



Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  

---

Escola Politécnica

MODELAGEM HIDROLÓGICA CHUVA-VAZÃO E AFERIÇÃO DE GARANTIA  
FÍSICA DE UMA CENTRAL GERADORA HIDRELÉTRICA NO  
RIO SANTANA - RJ

Nelson Bernardo Rodrigues Cavalcante

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado como requisito à obtenção do grau  
de Engenheiro Civil, com Ênfase em Recursos  
Hídricos, pela Universidade Federal do Rio de  
Janeiro.

Orientadores:

Tarcisio Luiz Coelho de Castro

Heloisa Teixeira Firmo

Rio de Janeiro

2017

MODELAGEM HIDROLÓGICA CHUVA-VAZÃO E AFERIÇÃO DE GARANTIA  
FÍSICA DE UMA CENTRAL GERADORA HIDRELÉTRICA NO  
RIO SANTANA - RJ

Nelson Bernardo Rodrigues Cavalcante

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO APRESENTADO COMO REQUISITO  
À OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL COM ÊNFASE EM RECURSOS  
HÍDRICOS, PELA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.

Examinado por:

---

Prof. Tarcisio Luiz Coelho de Castro

---

Prof. Heloisa Teixeira Firmo D.Sc.

---

Prof. Paulo Renato Barbosa, M.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

2017

Cavalcante, Nelson Bernardo Rodrigues

Modelagem Hidrológica Chuva-Vazão e Aferição de  
Garantia física de uma Central Geradora Hidrelétrica no Rio  
Santana – RJ - Nelson Bernardo Rodrigues Cavalcante:  
Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2017.

xiii, 103 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Tarcísio Luiz Coelho de Castro e Heloísa  
Teixeira Firmo. Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola  
Politécnica.

Curso de Engenharia Civil, 2017.

Referências Bibliográficas: p. 94 - 99.

1. Modelagem Hidrológica. 2. Regionalização. 3. Garantia  
Física.

I. Castro, Tarcísio Luiz Coelho II. Universidade Federal do Rio  
de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil. III.  
Título.

AOS MEUS PAIS

OLIVIA E NELSON,

DEDICO.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por tudo.

Agradeço imensamente aos meus pais Raimunda Olivia e Nelson Cavalcante por todo apoio, incentivo e, principalmente, amor, durante toda a minha vida; pelo grande exemplo de vida, pelos valores e por me ensinarem o que realmente é importante nesta vida.

Agradeço à minha irmã, Ana Bárbara, pelo grande exemplo de sempre e por todo apoio.

Agradeço à Jacqueline, Laura e Jorgelim Paixão, por todo amor, carinho e ensinamentos que levarei por toda a vida.

Aos meus orientadores Tarcísio Castro e Heloísa Firmo, que me inspiraram por seu amor pela engenharia. Por serem exemplos de profissionais que amam o que fazem e por contribuírem de maneira única em minha formação.

Agradeço ao professor Paulo Renato, pelas conversas e conselhos de sempre durante toda minha trajetória acadêmica.

Aos meu grande amigo e companheiro de faculdade, Igor Silveira, por estar sempre ao meu lado e ser um grande irmão.

Aos grandes amigos que fiz na Bateria Descomunal, meus mais sinceros agradecimentos, pois fizeram do ambiente acadêmico um lugar com muito amor e muito ritmo.

Aos meus amigos Anna, Antônio, Bruna, Francis e Isaac por todas as conversas descontraídas, conselhos acadêmicos e companheirismo durante todo o desenvolvimento da minha monografia.

Aos meus amigos da Xerox do bloco D, em especial ao Djavan, pela grande amizade.

Meus sinceros agradecimentos a todos os amigos do intercâmbio, em especial à Carolina Semrau, que me ajudou de maneira única e acreditou em mim durante meu intercâmbio acadêmico.

Agradeço à Monika Kwolek e Sandra Rosalen, por serem grandes amigas sempre e em qualquer lugar deste mundo.

Agradeço a todos que passaram pela minha vida. Pois, sei que, de alguma forma, também contribuíram para minha formação pessoal e profissional.

“The mind that opens to a new idea  
never returns to its original size”

**Albert Einstein**

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

MODELAGEM HIDROLÓGICA CHUVA-VAZÃO E AFERIÇÃO DE GARANTIA  
FÍSICA DE UMA CENTRAL GERADORA DE ENERGIA NO  
RIO SANTANA - RJ

Nelson Bernardo Rodrigues Cavalcante

Fevereiro/2017

Orientadores: Tarcísio Luiz Coelho de Castro e Heloísa Teixeira Firmo.

Curso: Engenharia Civil

RESUMO

Cerca de 65% da matriz energética do Brasil é composta por energia proveniente de hidrelétricas. Usinas hidrelétricas de pequeno porte, denominadas Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH's) e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's), são uma alternativa para o aumento da oferta, descentralização de geração e atendimento da demanda de pequenos centros. A elaboração de estudos hidrológicos e energéticos de viabilidade constitui etapa fundamental na concepção destes aproveitamentos. Nesse estudo, foi utilizado o modelo hidrológico SMAP para geração de séries históricas de vazões para a Bacia do Rio Santana, formador do Rio Guandu, localizada na porção noroeste do Estado do Rio de Janeiro. Para a estimativa de vazões máximas e vazão remanescente, adotou-se a metodologia de Regionalização de Vazões associada com a distribuição de Gumbel e Weibull, respectivamente. Resultados energéticos obtidos a partir da série histórica e vazão remanescente apontam uma garantia física média de 1.600kW, com um fator de capacidade de 53%.

*Palavras-chave:* Modelagem Hidrológica. Regionalização. Garantia Física. Fator de Capacidade.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

HYDROLOGICAL RAIN-FLOW MODELING AND ASSURANCE OF  
GUARANTEED POWER OUTPUT OF AN HYDROELECTRIC GENERATING  
CENTER IN RIO SANTANA – RJ.

Nelson Bernardo Rodrigues Cavalcante

Fevereiro/2017

Advisors: Tarcísio Luiz Coelho de Castro e Heloísa Teixeira Firmo.

Course: Civil Engineering

ABSTRACT

About 65% of Brazil's energy matrix is made up of hydroelectric power. Small hydroelectric power plants, called Hydroelectric Generating Centers (CGH's) and Small Hydroelectric Power Plants (SHPP's), are an alternative for increasing supply, decentralizing generation and meeting the demand of small centers. The preparation of hydrological and energy feasibility studies constitutes a fundamental step in the design of power plants. In this study, the SMAP hydrological model was used to generate historical flow series for the Rio Santana Basin, which forms the Guandu River, located in the northwestern portion of the State of Rio de Janeiro. For the estimation of maximum flows and remaining flow, the methodology of Regionalization of Flows associated with the distribution of Gumbel and Weibull, respectively, was adopted. Energy results obtained from the historical series and remaining flow indicate an average guaranteed power output of 1,600 kW, with a Capacity factor of 50%.

Keywords: Hydrological Modeling. Regionalization. Guaranteed Power Output. Capacity Factor.

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Revisão Bibliográfica.....</b>	<b>3</b>
2.1. Balanço Hídrico .....	3
2.2. Método dos Polígonos de Thiessen .....	6
2.3. Regionalização .....	8
2.4. Centrais geradoras de energia .....	12
2.5. Energia Firme, energia assegurada e garantia física.....	16
2.6. Modelos hidrológicos .....	20
2.6.1. Definição de modelos hidrológicos .....	20
2.6.2. Classificação dos modelos Hidrológicos.....	24
<b>3. Material e método .....</b>	<b>26</b>
3.1. Caracterização da Bacia do Rio Santana .....	26
3.2. Clima.....	29
3.3. Dados de vazão .....	31
3.4. Precipitação.....	44
3.5. Evapotranspiração Potencial (ETP) .....	45
3.6. Modelo SMAP .....	48
3.7. Regionalização de vazões .....	54
3.7.1. Distribuição de Frequência.....	54
3.7.2. Distribuição de Gumbel.....	54
3.7.3. Distribuição de Weibull.....	55
3.7.4. Index flood method.....	57
3.8. Fator de Capacidade e Garantia Física .....	59
<b>4. Resultados .....</b>	<b>61</b>
4.1. Calibração e Validação - SMAP .....	61
4.2. Vazões máximas anuais .....	74
4.3. Vazões mínimas anuais.....	79
4.4. Garantia física .....	87
<b>5. Conclusões .....</b>	<b>92</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>94</b>
<b>Anexo .....</b>	<b>100</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática e simplificada do ciclo hidrológico. (BUCHIANERI, 2004).....	4
Figura 2 - Hidrograma anual do rio Paraíba do Sul entre os anos de 1966 e 1967 na cidade de Cachoeira Paulista – SP (MIRANDA, 2016).....	6
Figura 3 – Polígono de Thiessen. Fonte: Tucci, 1993.....	7
Figura 4 - Regionalização proposta por Loureiro (1984). Fonte: Portela e Dias, 2003,.....	9
Figura 5 -Oferta interna de energia elétrica por fonte – Fonte: Balanço Energético Nacional 2015 – EPE.....	12
Figura 6 – Localização e Delimitação da bacia do rio Santana.....	26
Figura 7 – Bacia do rio Santana região limítrofe entre Municípios. ....	27
Figura 8 - Delimitação da Bacia do rio Santana e Hidrografia .....	28
Figura 9 – Hidrografia e Hipsometria; Bacia do Rio Santana.....	29
Figura 10 – Classificação Köppen-Geiger da bacia do Rio Santana.....	30
Figura 11 – Localização do posto fluviométrico Hotel Santa Branca. ....	31
Figura 12 - Curva-Chave Rio Santana.....	33
Figura 13 - Mapa de localização dos postos fluviométricos utilizados no método de regionalização.....	43
Figura 14 – Localização dos postos Ecologia Agrícola e Pirai. ....	45
Figura 15 - Estrutura do modelo SMAP versão diária com três reservatórios (LOPES, 1999).....	49
Figura 16 – Representação esquemática dos procedimentos propostos para obtenção de vazões máximas e mínimas - Regionalização .....	58
Figura 17 – Bacia do Rio Santana; Polígono de Thiessen traçado no ArcGIS. ....	61
Figura 18 - Evapotranspiração dos postos Pirai e Ecologia Agrícola e média.....	63
Figura 19 – Calibração - Gráfico de vazões gerado com os valores de precipitação gerados pelo método do polígono de Thiessen.....	64
Figura 20 – Validação de vazões geradas a partir da precipitação média para o ano de 1954. ....	65
Figura 21 - Validação de vazões geradas a partir da precipitação média para o ano de 1955. ....	66
Figura 22 - Validação de vazões geradas a partir da precipitação média para o ano de 1956. ....	66
Figura 23 - Calibração - Gráfico de vazões gerado com os valores de precipitação do posto UEL Santa Cecília.....	68
Figura 24 - Validação de vazões geradas a partir da precipitação do posto UEL Santa Cecília para o ano de 1954.....	68

Figura 25 - Validação de vazões geradas a partir da precipitação do posto UEL Santa Cecília para o ano de 1955.....	69
Figura 26 - Validação de vazões geradas a partir da precipitação do posto UEL Santa Cecília para o ano de 1956.....	69
Figura 27 – Série de vazões diárias gerada pelo do modelo SMAP – Posto pluviométrico UEL Santa Cecília.....	70
Figura 28 – Comparação de séries de vazão gerada em estudos anteriores.....	71
Figura 29 – Comparação entre séries de vazão geradas com os postos UEL Santa Cecília e Rialto e com o polígono de Thiessen.....	71
Figura 30 - Comparação entre séries de vazão geradas com os postos UEL Santa Cecília e Lídice e com o polígono de Thiessen.....	72
Figura 31 - Comparação entre séries de vazão geradas com os postos UEL Santa Cecília e Pedro do Rio e com o polígono de Thiessen.....	72
Figura 32 - Comparação entre séries de vazão geradas com os postos UEL Santa Cecília e Petrópolis e com o polígono de Thiessen.....	73
Figura 33 – Localização da CGH Rio Power I na bacia hidrográfica do rio Santana.....	74
Figura 34 – Distribuição Normalizada de Vazões Máximas.....	76
Figura 35 – Gráfico de área x Q <sub>2,33</sub> .....	77
Figura 36 - Gráfico de Área x Q <sub>2,33</sub> .....	85
Figura 37 – Curva de permanência para o posto UEL Santa Cecília.....	87
Figura 38 – Curva de permanência para a precipitação média do método do polígono de Thiessen.....	87
Figura 39 – Comparativo final de curvas de permanência de estudos na bacia do rio Santana.....	88
Figura 40 - Medições de precipitação – Posto UEL SANTA CECÍLIA – 1954 a 1956.....	100
Figura 41 - Medições de precipitação – Posto Pedro do Rio – 1954 a 1956.....	101
Figura 42 - Medições de precipitação – Posto Taboas – 1954 a 1956.....	102
Figura 43 - Medições de precipitação – Posto Vigário – 1954 a 1956.....	103

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fator de Capacidade Médio em 2012. Fonte: EPE, 2016.....	15
Tabela 2 - Dados de Vazão e Cota - Posto Fluviométrico 59312500 - ANA.....	32
Tabela 3 - Cotas respectivas aos meses de junho a dezembro de 1954 – Posto 59312500.....	34
Tabela 4 - Cotas respectivas aos meses de janeiro a agosto de 1955 – Posto 59312500 .....	35
Tabela 5 - Cotas respectivas aos meses de setembro de 1955 a fevereiro de 1956 – Posto 59312500 .....	36
Tabela 6 - Cotas respectivas aos meses de março a agosto de 1956 – Posto 59312500 .....	37
Tabela 7 - Vazões respectivas aos meses de junho a dezembro de 1954. ....	38
Tabela 8 - Vazões respectivas aos meses de janeiro a agosto de 1955 .....	39
Tabela 9 - Vazões respectivas aos meses de setembro de 1955 a fevereiro de 1956 .....	40
Tabela 10 - Vazões respectivas aos meses de março a agosto de 1956.....	41
Tabela 11 - Dados específicos referentes aos postos pluviométricos para a bacia do Rio Santana .....	44
Tabela 12 - Temperatura média em (°C).....	45
Tabela 13 - Umidade relativa em (%) .....	46
Tabela 14 - Tabela adaptada de Hargreaves (1973). Fator de evapotranspiração potencial MF mensal.....	47
Tabela 15 - Parâmetros do modelo SMAP .....	49
Tabela 16 - Parâmetros de Procedimentos .....	50
Tabela 17 - Parâmetros de Funções de Transferência SMAP .....	52
Tabela 18 - Resultados para evapotranspiração potencial – Método Hargreaves – Postos Pirai e Ecologia Agrícola.....	62
Tabela 19 - Parâmetros de calibração do modelo SMAP – Polígono de Thiessen. ....	63
Tabela 20 – Parâmetros de Inicialização do modelo SMAP – Polígono de Thiessen.....	64
Tabela 21 – Parâmetros utilizados para inibição do reservatório de planícies.....	64
Tabela 22 - Parâmetros de calibração do modelo SMAP – Posto UEL Santa Cecília .....	67
Tabela 23 - Parâmetros de inicialização do modelo SMAP – Posto UEL Santa Cecília .....	67
Tabela 24 – Comparativo final modelo SMAP – Thiessen e UEL Satna Cecília .....	70
Tabela 25 – Distribuição de Gumbel - Vazão média diária máxima x Tempo de Retorno.....	75
Tabela 26 – Adimensionalização dos resultados.....	76
Tabela 27 – Resultado final de vazões máximas x Tempo de Retorno.....	78
Tabela 28 – Cálculos Estatísticos para o posto Petrópolis. ....	80



Tabela 29 - Cálculos Estatísticos para o posto Fazenda Sobradinho. ....	80
Tabela 30 - Cálculos Estatísticos para o posto Valença. ....	80
Tabela 31 – Assimetria da amostra de Q7,10 mínimas anuais. Posto Petrópolis.....	81
Tabela 32 - Assimetria da amostra de Q7,10 mínimas anuais. Posto Fazenda Sobradinho....	81
Tabela 33 - Assimetria da amostra de Q7,10 mínimas anuais. Posto Valença.....	82
Tabela 34 – Valores de vazões Q7 mínimas x Tempo de Retorno.....	82
Tabela 35 – Resumo dos resultados de vazões Q7 mínimas x Tempo de retorno .....	83
Tabela 36 – Adimensionalização em relação à Q2,33 dos resultados de vazões Q7 mínimas para os postos fluviométricos e cálculo de média final.....	84
Tabela 37 - Resultado de índice de cheias, Q2,33, para o cálculo de vazões Q7 mínimas. ....	85
Tabela 38 - Resultado final de vazões mínimas x Tempo de Retorno .....	86
Tabela 39 - Descrição dos parâmetros para o cálculo de garantia física da usina.....	88
Tabela 40 – Resultado de Garantia Física e Fator de Capacidade - UEL Santa Cecília. ....	90
Tabela 41 - Resultado de Garantia Física e Fator de Capacidade – Polígono de Thiessen.....	90
Tabela 42 – Resultado de garantia física e Fator de Capacidade. ....	91

## **1. Introdução**

O potencial hidrelétrico de uma bacia (ANEEL, 1998) corresponde ao total estimado que pode ser técnica, econômica ou ambientalmente aproveitado, considerando a configuração do sistema elétrico de referência, levando em conta os cenários de utilização múltipla da água. A concepção dos arranjos das alternativas, dimensionamento das estruturas, estimativa de custos e seleção do arranjo devem ser elaborados de forma objetiva visando o aproveitamento “ótimo” (PEREIRA, 2015).

A automatização de estudos de inventário através de modelos viabiliza uma maior abrangência da análise das alternativas, permitindo que estas sejam mais facilmente comparadas, contribuindo para um processo decisório com maior racionalidade.

A definição de bacia hidrográfica pode ser apresentada como uma área de captação natural da precipitação. Composta por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que convergem seus escoamentos para um ponto de saída, denominado exutório da bacia. (TUCCI,1993)

A modelagem em hidrologia propõe várias metas a serem cumpridas, tais como avaliação de reações de bacias, como por exemplo a avaliação de resposta de uma bacia dentro de uma estratégia e um sistema de planejamento detalhado, gestão e análise de interação entre sub-bacias (MAKSIMOVIC, 2001).

Um modelo matemático pode ser a representação de um sistema físico por meio de equações, ou seja, a representação do comportamento, esquema ou procedimento, que em um determinado intervalo de tempo relaciona-se com um valor de entrada, causa ou estímulo de energia ou informação, e uma de saída, efeito ou resposta de energia ou informação (TUCCI, 1987)

De acordo com Tucci (2005), as limitações básicas dos modelos hidrológicos encontradas são a qualidade dos dados de entrada, além da complexidade de representar alguns

processos e a simplificação do comportamento espacial de variáveis e fenômenos. O julgamento do processo físico é de fundamental importância, pois a análise das alternativas de uso e as conclusões tiradas dos resultados devem ser elaboradas para que o modelo tenha real utilidade.

A utilização de modelos chuva-vazão como ferramenta de simulação para estudos energéticos contribui para o planejamento seguro de empreendimentos de geração hidroelétrica. No Brasil é notável a carência de investimentos em sensoriamento remoto, de uma forma geral, visto a quantidade e distribuição ineficiente de postos fluviométricos e pluviométricos.

Desta forma, este estudo tem como objetivo a modelagem de vazões que contemplam o estudo de inventário do projeto de uma central de geração hidrelétrica denominada CGH Rio Power I, a ser implantada no rio Santana, município de Miguel Pereira, divisa com os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro. Como consequência desta proposta pretende-se identificar a alternativa mais segura em termos de energia firme.

## **2. Revisão Bibliográfica**

### **2.1. Balanço Hídrico**

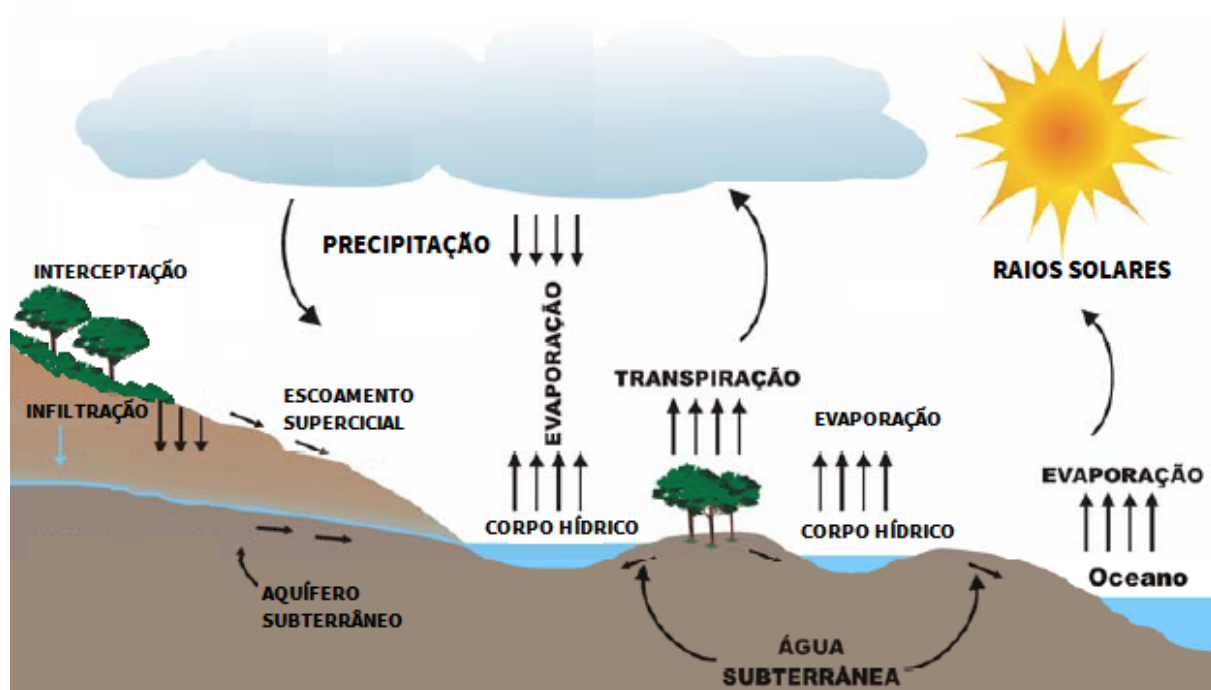
Segundo Tucci (1993) houve uma evolução da hidrologia para uma área de conhecimento onde os métodos quantitativos têm sido explorados por meio de metodologias matemáticas e estatísticas, antes uma ciência preminentemente descritiva e qualitativa. Desta forma, foi possível obter melhoramentos nos resultados gerados, bem como extrapolar de maneira mais precisa as informações existentes.

O desenvolvimento da Hidrologia tem sido influenciado por aspectos específicos de uso da água, como, por exemplo, atendimento da demanda de água (NRC, 1991). Logo, na sua esfera de utilização, estuda o comportamento físico da ocorrência e o aproveitamento da água na bacia hidrográfica. A quantificação da disponibilidade hídrica serve de base para projetos e planejamento dos recursos hídricos, como, por exemplo, produção de energia, controle de enchentes, etc. (TUCCI, 1993)

O ciclo hidrológico e seus diversos processos observados em uma bacia hidrográfica influenciam a geração de vazões, como pode ser visto na representação esquemática apresentada na figura 1. É um fenômeno global de circulação fechada de água entre a superfície terrestre e a atmosfera. O intercâmbio entre as circulações da superfície terrestre e da atmosfera ocorre em dois sentidos: partindo da atmosfera até a superfície, onde a transferência de água ocorre em qualquer estado físico e no sentido superfície terrestre para a atmosfera, ocorrendo principalmente na forma de vapor por evapotranspiração (TUCCI, 1993).

A umidade presente na atmosfera, majoritariamente transferida em forma de precipitação, atinge tanto oceanos quanto continentes. O processo de escoamento superficial perfaz, de maneira simplificada, o excedente da taxa de água que incide sobre uma superfície. Parte da precipitação é interceptada pela vegetação, infiltrada no solo ou escoada superficialmente conforme ação gravitacional seguindo as depressões do solo e, então, envolve-

se em vários e complicados processos hidrológicos, como, por exemplo: precipitação, interceptação da água pela vegetação, infiltração pelo perfil do solo, percolação, evaporação da água do solo, absorção por raízes e evapotranspiração pela vegetação, que constituem parte do ciclo hidrológico (MIRANDA, 2016).



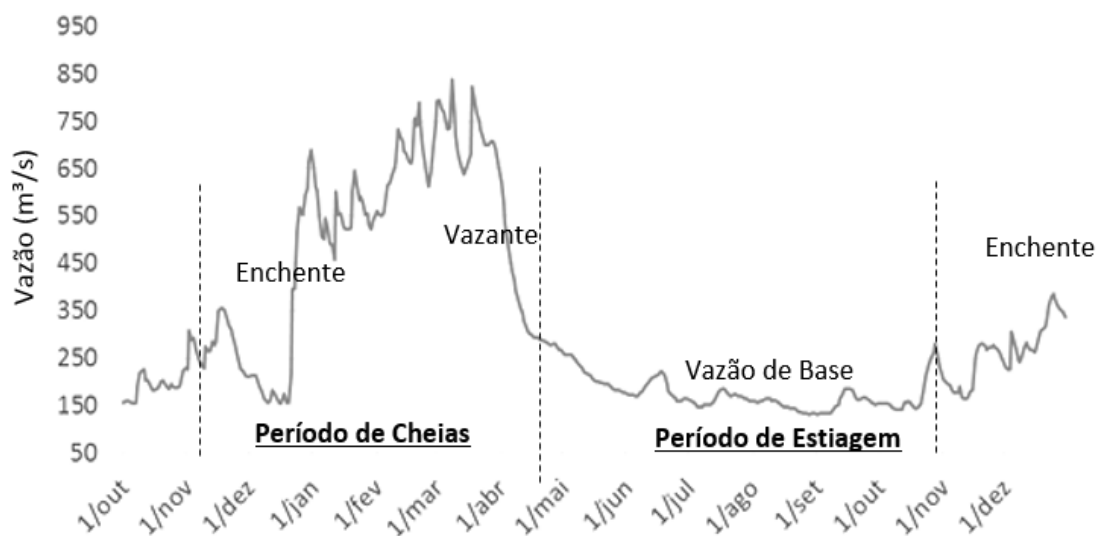
**Figura 1** - Representação esquemática e simplificada do ciclo hidrológico. (BUCHIANERI, 2004)

A interceptação do volume precipitado é um papel importante da vegetação no balanço hídrico, diminuindo o total de chuva que chega à superfície do solo. A vegetação exerce importância significativa no processo de interceptação e redistribuição da chuva, que consiste no gotejamento ao solo, escoamento pelo tronco e evapotranspiração direta. Contudo, o efeito de diminuição da transpiração, gerado pelo corte e redução de vegetação, pode acarretar modificações no microclima da região e efeitos locais sobre a hidrologia. Desta forma, o conhecimento das taxas anuais de evapotranspiração é de suma importância pois afeta o rendimento hídrico na bacia hidrográfica através do consumo de água pela vegetação (LIMA, 1996).

Logo, após o processo de interceptação da vegetação, de infiltração, que contribui para o escoamento de base dos rios alimentando o lençol freático e aquíferos subterrâneos mais profundos, e de saturação do solo, onde este tem seus vazios preenchidos pela água (saturação), ocorre o escoamento superficial que, ao atingir o limite de armazenamento das irregularidades do solo, passa a escorrer sob ação gravitacional percorrendo o relevo até alcançar o corpo hídrico receptor. Assim, as características fisiográficas combinadas aos processos hidrológicos e características climatológicas são responsáveis pela forma do escoamento em uma bacia até atingir seu exutório.

O escoamento acontece em duas fases importantes para diversos tipos de planejamento de recursos hídricos e uso da água: no período de cheia, que está associado ao início e término da estação chuvosa do ano hidrológico e caracteriza-se pela ascensão dos níveis d'água, chamada enchente, e posterior redução, denominada vazante, até retornar para a vazão de base, alimentada por sua vez pelo lençol freático, caracterizando o período de estiagem.

