26,55	

Fonte: Acervo de dados da ANA.

APÊNDICE B - Evapotranspiração média mensal
 Evapotranspiração (mm) média mensal e anual na Bacia do Rio do Peixe.

ANO/MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média do Ano
1977	121	116	99	65	58	45	67	67	87	108	114	125	89
1978	127	101	104	62	44	39	54	55	77	104	112	125	84
1979	125	104	92	55	43	34	40	66	65	92	104	117	78
1980	115	106	106	75	55	37	47	59	50	92	112	122	81
1981	121	104	99	70	58	37	43	62	76	93	119	116	83
1982	124	95	96	66	48	42	48	67	78	91	103	117	81
1983	125	97	90	64	49	35	41	59	64	97	114	128	80
1984	127	121	93	66	55	42	47	49	72	112	100	123	84
1985	140	95	92	69	54	44	50	59	74	112	150	147	91
1986	144	111	102	71	56	48	46	68	79	110	122	128	90
1987	137	101	115	70	44	41	59	63	72	102	128	131	89
1988	133	105	118	65	42	37	49	73	82	108	133	135	90
1989	113	104	103	75	51	39	44	64	71	104	125	140	86
1990	117	118	98	72	51	37	39	65	72	106	121	145	87
1991	151	122	109	76	60	44	51	67	85	109	127	139	95
1992	138	113	96	67	49	47	43	54	78	106	119	146	88
1993	129	95	94	73	54	41	46	68	65	107	128	136	86
1994	134	96	102	72	57	41	54	72	83	96	115	139	88
1995	120	98	99	72	53	45	59	75	74	96	134	142	89
1996	132	110	92	76	55	36	40	69	74	91	126	131	86
1997	132	104	109	77	56	41	52	70	82	85	112	136	88
1998	129	95	90	64	50	40	49	58	66	99	124	133	83
1999	128	107	107	67	49	36	43	69	84	93	121	135	87
2000	137	112	97	77	51	47	45	67	71	106	123	134	89
2001	125	101	111	77	50	45	52	76	73	103	126	132	89
2002	132	110	113	78	56	43	46	68	71	92	117	123	87
2003	135	111	101	78	56	46	52	63	87	109	123	121	90
2004	133	118	113	79	43	44	46	71	85	105	115	131	90
Média	129	106	101	71	52	41	48	65	75	101	120	131	
Mínima	113	95	90	55	42	34	39	49	50	85	100	116	
Máxima	151	122	118	79	60	48	67	76	87	112	150	147	
Desvio Padrão	9	8	8	6	5	4	6	6	8	8	10	9	

Fonte: Lindner (2007).

APÊNDICE C - Equações para o cálculo estimado do tempo de concentração.

Dado que: A (Área de Drenagem) = 2621,12 Km² ;
 L (Comprimento do talvegue) = 110,21 Km ;
 S (Declividade do rio principal) = 0,0059 m/m;

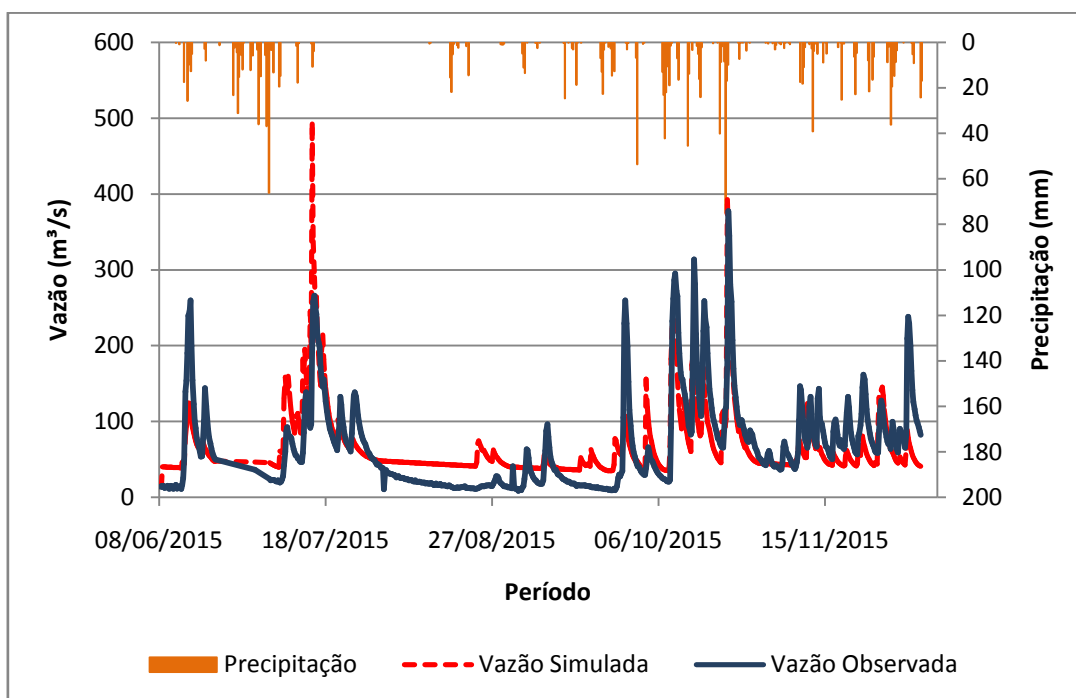
(1) KIRPICH	$T_c = 0,0663.L^{0,77}.S^{-0,385}$
(2) VEN TE CHOW	$T_c = 0,160.L^{0,64}.S^{-0,32}$
(3) DOOGE	$T_c = 0,365.A^{0,41}.S^{-0,17}$
(4) JOHNSTONE	$T_c = 0,462.L^{0,5}.S^{-0,25}$
(5) CORPS ENGINEERS	$T_c = 0,191.L^{0,76}.S^{-0,19}$
(6) GIANDOTTI	$T_c = 0,0559.(4,0.A^{0,5} + 1,5.L).L^{-0,5}.S^{-0,5}$
(7) PASINI	$T_c = 0,107.A^{0,333}.L^{0,333}.S^{-0,5}$
(8) VENTURA	$T_c = 0,127.A^{0,5}.S^{-0,5}$
(9) PICKING	$T_c = 0,0883.L^{0,667}.S^{-0,333}$
(10) CARTER	$T_c = 0,0977.L^{0,6}.S^{-0,3}$

Tc em horas.

Fonte: Mota (2012).

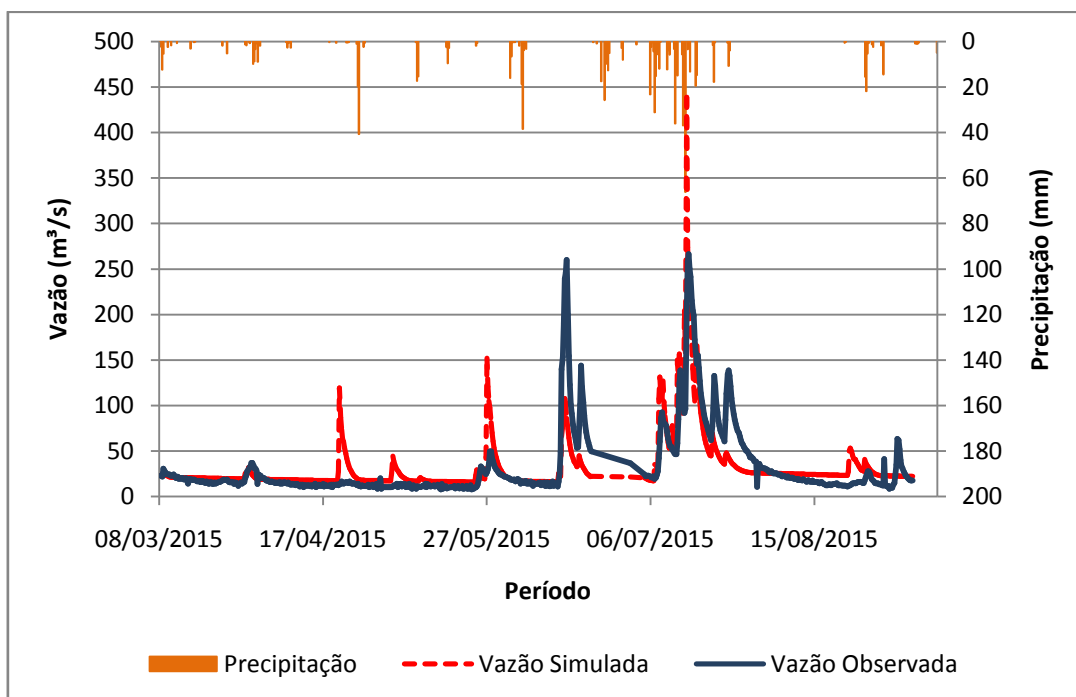
APÊNDICE D - Hidrogramas e Hietogramas das calibrações estudadas.