A figura 2 apresenta um hidrograma anual do rio Paraíba do Sul entre os anos de 1966 e 1967 no trecho próximo à cidade de Cachoeira Paulista – SP onde é possível observar o fenômeno natural descrito anteriormente.



**Figura 2** - Hidrograma anual do rio Paraíba do Sul entre os anos de 1966 e 1967 na cidade de Cachoeira Paulista – SP (MIRANDA, 2016)

## 2.2. Método dos Polígonos de Thiessen

Uma grande quantidade de métodos para interpolação de dados de precipitação é proposta. O método dos polígonos de Thiessen considera a não-uniformidade da distribuição espacial dos postos na bacia, mas não leva em conta o relevo da bacia (BERTONI E TUCCI, 1993). Neste método utiliza-se a precipitação média na superfície considerada, partindo de precipitações na área e em sua vizinhança.

Entende-se por precipitação média uma altura uniforme de lâmina de chuva cobrindo uma determinada área de estudo, associada a um intervalo de tempo. Isso não deixa de ser uma abstração (SANCHEZ, 1986), visto que a chuva ocorre dependendo diversos fatores, com variações de distribuição espaciais e temporais.

O método gera polígonos definindo áreas para cada posto pluviométrico considerado para a bacia. Os postos são unidos por trechos retilíneos e linhas perpendiculares são traçadas na metade destes trechos entre os postos. Estas linhas prolongadas interceptam-se determinando o polígono referente a cada posto e, desta forma, sua área de influência, que atribui um peso a

ser contabilizado para cada posto no cálculo da precipitação média. A figura 3 apresenta o traçado do método do polígono de Thiessen aplicado em um modelo de bacia hidrográfica.

*O método dá bons resultados em terrenos levemente acidentados, quando a localização e exposição dos pluviômetros são semelhantes e as distâncias entre eles não são muito grandes. Facilita o cálculo automatizado, já que uma vez estabelecida a rede, os valores de  $A_i$  permanecem constantes, mudando apenas as precipitações  $P_i$  (BERTONI & TUCCI, 1993).*

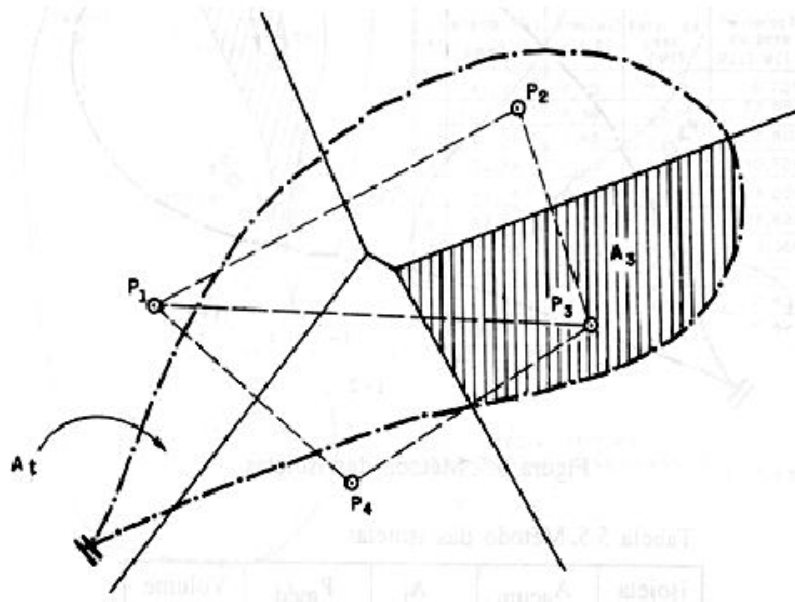
A precipitação média é calculada a partir da seguinte fórmula, descrita em Tucci (1993):

$$P_m = \frac{1}{A} \times \sum A_i P_i$$

$A_i$  – Área de influência do posto  $i$

$P_i$  – Precipitação registrada no posto  $i$

$A$  – Área total da bacia



**Figura 3** – Polígono de Thiessen. Fonte: Tucci, 1993.



### **2.3.Regionalização**

A escassez de investimentos em sensoriamento remoto de regiões e bacias hidrográficas no Brasil, além da grande dimensão do território nacional, dificulta estudos em diversas áreas, prejudicando o desenvolvimento correto de projetos de engenharia e de cunho acadêmico. Regiões com maior interesse de estudo possuem, geralmente, séries de dados mais confiáveis e mais longas, sendo estas regiões com alto índice de enchentes e problemas de drenagem, deslizamentos, ou de interesses de geração energética, por exemplo.

A dificuldade de obtenção de dados para o desenvolvimento de estudos em recursos hídricos resultou na elaboração de formas de transferência de informações de um local para outro. A otimização das informações é necessária visto o alto custo de implantação, operação e manutenção de redes hidrométricas (TUCCI, 1993).

Regionalização é o processo em que uma área é dividida em regiões hidrológicas com diferenças em resposta de vazão e em fatores que afetam o regime fluvial. Este método é mais efetivo quando as regiões possuem uma similaridade em seu comportamento hidrológico, sendo consideradas são homogêneas (CHOQUETTE, 1988).

Tucci (1993), descreve regionalização como um conjunto de ferramentas que exploram o máximo as informações existentes, visando estimar variáveis hidrológicas mesmo em locais com escassez de dados. Pode ser usada para extrapolar amostras, verificar a consistência de séries hidrológicas, entre outros.

Em vistas de estudos hidrológicos, o agrupamento de bacias pequenas, médias ou grandes e a escolha de postos de acordo com a área de cada uma, não resultou, de acordo com estudos anteriores (NERC, 1975 e CRESPO, 1982), em uma resposta de comportamento distinto. Desta forma, a área de drenagem das bacias pode ser utilizada como fator de decisão para a escolha das regiões no estudo (Figura 4).



**Figura 4** - Regionalização proposta por Loureiro (1984). Fonte: Portela e Dias, 2003,

O processo de regionalização em hidrologia pode ser elaborado para seguintes estudos, como descrito em Tucci (1993):

- Funções estatísticas de variáveis hidrológicas, que compreende curva de probabilidade de vazões máximas, médias ou mínimas; curva de probabilidade de precipitação máxima entre outras;

- Funções específicas que relacionam variáveis, como curvas de regularização, curva de infiltração, curva de permanência
- Parâmetros de modelos hidrológicos, que compreende características do hidrograma unitário, parâmetros de outros modelos hidrológicos.

Destacam-se três tipos básicos de métodos correspondentes à regionalização de funções estatísticas:

**a)** Método que regionaliza parâmetros de uma distribuição estatística.

Considera que a distribuição estatística ajusta de maneira plausível os dados dos postos da região de estudo. Após o ajuste dos dados de cada bacia e da definição de parâmetros para as distribuições de cada bacia, que serão relacionados com as características físicas e meteorológicas das bacias, são obtidas funções que permitem a obtenção de novos parâmetros para locais onde não existem dados suficientes e as correspondentes vazões.

Parâmetros " $\mu$ " e " $\beta$ " e posteriores funções obtidas por regionalização.

$$\mu = f_1(A, P, S, \dots)$$

$$\beta = f_1(A, P, S, \dots)$$

onde:

A = Área

P = Precipitação

A = Declividade

**b)** Método que regionaliza a vazão com um determinado risco.

Distribuições de vazões são ajustadas para diferentes fluviômetros, onde são selecionados diferentes valores para tempos de retorno de interesse do estudo.

$$Q_{T_m}^n = g_n(\mu_n, \beta_n, T_m, \dots)$$

Onde " $\mu$ " e " $\beta$ " são parâmetros da distribuição estatística de ajuste de diferentes postos relacionados com as características físicas e meteorológicas de cada bacia. O índice superior indica o posto e o inferior o tempo de retorno e  $g_i(\mu_n, \beta_n, T_m, \dots)$  é a solução da equação  $\int_{g_i}^{\infty} p(xi) dxi = 1/T$ .

As equações que relacionam os parâmetros de cada bacia e o tempo de retorno de interesse resultam em valores de vazão para cada posto e, com base nos valores obtidos através de regressão obtêm-se equações no formato apresentado a seguir, estabelecendo a relação entre característica:

$$Q_{T_1} = G_1(A, P, S, \dots)$$

onde  $G_j$  é a equação de regressão para o tempo de retorno  $T_j$ .

- c) Método que regionaliza uma curva de probabilidade adimensional e o fator de adimensionalização.

O método estabelece uma curva adimensional regional média de postos com a mesma tendência ou comportamento hidrológico. Elabora-se curvas de distribuição regional individuais para cada posto, realizando então a média e obtendo-se uma equação expressa da seguinte forma:

$$F_1(Q_T/Q_m) = 1/T$$

onde:

$F_1$  = curva regional de probabilidade

$T$  = tempo de retorno

$Q_m$  = valor médio

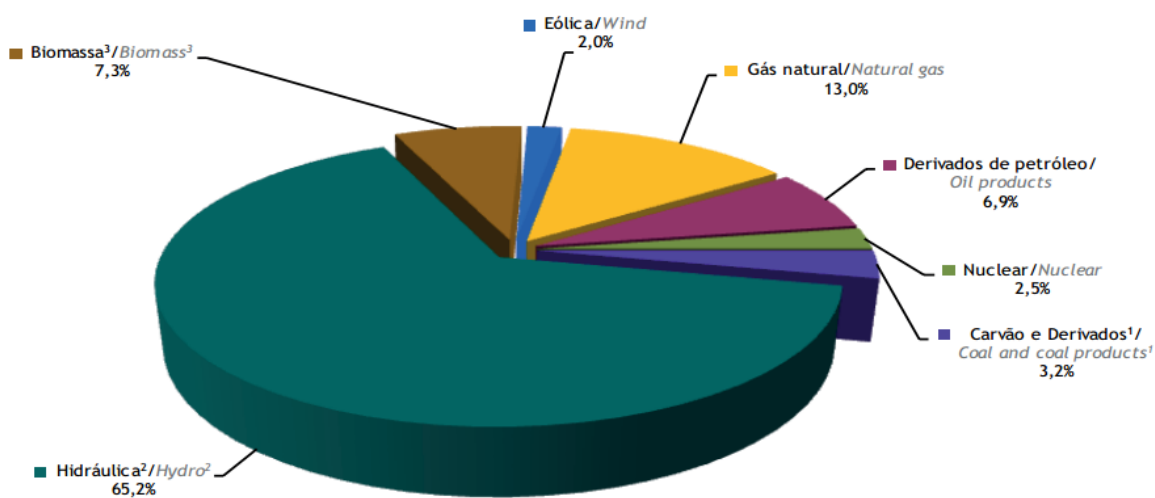
$Q_T$  = valor com tempo de retorno

$Q_m = F_2(A, P, S, \dots)$ , onde  $F_2$  representa a equação de regressão.

## 2.4. Centrais geradoras de energia

Ao longo das últimas décadas, centenas de usinas hidrelétricas de todos os portes foram construídas no Brasil, sendo que as centrais hidrelétricas de pequeno porte foram os embriões deste desenvolvimento e recentemente assumiram papel de destaque com reestruturação ocorridas no setor elétrico em meados da década de 90. Além disso, a possibilidade de inserção do capital privado na atividade de geração levou ao aumento do número de empreendimentos enquadrados como Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) (ELETROBRÁS, 2000).

A energia hidráulica, gerada pelo aproveitamento do fluxo das águas em uma usina, representa um papel relevante na oferta de energia elétrica no mercado brasileiro, como pode ser notado na oferta de fontes primárias para geração elétrica no Sistema Interligado, apresentada na figura 5.



**Figura 5** -Oferta interna de energia elétrica por fonte – Fonte: Balanço Energético Nacional 2015 – EPE.

De acordo com critérios da Aneel/Eletrobrás (PEREIRA, 2015), a classificação das usinas hidrelétricas é determinada com base em sua potência instalada, que é definida como a capacidade bruta resultante do somatório das potências elétricas ativas nominais das unidades geradoras principais da central, de acordo com a resolução 583, de 22 de outubro de 2013. A primeira categoria, das Centrais Geradoras Hidrelétricas, foi modificada com limite superior de 1 MW para 3 MW, de acordo com a Lei 13.097, sancionada em 19 de janeiro de 2015. Esta classificação possui três categorias, apresentadas a seguir:

- Centrais Geradoras Hidrelétricas, com potência instalada menor que 3 MW.
- Pequenas Centrais Hidrelétricas, entre 3 MW e 30 MW.
- Usina Hidrelétrica de Energia, com potência instalada superior a 30 MW.

As usinas hidrelétricas de pequeno porte representam uma das principais alternativas quanto ao aumento da oferta de energia elétrica no Brasil. Esse tipo de empreendimento possibilita um melhor atendimento às necessidades de carga de pequenos centros urbanos e regiões rurais, promovendo e se articulando com o desenvolvimento regional (ANEEL, 2005), além de favorecer à geração descentralizada de energia elétrica e garantir uma maior independência para os empreendedores que tomam partido de sua utilização provendo atendimento energético além do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Estudos que iniciam com dados preliminares de hidrologia e topografia até a geração de energia dependem de conhecimentos interdisciplinares e diversos profissionais que são determinantes para a elaboração de um projeto estruturalmente seguro e com garantia de geração definida em contrato.

As etapas de estudos e projetos de um aproveitamento hidrelétrico são definidas de acordo com o “Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas”.

- Estimativa do potencial hidrelétrico.

Etapa de diagnóstico da bacia, identificando as características gerais como topografia, geologia, aspectos hidrológicos e potencial hidroenergético. Consiste em uma avaliação preliminar a partir de dados existentes.

- Inventário hidrelétrico.

Concepção e análise das variadas alternativas de divisão de quedas para o aproveitamento, visando identificar a alternativa de aproveitamento “ótimo” a serem implantadas. Os estudos ambientais relacionados à Avaliação ambiental integrada (AAI) também se encontram nesta etapa desde 2006 (PEREIRA, 2015).

- Estudos de viabilidade econômica.

Estudos mais detalhados são elaborados para análise minuciosa de viabilidade energética, técnica, econômica e socioambiental, múltiplo uso das águas, definindo desta forma os Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) para obtenção de Licença Prévia (LP).

- Projeto Básico.

Após a licitação do empreendimento, nesta etapa ocorre a otimização das características técnicas do projeto, especificações técnicas das obras e equipamentos eletromecânicos. O projeto básico ambiental é elaborado para detalhar as recomendações presentes no EIA, para a obtenção de licença de instalação (LI).

- Projeto Executivo.

Nesta fase são tomadas medidas para a implantação do reservatório, implementação de programas socioambientais para requerimento de licença de operação. Etapa de detalhamento de desenhos de engenharia referentes às obras civis e equipamentos eletromecânicos, correspondentes à execução da obra e montagem das instalações de geração.

Relacionando as características térmicas de uma usina, a configuração do sistema hidrotérmico e as vazões afluentes aos reservatórios, têm-se um parâmetro importante para os estudos de viabilidade de um projeto hidrelétrico e para projetos de expansão da geração. Este parâmetro denomina-se Fator de Capacidade. Com base no histórico de geração brasileiro, o Fator de Capacidade médio considerado é de 0,55% (EPE, 2016). Encontra-se na tabela 1 o fator de capacidade médio de regiões do planeta de um modo geral.

**Tabela 1** – Fator de Capacidade Médio em 2012. Fonte: EPE, 2016.

<b>Região</b>	<b>Fator de Capacidade Médio (%)</b>
América do Norte	<b>47</b>
América Latina	<b>56</b>
Europa	<b>39</b>
África	<b>48</b>
Ásia e Oceania	<b>38</b>
Oriente Médio	<b>18</b>
Mundo	<b>42</b>

Segundo Pereira (2015), uma hidrelétrica é composta basicamente por um barramento, para criar a carga hidráulica; um vertedouro, para controle de excesso de vazão além do turbinado; uma tomada d'água, conduto forçado e casa de força; e um canal de fuga, para restituição da vazão turbinada para o curso natural do rio. São diversas as alternativas para um determinado local que têm potencial de geração de energia, que dependem das características topográficas e geológico-geotécnicas.



## 2.5. Energia Firme, energia assegurada e garantia física

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2005), a energia firme de uma usina consiste na máxima produção contínua de energia que pode ser obtida, supondo a ocorrência da série de vazões no período de maior estiagem constante no histórico de vazões do corpo hídrico onde está instalada.

De acordo com o Operador Nacional do Sistema (ONS), a energia Firme é a energia média gerada no período crítico do SIN com configuração apenas hidráulica.

O setor elétrico utilizou na década de 1970 o critério de energia firme como conceito de expansão de oferta de energia elétrica fornecida ao mercado. O critério estabelece:

*"Através de uma simulação da operação hidrotérmica do parque gerador, o sistema elétrico deverá ser capaz de atender ao mercado projetado sem déficits de energia no caso de ocorrência de qualquer das sequências de vazões existentes no registro histórico"(Eletrobras;Aneel, 1997) (PEREIRA, 2015)*

Segundo Pereira (2015), energia firme de um sistema é a maior carga contínua (crítica) que a configuração de geração pode atender considerando o critério de energia firme, ao longo do período crítico. Define ainda período crítico como a sequência de meses em que a geração de energia atende à energia firme sem dispor de sobras e déficits, passando do nível de armazenamento máximo para mínimo neste período. Designa-se energia firme local a energia média de uma usina no período crítico.

O conceito de energia firme de uma usina hidrelétrica, segundo Kelman (2004), mudou após a reforma no setor elétrico. Antes da reforma o conceito era usado em estudos econômicos de dimensionamento, onde havia um valor de energia firme para cada alternativa de reservatório e então comparava-se com o custo da obra. Critérios probabilístico foram acrescentados e utilizados de maneira a dar maior segurança e acurácia nas decisões de atendimento da demanda em situações de maior escassez de água, e, após a reforma do setor, passaram a ter um grande impacto comercial. Desta forma, passou a ser considerado o certificado de energia assegurada

(CEA), energia firme calculada com critérios probabilísticos a partir de simulações dos anos hidrológicos.

A quantidade máxima de energia que as usinas hidrelétricas, termelétricas e projetos de importação de energia podem comercializar é a sua garantia física, conforme estabelecido na Lei nº 10.848 de 15 de março de 2004 e regulamentada pelo art. 2º do Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004.

Segundo o artigo 1º da Portaria MME nº 463 de 03/12/2009:

*Estabelecer a metodologia para o cálculo dos montantes de garantia física de energia de usinas hidrelétricas não despachadas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, para fins de participação no Mecanismo de Realocação de Energia - MRE, inclusive para fins de participação nos Leilões de Compra de Energia Elétrica.*

Com o intuito de garantir a segurança na oferta e confiabilidade no montante total de energia das usinas hidrelétricas, as garantias físicas passam por um processo de revisão em consonância com o Decreto nº 2.655/1998. Esta revisão, denominada revisão ordinária, acontece a cada 5 anos (EPE, 2016).

O Decreto ainda determina limites de redução pós revisão:

- Limite 1: 5% do valor estabelecido na última revisão
- Limite 2: 10 % do valor de base (Constante no contrato de concessão vigente)

O cálculo para a revisão de garantia física é determinado pelo Decreto 5.163 de 30 de junho de 2004, Art. 4, § 2: “O MME, mediante critérios de garantia de suprimento propostos pelo CNPE (Conselho Nacional de Política Energética), disciplinará a forma de cálculo da garantia física dos empreendimentos de geração, a ser efetuado pela Empresa de Pesquisa Energética EPE, mediante critérios gerais de garantia de suprimento”.

Desta forma, a garantia física de uma usina é corrigida para 95% do valor da garantia física vigente ou última revisão para os casos pós revisão que apresentarem uma redução maior que 5%. Adicionalmente, não se deve ultrapassar o limite de redução de 10% do valor de garantia física assinado no ato da concessão.

Casos de revisão extraordinária são previstos para processos de modernização de usinas ou quaisquer fatos relevantes. Logo, em ambas as revisões citadas, pode ocorrer somas aos montantes vigentes em benefício indireto e acréscimos/decréscimos de garantia física (Portaria 861/2010). Estas alterações devem ainda estar em consonância com a Portaria MME nº 101, de 22 de março de 2016, que limita o montante total de garantia física de energia ao valor de sua disponibilidade máxima de geração contínua (EPE, 2016).

As PCH's não despachadas centralizadamente (SIN – Sistema Interligado Nacional), de acordo com a Medida Provisória nº 735 de 2016, estarão excluídas dos critérios limitantes apresentados acima, relacionados a redução máxima de garantia física pós revisão ordinária/extraordinária. Contudo, considerando que anteriormente a legislação era rígida para usinas de pequeno porte, sem a penalização associada ao desempenho das usinas, podem ocorrer deficiências no método de avaliação de novos empreendimentos (PSR,2016).

Ressalta-se que a obrigação do poder concedente de estabelecer a energia assegurada e os respaldos físicos para a contratação de energia elétrica foi preceituada no art.1º, inciso X, da Lei nº 10.848, de 15 de março 2004, que estabelece que seu regulamento deverá dispor sobre os critérios gerais de garantia de suprimento de energia elétrica que assegurem o equilíbrio adequado entre confiabilidade de fornecimento e modicidade de tarifas e preços, a serem propostos pelo Conselho Nacional de Política Energética - CNPE.

No caso de superestimação da garantia física, o proprietário é exposto financeiramente ao contratar (vender) 100% da garantia física com terceiros, ocorrendo o enriquecimento sem

causa, assunto tratado no Código Civil de 1916, no Título II – Dos efeitos das obrigações –, Capítulo II, Seção VII (Arts. 964 a 971), presente no ordenamento jurídico brasileiro.

De outro modo, a subestimação resulta na hipótese de confisco por parte do MME, impedindo que as usinas explorem comercialmente seu real potencial de geração.

O cálculo de garantia física deve ser feito de maneira a evitar multas durante o período de geração, uma vez que projetos estão sendo realizados com potencial superestimado, apresentando resultados que diferem do possível potencial de geração de bacias. O CEA é de grande importância para que o sistema ofereça confiabilidade e atenda à demanda, representando de forma realista a capacidade de geração brasileira. (KELMAN, 2004).

## **2.6. Modelos hidrológicos**

Desde o instante em que o homem buscou planejar seus empreendimentos, buscou-se elementos para tratar a aleatoriedade dos processos naturais, visto que suas atividades dependem disso. Os processos hidrológicos são aleatórios, não sendo possível conhecer a evolução dos valores de temperatura, vento, insolação, precipitação, evaporação, vazão em determinada seção fluvial, ao longo do tempo ou do espaço. Desta forma, a utilização de probabilidade e estatística surgem como ferramenta para solucionar este viés (CLARKE, 1993).

### **2.6.1. Definição de modelos hidrológicos**

Os fenômenos hidrológicos são tratados pela estatística e pela teoria das probabilidades, a partir de dados observados, de maneira a representá-los em determinada escala de interesse, mas não na escala em que realmente acontecem (CHEVALLIER, 1993).

Desta forma, um modelo hidrológico visa melhor entender e representar os diferentes processos de uma bacia hidrográfica. Estruturar dados, estudar as respostas do local, determinar a precisão usada na entrada de parâmetros e variáveis, definir a significância do peso na variabilidade espacial e temporal das características físicas para encontrar um grau de precisão em um período específico de tempo (DE COURSEY, 1985).

Para avaliar e medir fisicamente os parâmetros presentes no balanço hídrico, segundo a formulação simples da conservação de massa abaixo apresentada, uma simplificação é feita habitualmente para obter-se um sistema hidrológico bem definido.

$$\text{ENTRADAS} + \text{ARMAZENAMENTO INICIAL} = \text{SAÍDAS} + \text{ARMAZENAMENTO FINAL}$$

Desta simplificação têm-se a bacia hidrográfica, área de captação natural de precipitação que converge para um único ponto de saída, denominado exutório. Pode ser considerada um

sistema físico onde o volume de água precipitado é a entrada e o escoado é a saída, além de perdas intermediárias por evaporação, transpiração e infiltração profunda (CHEVALLIER, 1993).

Os modelos de simulação hidrológica existentes buscam representar quantidade de água, qualidade de água, assoreamento de rios e reservatórios, carga sólida, entre outros. Pode-se citar SisBAHIA (ROSMAN, 2005) e SWMM (ROSSMAN, 2010) e SWAT (KING *et al.*, 1996). O processo de simulação possui uma etapa imprescindível que define a validade da simulação e previsão dos fenômenos a serem representados: calibração (ou ajuste) e validação.

- **Calibração** – Etapa em que o modelo é ajustado, tendo seus parâmetros determinados, comparando-se diretamente com dados do histórico.
- **Validação** – Simulação do modelo com os parâmetros anteriormente ajustados. Verifica-se a validade do ajuste através da simulação e comparação com dados do histórico.

Segundo Tucci (2005), os modelos chuva-vazão surgiram com a necessidade de se obter séries de vazões mais longas e representativas para os projetos de engenharia de recursos hídricos. A partir de sua utilização, pode-se estimar valores de vazão relacionados ao histórico existente de dados observados, extrapolando com boa precisão, dependendo da qualidade dos dados aferidos e da experiência do hidrólogo, após a calibração e validação do modelo, além da complementação de falhas de leituras de postos fluviométricos, análise de disponibilidade hídrica, hidrograma de previsão de cheias, etc.

Os modelos utilizam parâmetros que visam representar o ambiente real da bacia hidrográfica em estudo, que podem ser estimados a partir de medições de campo a partir das

características físicas da bacia ou, devido ao grau de abstração considerado, sendo feito por ajustes tendo como base os dados de entrada e saída do modelo.

Para então estimar os valores dos parâmetros, Tucci (1998) propõe os seguintes métodos:

- Estimativa por falta de dados: com a inexistência de dados sobre as variáveis, pode-se estimar os valores de parâmetros com base nas características do sistema com um intervalo de variação possível encontrado na literatura.
- Ajuste por tentativas: a partir comparação entre os valores de entrada e saída do modelo pode-se ajustar os parâmetros, até que os valores comparados estejam o máximo semelhantes possível.
- Ajuste por otimização: através de métodos matemáticos e otimização de funções objetivo, atinge os melhores valores para os parâmetros comparando os dados de entrada e saída até que estes estejam com valores semelhantes.

Segundo Cleary (1998), os modelos alargam informações, mas não produzem números inquestionáveis. Eles procuram representar uma versão simplificada do que frequentemente é um sistema complexo e seus resultados são imperfeitos. Invariavelmente, quando se usam em conjunto com experiências e com dados de campo, eles auxiliam na tomada de decisões técnicas de maneira mais segura do que por outros meios. São particularmente úteis quando muitas alternativas são comparadas dentro de uma mesmo contexto, de modo que, enquanto os dados numéricos de qualquer alternativa única podem não ser exatos, resultados comparativos são usualmente válidos.

A utilização de modelos matemáticos hidrológicos é baseada em três condições fundamentais: objetivos do estudo, dados disponíveis e metodologia proposta. O nível de precisão é determinado pelo objetivo da modelagem em representar os fenômenos. Esta precisão depende da quantidade e qualidade dos dados disponíveis. Desta forma, um modelo hidrológico está

relacionado com o objetivo do estudo, que definirá o nível de precisão desejado, estando implícitas as questões relativas à disponibilidade dos dados (TUCCI, 1987).

Neste Trabalho de conclusão de curso foi utilizado o modelo SMAP (*Soil Moisture Accounting Procedure*) para simular o comportamento de resposta da bacia do Rio Santana e gerar a série histórica de vazões. Este programa já é utilizado há bastante tempo no estudo hidrológico para inventário de hidrelétricas pelo Operador Nacional do Sistema (ONS) e foi desenvolvido para o uso em projetos de engenharia.



### **2.6.2. Classificação dos modelos Hidrológicos**

A classificação de um sistema pode ser baseada em diversos critérios. O modelo que o representa não necessariamente compartilha das mesmas características, dependendo então das simplificações que foram adotadas para a escala de interesse.

Geralmente os modelos são classificados de acordo com o tipo de variáveis utilizadas, sendo estocásticos ou determinísticos, a existência ou não de relações espaciais (concentrados ou distribuídos), a forma de representação dos dados (discretos ou contínuos), o tipo de relação entre as variáveis, definindo entre empíricos ou conceituais, e a existência de dependência temporal, distinguindo entre estacionários ou dinâmicos.

Segundo Chow (1994), o modelo é estocástico se a chance de ocorrência das variáveis é levada em consideração; o conceito de probabilidade é introduzido no modelo. Têm sido muito utilizados em hidrologia para representar inferir sobre as variáveis dos processos ou complementar os modelos determinísticos.

O modelo determinístico segue uma lei que não a das probabilidades, de tal forma que a chance de ocorrência das variáveis envolvidas no processo é ignorada. De acordo com Dooge (1973), o modelo determinístico reproduz respostas idênticas para o mesmo conjunto de entradas enquanto o estocástico tem um relaciona a entrada e a saída de maneira estatística.

Uma das principais classificações de sistemas e modelos na simulação hidrológica consiste na distinção entre empírico ou conceitual. Modelos empíricos utilizam relações baseadas em observações, sendo, em geral, bastante simples e pouco robustos, pois atendem especificamente uma determinada região na qual as relações foram estimadas. A definição de modelo conceitual, por outro lado, utiliza da representação dos processos físicos nas funções utilizadas para a modelagem, sendo, geralmente, mais complexo que o empírico, pois procura descrever todos os processos envolvidos em um determinado fenômeno.

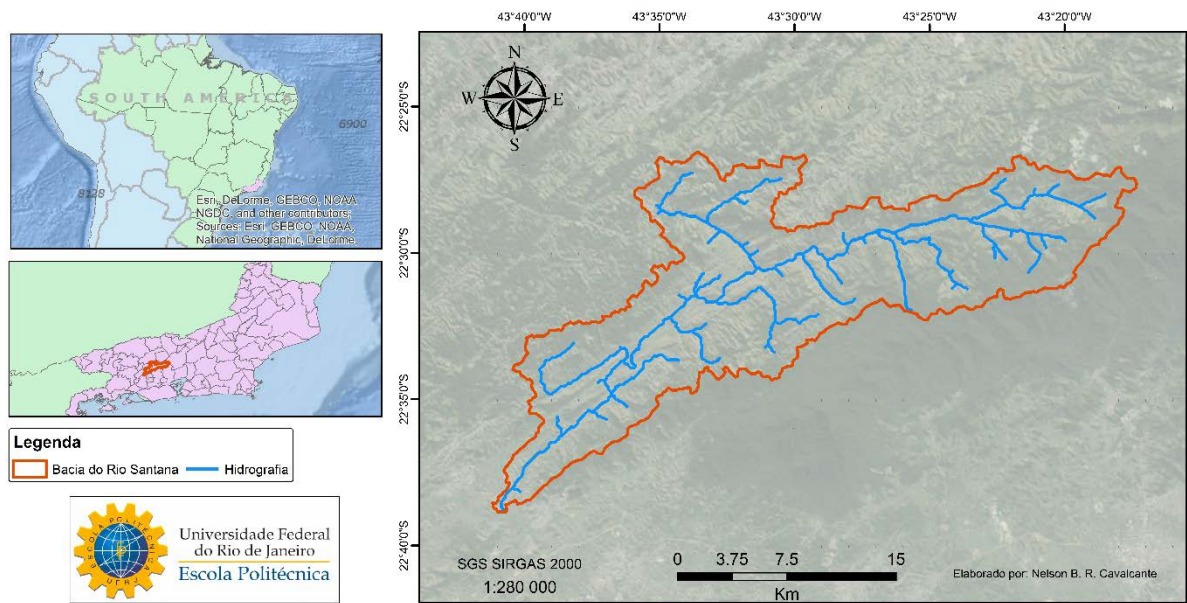
Para modelos que não levam em consideração variabilidade espacial, define-se concentrado. A área é representada de forma única, onde as variáveis hidrológicas e parâmetros são considerados médios para toda a região estudada. Modelos distribuídos permitem discretização espacial e consideram que a área em estudo seja dividida em unidades menores e as variáveis do modelo dependem, assim, do espaço e/ou tempo (COHN, 2014).

Classificam-se modelos como estacionários quando os parâmetros do fenômeno representado não variam com o tempo. Pelo contrário, um modelo dinâmico apresenta seus parâmetros em função do tempo.

### 3. Material e método

#### 3.1. Caracterização da Bacia do Rio Santana

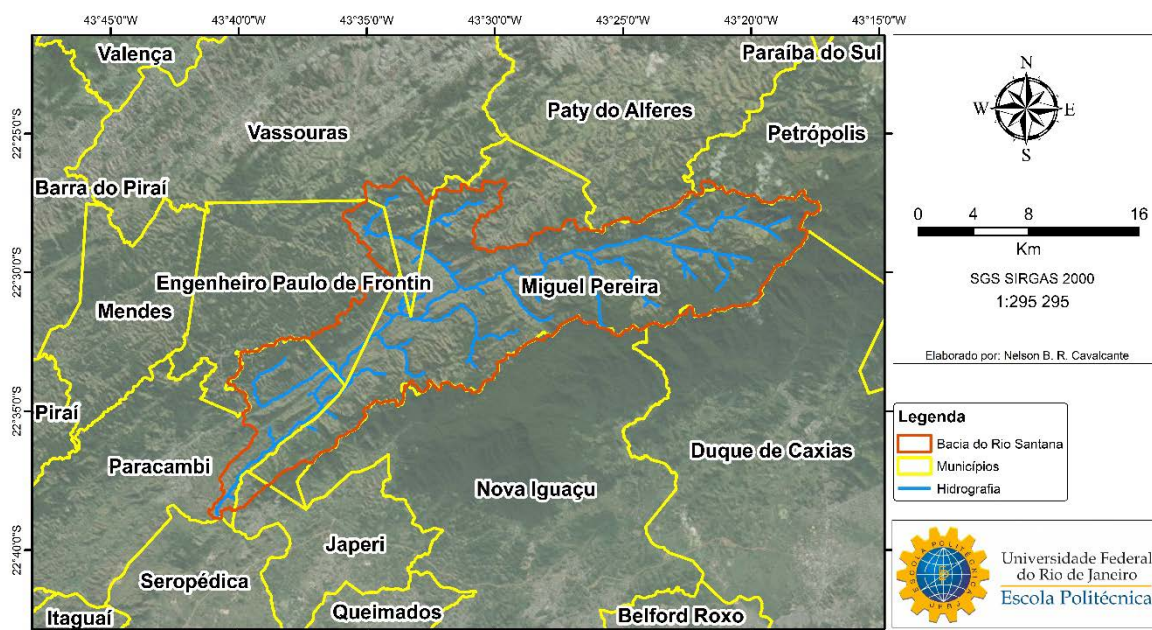
O município de Miguel Pereira está localizado cerca de 10 km ao sudoeste da cidade do Rio de Janeiro na Região Centro-Sul Fluminense (Figura 6), possuindo uma área de 289,2 km<sup>2</sup>, com uma população estimada em 24.829 habitantes (TCE-RJ-2015). Situado no estado do Rio de Janeiro, teve uma atividade de planejamento similar ao da maioria dos municípios. O crescimento sem planejamento pré-estabelecido gerou uma diminuição considerável da cobertura florestal ao longo do tempo. Antes de uma ocupação desordenada o município era composto quase em sua totalidade por Floresta Atlântica, que foi reduzida para 57% até a ano de 1994 e para 38% em 2001 (TCE-RJ,2004).



**Figura 6** – Localização e Delimitação da bacia do rio Santana

No município de Miguel Pereira encontra-se a bacia do Rio Santana, que possui cerca de 319 km<sup>2</sup>, sendo delimitada pelas Serras do Pau Ferro, de Miguel pereira, Cruz das Almas, do couto e Bandeiras. O rio Santana nasce na Serra do Couto, a 1.200 m de altitude, e percorre

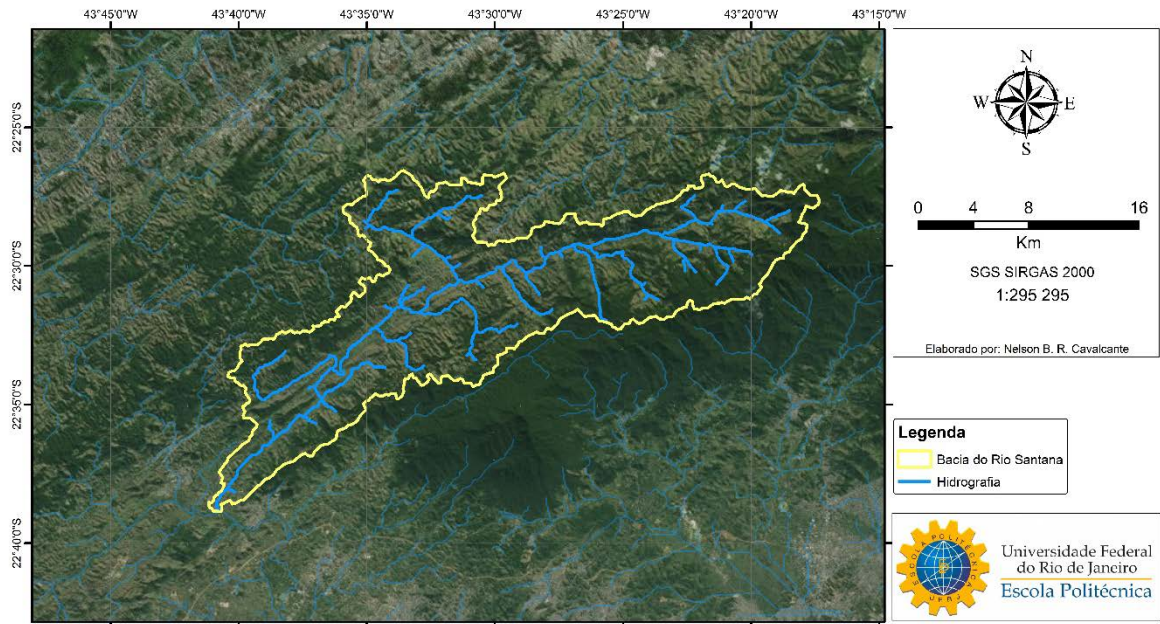
cerca de 50 km até o encontro com o Ribeirão das Lajes, na cota de 30m, onde dá origem ao Guandu. Como apresentado na figura 7, abrange os municípios de engenheiro Paulo de Frontin, Japeri e Paracambi na parte baixa e Miguel Pereira, Petrópolis e um pequeno trecho em Nova Iguaçu, na parte alta (SEMADS 2001).



**Figura 7** – Bacia do rio Santana região limítrofe entre Municípios.

Nascendo na Serra do Couto, parte da Serra do Mar, em altitudes superiores a 1.200 m, o Rio Santana corre trecho íngreme de cabeceiras, descendo o vale em formato de “V”. O leito é uma mescla de rochas de diversos tamanhos com areia entremeada, alternando pequenas corredeiras e remansos. Continua na direção nordeste a partir de Governador Portela em altitude maior que 600m, ainda na região Serrana, onde se encaixa em fraturas e, após sua confluência com o Rio Facão, alarga-se moderadamente até as proximidades de Arcádia, já na altitude de aproximadamente 180m, no sopé da Serra do mar. O vale começa a se ampliar e pouco à jusante, em Santa Branca, em altitude de 80 m, apresenta um plano de várzea bastante alargado e revestido por pastagens. Seguirá por mais 21 km até encontrar o Ribeirão das Lajes, correndo

em vale aberto e de fundo chato até a cidade de Japeri, a 30m de altitude, onde encontra as águas do Ribeirão das Lages (SEMADS, 2001).

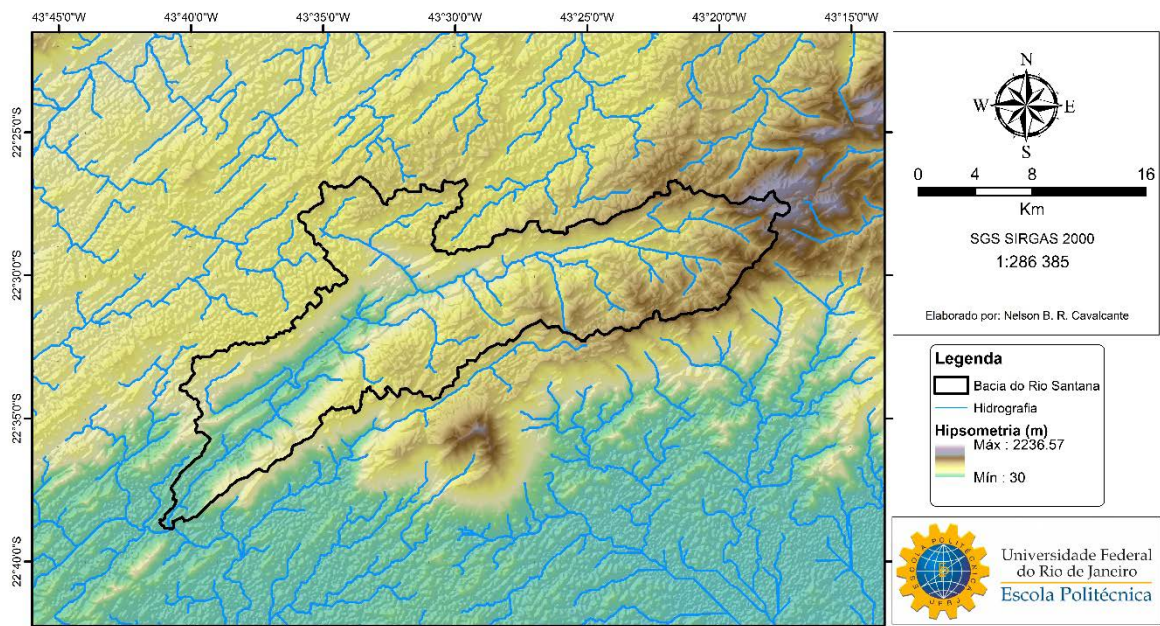


**Figura 8** - Delimitação da Bacia do rio Santana e Hidrografia

A delimitação da bacia do Rio Santana (Figura 8) foi realizada a partir do exutório do curso principal, ponto de afluência no Rio Guandu, para onde converge toda a descarga hídrica desta bacia, utilizando o Modelo Digital de Elevação (MDE) do SRTM/Topodata disponibilizado no Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, na escala 1:200.000 e, especificamente, as cartas de índice 22S45\_ZN e 22S435\_ZN.

Com os dados disponíveis e o com o auxílio do ArcGIS 10.1 foi possível extrair a rede de drenagem e a área da bacia do Rio Santana levando-se em consideração as limitações sistêmicas destes dados, sendo também realizado refinamentos buscando a eliminação de depressões espúrias por ferramentas disponibilizadas pelo próprio *software* (Figura 9).



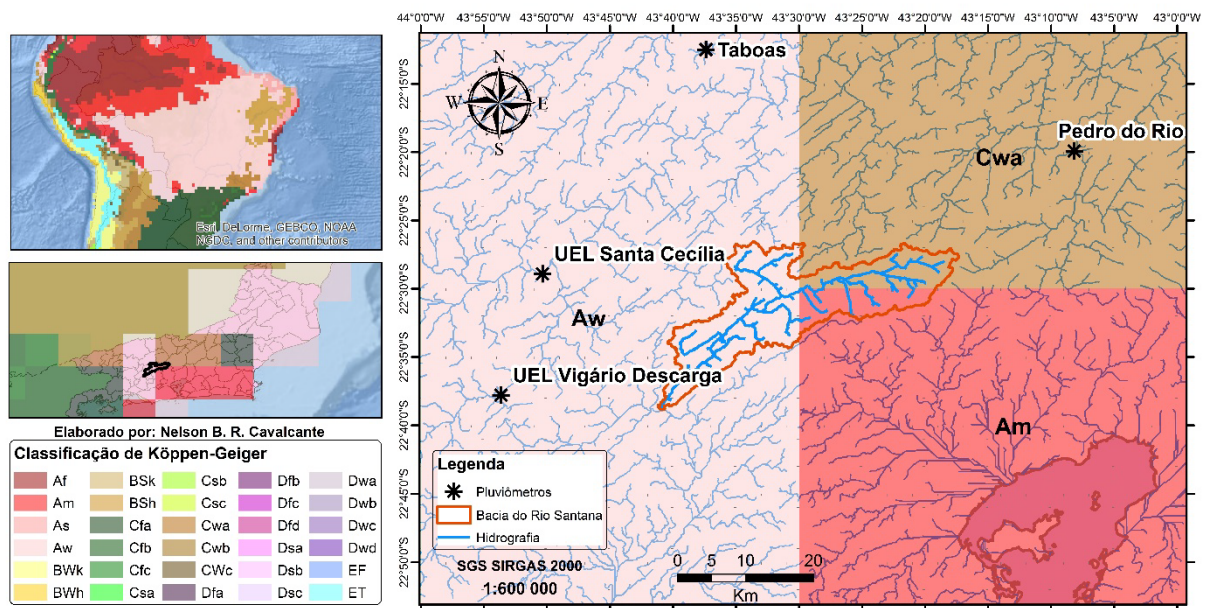


**Figura 9** – Hidrografia e Hipsometria; Bacia do Rio Santana.

### 3.2. Clima

A classificação climática de Köppen-Geiger, mais conhecida por classificação climática de Köppen, é o sistema de classificação global dos tipos climáticos mais utilizada em geografia, climatologia e ecologia. A classificação foi proposta em 1900 pelo climatologista russo Wladimir Köppen, tendo sido por ele aperfeiçoada em 1918, 1927 e 1936, com a publicação de novas versões, preparadas em colaboração com Rudolf Geiger, originando então o nome atual da classificação Köppen-Geiger. A classificação é baseada no pressuposto, com origem na fitossociologia e na ecologia, de que a vegetação natural de cada grande região da Terra é essencialmente uma expressão do clima nela prevalente (VIENNA, 2016).

A partir da utilização do software ArcGIS 10.2, foi possível a sobreposição precisa do mapa de classificação climática de Köppen-Geiger, obtido da base da universidade de Viena, com as cartas 22S4\_Z5N e 22S435ZN, disponibilizadas na base de dados geomorfométricos do Brasil.



**Figura 10** – Classificação Köppen-Geiger da bacia do Rio Santana

Desta forma, o clima da região de estudo foi classificado, de acordo com a carta climática desenvolvida para os anos de 1976 a 2000 (observado) como Cwa e Am para a parte de montante, mais próxima da cabeceira, e Aw para a região de montante a jusante.

C = Subtropical;

w = Savana/ chuva de verão;

a = Verão quente;

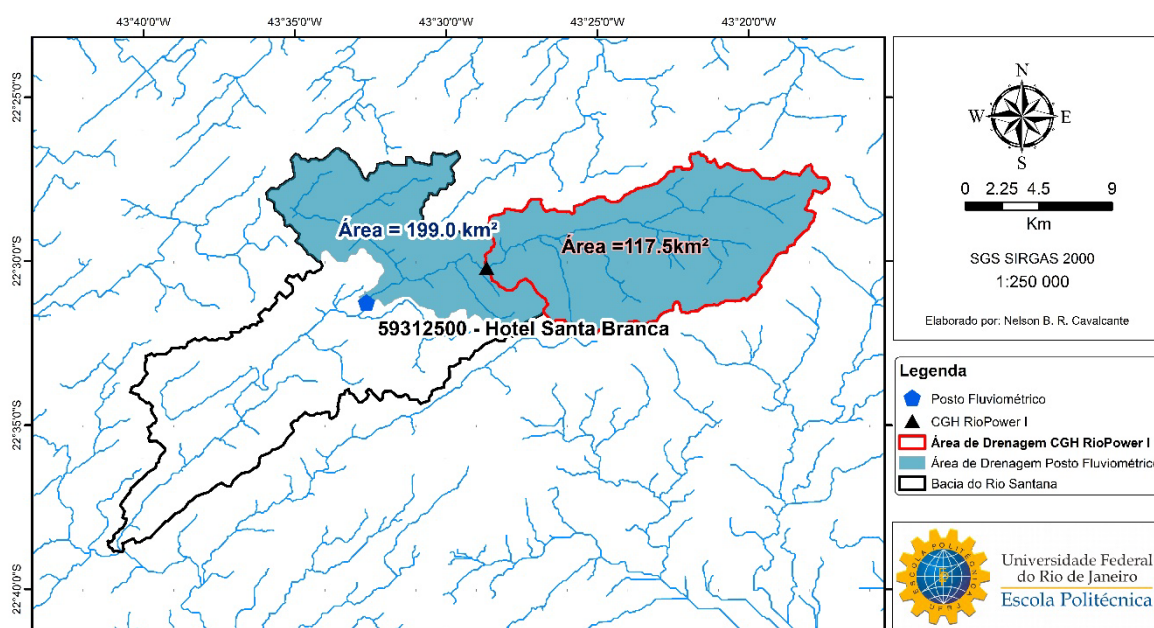
A = Clima Tropical;

m = Clima de monções

A localização dos postos apresenta condição climática distinta para o posto Pedro do Rio, que se encontra na região de clima Cwa, enquanto os demais estão na zona de climática Aw (Figura 10). Além disso, os postos encontram-se distribuídos de maneira que a Serra do Mar os separa, o que ocasiona uma distinção notável entre os valores de precipitação aferidos.

### 3.3.Dados de vazão

Para a implementação do modelo SMAP foram utilizados os dados de Descarga e Cota, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA). Especificamente os dados do posto fluviométrico Hotel Santa Branca, código 59312500, localizado no município de Miguel Pereira, com as seguintes coordenadas geográficas: 22°31'00" de latitude sul e 43° 33'00" de longitude oeste. O posto drena uma área de drenagem de 199 km<sup>2</sup> na bacia de 333 km<sup>2</sup> de área (Figura 11). O órgão responsável e operador do posto é o Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS).



**Figura 11** – Localização do posto fluviométrico Hotel Santa Branca.

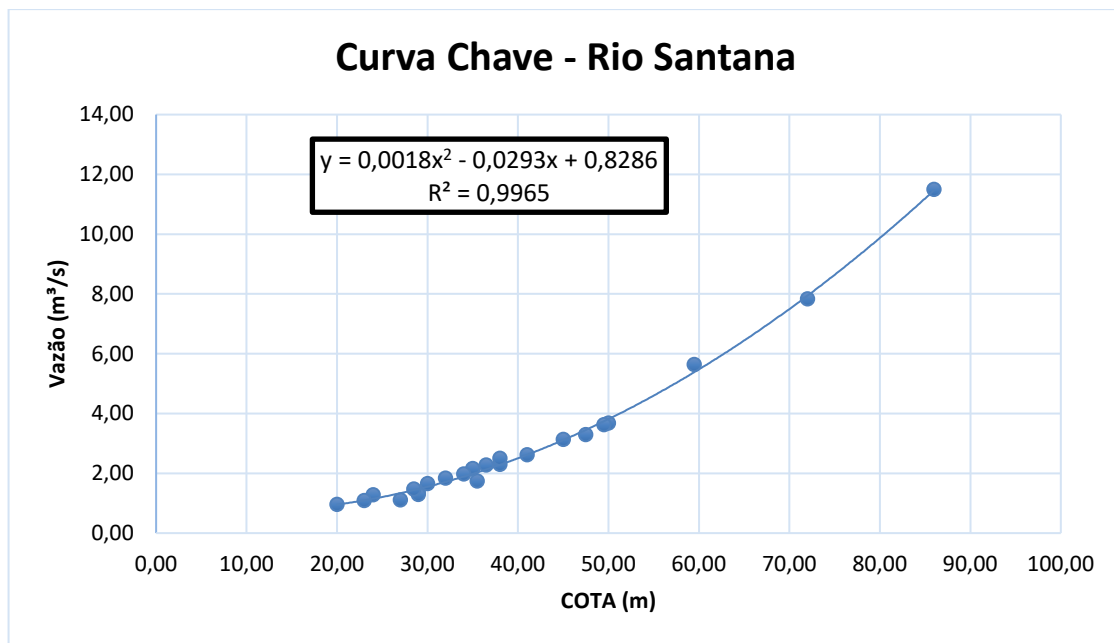


O monitoramento mensal disponível neste posto é apresentado tabela 2, compreendendo os meses de junho de 1954 a agosto de 1956.

**Tabela 2** - Dados de Vazão e Cota - Posto Fluviométrico 59312500 - ANA

Dados Fluviométricos - Posto Hotel Santa Branca - 59312500		
Data	Cota (m)	Vazao(m <sup>3</sup> /s)
09/05/1954	29	1.36
17/06/1954	36.5	2.28
22/07/1954	35.5	1.74
20/08/1954	29	1.29
21/10/1954	72	7.83
26/11/1954	28.5	1.47
12/12/1954	32	1.84
22/01/1955	45	3.13
10/03/1955	27	1.11
19/03/1955	30	1.65
02/04/1955	41	2.62
21/04/1955	38	2.3
13/05/1955	35	2.16
15/06/1955	34	1.98
21/07/1955	24	1.28
15/08/1955	23	1.09
13/09/1955	20	0.96
11/12/1955	86	11.5
15/12/1955	59.5	5.64
13/01/1956	50	3.68
15/02/1956	49.5	3.63
04/03/1956	47.5	3.29
26/04/1956	38	2.5

A partir dos dados supracitados, pôde-se encontrar a curva que relaciona a cota de escoamento fluvial com a vazão escoada do rio Santana, denominada curva-chave (Figura 12).



**Figura 12** - Curva-Chave Rio Santana

Com a equação da curva-chave fornecida a partir da linha de tendência polinomial de grau 2, gerada automaticamente pelo *software* Excel, obteve-se valores de vazões diárias respectivos às cotas diárias disponibilizadas pela ANA (Hidroweb) no posto fluviométrico de deste estudo. O período de monitoramento de níveis d'água do escoamento fluvial do rio Santana compreendeu os meses entre julho de 1954 e agosto de 1956, conforme tabelas 3, 4, 5 e 6.