Figura 34 - Hidrograma e Hietograma CA 2 para o período de 6 meses.



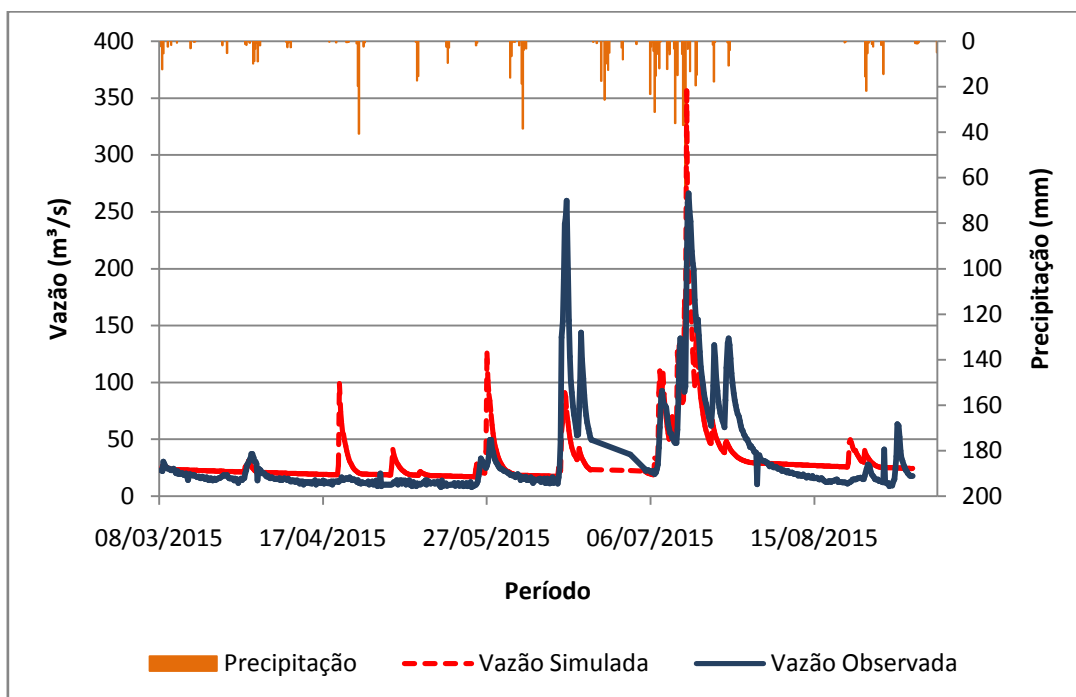
Fonte: Acervo próprio.

Figura 35- Hidrograma e Hietograma CA 3 para o período de 6 meses.



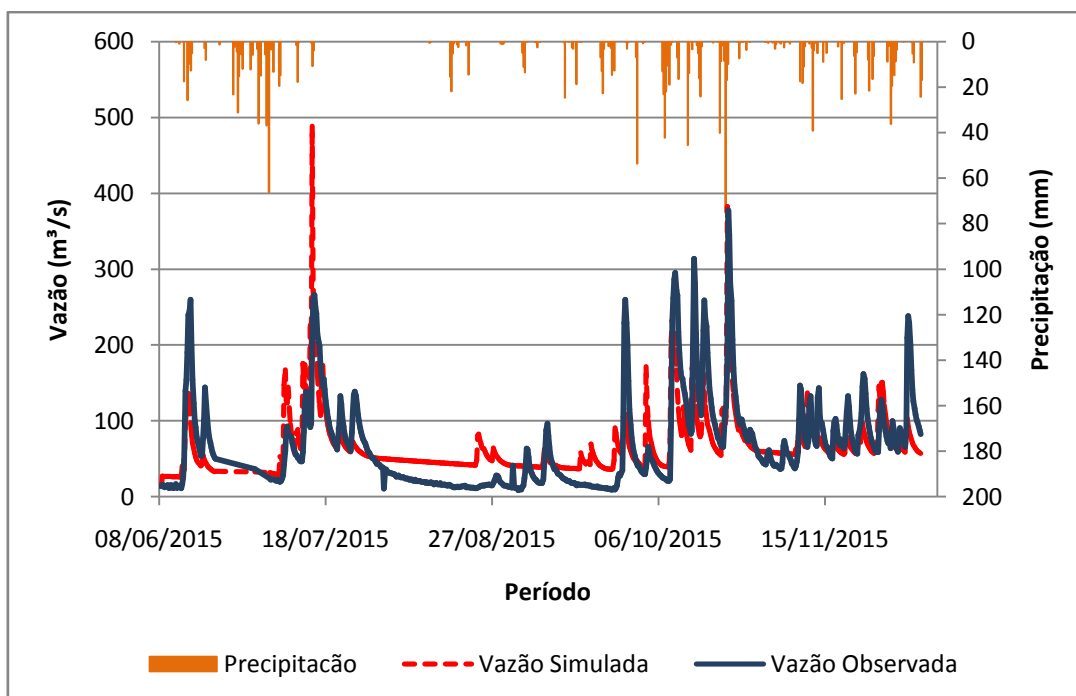
Fonte: Acervo próprio.

Figura 36- Hidrograma e Hietograma CA 4 para o período de 6 meses.



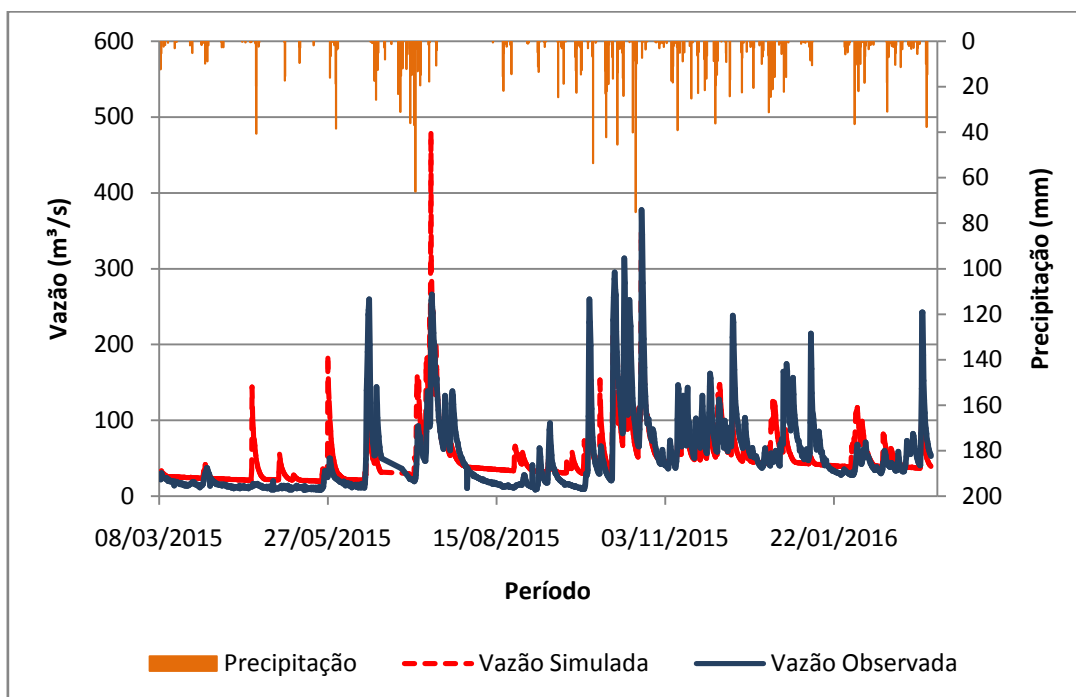
Fonte: Acervo próprio.

Figura 37 - Hidrograma e Hietograma CA 5 para o período de 6 meses.