**Tabela 3** - Cotas respectivas aos meses de junho a dezembro de 1954 – Posto 59312500

Aferição de Nível (m) - Posto Hotel Santa Branca - 59312500							
Dias	jun-54	jul-54	ago-54	set-54	out-54	nov-54	dez-54
1	-	34	34	34	30	37	26
2	-	31	34	30	30	51	25
3	-	32	34	29	31	51	28
4	-	32	34	29	27	41	28
5	-	35	33	29	27	35	29
6	-	37	32	29	26	34	24
7	-	37	32	28	26	32	23
8	-	37	32	27	28	31	24
9	-	38	32	27	28	29	24
10	-	37	34	36	26	30	24
11	-	37	41	25	26	28	47
12	-	37	35	25	34	29	34
13	-	36	32	26	36	30	28
14	-	36	31	37	33	29	29
15	-	36	30	57	32	27	29
16	-	36	30	36	29	29	26
17	37	34	30	34	27	27	26
18	38	34	28	29	31	32	26
19	37	38	29	29	29	29	37
20	35	48	28	29	34	29	36
21	38	36	27	28	70	28	52
22	37	36	28	27	42	27	35
23	38	43	29	27	34	26	29
24	36	40	29	26	34	32	29
25	35	36	28	27	30	31	28
26	35	48	28	27	29	28	25
27	36	42	29	33	28	26	25
28	35	36	53	30	28	26	32
29	35	34	50	28	28	25	32
30	33	35	38	31	29	26	40
31	-	34	37	-	39	-	30

**Tabela 4** - Cotas respectivas aos meses de janeiro a agosto de 1955 – Posto 59312500

Aferição de Nível (m) - Posto Hotel Santa Branca - 59312500								
Dias	jan-55	fev-55	mar-55	abr-55	mai-55	jun-55	jul-55	ago-55
1	27	41	31	49	38	41	28	27
2	29	41	31	40	36	47	28	26
3	70	45	29	35	36	35	24	26
4	73	40	29	34	36	32	27	24
5	40	37	29	35	34	32	27	24
6	34	35	29	33	44	30	27	24
7	33	35	29	32	54	30	27	24
8	30	35	31	31	36	30	27	24
9	32	35	29	30	38	31	29	24
10	28	34	29	29	35	35	30	23
11	34	33	34	91	35	38	28	22
12	41	33	44	55	34	30	28	23
13	43	28	30	44	34	30	27	24
14	32	31	29	38	32	39	27	23
15	69	31	26	35	31	33	27	23
16	64	31	30	34	35	31	26	22
17	54	30	37	36	35	30	26	22
18	65	30	32	64	33	29	26	22
19	56	30	31	46	30	24	25	22
20	46	30	29	40	30	29	25	21
21	36	29	31	36	43	29	24	21
22	43	29	28	36	32	31	25	21
23	41	30	28	36	31	29	25	20
24	54	34	27	38	34	28	21	18
25	95	31	27	36	33	30	24	17
26	61	32	27	34	36	27	24	19
27	53	31	25	34	32	29	24	30
28	49	33	26	33	31	28	24	25
29	46	-	27	32	31	28	24	23
30	46	-	24	49	32	29	24	22
31	43	-	79	-	35	-	22	20

**Tabela 5** - Cotas respectivas aos meses de setembro de 1955 a fevereiro de 1956 – Posto 59312500

Aferição de Nível (m) - Posto Hotel Santa Branca - 59312500						
Dias	set-55	out-55	nov-55	dez-55	jan-56	fev-56
1	20	24	32	30	126	39
2	20	20	36	30	95	40
3	22	29	29	30	83	38
4	25	36	26	30	70	32
5	22	30	26	53	58	32
6	21	29	26	108	51	32
7	25	28	28	69	49	32
8	26	27	30	50	48	32
9	25	27	70	38	50	31
10	23	24	50	33	50	30
11	21	26	108	33	50	30
12	21	26	101	36	52	62
13	20	26	63	40	52	48
14	20	35	51	158	50	58
15	18	41	43	59	50	51
16	19	45	40	53	50	58
17	20	45	36	54	52	85
18	20	33	36	53	64	81
19	20	30	38	46	55	81
20	20	30	42	42	54	79
21	20	30	47	42	54	52
22	20	30	42	42	52	50
23	20	30	40	45	50	47
24	10	27	40	70	47	43
25	12	26	40	52	46	39
26	36	26	40	52	45	38
27	46	26	40	54	43	40
28	31	28	36	57	40	45
29	25	29	30	77	40	41
30	24	26	30	70	39	-
31	-	24	-	80	38	-

**Tabela 6** - Cotas respectivas aos meses de março a agosto de 1956 – Posto 59312500

Aferição de Nível (m) - Posto Hotel Santa Branca - 59312500						
Dias	mar-56	abr-56	mai-56	jun-56	jul-56	ago-56
1	44	44	40	42	33	34
2	99	41	38	40	34	35
3	83	46	42	39	32	34
4	56	42	38	37	32	36
5	50	40	37	38	32	36
6	50	36	36	38	32	38
7	47	36	36	36	31	50
8	43	35	35	36	32	60
9	42	40	56	36	30	54
10	43	33	47	35	30	47
11	52	37	45	37	36	37
12	52	86	42	48	32	37
13	46	57	43	45	33	35
14	44	47	44	39	32	34
15	41	43	44	40	32	33
16	40	65	43	43	28	33
17	40	41	54	40	32	33
18	41	40	44	43	31	32
19	46	42	43	45	30	32
20	50	41	42	44	32	31
21	45	39	46	41	32	30
22	45	40	44	39	32	29
23	49	41	42	38	34	34
24	54	36	40	36	36	37
25	52	38	58	36	34	-
26	52	34	67	36	32	-
27	40	35	51	34	30	-
28	41	39	45	34	31	-
29	41	39	44	35	30	-
30	40	42	45	33	31	-
31	62	-	42	-	31	-

A equação polinomial de grau 2 apresentou um valor de correlação quadrática de 0,9965, conforme apresentado a seguir:

$$y = 0,0018x^2 - 0,0293x + 0,8286$$

$$R^2 = 0,9965$$

As vazões geradas a partir da curva chave encontram-se nas tabelas 7, 8, 9 e 10.

**Tabela 7** - Vazões respectivas aos meses de junho a dezembro de 1954.

Resultados de Vazão (m³/s) - Posto Hotel Santa Branca - 59312500							
Dias	jun-54	jul-54	ago-54	set-54	out-54	nov-54	dez-54
1	0.83	1.91	1.91	1.91	1.57	2.21	1.28
2	0.83	1.65	1.91	1.57	1.57	4.02	1.22
3	0.83	1.73	1.91	1.49	1.65	4.02	1.42
4	0.83	1.73	1.91	1.49	1.35	2.65	1.42
5	0.83	2.01	1.82	1.49	1.35	2.01	1.49
6	0.83	2.21	1.73	1.49	1.28	1.91	1.16
7	0.83	2.21	1.73	1.42	1.28	1.73	1.11
8	0.83	2.21	1.73	1.35	1.42	1.65	1.16
9	0.83	2.31	1.73	1.35	1.42	1.49	1.16
10	0.83	2.21	1.91	2.11	1.28	1.57	1.16
11	0.83	2.21	2.65	1.22	1.28	1.42	3.43
12	0.83	2.21	2.01	1.22	1.91	1.49	1.91
13	0.83	2.11	1.73	1.28	2.11	1.57	1.42
14	0.83	2.11	1.65	2.21	1.82	1.49	1.49
15	0.83	2.11	1.57	5.01	1.73	1.35	1.49
16	0.83	2.11	1.57	2.11	1.49	1.49	1.28
17	2.21	1.91	1.57	1.91	1.35	1.35	1.28
18	2.31	1.91	1.42	1.49	1.65	1.73	1.28
19	2.21	2.31	1.49	1.49	1.49	1.49	2.21
20	2.01	3.57	1.42	1.49	1.91	1.49	2.11
21	2.31	2.11	1.35	1.42	7.60	1.42	4.17
22	2.21	2.11	1.42	1.35	2.77	1.35	2.01
23	2.31	2.90	1.49	1.35	1.91	1.28	1.49
24	2.11	2.54	1.49	1.28	1.91	1.73	1.49
25	2.01	2.11	1.42	1.35	1.57	1.65	1.42
26	2.01	3.57	1.42	1.35	1.49	1.42	1.22
27	2.11	2.77	1.49	1.82	1.42	1.28	1.22
28	2.01	2.11	4.33	1.57	1.42	1.28	1.73
29	2.01	1.91	3.86	1.42	1.42	1.22	1.73
30	1.82	2.01	2.31	1.65	1.49	1.28	2.54
31	0.83	1.91	2.21	0.83	2.42	0.83	1.57

**Tabela 8 - Vazões respectivas aos meses de janeiro a agosto de 1955**

Resultados de Vazão (m³/s) - Posto Hotel Santa Branca - 59312500								
Dias	jan-55	fev-55	mar-55	abr-55	mai-55	jun-55	jul-55	ago-55
1	1.35	2.65	1.65	3.71	2.31	2.65	1.42	1.35
2	1.49	2.65	1.65	2.54	2.11	3.43	1.42	1.28
3	7.60	3.16	1.49	2.01	2.11	2.01	1.16	1.28
4	8.28	2.54	1.49	1.91	2.11	1.73	1.35	1.16
5	2.54	2.21	1.49	2.01	1.91	1.73	1.35	1.16
6	1.91	2.01	1.49	1.82	3.02	1.57	1.35	1.16
7	1.82	2.01	1.49	1.73	4.50	1.57	1.35	1.16
8	1.57	2.01	1.65	1.65	2.11	1.57	1.35	1.16
9	1.73	2.01	1.49	1.57	2.31	1.65	1.49	1.16
10	1.42	1.91	1.49	1.49	2.01	2.01	1.57	1.11
11	1.91	1.82	1.91	13.07	2.01	2.31	1.42	1.06
12	2.65	1.82	3.02	4.66	1.91	1.57	1.42	1.11
13	2.90	1.42	1.57	3.02	1.91	1.57	1.35	1.16
14	1.73	1.65	1.49	2.31	1.73	2.42	1.35	1.11
15	7.38	1.65	1.28	2.01	1.65	1.82	1.35	1.11
16	6.33	1.65	1.57	1.91	2.01	1.65	1.28	1.06
17	4.50	1.57	2.21	2.11	2.01	1.57	1.28	1.06
18	6.53	1.57	1.73	6.33	1.82	1.49	1.28	1.06
19	4.83	1.57	1.65	3.29	1.57	1.16	1.22	1.06
20	3.29	1.57	1.49	2.54	1.57	1.49	1.22	1.01
21	2.11	1.49	1.65	2.11	2.90	1.49	1.16	1.01
22	2.90	1.49	1.42	2.11	1.73	1.65	1.22	1.01
23	2.65	1.57	1.42	2.11	1.65	1.49	1.22	0.96
24	4.50	1.91	1.35	2.31	1.91	1.42	1.01	0.88
25	14.29	1.65	1.35	2.11	1.82	1.57	1.16	0.85
26	5.74	1.73	1.35	1.91	2.11	1.35	1.16	0.92
27	4.33	1.65	1.22	1.91	1.73	1.49	1.16	1.57
28	3.71	1.82	1.28	1.82	1.65	1.42	1.16	1.22
29	3.29	0.83	1.35	1.73	1.65	1.42	1.16	1.11
30	3.29	0.83	1.16	3.71	1.73	1.49	1.16	1.06
31	2.90	0.83	9.75	0.83	2.01	0.83	1.06	0.96



**Tabela 9** - Vazões respectivas aos meses de setembro de 1955 a fevereiro de 1956

Resultados de Vazão (m³/s) - Posto Hotel Santa Branca - 59312500						
Dias	set-55	out-55	nov-55	dez-55	jan-56	fev-56
1	0.96	1.16	1.73	1.57	25.71	2.42
2	0.96	0.96	2.11	1.57	14.29	2.54
3	1.06	1.49	1.49	1.57	10.80	2.31
4	1.22	2.11	1.28	1.57	7.60	1.73
5	1.06	1.57	1.28	4.33	5.18	1.73
6	1.01	1.49	1.28	18.66	4.02	1.73
7	1.22	1.42	1.42	7.38	3.71	1.73
8	1.28	1.35	1.57	3.86	3.57	1.73
9	1.22	1.35	7.60	2.31	3.86	1.65
10	1.11	1.16	3.86	1.82	3.86	1.57
11	1.01	1.28	18.66	1.82	3.86	1.57
12	1.01	1.28	16.23	2.11	4.17	5.93
13	0.96	1.28	6.13	2.54	4.17	3.57
14	0.96	2.01	4.02	41.13	3.86	5.18
15	0.88	2.65	2.90	5.37	3.86	4.02
16	0.92	3.16	2.54	4.33	3.86	5.18
17	0.96	3.16	2.11	4.50	4.17	11.34
18	0.96	1.82	2.11	4.33	6.33	10.27
19	0.96	1.57	2.31	3.29	4.66	10.27
20	0.96	1.57	2.77	2.77	4.50	9.75
21	0.96	1.57	3.43	2.77	4.50	4.17
22	0.96	1.57	2.77	2.77	4.17	3.86
23	0.96	1.57	2.54	3.16	3.86	3.43
24	0.72	1.35	2.54	7.60	3.43	2.90
25	0.74	1.28	2.54	4.17	3.29	2.42
26	2.11	1.28	2.54	4.17	3.16	2.31
27	3.29	1.28	2.54	4.50	2.90	2.54
28	1.65	1.42	2.11	5.01	2.54	3.16
29	1.22	1.49	1.57	9.24	2.54	2.65
30	1.16	1.28	1.57	7.60	2.42	0.83
31	0.83	1.16	0.83	10.00	2.31	0.83

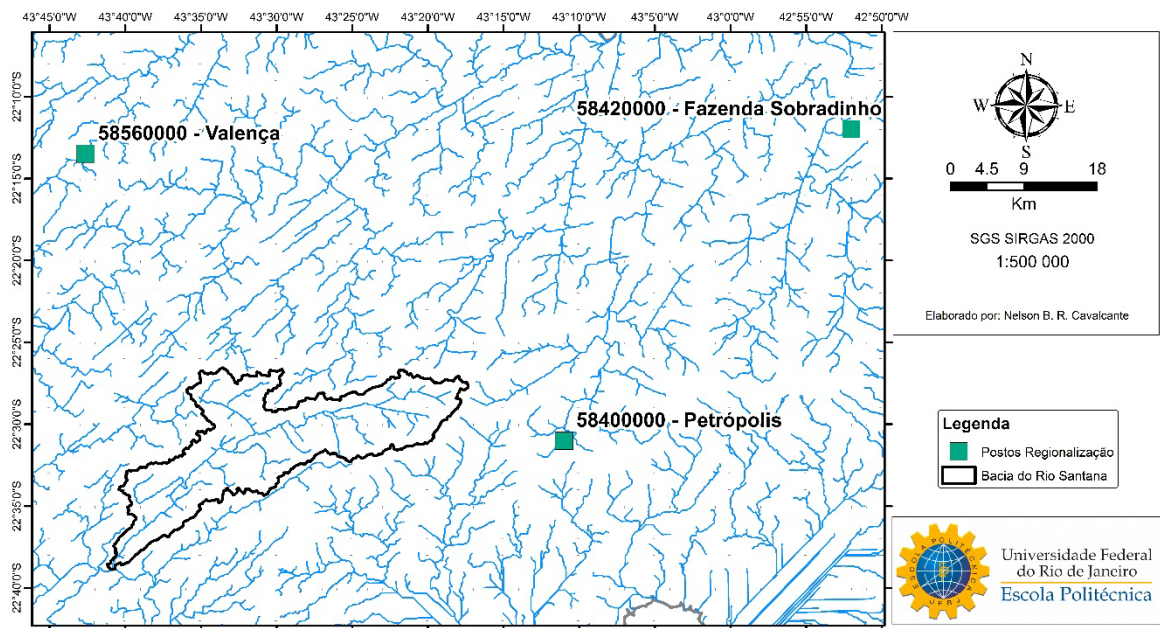
**Tabela 10** - Vazões respectivas aos meses de março a agosto de 1956

Resultados de Vazão (m <sup>3</sup> /s) - Posto Hotel Santa Branca - 59312500						
Dias	mar-56	abr-56	mai-56	jun-56	jul-56	ago-56
1	3.02	3.02	2.54	2.77	1.82	1.91
2	15.57	2.65	2.31	2.54	1.91	2.01
3	10.80	3.29	2.77	2.42	1.73	1.91
4	4.83	2.77	2.31	2.21	1.73	2.11
5	3.86	2.54	2.21	2.31	1.73	2.11
6	3.86	2.11	2.11	2.31	1.73	2.31
7	3.43	2.11	2.11	2.11	1.65	3.86
8	2.90	2.01	2.01	2.11	1.73	5.55
9	2.77	2.54	4.83	2.11	1.57	4.50
10	2.90	1.82	3.43	2.01	1.57	3.43
11	4.17	2.21	3.16	2.21	2.11	2.21
12	4.17	11.62	2.77	3.57	1.73	2.21
13	3.29	5.01	2.90	3.16	1.82	2.01
14	3.02	3.43	3.02	2.42	1.73	1.91
15	2.65	2.90	3.02	2.54	1.73	1.82
16	2.54	6.53	2.90	2.90	1.42	1.82
17	2.54	2.65	4.50	2.54	1.73	1.82
18	2.65	2.54	3.02	2.90	1.65	1.73
19	3.29	2.77	2.90	3.16	1.57	1.73
20	3.86	2.65	2.77	3.02	1.73	1.65
21	3.16	2.42	3.29	2.65	1.73	1.57
22	3.16	2.54	3.02	2.42	1.73	1.49
23	3.71	2.65	2.77	2.31	1.91	1.91
24	4.50	2.11	2.54	2.11	2.11	2.21
25	4.17	2.31	5.18	2.11	1.91	0.83
26	4.17	1.91	6.95	2.11	1.73	0.83
27	2.54	2.01	4.02	1.91	1.57	0.83
28	2.65	2.42	3.16	1.91	1.65	0.83
29	2.65	2.42	3.02	2.01	1.57	0.83
30	2.54	2.77	3.16	1.82	1.65	0.83
31	5.93	0.83	2.77	0.83	1.65	0.83

A utilização da metodologia de regionalização para obtenção de vazões máximas e mínimas anuais, através da aplicação de distribuições de probabilidade, foi realizada com base nos registros históricos de postos fluviométricos localizados próximos da bacia do rio Santana e com maior disponibilidade de dados aferidos.

Desta forma, os postos fluviométricos adequados de acordo com os critérios mencionados acima são os seguintes:

- Petrópolis, código 58400000, localizado no município de Petrópolis, com as coordenadas geográficas: 22°31'00" de latitude sul e 43° 11'00" de longitude oeste, correspondendo a uma área de drenagem de 43,1 km<sup>2</sup> na bacia do rio Piabanha, cujo órgão responsável pela operação é a ANA;
- Fazenda Sobradinho, código 58420000, localizado no município de Teresópolis, com as seguintes coordenadas geográficas: 22°11'58" de latitude sul e 42° 53'49" de longitude oeste, com uma área de drenagem de 719 km<sup>2</sup> na bacia do rio Preto e operado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM);
- Valença, código 58560000, localizado no município de Valença, com as seguintes coordenadas geográficas 22°13'28" de latitude sul e 43°42'37" de longitude oeste, correspondendo a uma área de drenagem de 173 km<sup>2</sup> na bacia do rio das flores, cujo órgão responsável pela operação é a CPRM. A figura 13 apresenta a localização exata de cada posto.



**Figura 13** - Mapa de localização dos postos fluviométricos utilizados no método de regionalização.

Os dados obtidos em cada posto são respectivos ao monitoramento diário de vazões, compreendidas no período de 1960 a 1986.

Apesar de distantes da bacia, os postos são os que apresentam um histórico de vazões com um período em comum maior que cinco anos, além de não apresentarem muitas falhas nos registros.

### 3.4.Precipitação

Na bacia do rio Santana não existem postos pluviométricos com dados suficientes para a geração da série histórica desejada para a implementação do projeto em questão. Os postos existentes, ainda que nas proximidades limítrofes, apresentam séries de dados insuficientes ou que não continham o período de 1954 a 1956, impossibilitando a calibração comparativa e, conseqüentemente, a validação após a modelagem com o histórico de vazões observado no posto fluviométrico Hotel Santa Branca – 59312500 – descrito no item 3.3.

A escolha dos postos pluviométricos foi realizada de acordo com a disponibilidade de dados no site da ANA (Hidroweb), de maneira que os postos apresentassem medições pluviométricas no período de 1954 a 1956 e, além disso, apresentassem o maior histórico pluviométrico, além de uma maior proximidade da bacia em estudo.

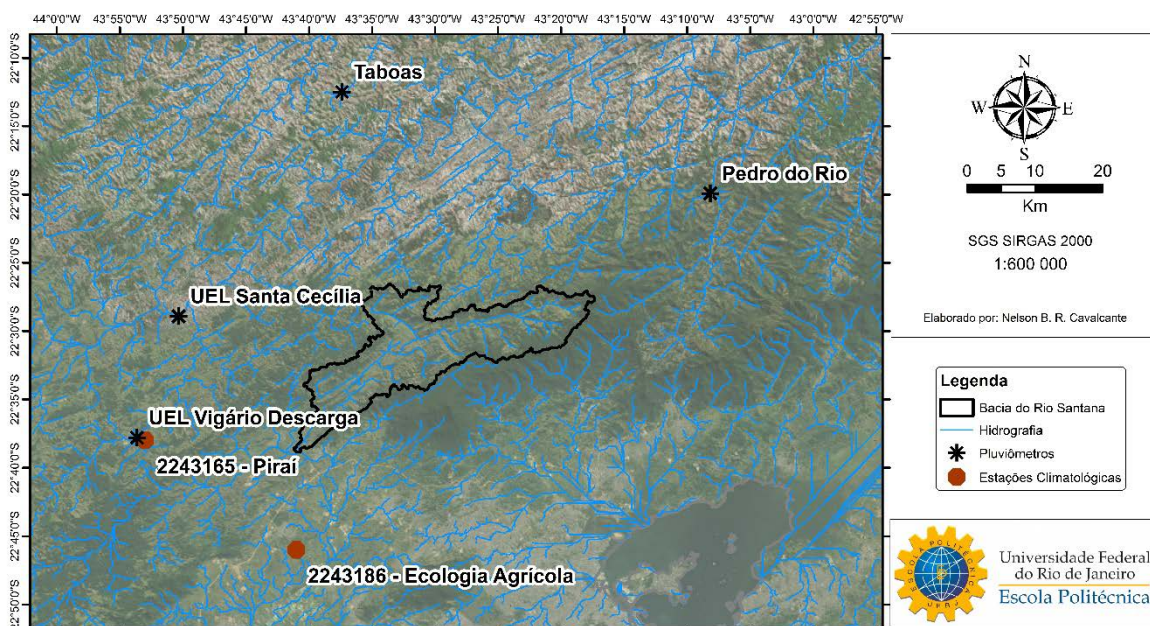
Desta forma foi necessária a pesquisa de dados de postos de medição mais distantes da bacia em estudo, chegando então aos seguintes postos pluviométricos: Pedro do Rio, localizado no município de Petrópolis; Taboas, município de Rio das Flores; UEL Santa Cecília Tomada d'água, em Barra do Pirai; e UEL Vigário Descarga d'água, no município de Pirai. A tabela 11 apresenta os principais dados das estações supracitadas. Os dados de precipitação diária de cada posto encontram-se no anexo.

**Tabela 11** - Dados específicos referentes aos postos pluviométricos para a bacia do Rio Santana

Código	Posto	Latitude	Longitude	Período de Monitoramento	Altitude (m)	Município
2243012	Pedro do Rio	22° 19' 57" S	43° 08' 10" O	11/1938 até 12/2005	645	Petrópolis
2243007	Taboas	22° 12' 31" S	43° 37' 24" O	12/1941 até 04/2016	444	Rio das flores
2243205	UEL Santa Cecília Tomada d'água	22° 28' 55" S	43° 50' 21" O	12/1920 até 12/2011	356	Barra do Pirai
2243216	UEL Vigário Descarga d'água	22° 37' 48" S	43° 53' 42" O	07/1949 até 12/2015	401	Pirai

### 3.5. Evapotranspiração Potencial (ETP)

Para o cálculo da evapotranspiração potencial atuante na bacia do rio Santana foram utilizados os dados disponíveis dos postos de Pirai, código 02243165, de coordenadas geográficas 22° 38' 00" latitude sul e 43° 53' 00" de longitude oeste, e de Ecologia agrícola, código 02243186, de coordenadas 22° 46' 00" de latitude sul e 43° 41' 00" de longitude oeste (Figura 14).



**Figura 14** – Localização dos postos Ecologia Agrícola e Pirai.

Os valores de temperatura e umidade relativa utilizados no cálculo encontram-se nas tabelas 12 e 13.

**Tabela 12** - Temperatura média em (°C)

Temperatura média (°C)	Postos	Jan	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Lat	Long
	Pirai	24.0	24.0	23.7	21.7	19.1	17.4	16.7	18.2	19.6	20.9	22.2	23.2	22° 33' 00" S	43° 32' 24" O
Ecologia Agrícola	26.3	26.7	25.8	23.8	21.9	20.7	20.3	21.2	21.9	22.8	24.0	25.3	22° 28' 48" S	43° 24' 36" O	

**Tabela 13** - Umidade relativa em (%)

Umidade relativa (%)	Postos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	Pirai	82	83	83	85	85	86	84	82	81	82	82	82
Ecologia Agrícola	77	76	78	80	78	77	74	73	75	78	77	78	

O método empírico escolhido foi o desenvolvido por Hargreaves (1975). A equação utilizada é apresentada a seguir.

$$ET_o = MF \times TC \times CH$$

$ET_o$  : Evapotranspiração potencial (mm/mês)

$TC$  : Temperatura média (°C)

$RH$  : Umidade relativa do ar (%)

$MF$  : Fator de evapotranspiração potencial mensal (Tabela 14).

$CH$  : Coeficiente de redução de temperatura em função da umidade relativa

Onde:

$$CH = 0,158 \times (100 - RH)^{0,5}$$



**Tabela 14** - Tabela adaptada de Hargreaves (1973). Fator de evapotranspiração potencial MF mensal

POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION FACTOR MF FOR ETP IN PER MONTH												
SOUTH	MONTH											
LAT	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
-1	2,29	2,12	2,35	2,20	2,14	1,99	2,09	2,22	2,26	2,36	2,23	2,27
-2	2,32	2,14	2,36	2,18	2,11	1,96	2,06	2,18	2,25	2,37	2,36	2,38
-3	2,35	2,15	2,36	2,17	2,08	1,92	2,03	2,17	2,25	2,39	2,29	2,34
-4	2,39	2,17	2,36	2,15	2,05	1,99	1,99	2,15	2,24	2,45	2,32	2,37
-5	2,42	2,19	2,36	2,13	2,02	1,85	1,96	2,13	2,23	2,41	2,34	2,41
-6	2,45	2,21	2,36	2,12	1,99	1,82	1,93	2,10	2,23	2,42	2,37	2,44
-7	2,48	2,22	2,36	2,10	1,96	1,78	1,89	2,08	2,22	2,43	2,40	2,48
-8	2,51	2,24	2,36	2,08	1,93	1,75	1,86	2,05	2,21	2,44	2,42	2,51
-9	2,54	2,25	2,36	2,06	1,90	1,71	1,82	2,03	2,28	2,45	2,45	2,54
-10	2,57	2,27	2,60	2,04	1,86	1,68	1,79	2,00	2,18	2,46	2,47	2,58
-11	2,60	2,28	2,35	2,02	1,83	1,64	1,75	1,98	2,18	2,47	2,50	2,61
-12	2,62	2,29	2,35	2,00	1,80	1,61	1,72	1,95	2,17	2,48	2,52	2,54
-13	2,65	2,31	2,35	1,98	1,77	1,57	1,69	1,92	2,16	2,48	2,54	2,63
-14	2,68	2,32	2,34	1,96	1,77	1,54	1,65	1,89	2,14	2,49	2,57	2,71
-15	2,71	2,33	2,33	1,94	1,70	1,50	1,61	1,87	2,13	2,50	2,59	2,74
-16	2,73	2,34	2,33	1,91	1,67	1,46	1,58	1,84	2,12	2,58	2,61	2,77
-17	2,76	2,35	2,32	1,89	1,63	1,43	1,54	1,81	2,16	2,50	2,63	2,80
-18	2,79	2,36	2,31	1,87	1,60	1,39	1,50	1,78	2,09	2,51	2,65	2,83
-19	2,81	2,37	2,30	1,84	1,56	1,35	1,47	1,75	2,07	2,51	2,67	2,85
-20	2,84	2,38	2,29	1,82	1,53	1,32	1,43	1,72	2,05	2,51	2,69	2,89
-21	2,86	2,38	2,38	1,79	1,49	1,28	1,39	1,69	2,04	2,51	2,71	2,92
-22	2,88	2,39	2,27	1,77	1,46	1,24	1,36	1,66	2,02	2,51	2,73	2,95
-23	2,91	2,40	2,26	1,74	1,42	1,21	1,32	1,63	2,00	2,51	2,75	2,98
-24	2,93	2,40	2,25	1,71	1,39	1,17	1,28	1,59	1,98	2,51	2,76	3,00
-25	2,95	2,41	2,23	1,69	1,35	1,13	1,25	1,56	1,98	2,51	2,78	3,03

Para ambos os postos foram utilizados os valores respectivos à latitude de valor 22° Sul.



### 3.6.Modelo SMAP

O modelo SMAP - *Soil Moisture Accounting Procedure* - é um modelo determinístico, conceitual e concentrado de simulação hidrológica do tipo transformação chuva-vazão desenvolvido em 1981 por Lopes J.E.G., Braga B.P.F. e Conejo J.G.L. Com uma estrutura simples e utilização de poucos parâmetros pode ser implementado em Excel, como foi feito para este trabalho, e em linguagens computacionais. O algoritmo funciona para séries contínuas e utiliza os conceitos do *Soil Conservation Service* (SCS) para a separação do escoamento superficial (Lopes, 1999)

Segundo Lopes (1999), foi desenvolvido a partir da experiência com aplicação do modelo *Stanford Watershed IV* e modelo *Mero* em trabalhos realizados no Departamento de Águas e Energia de São Paulo. Foi originalmente desenvolvido para intervalo de tempo diário e posteriormente apresentadas versões horária e mensal, adaptando-se algumas modificações em sua estrutura. Como dados de entrada mínimos para calibração necessita do histórico de precipitação, dados de evapotranspiração e valores de vazões médias.

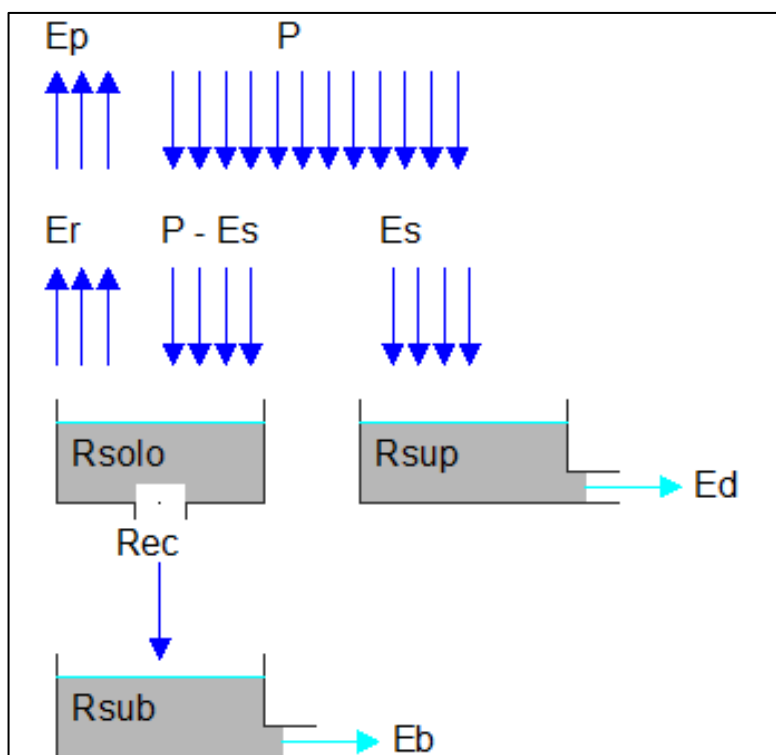
Duas formas para a calibração do modelo podem ser consideradas. Ambas apresentam resultados plausíveis e diferem-se na metodologia utilizada. De maneira manual, através de tentativas na determinação dos parâmetros representativos dos processos da bacia, exigindo, desta forma, maior experiência por parte do hidrólogo. Apresenta a vantagem de desenvolver a sensibilidade do hidrólogo no processo de modelagem, aumentando assim sua acurácia no processo. A partir da utilização de métodos matemáticos e automáticos para a calibração, atinge-se resultados mais rapidamente. Esta otimização automática de obtenção dos resultados não proporciona ao hidrólogo o desenvolvimento de criticar os resultados de maneira eficaz, reduzindo a confiabilidade dos resultados.

A simulação hidrológica de transformação de chuva-vazão para a bacia do Rio Santana foi realizada na versão diária do SMAP. O modelo é constituído por um total de seis parâmetros, apresentados na tabela 15.

**Tabela 15** - Parâmetros do modelo SMAP

Parâmetros do modelo SMAP	
$S_{tr}$	= Capacidade de saturação do solo (mm)
$K_{2t}$	= Constante de recessão do escoamento superficial (dias)
$C_{rec}$	= Parâmetro de recarga subterrânea (%)
$A_i$	= Abstração inicial (mm)
$C_{pac}$	= Capacidade de campo (%)
$K_{kt}$	= Constante de recessão do escoamento básico (dias)

A versão diária do SMAP é constituída de três reservatórios matemáticos com variáveis de estado atualizadas a cada dia, como é apresentado na figura 15.



**Figura 15** - Estrutura do modelo SMAP versão diária com três reservatórios (LOPES, 1999)

A atualização das variáveis de estado acontece diariamente no modelo, seguindo os procedimentos apresentados a seguir. Os parâmetros estão descritos na tabela 16.

$$R_{solo(i+1)} = R_{solo(i)} + P - E_s - E_r - Rec$$

$$R_{sup(i+1)} = R_{sup(i)} + E_s - E_d$$

$$R_{sub(i+1)} = R_{sub(i)} + Rec - E_b$$

Onde:

**Tabela 16** - Parâmetros de Procedimentos

Parâmetros de Procedimentos - SMAP	
Rsolo	= Reservatório do solo (zona aerada)
Rsup	= Reservatório da superfície da Bacia
Rsub	= Reservatório subterrâneo (zona saturada)
P	= Precipitação
Es	= Escoamento superficial
Ed	= Escoamento direto
Er	= Evapotranspiração real
Rec	= Recarga subterrânea
Eb	= Escoamento básico

A inicialização do modelo se dá com a capacidade do reservatório do solo e o cálculo da recarga subterrânea Rsub, da seguinte forma:

$$R_{solo(1)} = Tu_{in} \times Str$$

$$R_{sub(1)} = \frac{E_{bin}}{(1 - Kk) * Ad * 86.4}$$

$$R_{sup(1)} = 0$$

Tuin = Teor de umidade inicial (Adimensional)

Ebin = Vazão básica inicial (m<sup>3</sup>/s)

Ad = Área de drenagem da bacia (km<sup>2</sup>)

Recomenda-se a utilização do primeiro mês do ano hídrico como entrada, além dos seguintes dados:

- A série diária de chuvas
- As médias mensais de evaporação potencial
- A série de vazões médias diárias

A transferência entre os reservatórios é regida pelas seguintes funções apresentadas abaixo, que relacionam todos os parâmetros anteriormente citados neste capítulo.

**1.** Se  $P_{(t)} > Ai \rightarrow S = Str - R_{solo}$

$$E_s = \frac{(P_{(t)} - Ai)^2}{P_{(t)} - Ai + S}$$

Se  $P_{(t)} < Ai \rightarrow E_s = 0$

**2.** Se  $(P_{(t)} - Es_{(t)}) > Ep_{(t)} \rightarrow Er_{(t)} = Ep_{(t)}$

Se  $(P_{(t)} - Es_{(t)}) < Ep_{(t)} \rightarrow Er_{(t)} = (P_{(t)} - Es_{(t)}) + (Ep_{(t)} - (P_{(t)} - Es_{(t)})) \times Tu_{(t)}$

**3.** Se  $(R_{solo_{(t-1)}} > \frac{Capc}{100} * Str) \rightarrow$

$$Rec_{(t)} = \frac{Crec}{100} \times Tu_{(t)} \times (R_{solo_{(t-1)}} - \frac{Capc}{100} * Str)$$

Se  $(R_{solo_{(t-1)}} < \frac{Capc}{100} * Str) \rightarrow Rec_{(t)} = 0$

**4.** Se  $R_{sup_{(t-1)}} > H \rightarrow Marg_{(t)} = (R_{sup_{(t-1)}} - H) \times (1 - 0,5^{\frac{1}{k_{it}}})$

Se  $R_{sup_{(t-1)}} < H \rightarrow Marg_{(t)} = 0$

$$5. Ed_{(t)} = Rsup_{(t-1)} \times (1 - 0,5^{\frac{1}{k2t}})$$

$$6. Ed2_{(t)} = Rsup2_{(t-1)} \times (1 - 0,5^{\frac{1}{k3t}})$$

$$7. Eb_{(t)} = Rsub_{(t-1)} \times (1 - 0,5^{\frac{1}{kkt}})$$

A tabela 17 apresenta a descrição de cada parâmetro das funções de transferência supracitadas.

**Tabela 17** - Parâmetros de Funções de Transferência SMAP

Parâmetros Funções de Transferência SMAP	
$Ep(t)$	= Evapotranspiração Potencial (mm)
$Tu(t)$	= Teor de umidade do solo (adimensional)
$H$	= Altura representativa para o início do escoamento em planícies
$K1t$	= Constante de recessão do escoamento para planícies (dia)
$K3t$	= Constante de recessão do escoamento da superfície/planícies (dia)
$Str$	= Capacidade de saturação do solo (mm)
$K2t$	= Constante de recessão do escoamento superficial (dias)
$Crec$	= Parâmetro de recarga subterrânea (%)
$Ai$	= Abstração inicial (mm)
$Capac$	= Capacidade de campo (%)
$Kkt$	= Constante de recessão do escoamento básico (dias)

Estas equações representam o algoritmo completo com quatro reservatórios, considerando este último para bacias onde há inundação significativa de planícies, com importantes extravasamentos pelas margens em eventos de chuvas fortes. Os parâmetros  $H$ ,  $K1t$  e  $K3t$  são decorrentes deste quarto reservatório, que pode ser inibido a partir da escolha de um alto valor de  $H$ , que representa a altura para início de escoamento em planícies.

Para a bacia do Rio Santana foi utilizado o modelo de quatro reservatórios e realizada a inibição do quarto a partir da atribuição do valor de  $H = 200$ .

O cálculo da vazão no modelo é dado, finalmente, pela seguinte equação:

$$Q = (Es + Eb) \times \frac{Ad}{86,4}$$

O produto da simulação hidrológica são valores de vazão e, a partir de um hidrograma, são comparados graficamente com os observados, aferidos em medições na bacia. Para atingir o objetivo de maximizar o máximo possível a semelhança entre os gráficos utiliza-se funções objetivo para medir a discrepância entre os valores.

*Lembre-se que a função objetivo nem sempre representa a calibração ideal, mas constitui auxílio para viabilizar processos matemáticos de otimização de parâmetros. Será sempre necessário analisar cuidadosamente o hidrograma para concluir a calibração (Lopes, J. E. G., 1999).*

As funções escolhidas devem representar uma base para o processo de calibração, além da sensibilidade do hidrólogo e da visualização precisa dos gráficos.

$$C_{ef} = \frac{\sum(Q_{obs(t)} - \overline{Q_{obs}})^2 - \sum(Q_{obs(t)} - Q_{calc(t)})^2}{\sum(Q_{obs(t)} - \overline{Q_{obs}})^2}$$

$$C_{er} = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n \frac{abs(Q_{calc(t)} - Q_{obs(t)})}{Q_{obs(t)}}}{n}$$

Onde:

C<sub>ef</sub> – Coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (Nash, 1970).

C<sub>er</sub> – Coeficiente do erro relativo.

$\overline{Q_{obs}}$  – Vazão média observada no período considerado (m<sup>3</sup>/s).

Ambos os coeficientes apresentados acima apresentam valor máximo 1, que representa a correspondência perfeita entre os dados observados e calculados. O coeficiente “C<sub>ef</sub>” possui maior sensibilidade em relação aos desvios das vazões mais elevadas, correspondentes aos picos do histórico. Por outro lado, o coeficiente “C<sub>er</sub>” apresenta maior sensibilidade de resposta aos desvios de vazões menores. O coeficiente “Soma Coef” é simplesmente a soma dos dois coeficientes apresentados, sendo sensível aos desvios de vazões elevadas e menores, tendo seu valor máximo de 2.

### **3.7.Regionalização de vazões**

Neste item serão abordados elementos constantes no processo de regionalização de vazões, considerando as etapas de distribuição de frequência; seleção da melhor distribuição para valores máximos e mínimos e aplicação do *index flood method*.

#### **3.7.1. Distribuição de Frequência**

Segundo NAGHETTINI e PINTO (2007), dada a natureza probabilística do fenômeno hidrológico, a estatística é uma área importante da hidrologia, utilizada na avaliação do comportamento dos processos hidrológicos.

A teoria clássica de valores extremos, cujo desenvolvimento iniciou-se com os trabalhos pioneiros do matemático Maurice Fréchet (1878-1973) e dos estatísticos Ronald Fisher (1912-1962) e Leonard Tippett (1902-), seguidos pelas contribuições devidas a Boris Gnedenko (1912-1995) e a consolidação teórica por parte de Emil Gumbel (1891-1966). Atualmente, a teoria de valores extremos é um ramo importante, com desdobramentos práticos de grande relevância, principalmente, para as áreas de economia e engenharia e com diversas aplicações em hidrologia (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

#### **3.7.2. Distribuição de Gumbel**

A distribuição de Gumbel, resultante de estudos realizados por Emil Gumbel (1891-1966) e nomeada em sua homenagem, é a distribuição para valores extremos mais usada na análise de frequência de variáveis hidrológicas, com inúmeras aplicações na determinação de relações intensidade-duração-frequência de precipitações intensas e estudos de vazões de enchentes (NAGHETTINI & PINTO, 2007).

Com o intuito de definir tal distribuição, define-se a seguir os três primeiros momentos de uma distribuição. Seja uma variável aleatória  $X$  em uma amostra de tamanho  $n$ , a média, desvio padrão e coeficiente de assimetria são dados por:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{Média amostral})$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{Desvio padrão amostral})$$

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{s^3}} \quad (\text{Coeficiente de assimetria amostral})$$

Para obtenção dos valores de vazão extremos, temos a seguinte formulação para a distribuição de Gumbel, segundo descrição em TUCCI (1993).

$$Q_T = x_0 - \beta \ln\left(\frac{1}{T}\right)$$

$$x_0 = \bar{x} - s$$

$$\beta = s$$

Onde:

$\bar{x}$  = Média amostral

$s$  = Desvio padrão amostral

$T$  = Tempo de Retorno

$Q_t$  = Valor extremo de vazão máxima

### 3.7.3. Distribuição de Weibull

Esta distribuição é uma expressão semi-empírica de mínimos, limitada inferiormente por zero. Desenvolvida por Ernest Hjalmar Wallodi Weibull (1887-1979), é amplamente aplicada em hidrologia pois muitas variáveis hidrológicas são limitadas por zero, também denominada distribuição de eventos mínimos tipo III (TALLAKSEN & VAN LANEN, 2004)



Segundo a distribuição de Weibull descrita em Tucci (1993), temos os seguintes parâmetros:

$$Q_T = \bar{x} + s \cdot k$$

Onde:

$\bar{x}$  = Média amostral

$s$  = Desvio padrão amostral

$k$  = Fator de frequência

$Q_T$  = Valor extremo de vazão mínima

$$k = A(\alpha) + B(\alpha) \cdot \left\{ \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{TR} \right) \right]^{\frac{1}{\lambda}} - 1 \right\} \quad (\text{Fator de Frequência})$$

Onde:

$$A(\alpha) = 1 - \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\lambda} \right) \cdot B(\alpha)$$

$$B(\alpha) = \left\{ \Gamma \left( 1 + \frac{1}{2\lambda} \right) - \left[ \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\lambda} \right) \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$\Gamma(1 + n) = n!$  Quando números inteiros compõem o argumento da função gama.

Kite (1977) apresenta uma relação numérica entre  $\lambda$  e a assimetria amostral  $a$ . O valor da assimetria deve estar compreendido no intervalo de -1,02 e 2.

$$1/\lambda = [c_0 + c_1 \cdot a + c_2 \cdot a^2 + c_3 \cdot a^3 + c_4 \cdot a^4]$$

$$c_0 = 0,277776$$

$$c_1 = 0,313262$$

$$c_2 = 0,057567$$

$$c_3 = -0,001304$$

$$c_4 = -0,008152$$

#### 3.7.4. Index flood method

A estimativa de vazões mediante o procedimento de regionalização é mais precisa quanto mais curvas de distribuição locais de frequência forem utilizadas no estabelecimento da curva regional para a seção fluvial sem dados.

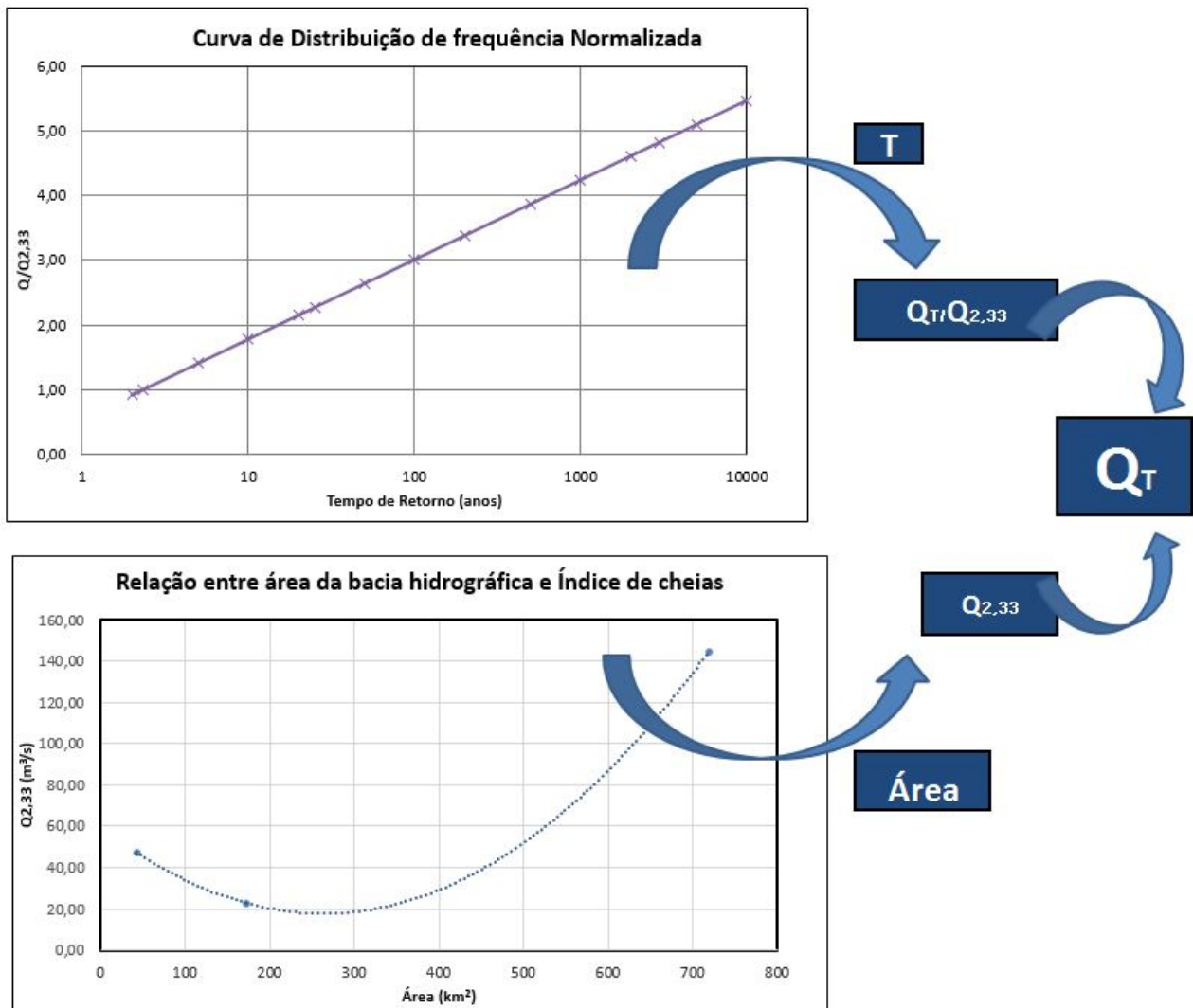
De acordo com DALRYMPLE, 1960, deve-se seguir para a adimensionalização da curva local de distribuição de frequências para cada um dos postos fluviométricos correspondentes às bacias hidrográficas que compõem a região, mediante a divisão das sucessivas ordenadas daquela curva local por um índice de cheias que, para as distribuições assimétricas de Gumbel e Weibull, é o valor referente ao período de retorno da média dos valores de vazão,  $TR = 2,33$  anos. Sendo assim, o valor do índice de cheia é o encontrado para  $Q_{2,33}$ .

Nas curvas adimensionalizadas são lidos os valores  $Q_T/Q_{2,33}$  para cada tempo de retorno correspondente. Procede-se o cálculo da média para os valores respectivos a um mesmo tempo de retorno para todas as curvas de distribuição disponíveis. A curva de distribuição de frequência regional resulta do ajustamento dos pontos representativos dos pares de valores (tempo de retorno  $TR$ ; média  $Q_T/Q_{2,33}$ ).

A curva de distribuição regional de vazões permite a obtenção dos valores de vazões para as bacias com falta de dados, pertencentes à região, partindo do índice de cheia  $Q_{2,33}$ . Assim, são necessários procedimentos complementares que permitam obter tais valores, mesmo que estes postos não tenham dados suficientes para isto. Dentre os procedimentos, destaca-se o estabelecimento de uma relação entre vazão anual e características fisiográficas de bacias.

A área é um dos fatores que muitos autores identificam como fator determinante na estimativa de vazões para uma bacia hidrográfica. Desta forma, a distribuição de pontos que relaciona os valores de  $Q_{2,33}$  com a respectiva área de cada bacia, após ajuste de uma curva, permite extrapolar os valores de  $Q_{2,33}$  para diferentes áreas de drenagem e, finalmente, utilizar

a curva de distribuição regional (Figura 16). Desta forma, conclui-se o método do índice de cheias proposto por Dalrymple, 1960.



**Figura 16** – Representação esquemática dos procedimentos propostos para obtenção de vazões máximas e mínimas - Regionalização

### 3.8.Fator de Capacidade e Garantia Física

O montante de garantia física de energia, solicitado nos termos do art. 3º da Portaria 463/2009, é calculado pela aplicação da fórmula detalhada a seguir:

$$GF_E = \left( \frac{1}{1.000n} \sum_{i=1}^n \min\{Q_i - (qr + qu) \times 9,81 \cdot (Hb - h) \times \eta_{tg}; P\} \right) \times \\ (1 - Perdas_{con}) \times (1 - TEIF) \times (1 - IP) - C_{int}$$

Onde:

$GF_E$	Montante de Garantia Física de Energia (MW médio)
$i$	Índice do mês
$n$	Quantidade de meses do histórico de vazões
$Q_i$	Vazão média do mês $i$ (m <sup>3</sup> /s)
$qr$	Vazão Remanescente do Aproveitamento (m <sup>3</sup> /s)
$qu$	Vazão de Usos Consuntivos (m <sup>3</sup> /s)
$Hb$	Queda Bruta Nominal (m)
$h$	Perdas Hidráulicas Nominais (m)
$\eta_{tg}$	Rendimento do conjunto turbina-gerador
$P$	Potência Instalada Total (kW)
$Perdas_{con}$	Perdas Elétricas até o Ponto de Conexão (%)
$TEIF$	Taxa Equivalente de Indisponibilidade Forçada (%)
$IP$	Indisponibilidade Programada (%)
$C_{int}$	Consumo Interno (MW médio)

A garantia física pode também ser escrita como:

$$GF_E = EM \cdot (1 - Perdas_{con}) \cdot (1 - TEIF) \cdot (1 - IP) - C_{int}$$

$$EM = \frac{\sum_{i=1}^n \min\{Q_i - (qr + qu) \times 9,81 \times (Hb - h) \times \eta_{tg}; P\}}{1000n}$$

onde:

*EM* Energia média (MW médio)

A aplicação da equação anterior aos meses do histórico de vazões afluentes a CGH Rio Power I permite o cálculo da geração média mensal.

De acordo com Portaria 463/2009, a Garantia Física de Energia da Rio Power I é obtida da seguinte fórmula:

$$GF_E = EM \times (1 - Perdas_{con}) \times (1 - TEIF) \times (1 - IP) - C_{int}$$

O fator de capacidade é obtido pela razão do valor obtido para a garantia física e a potência instalada.

$$Fator\ de\ Capacidade = \frac{Garantia\ física}{Potência\ instalada}$$

## 4. Resultados

Neste item serão apresentados e discutidos os resultados referentes às etapas de calibração e validação do modelo SMAP, de regionalização de vazões máximas e mínimas e de cálculo de garantia física e fator de capacidade para a CGH Rio Power I.

### 4.1. Calibração e Validação - SMAP

O modelo SMAP foi utilizado para a modelagem da série histórica de vazões do Rio Santana. Foram realizadas duas análises para a distribuição dos dados de chuva:

A partir da utilização do software ArcGIS foi gerada automaticamente a bacia hidrográfica do Rio Santana e encontrada uma área total para a da bacia do rio Santana de 333km<sup>2</sup>. A partir das coordenadas geográficas dos postos pluviométricos foi importada a localização dos mesmos para a interface do ArcGIS. Foi aplicado a Toolbox presente no ArcGIS para criação do polígono de Thiessen automaticamente, obtendo-se então a seguinte área de influência de áreas para cada posto, conforme a figura 17.

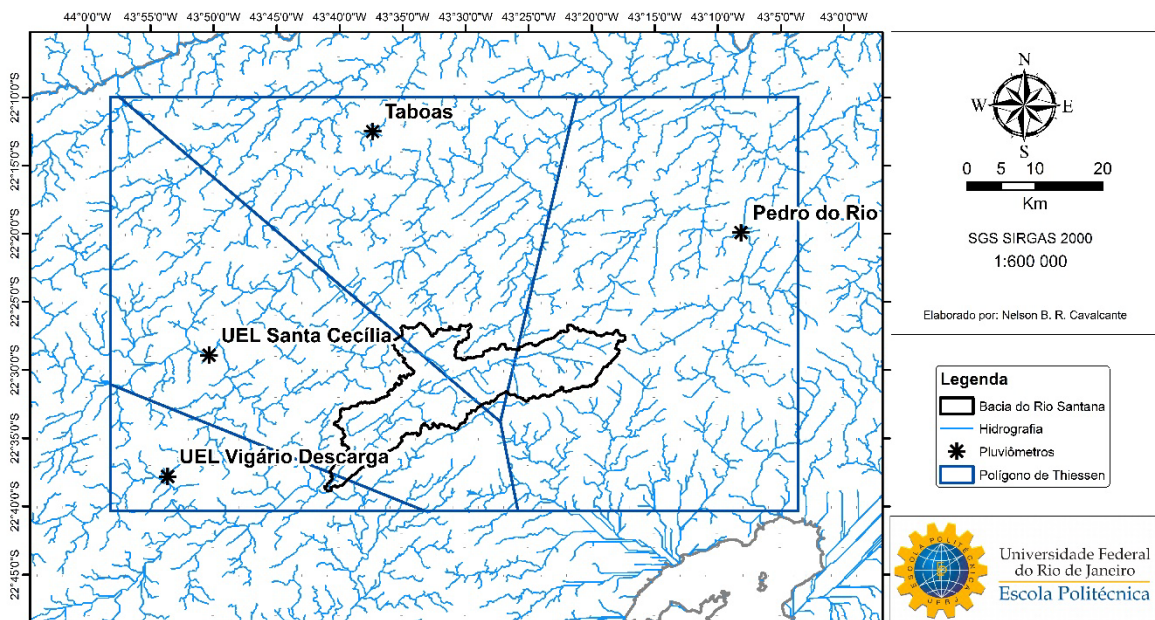


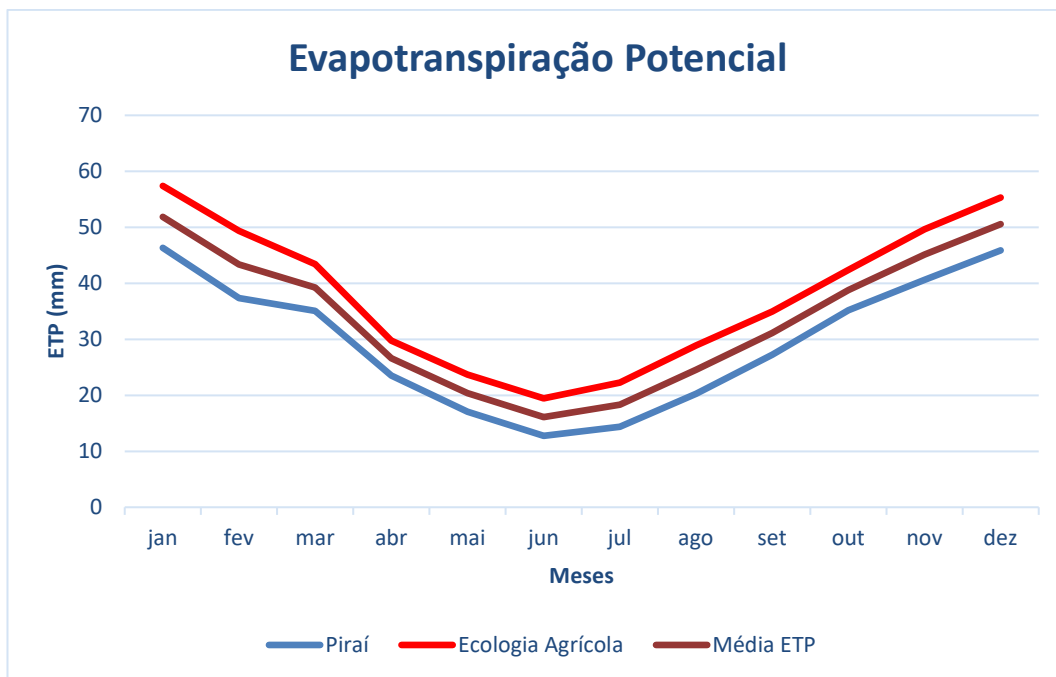
Figura 17 – Bacia do Rio Santana; Polígono de Thiessen traçado no ArcGIS.