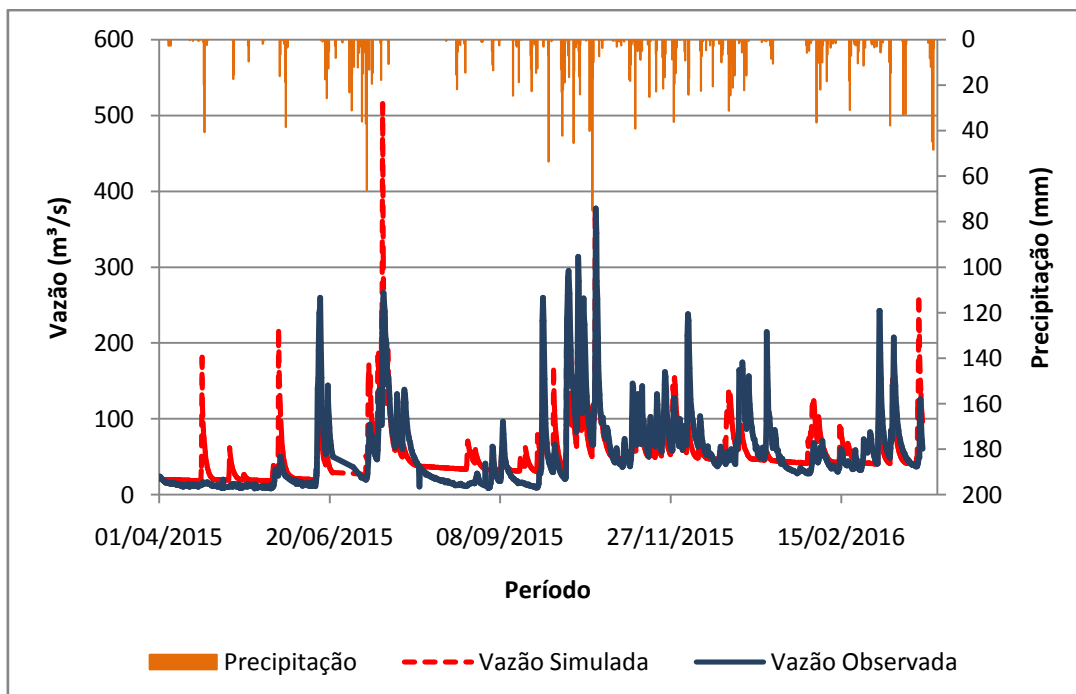
Fonte: Acervo próprio.

Figura 38 - Hidrograma e Hietograma CA 6 para o período de 12 meses.



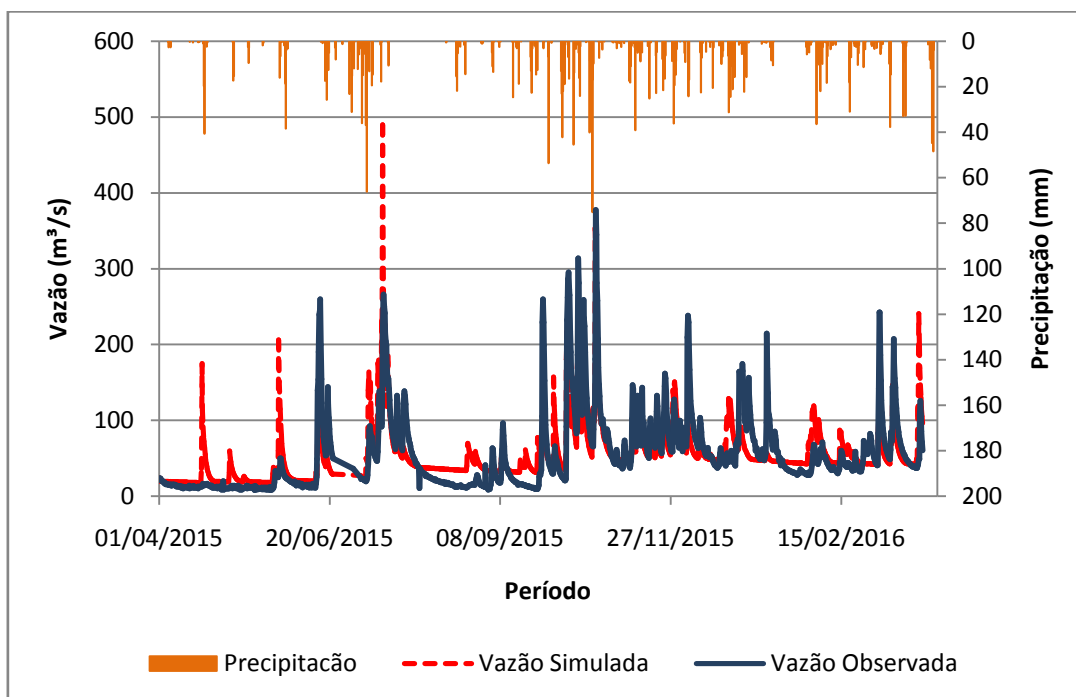
Fonte: Acervo próprio.

Figura 39- Hidrograma e Hietograma CA 7 para o período de aproximadamente 12 meses.



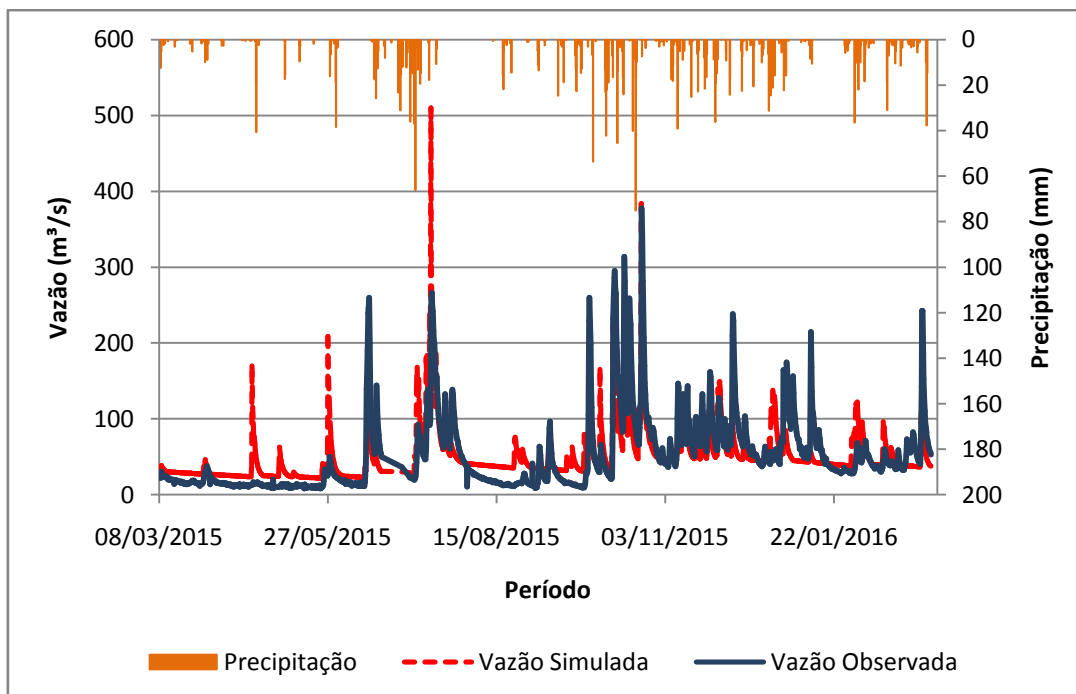
Fonte: Acervo próprio.

Figura 40- Hidrograma e Hietograma CA 8 para o período de aproximadamente 12 meses.



Fonte: Acervo próprio.

Figura 41- Hidrograma e Hietograma CA 10 para o período de 12 meses.



Fonte: Acervo próprio.

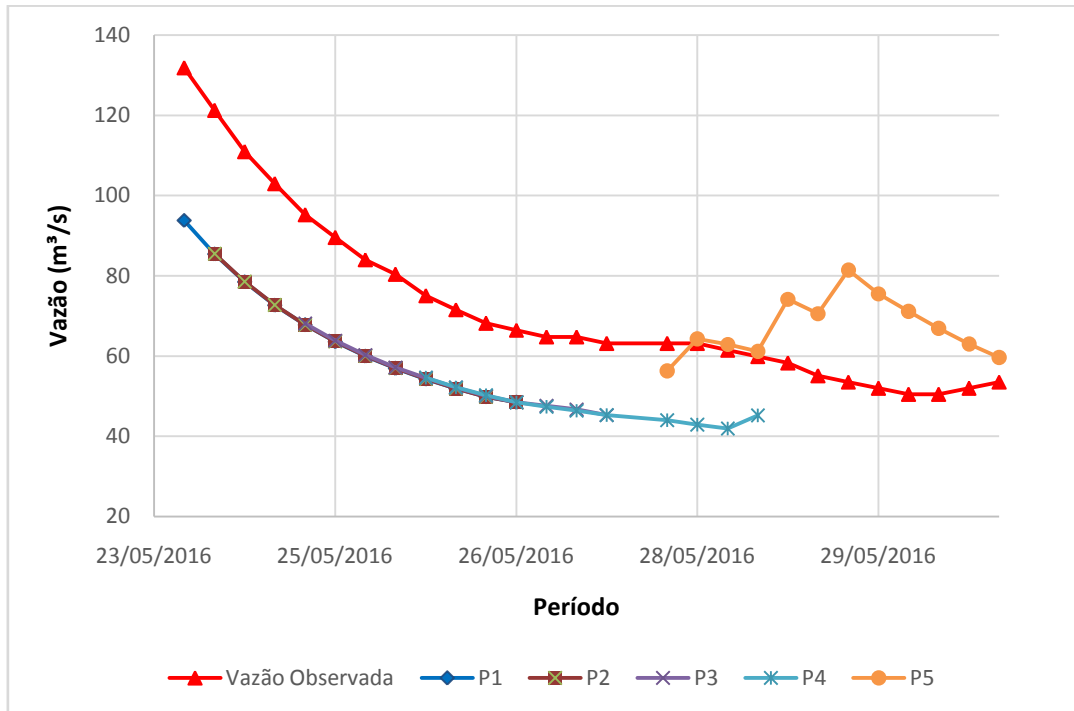
APÊNDICE E - Dados utilizados nas calibrações e Funções Objetivo.

Parâmetros	CA 1	CA 2	CA 3	CA 4	CA 5	CA 6	CA 7	CA 8	CA 9	CA 10
Períodos (meses)	6	6	6	6	6	12	*12	*12	12	12
Interceptação (%)	44%	55%	59%	59%	48%	46%	44%	43%	47%	49%
Arm. Inicial (mm)	115,3	199,2	134,6	135,3	106,9	148,5	127,5	126,9	154,2	152,1
Tc (horas)	47	27	33	43	35	45	37	40	46	34
Tb (dias)	156	150	190	172	120	170	190	195	160	150
Porosidade	0,9	0,72	0,64	0,9	0,5	0,85	0,55	0,55	0,85	0,6
Condutividade Hidr. (mm/h)	100	90	67	72	100	95	60	60	95	75
Capacidade de Campo	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5
Profundidade do Solo (mm)	2200	2200	2104	1598	2400	2400	1700	1700	2400	1900
Funções Objetivo										
Nash:	0,592	0,515	0,544	0,570	0,524	0,553	0,501	0,519	0,551	0,503
ΔV:	-0,004%	0,003%	0,000%	-0,009%	0,007%	-0,010%	-0,005%	-0,002%	-0,005%	0,000%
MB:	-0,003	0,002	0,000	-0,003	0,005	-0,005	-0,002	-0,001	-0,003	0,000

* Período aproximado de 12 meses.

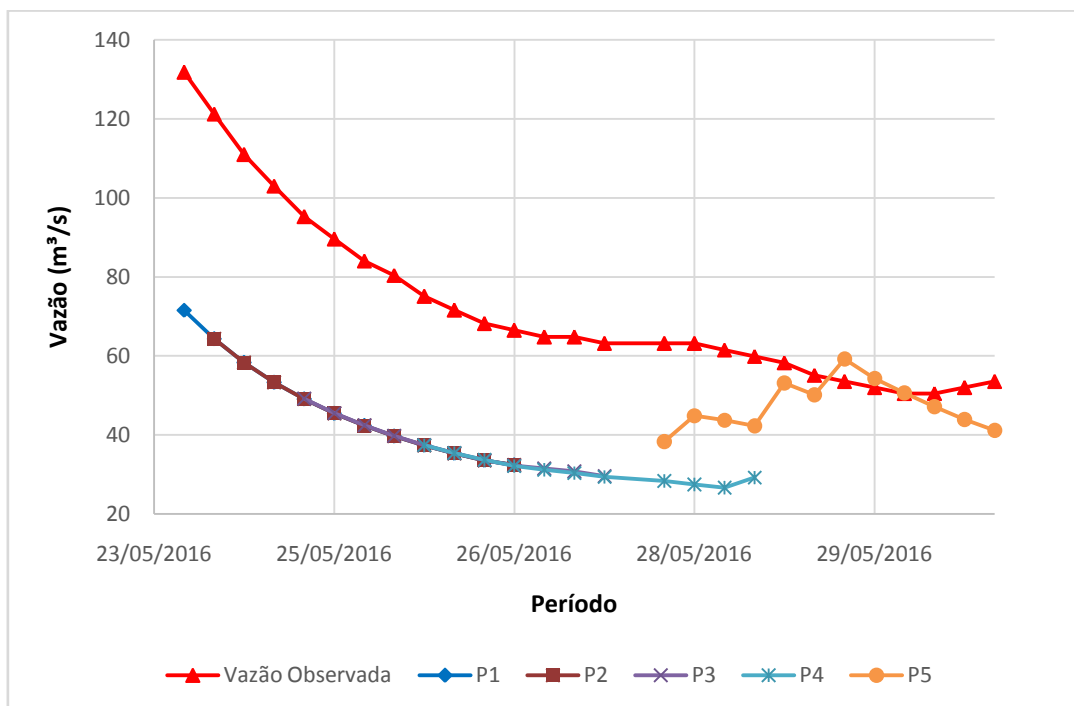
APÊNDICE F–Previsões de Vazão modelo BRAMS.

Figura 42 - Previsões de vazão calibração CA 2 (BRAMS).



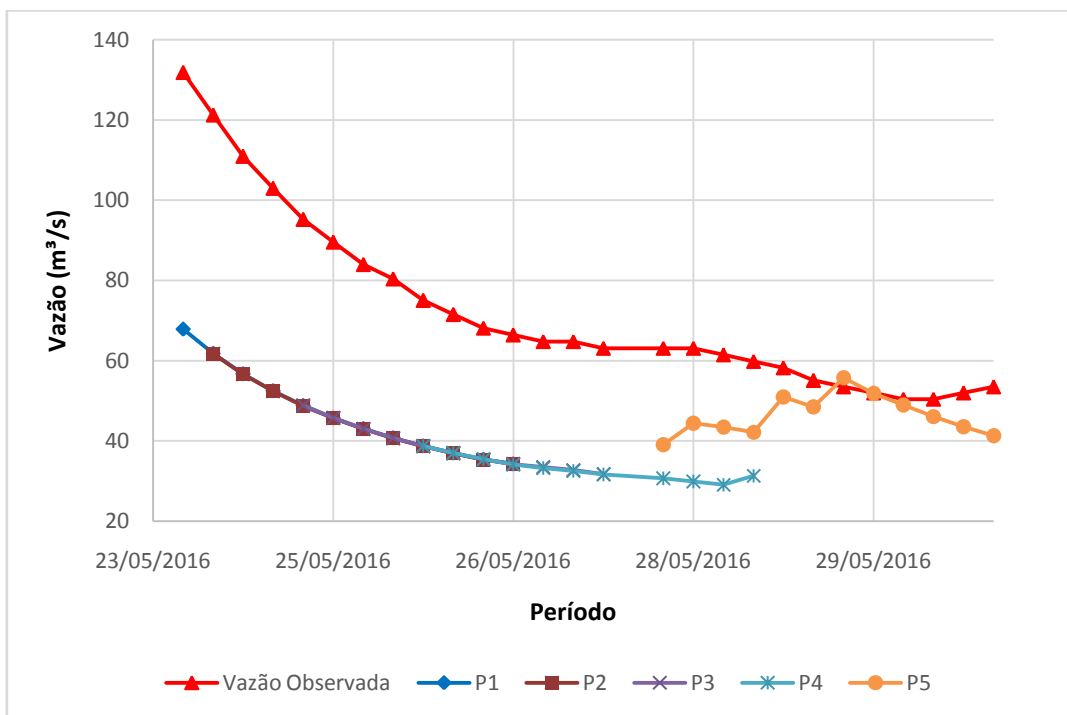
Fonte: Acervo próprio.

Figura 43 - Previsões de vazão calibração CA 3 (BRAMS).