O modelo SMAP foi inicializado com os valores de vazão do posto hotel Santa Branca, que abrange uma área de 199 km<sup>2</sup>, os dados pluviométricos dos postos Pedro do Rio, UEL Vigário, UEL St. Cecília e Taboas, juntamente com os coeficientes gerados pelo polígono de Thiessen e os dados de evapotranspiração.

Os valores correspondentes às médias de evapotranspiração dos postos Ecologia agrícola e Pirai, obtidos a partir do método de Hargreaves (1973), foram utilizados como entrada no modelo e encontram-se na tabela 18. A figura 18 apresenta, graficamente, o comportamento da evapotranspiração calculada durante o ano.

**Tabela 18** - Resultados para evapotranspiração potencial – Método Hargreaves – Postos Pirai e Ecologia Agrícola.

Evapotranspiração Potencial		Média (mm/mês)	Média (mm/dia)
Pirai	Ecologia Agrícola		
46,33	57,39	51,86	1,73
37,37	49,39	43,38	1,45
35,05	43,40	39,22	1,31
23,50	29,77	26,63	0,89
17,06	23,70	20,38	0,68
12,76	19,45	16,10	0,54
14,35	22,24	18,30	0,61
20,25	28,89	24,57	0,82
27,27	34,95	31,11	1,04
35,17	42,41	38,79	1,29
40,63	49,65	45,14	1,50
45,88	55,31	50,59	1,69



**Figura 18** - Evapotranspiração dos postos Pirai e Ecologia Agrícola e média.

Entre os dois anos de dados, foi realizada a calibração no período seco, que segue de fevereiro de 1955 a junho de 1955. Os parâmetros e resultados para a modelagem realizada com precipitação média dos pluviômetros, de acordo com o método do polígono de Thiessen, encontram-se nas tabelas 19, 20 e 21. Estes foram calibrados a partir da comparação dos valores de entrada e saída do modelo e também avaliados pelo resultado dos coeficientes das funções objetivo Cer, Cef e Soma Coef, apresentados no item 3.6.

**Tabela 19** - Parâmetros de calibração do modelo SMAP – Polígono de Thiessen.

Parâmetros	Faixa Variação		
Str	728	50<2000	mm
K2t	0,66	0,2<10	dias
Crec	0,47	0<100	%
Ai	2	2<5	mm
Capc	50	30<50	%
Kkt	180	30<180	dias



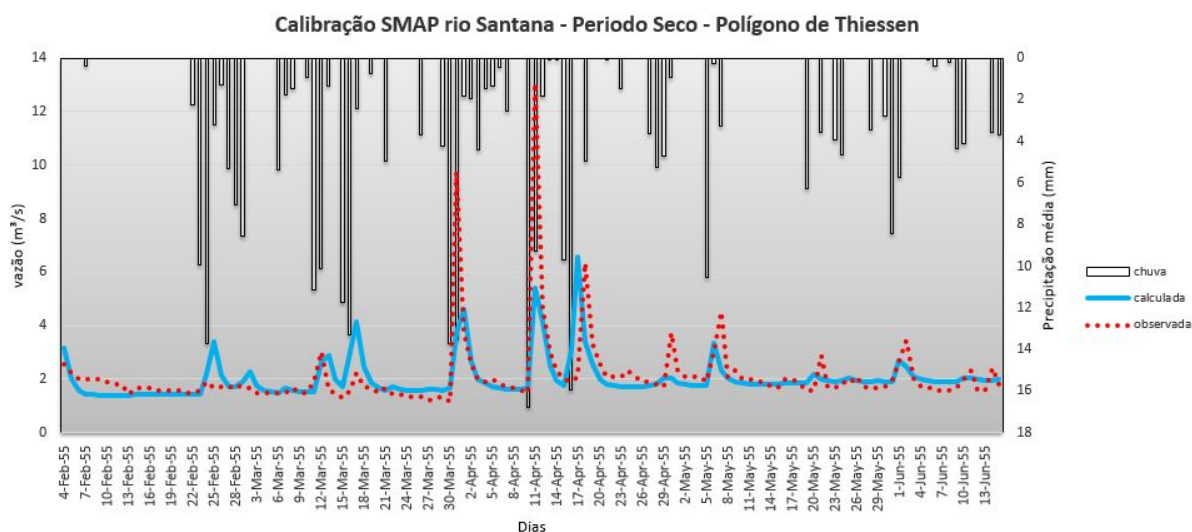
**Tabela 20** – Parâmetros de Inicialização do modelo SMAP – Polígono de Thiessen.

Inicialização SMAP		
Tuin	30	%
Ebin	3	m <sup>3</sup> /s
Supin	0,7	m <sup>3</sup> /s
Área de drenagem	199	km <sup>2</sup>

**Tabela 21** – Parâmetros utilizados para inibição do reservatório de planícies.

Parâmetro Reservatório de Planície	
H	200
K3t	10
K1t	10

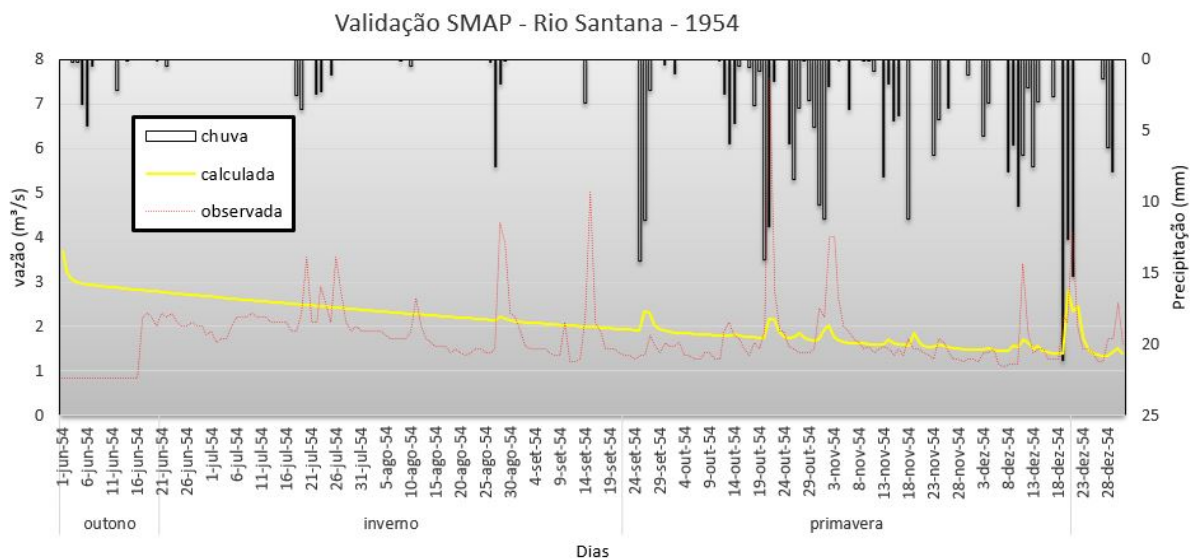
O valor para o coeficiente de Nash-Sutcliffe obtido foi de 0,355, justificado de acordo com a figura 19, onde é possível notar que os picos, maiores valores de vazão, não apresentam proximidade, apesar de o modelo mostrar sensibilidade quanto aos eventos de precipitação mais intensa.



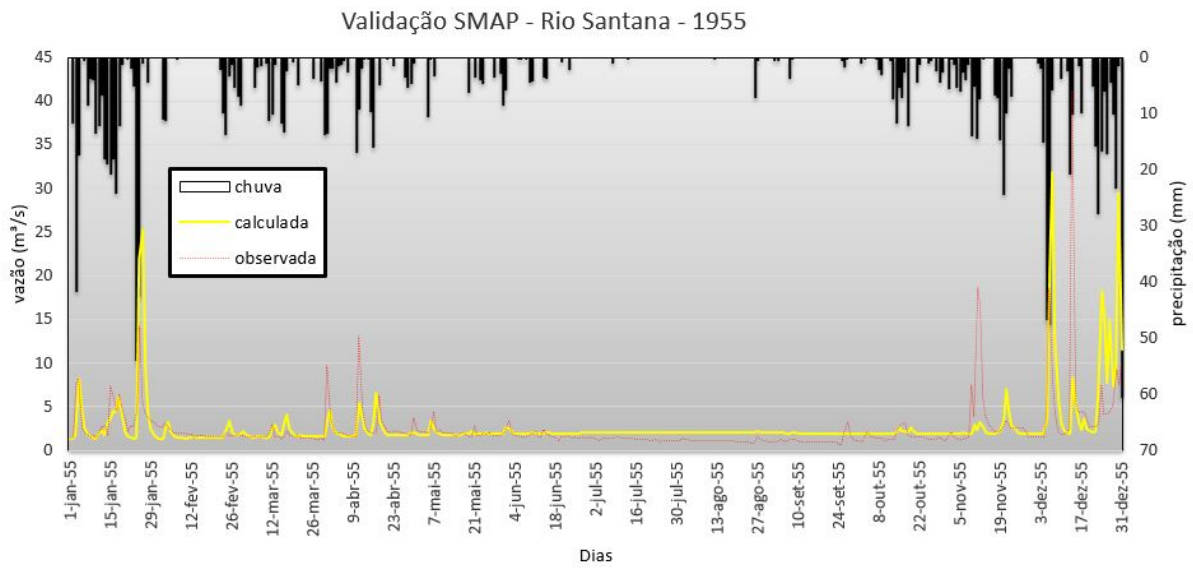
**Figura 19** – Calibração - Gráfico de vazões gerado com os valores de precipitação gerados pelo método do polígono de Thiessen.

O valor do coeficiente de erro relativo foi de 0,799, o que significa que o modelo apresentou boa sensibilidade aos desvios de menores vazões, modelando mais eficientemente para estes valores. Logo o valor do Soma Coef é de 1,154.

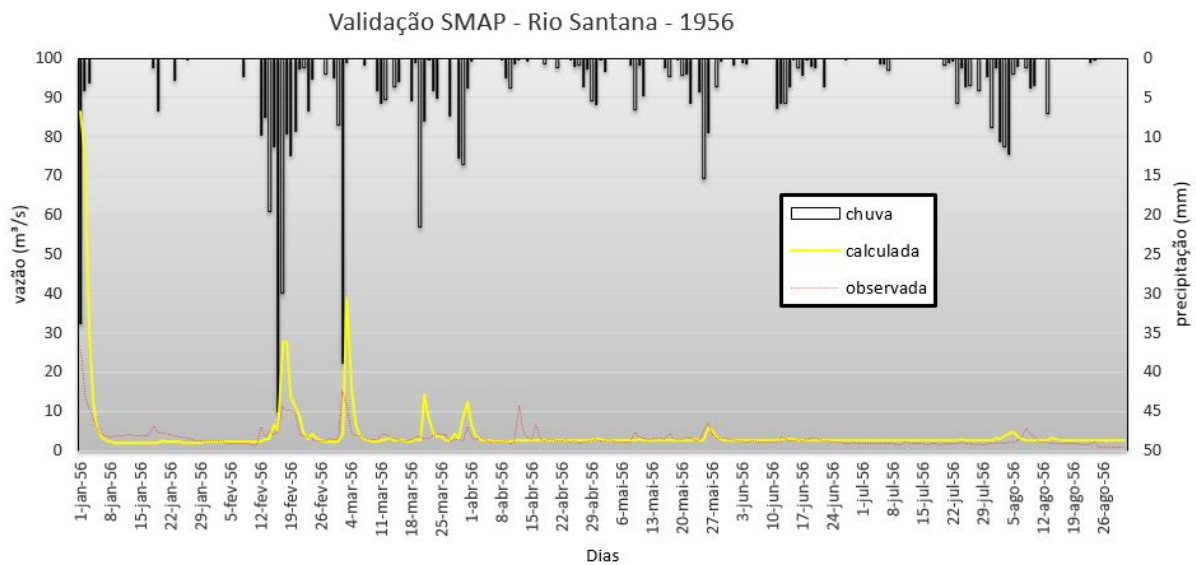
Os parâmetros de calibração que apresentaram vazões que melhor representaram o comportamento hidrológico da bacia tanto graficamente, quanto pelas funções objetivo, foi obtido no período de fevereiro a junho de 1955. Logo, foi realizada validação dos parâmetros obtidos para toda a série de dois anos disponível. O resultado de validação do modelo não foi satisfatório, notado pelo Coeficiente de Nash-Sutcliff no valor de -1,794, Coeficiente de erro relativo de 0,555 e Soma Coef de -1,239. Contudo, de acordo com as características das funções objetivo utilizadas, pode-se perceber que o modelo apresenta melhores resultados para menores vazões. As figuras 20, 21 e 22 apresentam os gráficos de validação dos parâmetros para o polígono de Thiessen.



**Figura 20** – Validação de vazões geradas a partir da precipitação média para o ano de 1954.



**Figura 21** - Validação de vazões geradas a partir da precipitação média para o ano de 1955.



**Figura 22** - Validação de vazões geradas a partir da precipitação média para o ano de 1956.

Uma segunda alternativa para obtenção de possíveis melhores resultados foi a calibração do modelo SMAP diário para a precipitação de cada posto, individualmente, com o intuito de avaliar o comportamento hidrológico correspondente e, assim, obter parâmetros que melhor representem a bacia, sem a influência do peso pela influência de área obtido do método do

polígono de Thiessen. Desta forma, o SMAP recebeu como entrada somente os dados pluviométricos de um posto por vez.

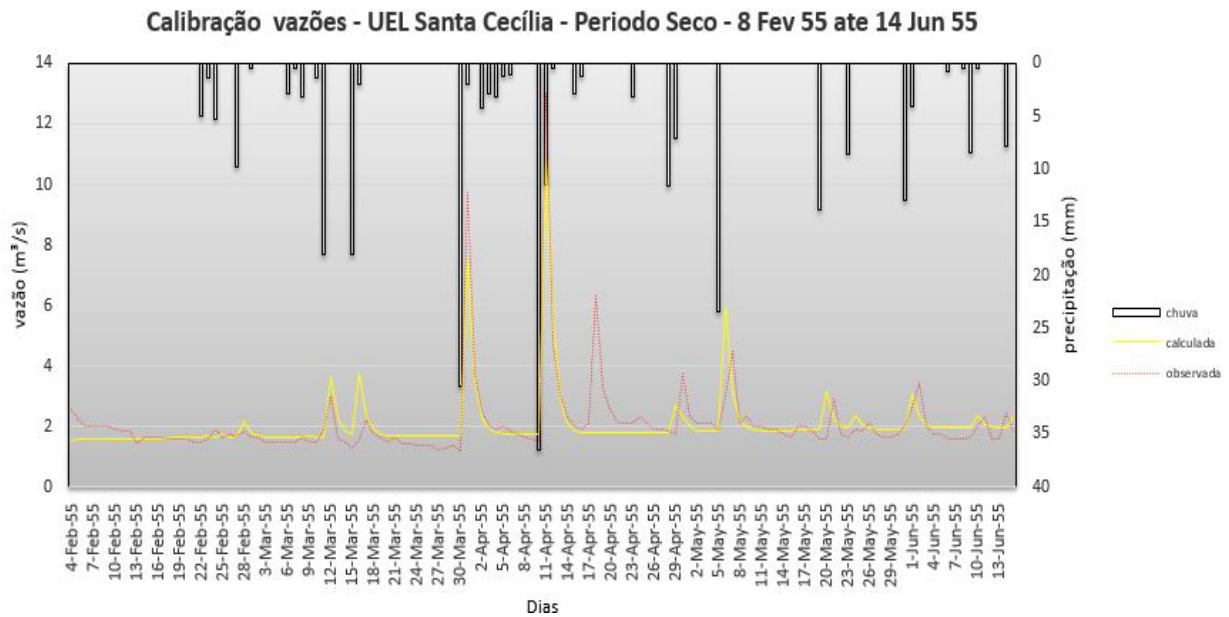
O posto que apresentou melhores resultados para os coeficientes das funções objetivo foi o posto UEL Santa Cecília. A figura 23 apresenta graficamente o resultado gerado a partir da calibração do modelo com os parâmetros das tabelas 22 e 23.

**Tabela 22** - Parâmetros de calibração do modelo SMAP – Posto UEL Santa Cecília

Parâmetros		Faixa Variação	
Str	<b>734</b>	50<2000	mm
K2t	<b>0,59</b>	0,2<10	dias
Crec	<b>0,7</b>	0<100	%
Ai	<b>2</b>	2<5	mm
Capc	<b>50</b>	30<50	%
Kkt	<b>180</b>	30<180	dias

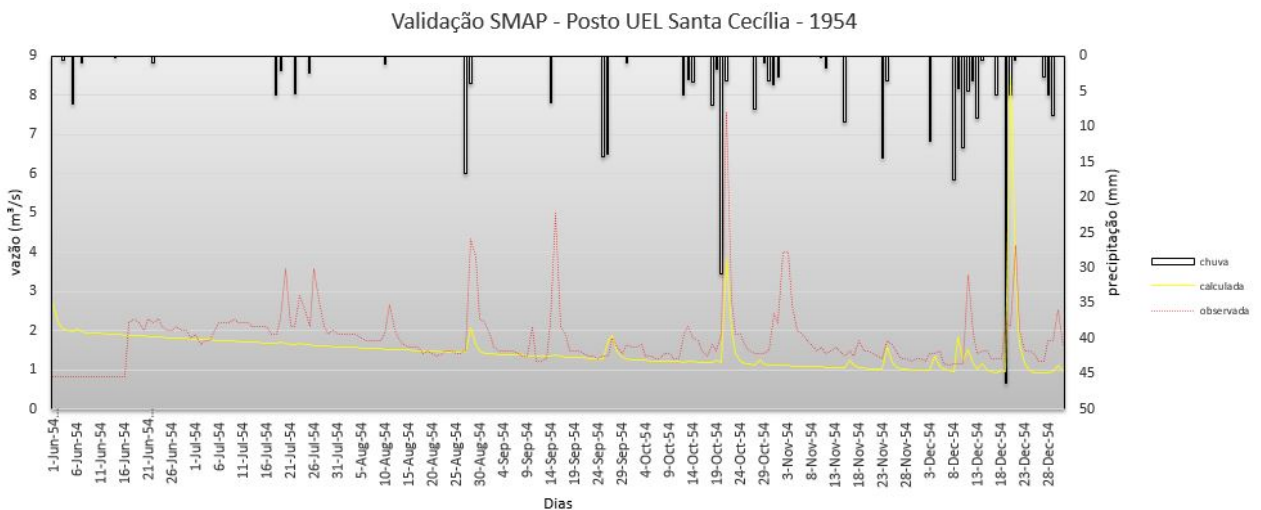
**Tabela 23** - Parâmetros de inicialização do modelo SMAP – Posto UEL Santa Cecília

Inicialização		
Tuin	<b>30</b>	%
Ebin	<b>3,3</b>	m <sup>3</sup> /s
Supin	<b>0,7</b>	m <sup>3</sup> /s
Área de drenagem	<b>199</b>	km <sup>2</sup>



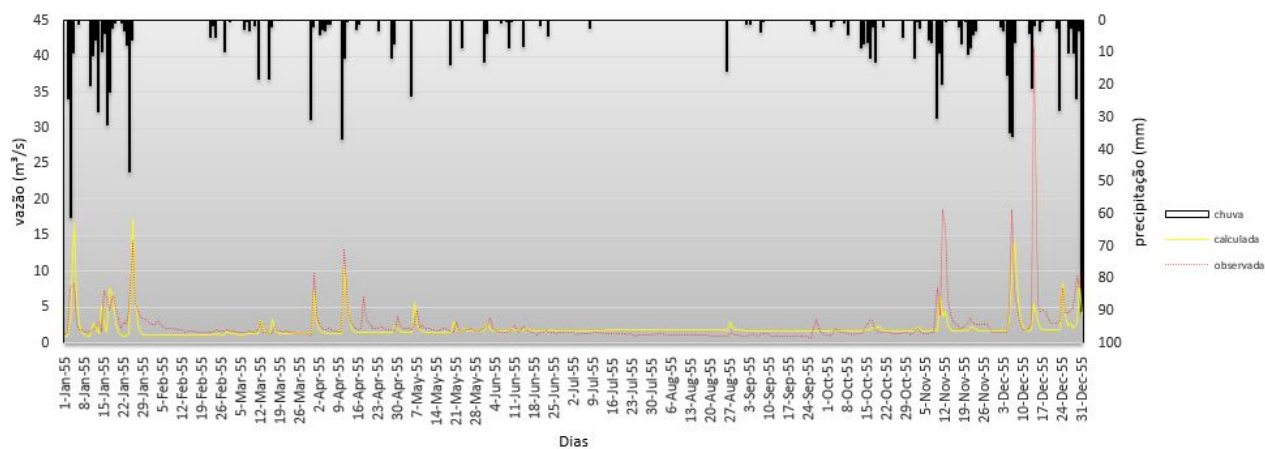
**Figura 23** - Calibração - Gráfico de vazões gerado com os valores de precipitação do posto UEL Santa Cecília

O resultado para o coeficiente de Nash-Sutcliffe foi de 0,728, apresentando assim boa sensibilidade para vazões altas e também baixas, como pode ser visto pelo coeficiente de erro relativo de 0,825. O valor de Soma Coef foi de 1,553. Os gráficos correspondentes aos períodos de validação dos parâmetros obtidos nesta segunda etapa de modelagem podem ser analisados nas figuras 24, 25 e 26.



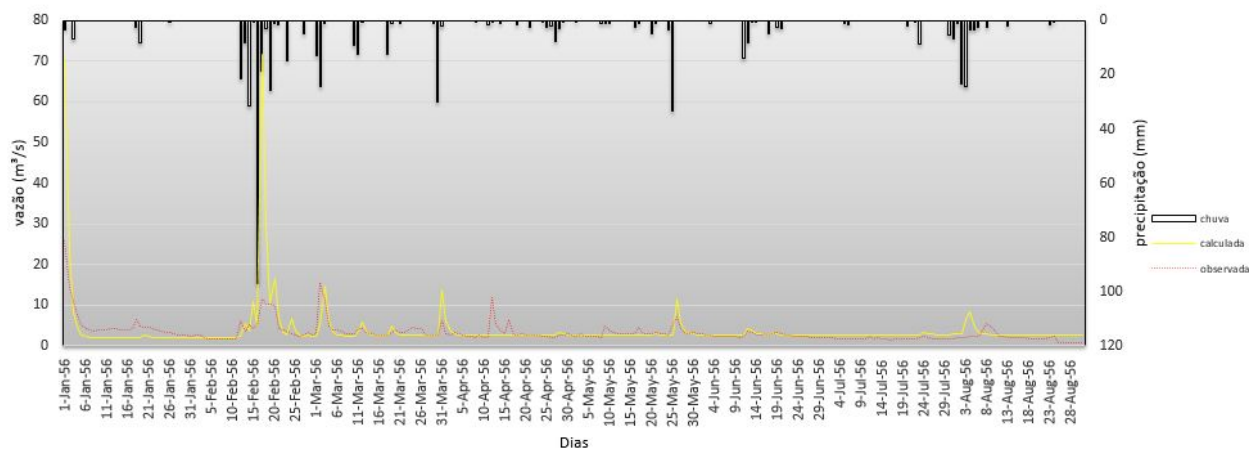
**Figura 24** - Validação de vazões geradas a partir da precipitação do posto UEL Santa Cecília para o ano de 1954.

### Validação SMAP - Posto UEL Santa Cecília - 1955



**Figura 25** - Validação de vazões geradas a partir da precipitação do posto UEL Santa Cecília para o ano de 1955.

### Validação SMAP - Posto UEL Santa Cecília - 1956



**Figura 26** - Validação de vazões geradas a partir da precipitação do posto UEL Santa Cecília para o ano de 1956.

Para a validação do período integral obtiveram-se os valores de coeficiente de Nash-Sutcliffe de -0,830, coeficiente de erro relativo de 0,622 e Soma Coef de -0,208. Nota-se que o



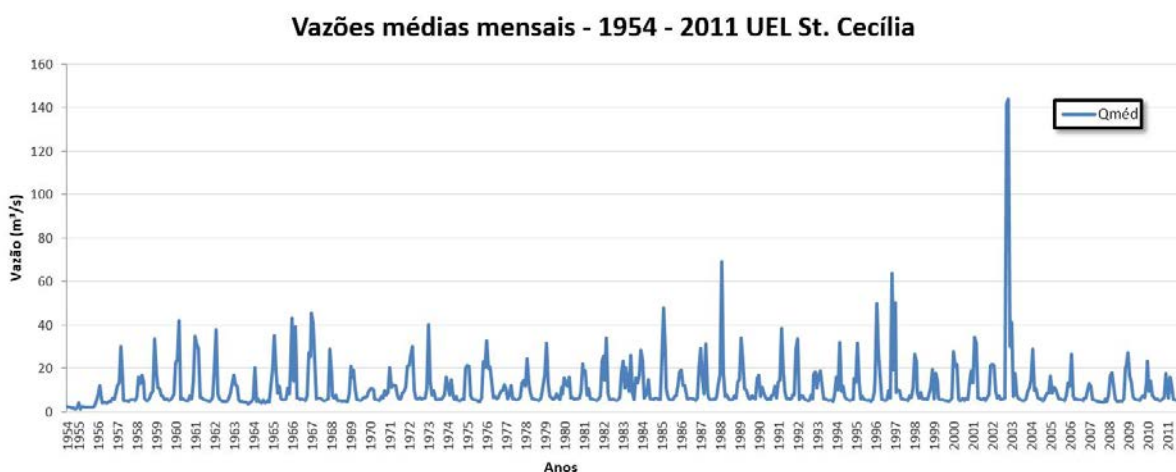
modelo ainda representa boa sensibilidade para vazões menores da série. A tabela 24 apresenta um resumo da calibração e validação nas duas etapas analisadas.

**Tabela 24** – Comparativo final modelo SMAP – Thiessen e UEL Santa Cecília

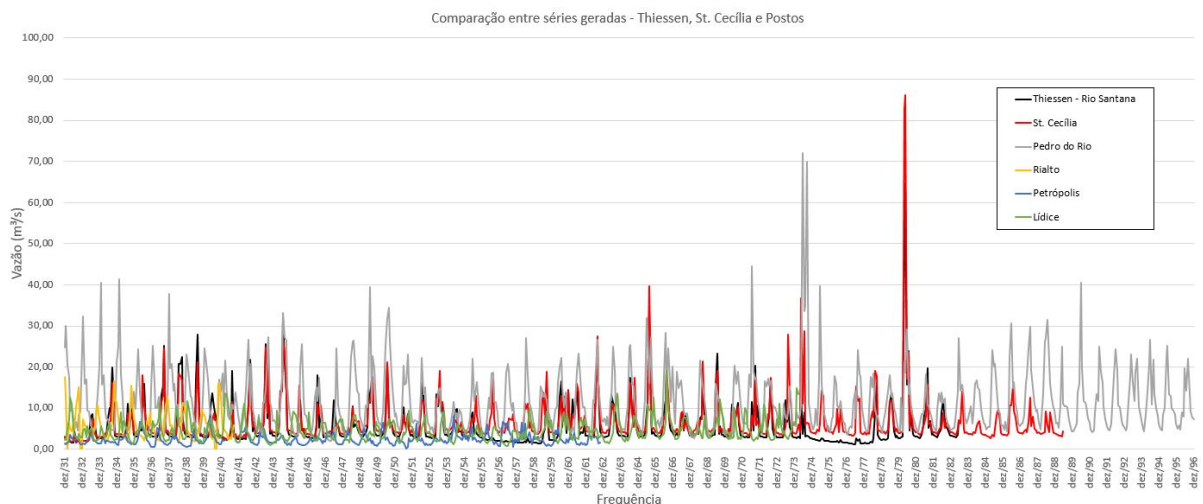
SMAP	Poígono de Thiessen		UEL Santa Cecília	
	Calibração	Validação	Calibração	Validação
Nash-Sutcliffe	0,355	-1,794	<b>0,728</b>	<b>-0,830</b>
Erro relativo	0,799	0,555	<b>0,825</b>	<b>0,622</b>
Soma Coef	1,154	-1,239	<b>1,553</b>	<b>-0,208</b>

A comparação dos resultados de calibração permite identificar que os dados pluviométricos aferidos pelo posto pluviométrico UEL Santa Cecília representam melhor o comportamento hidrológico na bacia do rio Santana.