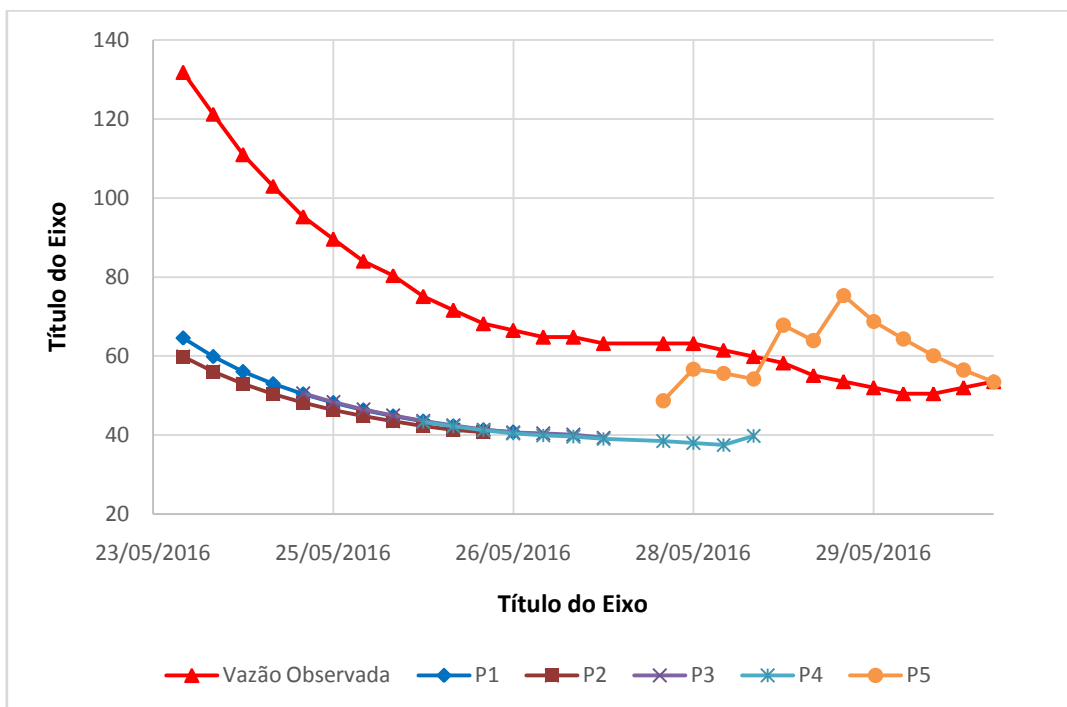
Fonte: Acervo próprio.

Figura 44 - Previsões de vazão calibração CA 4 (BRAMS).



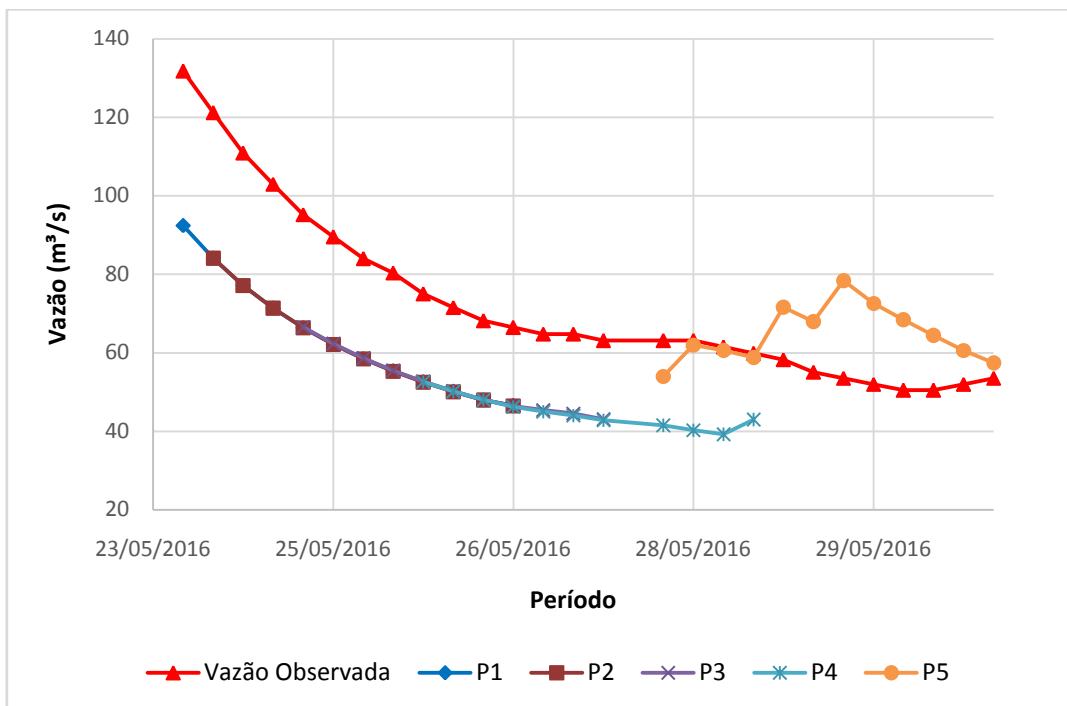
Fonte: Acervo próprio.

Figura 45 - Previsões de vazão calibração CA 5 (BRAMS).



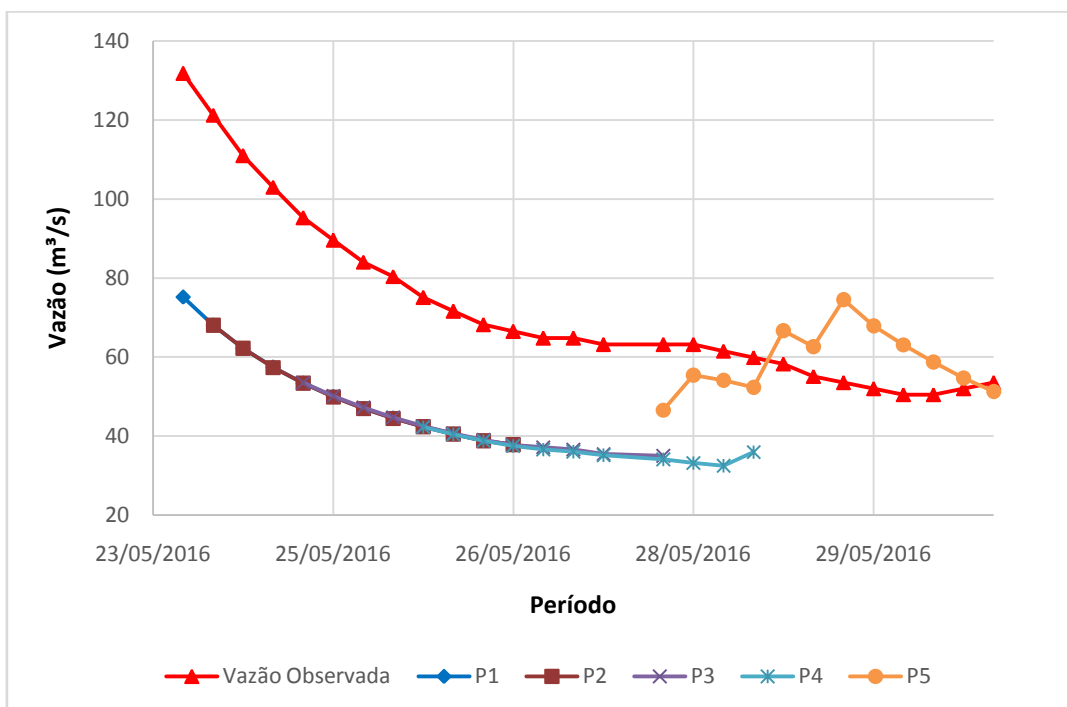
Fonte: Acervo próprio.

Figura 46 - Previsões de vazão calibração CA 6 (BRAMS).



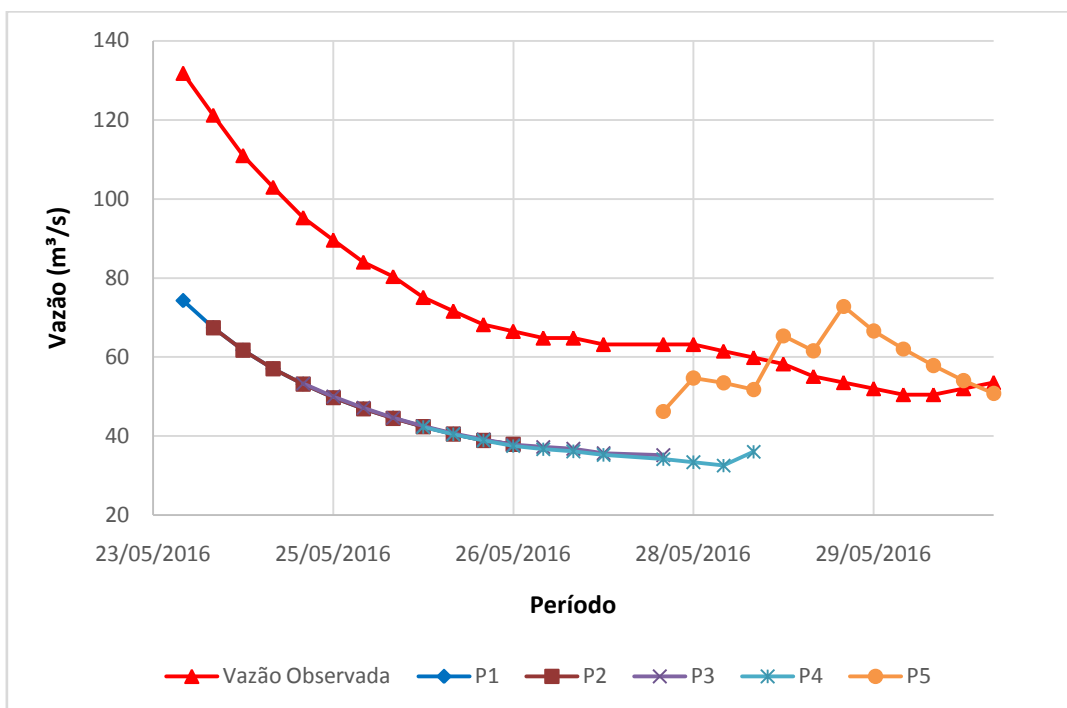
Fonte: Acervo próprio.