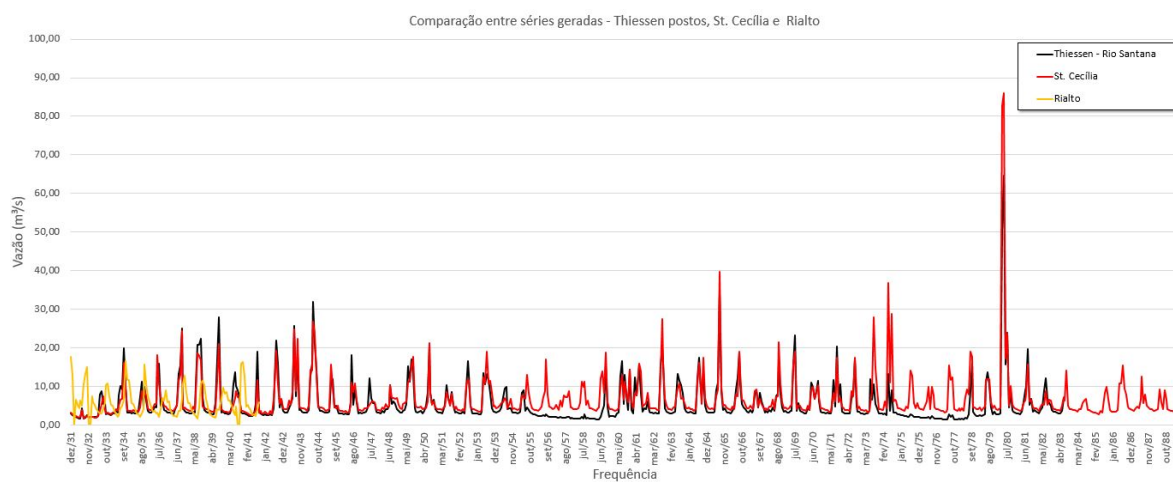
Para efeito de comparação da modelagem, ambas as séries diárias de vazões foram geradas pelo modelo SMAP e, então, comparadas com estudos existentes da bacia do rio Santana. Os hidrogramas a seguir permitem uma melhor visualização e avaliação gráfica do resultado final de extrapolação do modelo (Figuras 27, 28, 29, 30, 31 e 32).



**Figura 27** – Série de vazões diárias gerada pelo do modelo SMAP – Posto pluviométrico UEL Santa Cecília.

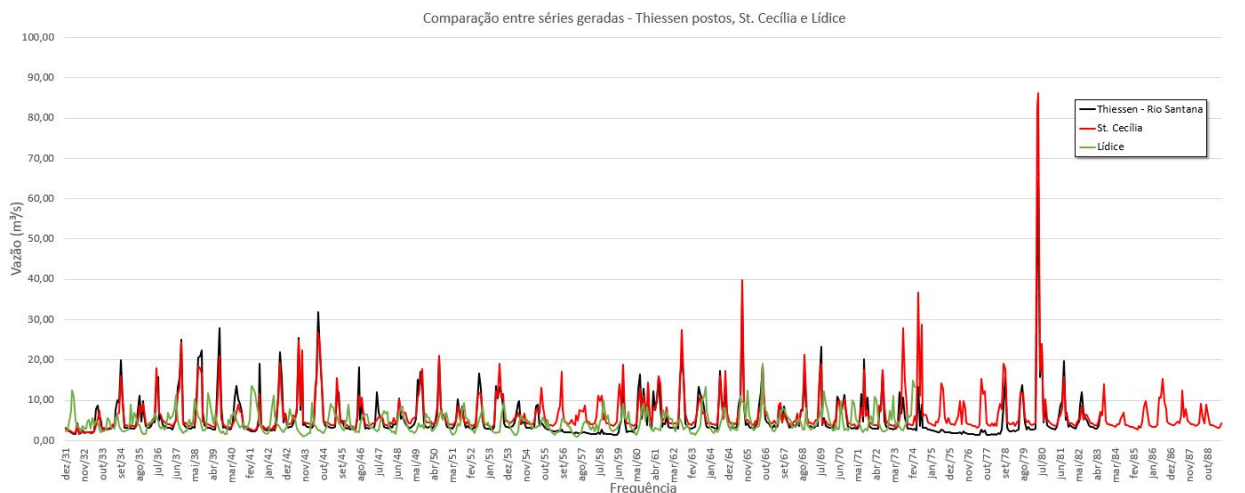


**Figura 28** – Comparação de séries de vazão gerada em estudos anteriores.

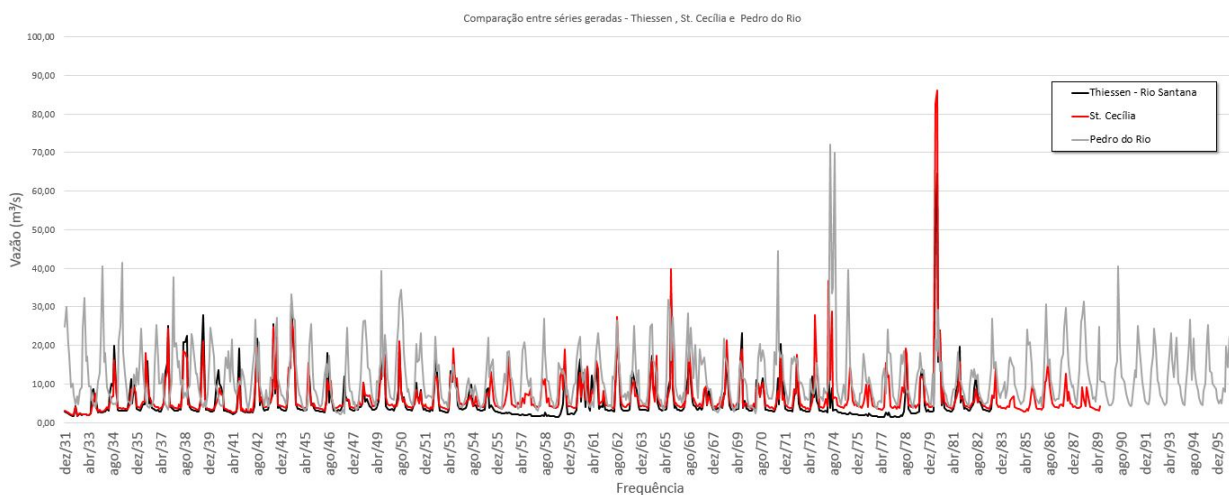


**Figura 29** – Comparação entre séries de vazão geradas com os postos UEL Santa Cecília e Rialto e com o polígono de Thiessen.

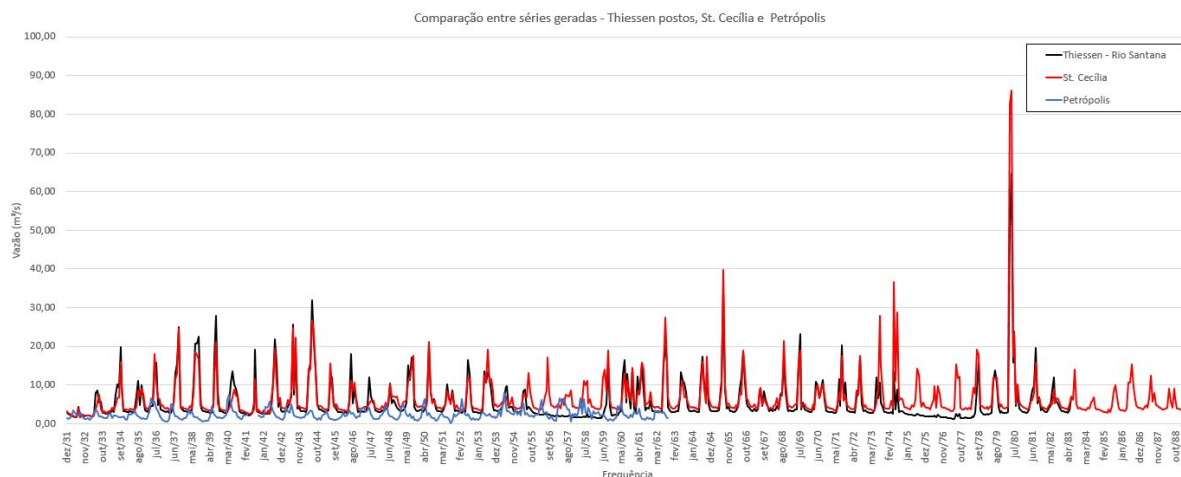




**Figura 30** - Comparação entre séries de vazão geradas com os postos UEL Santa Cecília e Lídice e com o polígono de Thiessen.



**Figura 31** - Comparação entre séries de vazão geradas com os postos UEL Santa Cecília e Pedro do Rio e com o polígono de Thiessen.



**Figura 32** - Comparação entre séries de vazão geradas com os postos UEL Santa Cecília e Petrópolis e com o polígono de Thiessen.

Os resultados acima identificam um comportamento semelhante da modelagem realizada neste trabalho, em relação a sensibilidade do modelo, com os estudos comparativos. Isto é notado a partir da avaliação da sequência de picos de vazão e posterior vazante em períodos iguais, não apresentando distanciamentos consideráveis. Em comparação com o posto de maior série histórica, Pedro do Rio, o resultado de modelagem apresentou uma série com vazão de base menor e picos de vazão inferiores.

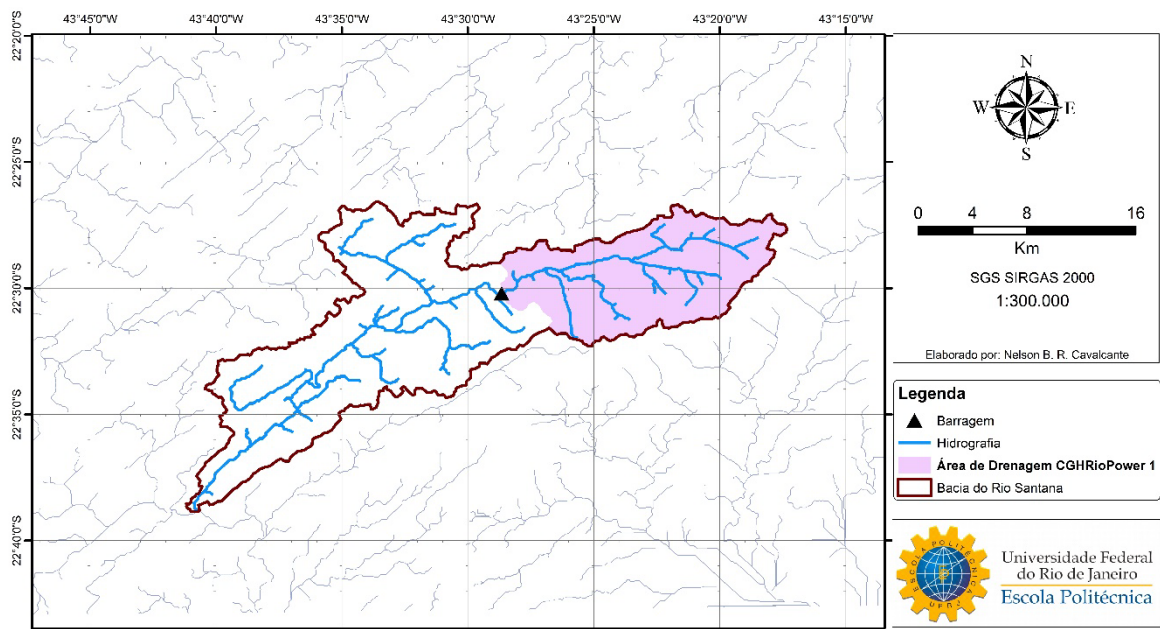
A partir da comparação entre os dois resultados gráficos provenientes deste trabalho, Thiessen – Rio Santana e St. Cecília, nota-se que a série gerada a partir do método do polígono de Thiessen apresentou falhas entre dezembro de 1955 e 1959 e entre fevereiro de 1974 e outubro de 1978, fato que pode denotar uma distribuição errônea dos pesos pelo método, que leva em consideração somente a área de influência dos postos.

A função objetivo de erro relativo, como visto na tabela 24, apresentou valores que determinam uma boa sensibilidade do modelo para vazões menores. Logo, observa-se que a vazão de base, referente aos períodos de estiagem, não apresenta grande defasagem do observado.

## 4.2. Vazões máximas anuais

As vazões máximas anuais foram determinadas através da metodologia de regionalização, que considerou o registro dos postos pluviométricos de Petrópolis, Fazenda Sobradinho e Valença, descritos detalhadamente no item 3.3. Com isso, estimou-se as possíveis variações significativas nas vazões de projeto em virtude das cheias ocorridas no histórico aferido pelos postos.

A análise consistiu na determinação dos valores máximos anuais de vazões e posterior ajuste estatístico através da aplicação da distribuição de Gumbel à série obtida na modelagem. Levou-se em consideração a área respectiva à localização da CGH Rio Power I, que, de acordo com plantas de estudos anteriores realizados na bacia do rio Santana, tem sua localização nas coordenadas UTM 7510655,744 m N e 656583,613 m E. A área de drenagem respectiva à esta localização é de 117 km<sup>2</sup>, obtida através do *software* ArcGIS 10.1 (Figura 33).



**Figura 33** – Localização da CGH Rio Power I na bacia hidrográfica do rio Santana

**Tabela 25** – Distribuição de Gumbel - Vazão média diária máxima x Tempo de Retorno

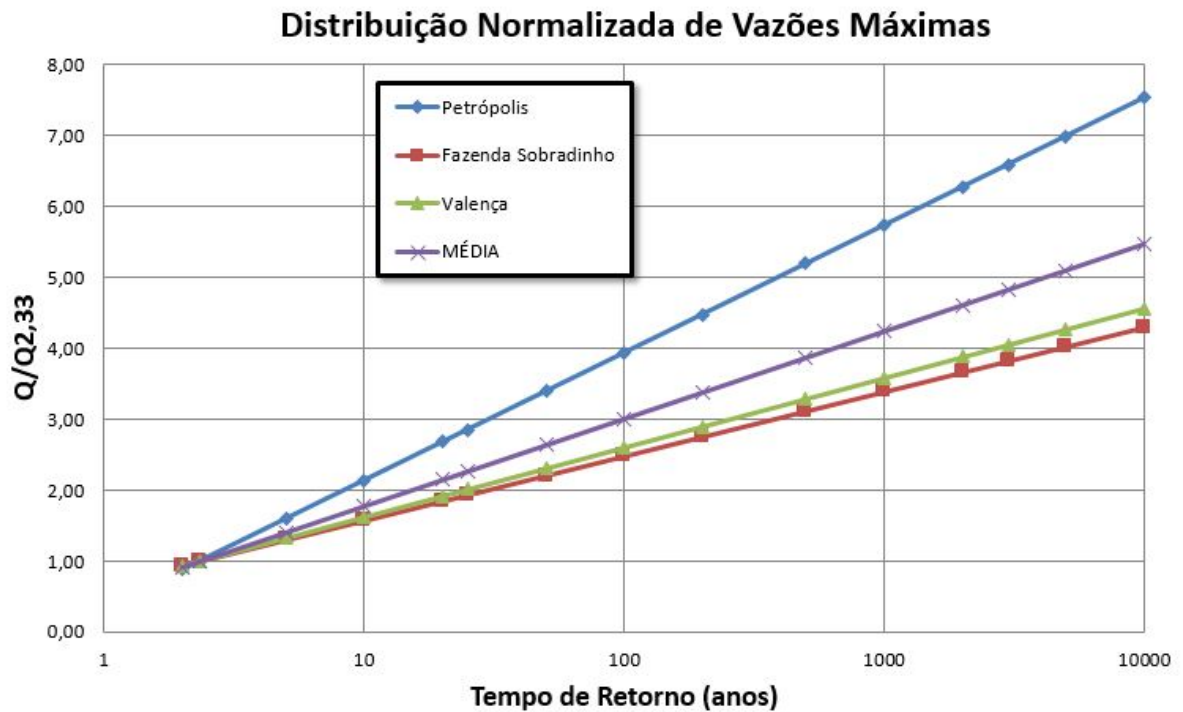
Posto	Petrópolis	Fazenda Sobradinho	Valença
Código	58400000	58420000	58560000
Média	52,88	153,18	24,08
D. Padrão	36,86	56,98	9,63
Coef. Asssim.	1,11	0,57	0,36
Distribuição	Gumbel	Gumbel	Gumbel
TR	Vazão média diária máxima anual		
(anos)	(m <sup>3</sup> /s)		
2	41,57	135,70	21,13
2,33	47,20	144,40	22,60
5	75,34	187,91	29,96
10	100,90	227,41	36,63
20	126,45	266,90	43,31
25	134,67	279,62	45,46
50	160,22	319,11	52,14
100	185,77	358,61	58,82
200	211,32	398,11	65,49
500	245,10	450,32	74,32
1000	270,65	489,81	81,00
2000	296,20	529,31	87,67
3000	311,15	552,41	91,58
5000	329,98	581,52	96,50
10000	355,53	621,02	103,18

O período disponível de dados existentes na série dos três postos avaliados foi de 1960 a 1986.

Com as distribuições estatísticas ajustadas às séries de vazões máximas (Tabela 25), foi feita a adimensionalização (Tabela 26) e normalização dos resultados, permitindo uma melhor visualização do comportamento hidrológico das bacias analisadas (Figura 34).

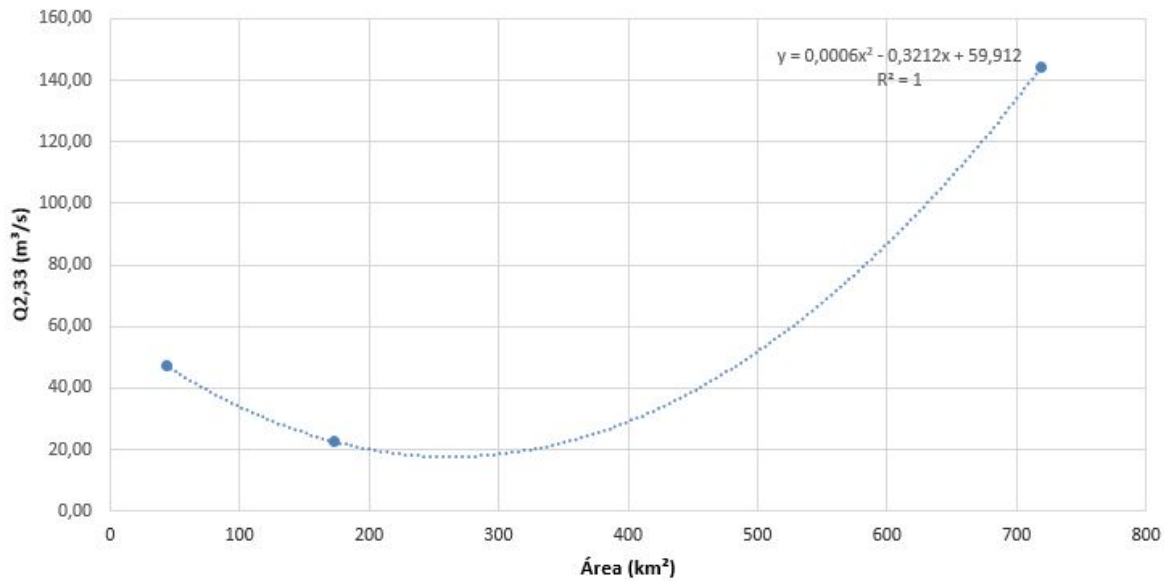
**Tabela 26** – Adimensionalização dos resultados

Área de drenagem			
43,1	719	173	
Adimensionalização (Q/Q <sub>2,33</sub> )			
Petrópolis	Fazenda Sobradinho	Valença	MÉDIA
0,88	0,94	0,93	0,92
1,00	1,00	1,00	1,00
1,60	1,30	1,33	1,41
2,14	1,57	1,62	1,78
2,68	1,85	1,92	2,15
2,85	1,94	2,01	2,27
3,39	2,21	2,31	2,64
3,94	2,48	2,60	3,01
4,48	2,76	2,90	3,38
5,19	3,12	3,29	3,87
5,73	3,39	3,58	4,24
6,28	3,67	3,88	4,61
6,59	3,83	4,05	4,82
6,99	4,03	4,27	5,10
7,53	4,30	4,57	5,47



**Figura 34** – Distribuição Normalizada de Vazões Máximas

## REGIONALIZAÇÃO



**Figura 35** – Gráfico de área x Q<sub>2,33</sub>

A partir do valor da área de drenagem do local em estudo (117 km<sup>2</sup>) e com base na curva de regionalização das cheias, obteve-se a Q<sub>2,33</sub> de 30,54 m<sup>3</sup>/s para a localização da CGH Rio Power I (Figura 35). Multiplicando-se a vazão citada pelos valores obtidos na relação QT/Q<sub>2,33</sub>, para cada tempo de retorno, obtiveram-se as vazões de cheia (Q<sub>máx</sub>) para os tempos de recorrência desejados, como pode ser visto na figura 28. Aplicado o coeficiente de Fuller, obteve-se o valor de Q<sub>1000</sub>(milénar) de 211,90 m<sup>3</sup>/s, sendo a vazão comumente utilizada para o dimensionamento de algumas estruturas de centrais geradoras hidrelétricas (CGH's) e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's), como a estrutura de vertimento, por exemplo. O resultado final é apresentado na tabela 27.



**Tabela 27** – Resultado final de vazões máximas x Tempo de Retorno

TR	Resultados de regionalização de vazões máximas			
(anos)	Média	Q2,33 Santana	Qfinal	Qinst(FULLER)
2	0,92	30,545	28,05	45,94
2,33	1,00		30,55	50,02
5	1,41		43,00	70,41
10	1,78		54,30	88,92
20	2,15		65,61	107,43
25	2,27		69,25	113,39
50	2,64		80,55	131,90
100	3,01		91,86	150,41
200	3,38		103,16	168,92
500	3,87		118,11	193,39
1000	4,24		129,41	211,90
2000	4,61		140,72	230,42
3000	4,82		147,33	241,24
5000	5,10		155,66	254,89
10000	5,47		166,97	273,40

### **4.3.Vazões mínimas anuais**

A vazão ecológica é definida de acordo com a Instrução Normativa 04 de 21 de junho de 2000 do Ministério do Meio Ambiente como “a vazão mínima necessária para garantir a preservação do equilíbrio natural e a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos” (BRASIL, 2000). Não está estabelecido na legislação brasileira critérios quantitativos ou qualitativos de vazão que deve ser administrada à jusante de uma captação ou uso de água para que assim se mantenha uma condição ecológica mínima sustentável.

No Rio de Janeiro, a Portaria SERLA n° 567, de 2007, estabelece critérios gerais para a emissão de outorga de direitos de uso de recursos hídricos e determina que para fins de vazão de referência será outorgado até 50% do valor para a Q7,10.

No presente estudo, foi adotado como vazão ecológica 50% do valor da vazão Q7,10, que consiste nas menores médias de sete dias consecutivos para cada ano das séries históricas de vazões, para a estimativa anual. Então. Foi aplicado o método de regionalização, como apresentado no item 2.3.

O método de regionalização de vazões foi utilizado com a distribuição de Weibull para obter os resultados de vazões mínimas anuais para o Rio Santana. Na tabela 35 encontram-se os resultados da distribuição de probabilidade associados ao tempo de retorno para as vazões Q7,10 mínimas anuais dos três postos fluviométricos considerados no estudo e os valores de média, desvio padrão e coeficiente de assimetria utilizados para a obtenção dos parâmetros para cada posto podem ser vistos nas tabelas 28, 29 e 30.



**Tabela 28** – Cálculos Estatísticos para o posto Petrópolis.

Cálculos estatísticos (58400000)		
Média	0,728	xm
Desv. PAD	0,275	
Num. Anos	27	
AA	-0,014	Assimetria
AAP	-0,015	Assimetria de pequenas amostras
AS	-0,734	Coefficiente de assimetria

**Tabela 29** - Cálculos Estatísticos para o posto Fazenda Sobradinho.

Cálculos estatísticos (58420000)		
Média	5,460	xm
Desv. PAD	2,013	
Num. Anos	20	
AA	6,476	Assimetria
AAP	7,175	Assimetria de pequenas amostras
AS	0,880	Coefficiente de assimetria

**Tabela 30** - Cálculos Estatísticos para o posto Valença.

Cálculos estatísticos (58560000)		
Média	0,909	xm
Desv. PAD	0,32	
Num. Anos	27	
AA	0,037938563	Assimetria
AAP	0,040913036	Assimetria de pequenas amostras
AS	1,257572226	Coefficiente de assimetria

A partir dos valores dos dois primeiros momentos para cada série de vazão, pôde-se calcular o coeficiente de assimetria para cada frequência de mínimas anuais obtidas dos dados disponíveis no histórico de vazões dos postos Petrópolis (tabela 31), Fazenda Sobradinho (tabela 32) e Valença (tabela 33). Subsequentemente chegou-se ao valor do parâmetro  $\lambda$ ,

utilizado no cálculo do fator de frequência e, em seguida, das vazões mínimas para os tempos de retorno em estudo.