Figura 47 - Previsões de vazão calibração CA 7 (BRAMS).



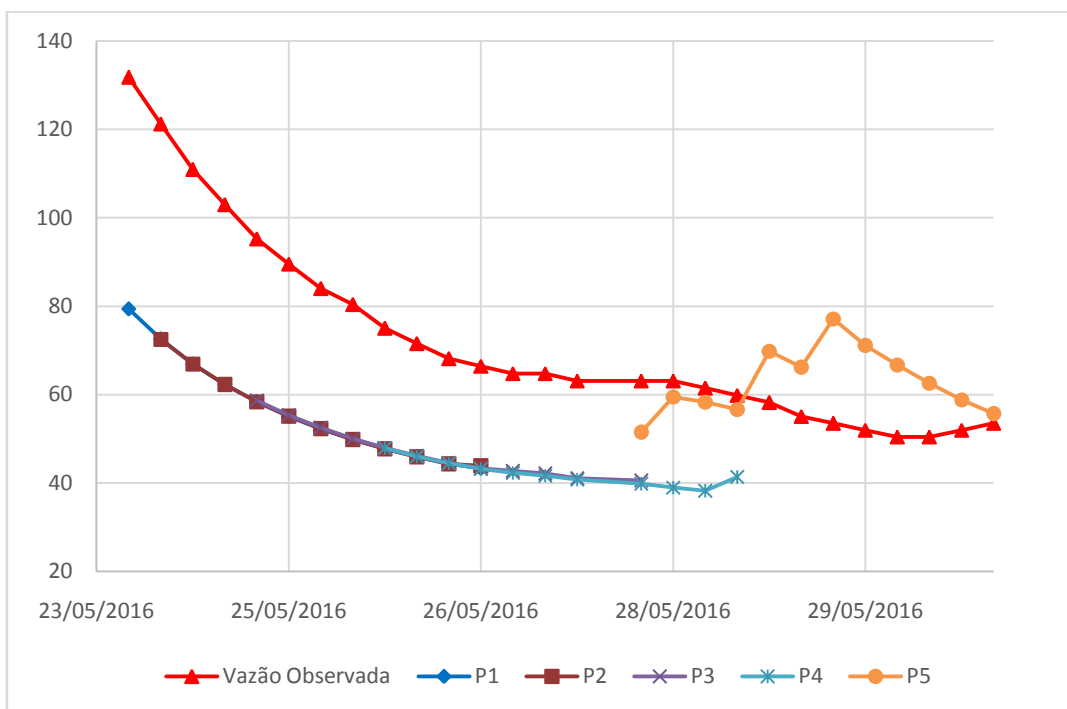
Fonte: Acervo próprio.

Figura 48 - Previsões de vazão calibração CA 8 (BRAMS).



Fonte: Acervo próprio.

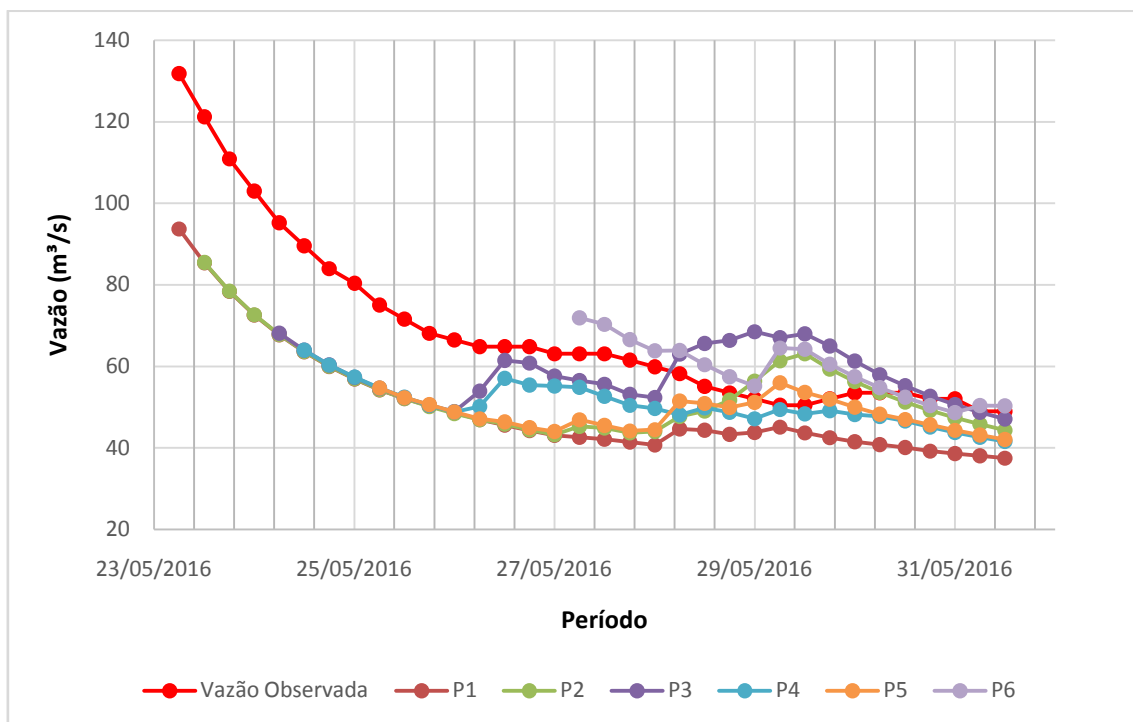
Figura 49 - Previsões de vazão calibração CA 10 (BRAMS).



Fonte: Acervo próprio.

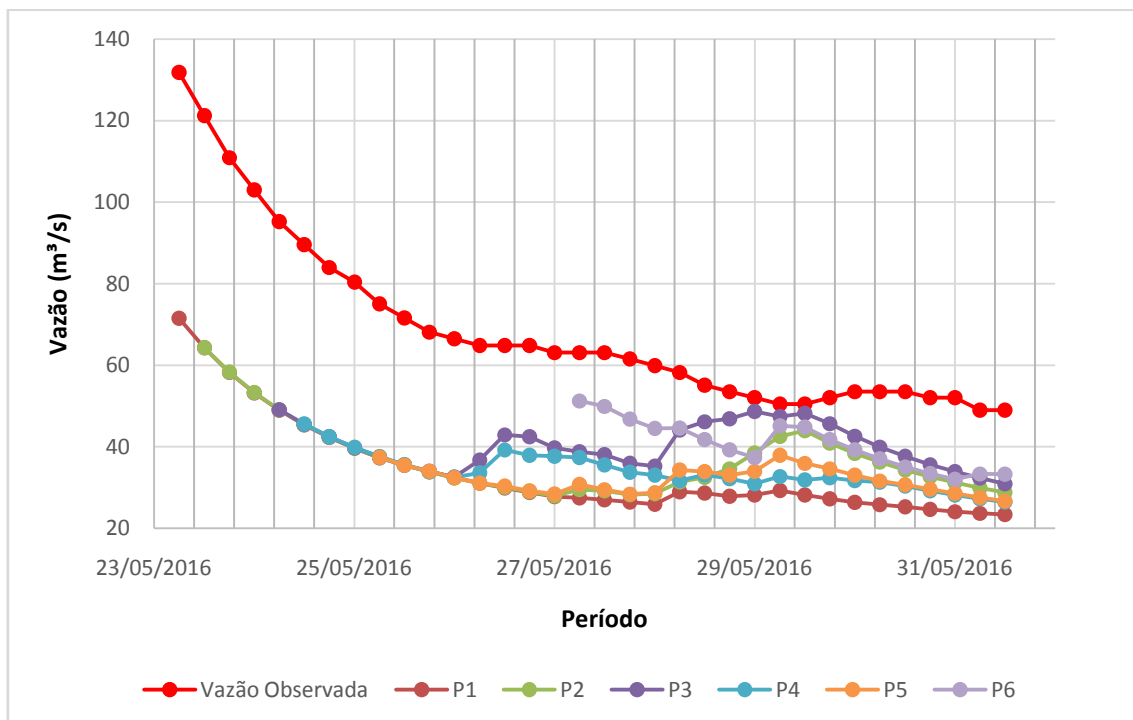
APÊNDICE G –Previsões de Vazão modelo ETA.

Figura 50 - Previsões de vazão calibração CA 2 (ETA).



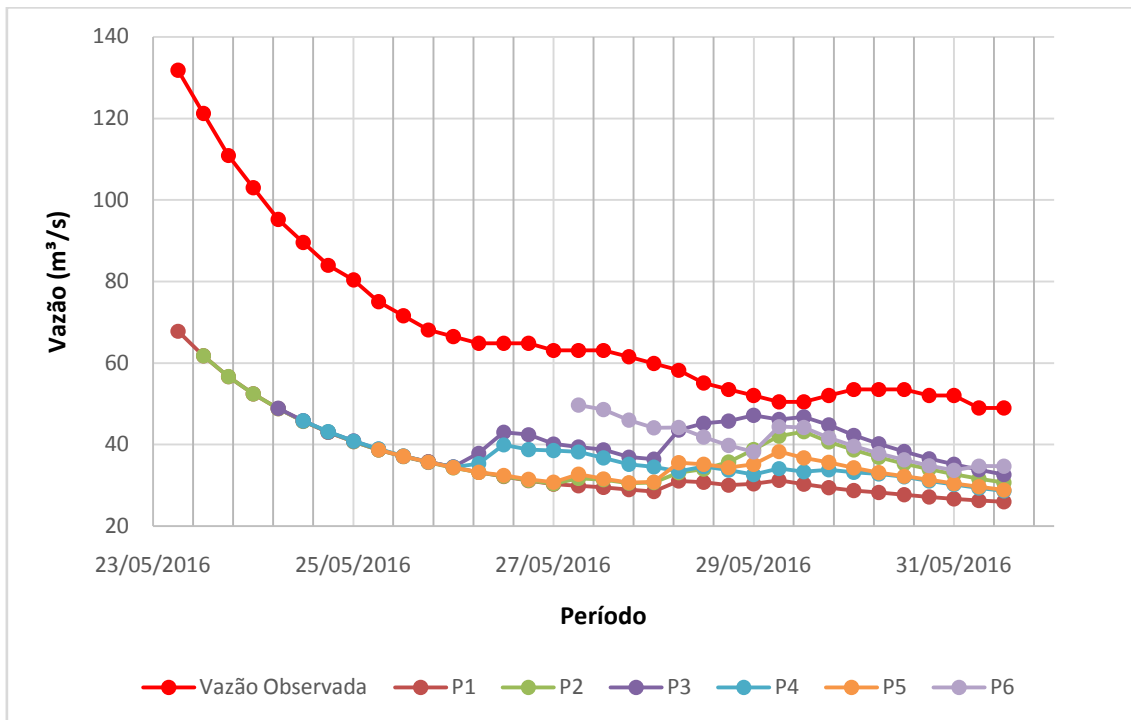
Fonte: Acervo próprio.

Figura 51 - Previsões de vazão calibração CA 3 (ETA).



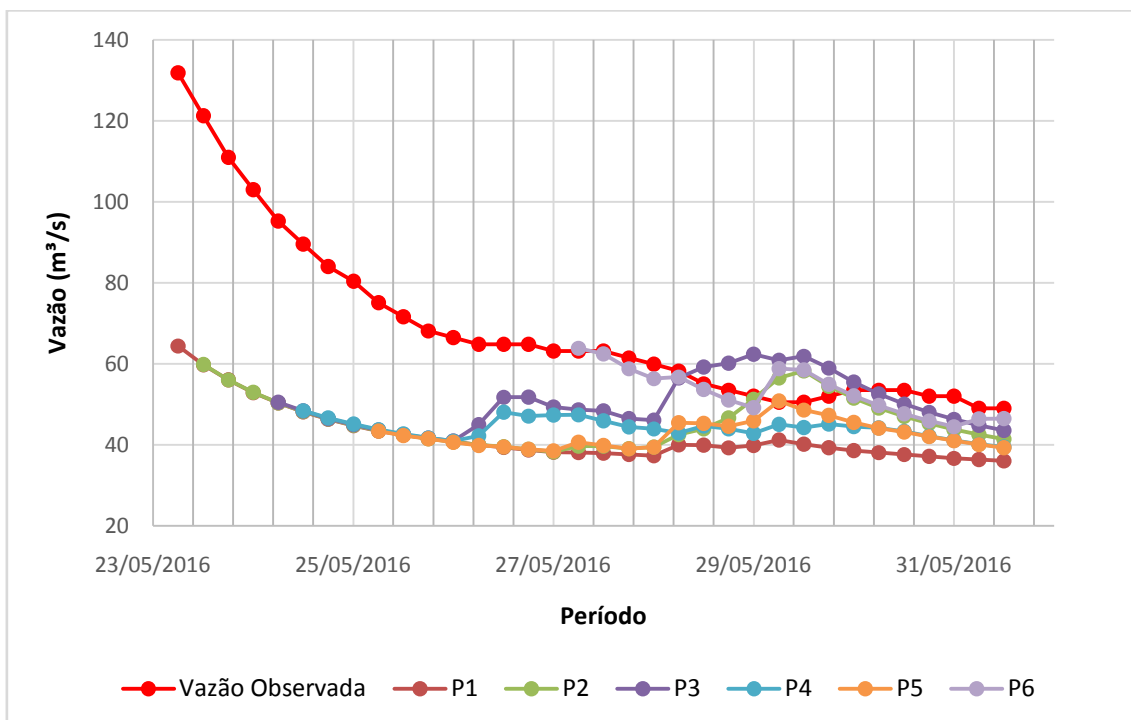
Fonte: Acervo próprio.

Figura 52 - Previsões de vazão calibração CA 4 (ETA).



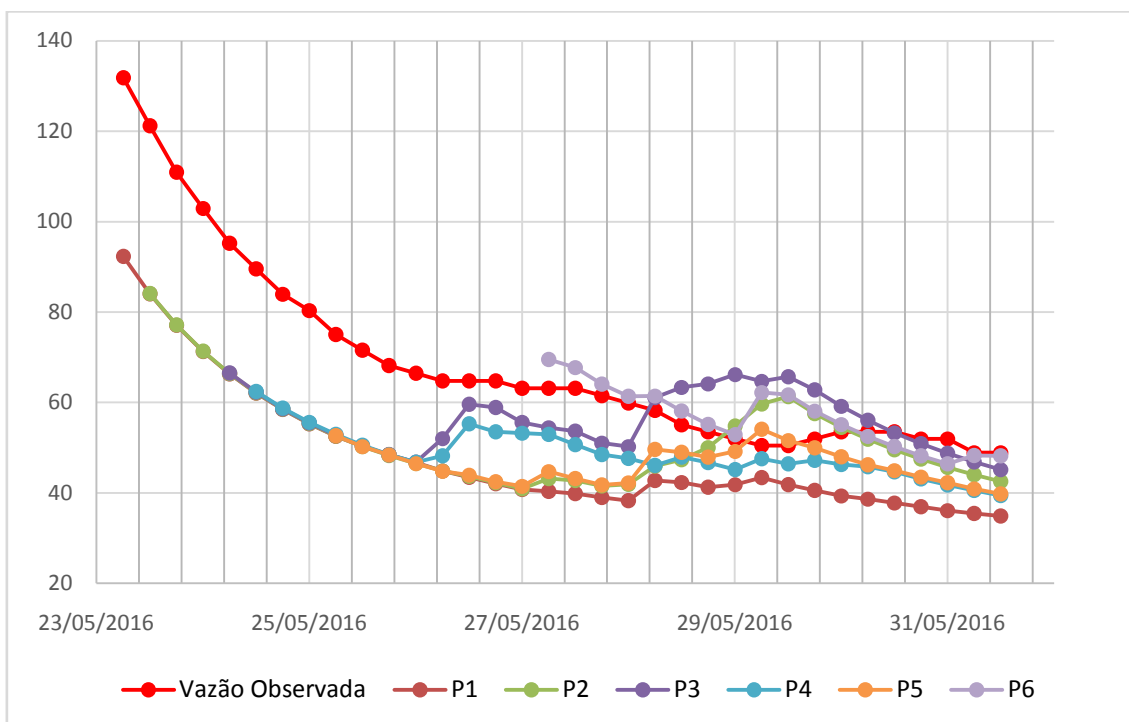
Fonte: Acervo próprio.

Figura 53 - Previsões de vazão calibração CA 5 (ETA).



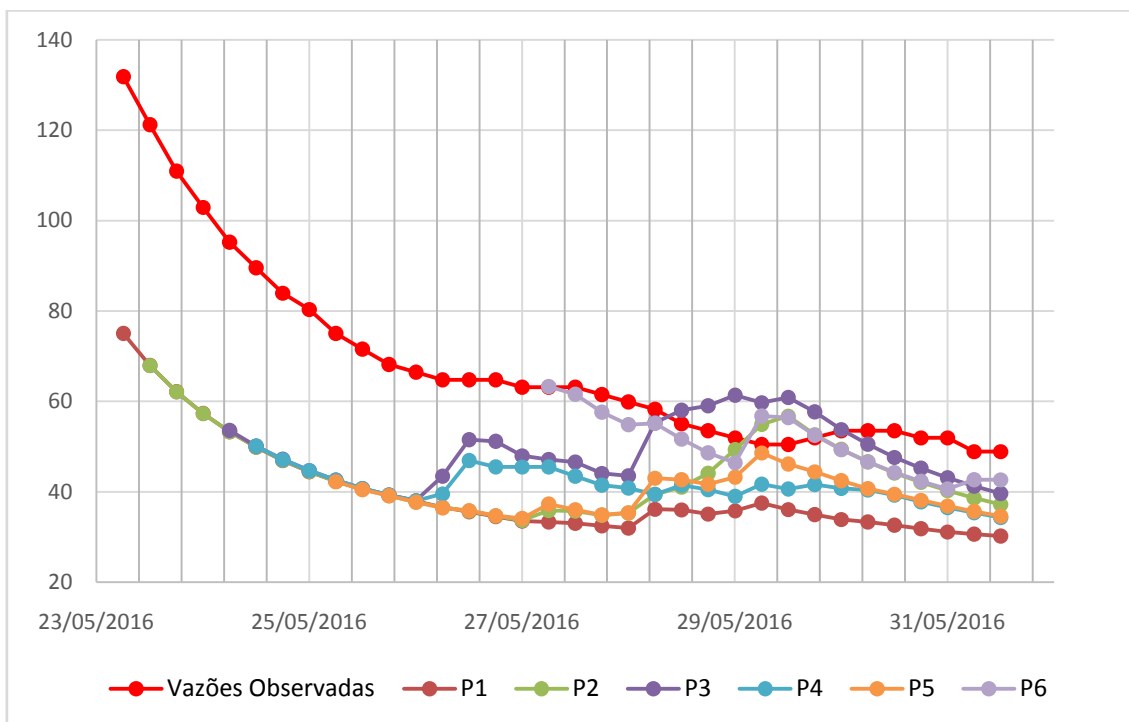
Fonte: Acervo próprio.

Figura 54 - Previsões de vazão calibração CA 6 (ETA).



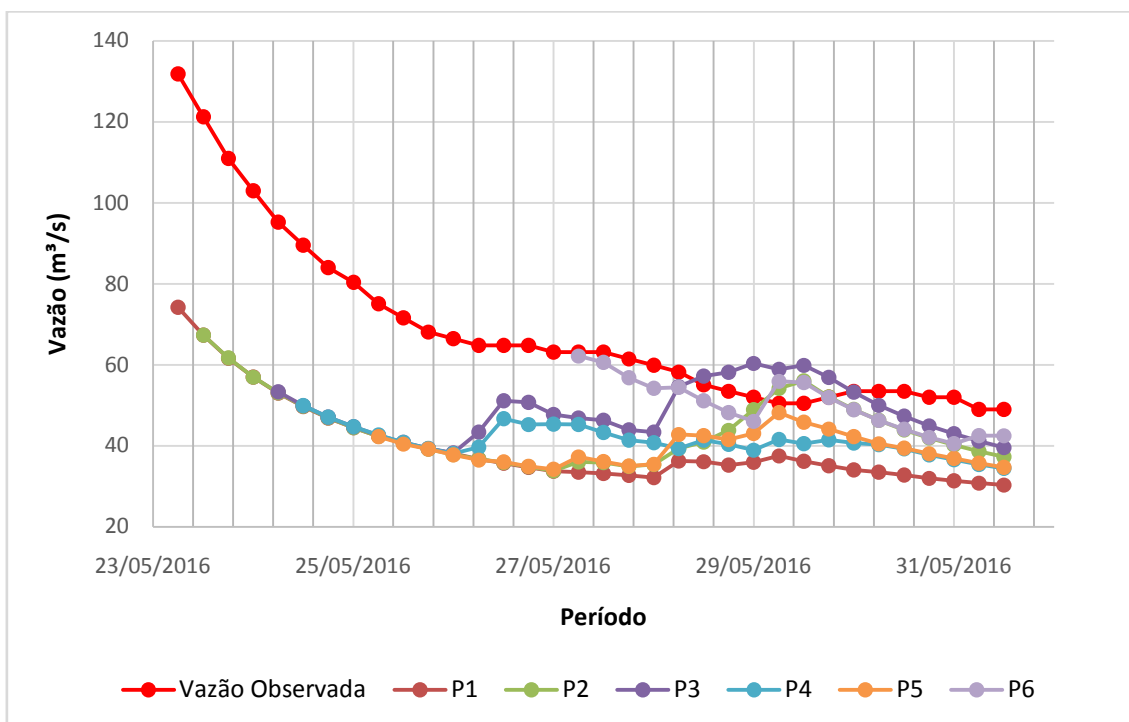
Fonte: Acervo próprio.

Figura 55 - Previsões de vazão calibração CA 7 (ETA).



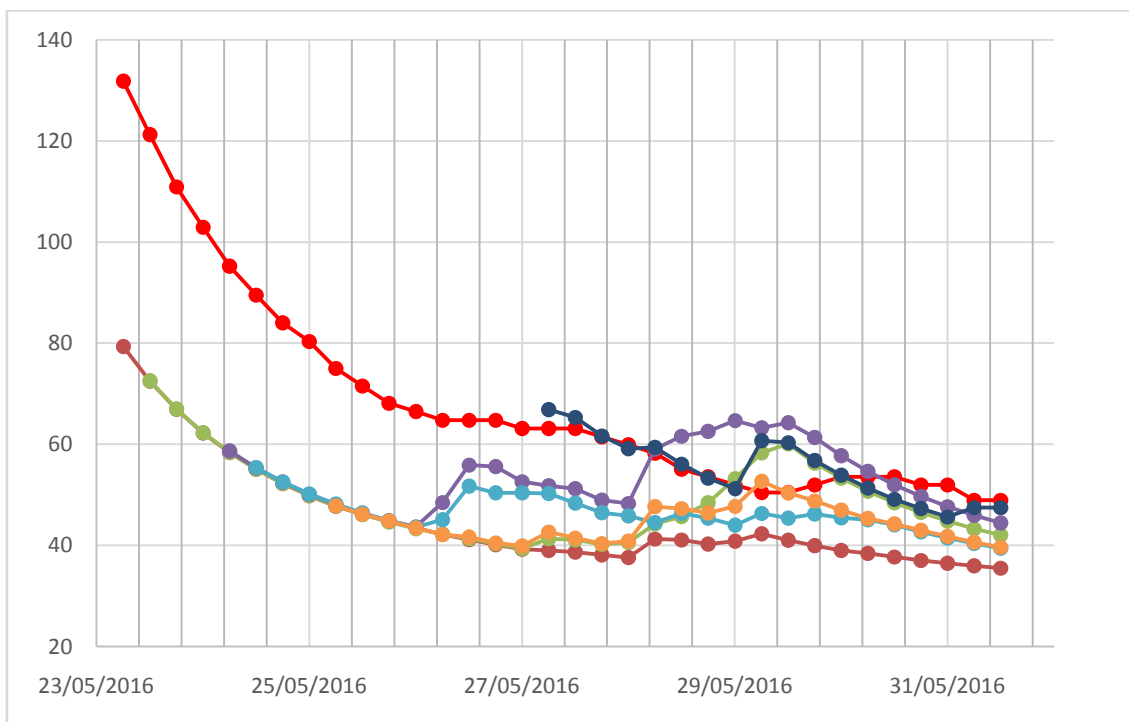
Fonte: Acervo próprio.

Figura 56 - Previsões de vazão calibração CA 8 (ETA).



Fonte: Acervo próprio.

Figura 57 - Previsões de vazão calibração CA 10 (ETA).



Fonte: Acervo próprio.