**Tabela 31** – Assimetria da amostra de Q7,10 mínimas anuais. Posto Petrópolis.

Cálculo da assimetria da amostra para Weibull EV-III (Posto Petrópolis - 58400000)					
n	Q7 desc	$(x-xm)^3/Num. Anos$	n	Q7 desc	$(x-xm)^3/Num. Anos$
1	1,18	3,45E-03	15	0,73	2,81E-12
2	1,17	3,19E-03	16	0,72	-2,00E-08
3	1,05	1,23E-03	17	0,69	-2,06E-06
4	1,04	1,17E-03	18	0,65	-1,49E-05
5	0,99	6,98E-04	19	0,64	-2,79E-05
6	0,93	2,98E-04	20	0,60	-8,33E-05
7	0,89	1,65E-04	21	0,59	-9,76E-05
8	0,88	1,37E-04	22	0,55	-2,09E-04
9	0,88	1,30E-04	23	0,55	-2,25E-04
10	0,83	4,08E-05	24	0,51	-3,92E-04
11	0,80	1,37E-05	25	0,44	-8,60E-04
12	0,76	1,20E-06	26	0,07	-1,04E-02
13	0,74	2,70E-08	27	0,03	-1,24E-02
14	0,73	8,56E-09			

**Tabela 32** - Assimetria da amostra de Q7,10 mínimas anuais. Posto Fazenda Sobradinho.

Cálculo da assimetria da amostra para Weibull EV-III (Fazenda Sobradinho - 58420000)					
n	Q7 desc	$(x-xm)^3/Num. Anos$	n	Q7 desc	$(x-xm)^3/Num. Anos$
1	10,8	7,72E+00	11	4,9	-1,06E-02
2	9,0	2,20E+00	12	4,8	-1,24E-02
3	7,3	2,87E-01	13	4,8	-1,74E-02
4	7,0	1,77E-01	14	4,6	-2,82E-02
5	6,2	2,10E-02	15	4,3	-7,49E-02
6	5,9	5,83E-03	16	4,3	-8,13E-02
7	5,9	3,34E-03	17	4,1	-1,36E-01
8	5,7	7,81E-04	18	3,6	-3,14E-01
9	5,7	7,67E-04	19	3,3	-4,78E-01
10	5,4	-4,39E-05	20	1,6	-2,80E+00

**Tabela 33** - Assimetria da amostra de Q7,10 mínimas anuais. Posto Valença.

Cálculo da assimetria da amostra para Weibull EV-III (Posto Valença - 58560000)					
n	Q7 desc	(x-xm)3/Num. Anos	n	Q7 desc	(x-xm)3/Num. Anos
1	2,0	4,45E-02	15	0,9	-1,25E-06
2	1,3	2,84E-03	16	0,9	-2,52E-06
3	1,3	1,74E-03	17	0,8	-4,30E-05
4	1,2	7,11E-04	18	0,8	-9,73E-05
5	1,1	3,60E-04	19	0,8	-1,20E-04
6	1,1	2,93E-04	20	0,7	-5,75E-04
7	1,1	1,53E-04	21	0,7	-6,47E-04
8	1,0	5,61E-05	22	0,6	-6,90E-04
9	1,0	4,45E-05	23	0,6	-1,11E-03
10	1,0	2,75E-05	24	0,6	-1,45E-03
11	1,0	1,30E-05	25	0,5	-1,78E-03
12	1,0	3,35E-06	26	0,5	-2,73E-03
13	0,9	1,60E-07	27	0,5	-3,59E-03
14	0,9	-4,36E-10			

**Tabela 34** – Valores de vazões Q7 mínimas x Tempo de Retorno

Petrópolis - 58400000			Fazenda Sobradinho - 58420000			Valença - 58560000		
Distribuição de Weibull			Distribuição de Weibull			Distribuição de Weibull		
TR (anos)	K (FatFreq)	Q7 (m³/s)	TR (anos)	K (FatFreq)	Q7 (m³/s)	TR (anos)	K (FatFreq)	Q7 (m³/s)
1.0625	1.357	1.10	1.0625	1.766	9.01	1.0625	1.814	1.49
1.125	1.125	1.04	1.125	1.289	8.06	1.125	1.274	1.32
1.25	0.846	0.96	1.25	0.796	7.06	1.25	0.737	1.14
1.3	0.763	0.94	1.3	0.665	6.80	1.3	0.599	1.10
1.4	0.626	0.90	1.4	0.460	6.39	1.4	0.386	1.03
1.5	0.512	0.87	1.5	0.303	6.07	1.5	0.226	0.98
1.6	0.415	0.84	1.6	0.176	5.82	1.6	0.101	0.94
1.7	0.330	0.82	1.7	0.072	5.60	1.7	-0.002	0.91
1.75	0.291	0.81	1.75	0.026	5.51	1.75	-0.047	0.89
1.8	0.254	0.80	1.8	-0.017	5.43	1.8	-0.088	0.88
1.9	0.186	0.78	1.9	-0.094	5.27	1.9	-0.161	0.86
2	0.123	0.76	2	-0.161	5.14	2	-0.225	0.84
2.33	-0.051	0.71	2.33	-0.336	4.78	2.33	-0.387	0.79
10	-1.332	0.36	10	-1.157	3.13	10	-1.061	0.57
20	-1.834	0.22	20	-1.325	2.79	20	-1.175	0.53
50	-2.445	0.06	50	-1.459	2.52	50	-1.256	0.51
100	-2.874	0.00	100	-1.521	2.40	100	-1.289	0.50
200	-3.280	0.00	200	-1.562	2.32	200	-1.308	0.49
500	-3.783	0.00	500	-1.595	2.25	500	-1.323	0.49
1000	-4.140	0.00	1000	-1.611	2.22	1000	-1.328	0.49
2000	-4.479	0.00	2000	-1.621	2.20	2000	-1.332	0.48
5000	-4.900	0.00	5000	-1.630	2.18	5000	-1.335	0.48
10000	-5.199	0.00	10000	-1.634	2.17	10000	-1.336	0.48

Tendo por base os resultados da distribuição de frequência de vazões Q7 mínimas anuais das tabela 34 e tabela 35, foi realizada a etapa que consiste na adimensionalização da média destes valores (tabela 36).

**Tabela 35** – Resumo dos resultados de vazões Q7 mínimas x Tempo de retorno

Posto	Petrópolis	Fazenda Sobradinho	Valença
Código	58400000	58420000	58560000
Média	0,73	5,46	0,91
D. Padrão	0,27	2,01	0,32
Coef. Asssim.	-0,76	0,93	1,31
Distribuição	Weibull	Weibull	Weibull
TR	Vazão média diária mínima anual		
(anos)	(m <sup>3</sup> /s)		
1,0625	1,10	9,01	1,49
1,125	1,04	8,06	1,32
1,25	0,96	7,06	1,14
1,3	0,94	6,80	1,10
1,4	0,90	6,39	1,03
1,5	0,87	6,07	0,98
1,6	0,84	5,82	0,94
1,7	0,82	5,60	0,91
1,75	0,81	5,51	0,89
1,8	0,80	5,43	0,88
1,9	0,78	5,27	0,86
2	0,76	5,14	0,84
2,33	0,71	4,78	0,79
10	0,36	3,13	0,57
20	0,22	2,79	0,53
50	0,06	2,52	0,51
100	0,00	2,40	0,50
200	0,00	2,32	0,49
500	0,00	2,25	0,49
1000	0,00	2,22	0,49
2000	0,00	2,20	0,48
5000	0,00	2,18	0,48
10000	0,00	2,17	0,48

No processo de adimensionalização, foi utilizado o valor de Q2,33 da distribuição de probabilidade referente a cada posto, com base em Dalrymple (1960). e Portela (2003).



**Tabela 36** – Adimensionalização em relação à Q2,33 dos resultados de vazões Q7 mínimas para os postos fluviométricos e cálculo de média final.

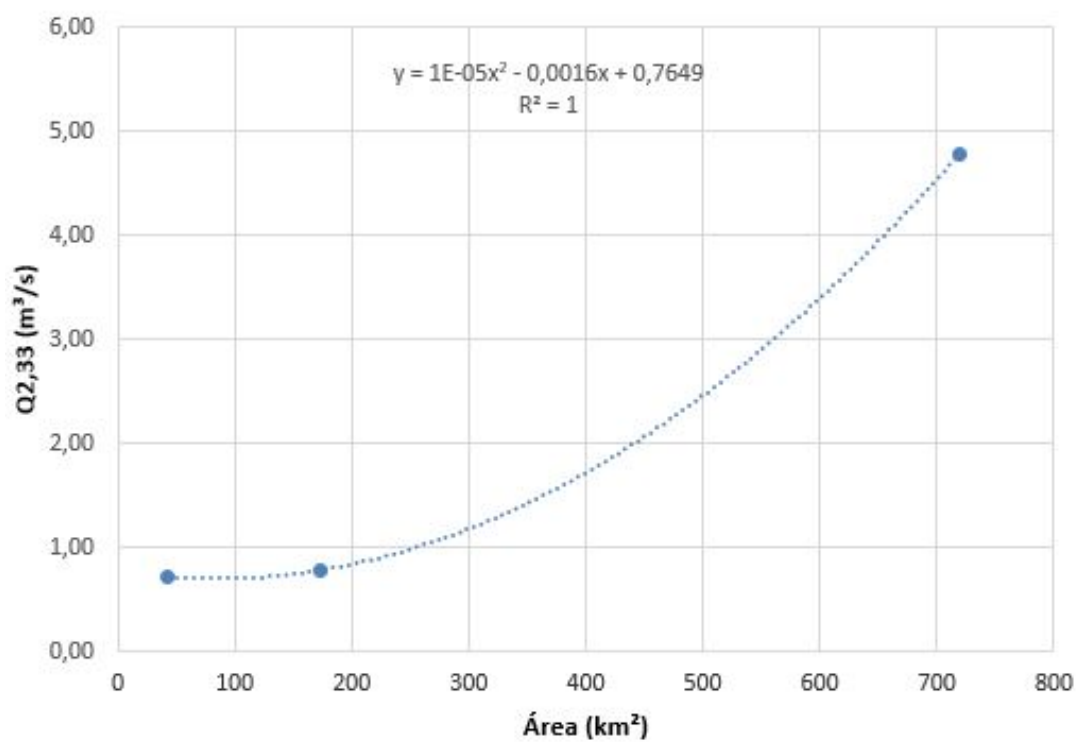
Adimensionalização (Q/Q2,33)			
Área de drenagem			
43,1 km <sup>2</sup>	719 km <sup>2</sup>	173 km <sup>2</sup>	
Petrópolis	Fazenda Sobradinho	Valença	MÉDIA
1,06	1,12	1,13	1,10
1,00	1,00	1,00	1,00
0,93	0,88	0,87	0,89
0,90	0,84	0,84	0,86
0,87	0,79	0,78	0,82
0,84	0,75	0,75	0,78
0,81	0,72	0,72	0,75
0,79	0,70	0,69	0,73
0,78	0,68	0,68	0,71
0,77	0,67	0,67	0,70
0,75	0,65	0,65	0,69
0,73	0,64	0,64	0,67
0,69	0,59	0,60	0,63
0,35	0,39	0,43	0,39
0,22	0,35	0,41	0,32
0,05	0,31	0,39	0,25
0,00	0,30	0,38	0,23
0,00	0,29	0,37	0,22
0,00	0,28	0,37	0,22
0,00	0,28	0,37	0,21
0,00	0,27	0,37	0,21
0,00	0,27	0,37	0,21
0,00	0,27	0,37	0,21

As vazões mínimas anuais para a região do rio Santana foram obtidas então através de uma curva que relaciona a área das bacias dos postos regionalizados e seus valores de Q2,33, como pode ser visto na figura 36. O resultado encontra-se na tabela 37. Assim, com a Q2,33 de, aproximadamente, 0,72 m<sup>3</sup>/s, respectiva à área de drenagem da CGH Rio Power I, chegou-se aos valores finais apresentados na tabela 38.

**Tabela 37** - Resultado de índice de cheias, Q2,33, para o cálculo de vazões Q7 mínimas.

Gráfico Regionalização			
Q2,33	Área		
0,79	173		
0,71	43,1		
4,78	719		
Área	Santana	117 m <sup>2</sup>	
Q2,33	=	0,71459 m <sup>3</sup> /s	

### REGIONALIZAÇÃO - VAZÕES MÍNIMAS



**Figura 36** - Gráfico de Área x Q2,33

**Tabela 38** - Resultado final de vazões mínimas x Tempo de Retorno

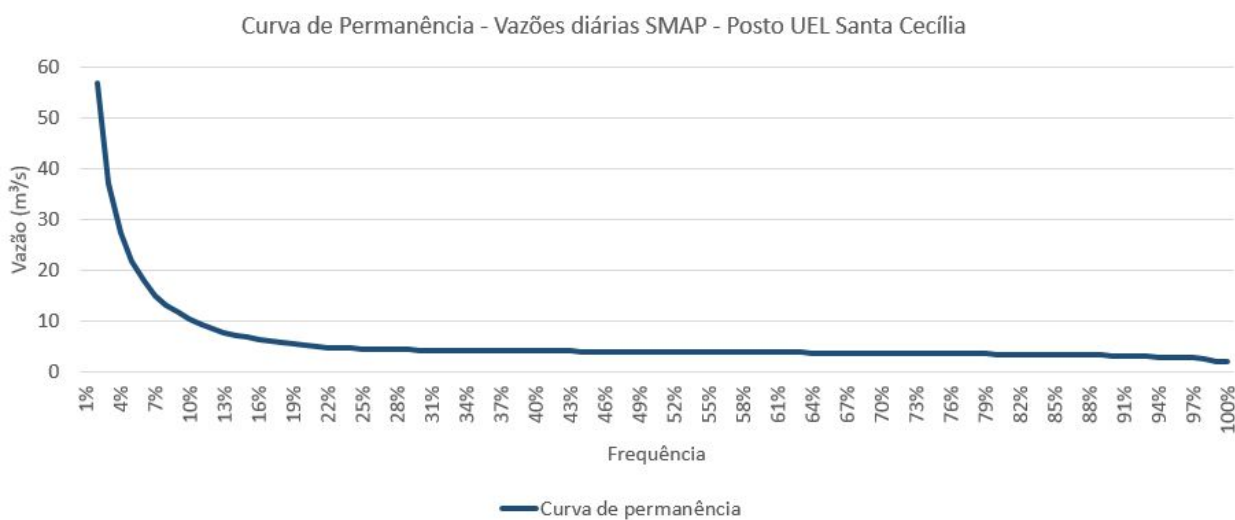
TR (anos)	Calculo Qmín Final		
	Média	Q2,33 Santana	Qfinal
1,0625	1,10	0,71459	0,79
1,125	1,00		0,71
1,25	0,89		0,64
1,3	0,86		0,62
1,4	0,82		0,58
1,5	0,78		0,56
1,6	0,75		0,54
1,7	0,73		0,52
1,75	0,71		0,51
1,8	0,70		0,50
1,9	0,69		0,49
2	0,67		0,48
2,33	0,63		0,45
10	0,39		0,28
20	0,32		0,23
50	0,25		0,18
100	0,23		0,16
200	0,22		0,16
500	0,22		0,15
1000	0,21		0,15
2000	0,21	0,15	
5000	0,21	0,15	
10000	0,21	0,15	

O valor da vazão Q7,10, com período de retorno de 10 anos, foi de 0,28 m<sup>3</sup>/s, condizente com o tamanho da área de drenagem e com o regime hidrológico que o rio Santana apresenta.

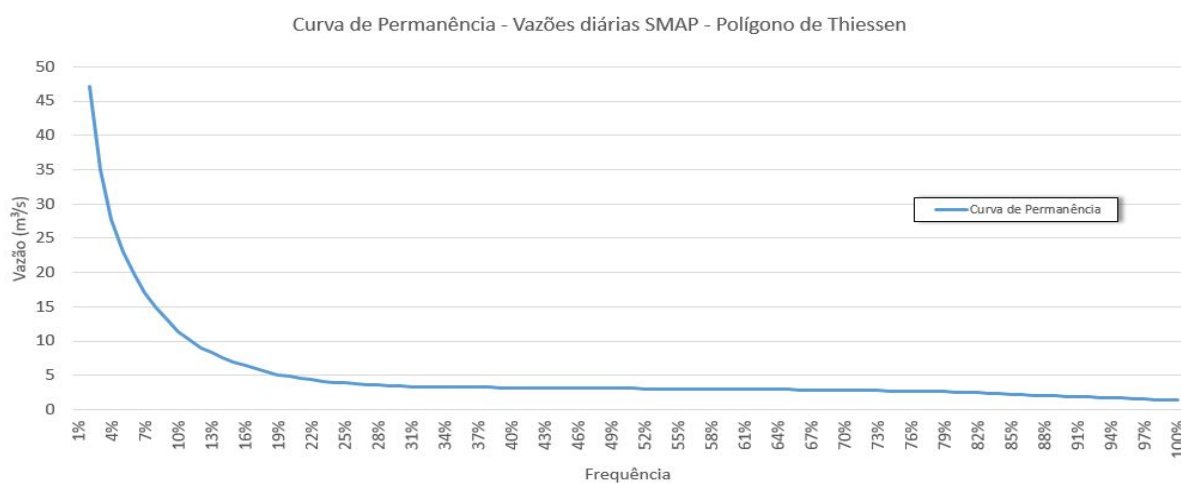
#### 4.4. Garantia física

A partir dos estudos hidrológicos apresentados acima calculou-se o valor da garantia física, com base na potência instalada, o fator de capacidade da CGH Rio Power I.

A curva de permanência de vazões diárias referentes ao posto pluviométrico UEL Santa Cecília, geradas pelo SMAP, é apresentada a seguir, bem como para a modelagem com a chuva média do método dos polígonos de Thiessen (Figuras 37 e 38).



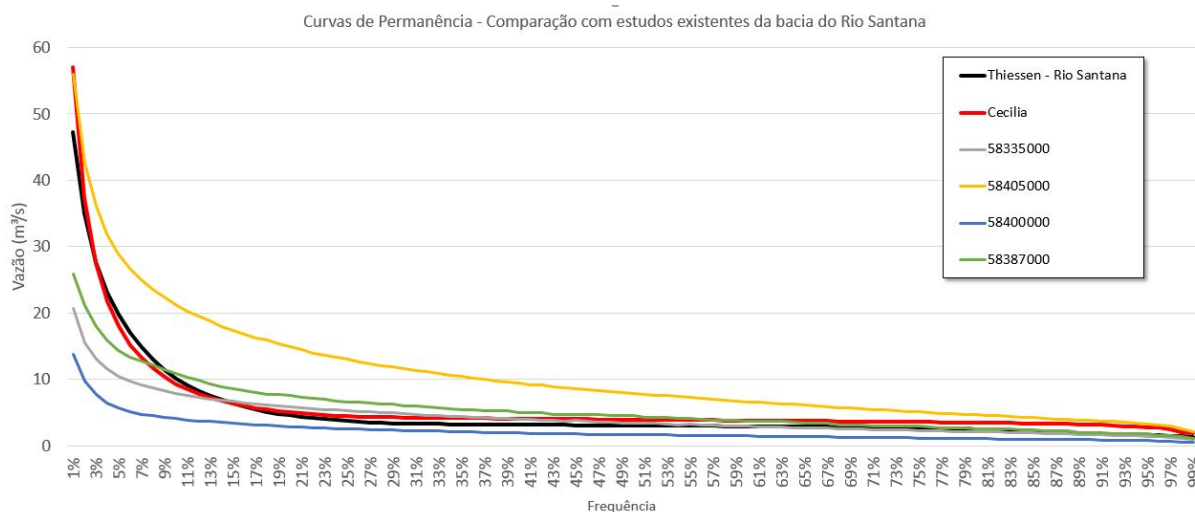
**Figura 37** – Curva de permanência para o posto UEL Santa Cecília.



**Figura 38** – Curva de permanência para a precipitação média do método do polígono de Thiessen.



A figura 39 apresenta as curvas de permanência de estudos anteriores comparadas com as apresentadas anteriormente, resultantes da modelagem deste trabalho.



**Figura 39** – Comparativo final de curvas de permanência de estudos na bacia do rio Santana.

A análise do gráfico permite verificar que as curvas de permanência de UEL St. Cecília e Thiessen encontram-se na média dentre os outros estudos. Logo, a modelagem e extrapolação dos dados pelo modelo SMAP apresentou resultados que identificam um comportamento hidrológico semelhante entre as sub-bacias comparadas.

Para a estimativa de garantia física, os parâmetros necessários foram estimados de acordo com estudos anteriores do projeto básico da Usina CGH Rio Power I (Tabela 39).

**Tabela 39** - Descrição dos parâmetros para o cálculo de garantia física da usina.

Parâmetro	Variável	Valor	Unidade	Observação
Capacidade Instalada	P	3000	kW	Informação do Fabricante
Engolimento Mínimo	-	50	p.u.	
Engolimento Máximo	-	1.9	m <sup>3</sup> /s	
Rendimento Nominal da Turbina	$\eta_t$	0.9	%	
Rendimento Nominal do Gerador	$\eta_g$	0.93	%	
Indisponibilidade Forçada	TEIF	3	%	263 horas/ano
Indisponibilidade Programada	IP	5	%	438 horas/ano
Perdas Hidráulicas Nominais	h	3	m	3% da queda bruta
Queda Bruta Nominal	Hb	100	m	Levantamento topográfico
Perdas Elétricas de Conexão	Perdas	0.5	%	2 km de distância do ponto de conexão
Consumo Interno	Cint	15	kW	0,5% da capacidade instalada
Vazão Remanescente	qr	0.14	m <sup>3</sup> /s	50% Q7,10
Vazão de usos Consuntivos	qu	-	m <sup>3</sup> /s	Não há

A garantia física foi calculada para cada valor de vazão diária gerada pelo modelo SMAP para o posto de Santa Cecília e para os valores de precipitação média do polígono de Thiessen. O cálculo baseou-se na Portaria MME 463/2009. Com base na potência instalada prevista em estudos anteriores, os valores encontrados para ambos casos de análise encontram-se a seguir.

- Fator de Capacidade referente à série de vazões do posto UEL Santa Cecília.

$$\textit{Fator de Capacidade} = \frac{1797 \text{ kW}}{3000 \text{ kW}} = 0,60\%.$$

- Fator de Capacidade referente à série de vazões do polígono de Thiessen.

$$\textit{Fator de Capacidade} = \frac{1414 \text{ kW}}{3000 \text{ kW}} = 0,47\%$$

A partir dos valores de vazão mensais gerados e analisados neste trabalho, obteve-se os valores finais de garantia física, apresentados nas tabelas 40 e 41.

**Tabela 40** – Resultado de Garantia Física e Fator de Capacidade - UEL Santa Cecília.

<b>Eficiência CGH Power Rio I - Posto Santa Cecília</b>		
Queda bruta	100,00	m
Ef. Gerador	0,95	m
Ef. Turbina	0,92	pu
Perdas Hidráulicas	0,03	pu
Q ambiental	0,14	m <sup>3</sup> /s
Gravidade	9,80	m/s <sup>2</sup>
Indisponibilidade	0,08	pu
Área de Drenagem	199,00	km <sup>2</sup>
Área da CGH	117,00	km <sup>2</sup>
Potência Instalada	3000,00	kW
Qunit	1,81	m <sup>3</sup> /s
Q unit mín	0,50	pu
Q unit mín	0,90	m <sup>3</sup> /s
<b>GARANTIA FÍSICA =</b>	<b>1797,18</b>	<b>kWm</b>
Fator de Capacidade	60%	

**Tabela 41** - Resultado de Garantia Física e Fator de Capacidade – Polígono de Thiessen.

<b>Thiessen Postos</b>		
Queda bruta	100,00	m
Ef. Gerador	0,95	m
Ef. Turbina	0,92	pu
Perdas Hidráulicas	0,03	pu
Q ambiental	0,14	m <sup>3</sup> /s
Gravidade	9,80	m/s <sup>2</sup>
Indisponibilidade	0,08	pu
Área Drenagem	199,00	km <sup>2</sup>
Área CGH	117,00	km <sup>2</sup>
Pot. Máxima	3000,00	kW
Qunit	1,81	m <sup>3</sup> /s
Q unit min	0,50	pu
Q unit min	0,90	m <sup>3</sup> /s
<b>GARANTIA FÍSICA =</b>	<b>1413,93</b>	<b>kWm</b>
Fator de Capacidade	47%	

**Tabela 42** – Resultado de garantia física e Fator de Capacidade.

Fluviômetros	COORD	Pluviômetros e Drenagem	Garantia Física (kW)	Fator de Capacidade	Desv. PAD	Média	
Hotel Santa Branca	59312500	Thiesssen	199	1414	47%	5,63	5,57
Hotel Santa Branca	59312500	St. Cecília	199	1797	60%	6,14	6,52
Lídice - Light	58335000		108	2178	73%	7,66	11,36
Pedro do Rio - CPRM	58405000		435	1403	47%	3,85	5,76
Petrópolis - ANA	58400000		43	2434	81%	1,32	2,39
Rialto - ANA	58287000		342	864	29%	2,55	4,54

A tabela 42 permite a comparação dos resultados do fator de capacidade para a CGH Rio Power I entre os dois métodos analisados e com estudos anteriores realizados para a bacia do rio Santana. Os resultados médios obtidos após a geração das séries históricas não apresentam distanciamento significativo.

Tomando-se o valor médio entre as garantias físicas calculadas chega-se ao valor de aproximadamente 1.600 kW e, considerando uma potência instalada de 3.000 kW, o fator de capacidade médio das alternativas analisadas neste estudo é de 0,53%.

## 5. Conclusões

Como exemplo da situação de várias outras bacias hidrográficas do território brasileiro, a bacia do rio Santana não possui monitoramento de dados hidrológicos suficientes para que se possam realizar estudos hidrológicos seguros e assim ter uma base sólida de dados para a execução de projetos de engenharia. O uso do modelo SMAP foi adequado, tendo em vista os resultados finais em comparação com estudos anteriores. Partindo de apenas 2 anos de vazões monitoradas foi possível calibrar e validar o modelo e gerar as séries históricas.

O estudo energético de uma usina depende ainda de valores de vazões máximas e mínimas que possam ocorrer durante sua operação. Estes valores determinam sua viabilidade econômica e socioambiental, além de serem fundamentais para a segurança do empreendimento. Desta forma, a aplicação do método de regionalização de vazões mostrou-se satisfatório, juntamente com a utilização das distribuições de Weibull e Gumbel, com o resultado de 0,28 m<sup>3</sup>/s para vazão remanescente em uma área de 117 km<sup>2</sup>, consistente com o regime de baixa vazão que o rio Santana apresenta.

A série histórica gerada e os valores de vazões máximas e mínimas permitiram analisar a garantia física da usina a ser instalada no curso principal do rio Santana, RJ, através de duas análises feitas com diferentes postos pluviométricos próximos de sua bacia. A comparação entre o método do polígono de Thiessen e a análise individual dos postos determinou na modelagem do SMAP que o posto UEL Santa Cecília representou melhor o comportamento hidrológico apresentado na bacia do rio Santana, com coeficientes  $C_{ef} = 0,728$ ,  $C_{er} = 0,825$  e Soma Coef = 1,553.

Os valores de garantia física e do fator de capacidade obtidos para o aproveitamento, embasados nos resultados do estudo hidrológico deste estudo, apresentaram resultados compatíveis com estudos anteriores, fornecendo uma maior segurança em relação a viabilidade da CGH Rio Power I. O método de modelagem e regionalização utilizado pode ser aplicado

para mais bacias que apresentam a mesma realidade de monitoramento escasso e assim fornecer mais uma alternativa para a análise de alternativas de estudos hidrológicos e energéticos.

A partir deste estudo, o projeto básico da CGH Rio Power I pode ser então continuado com a sequência das etapas de estudo e projeto de aproveitamentos hidrelétricos, com base no Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas.

## **BIBLIOGRAFIA**

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução nº 395, de 4 de dezembro de 1998. Distrito Federal, 1998.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - Energia Assegurada. Cadernos Temáticos ANEEL, 3 - Brasília, 2005.

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – Atlas de energia elétrica do Brasil – 2. Ed. – Brasília: ANEEL, 2005.

CENTRAIS ELÉTRICAS DO BRASIL (ELETROBRÁS). Diretrizes de estudos e projetos de pequenas centrais hidrelétricas. Rio de Janeiro. 2000.

CHOQUETTE, Anne F. Regionalization of peak discharges for streams in Kentucky. US Geological Survey, 1988.

CHEVALLIER, P., 1993, Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. IN: TUCCI, C.E.M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, Cap. 13, p. 485-490.

CHOW, V. T; Handbook of Applied Hydrology. New York: McGraw-Hill. Book, 1964. 1v.

CLARKE, R. T., 1993, Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. IN: TUCCI, C.E.M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, Cap. 17, p. 659-665.

CLEARY, R. W. Águas Subterrâneas. Rio de Janeiro: ABRH/Ed.UFRJ, 1989. v.2 p.293-404.

COHN, J. M. Modelagem de escoamento superficial com base no hidrograma tempo – área de geoprocessamento. Rio de Janeiro, 2014. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

DALRYMPLE, T. 1960. Flood Frequency Analysis. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1543-A., Reston, Va.

DE COURSEY, D.G. Mathematical models for nonpoint water pollution control. Journal of Soil and Water Conservation, v. 40, n.5, p. 408-413, set/out. 1985.

DOOGE, 1973. Modelos e simulação. IN: TUCCI, C.E.M. Modelos Hidrológicos – 2.ed. – Ed. Universidade UFRGS, ABRH, 2005. Cap. 1, p. 26.

EPE, EMPRESA DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO (2008). Metodologia de cálculo da garantia física das usinas.

EPE, EMPRESA DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO (2016). Estudos para a licitação da expansão da geração.

HARGREAVES, George H. "The estimation of potential and crop evapotranspiration." American Society of Agricultural Engineering, 1973.



JAMES, William, Lewis A. ROSSMAN, and W. Robert C. James. "User's guide to SWMM 5: [based on original USEPA SWMM documentation]." CHI, 2010.

KITE, Geoff W. Frequency and risk analyses in hydrology. Water Resources, 1977. P. 133 – 141.

LIMA, W. P. Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1996. 318 p. (Apostila).

LOPES, J. E. G. Manual do Modelo SMAP (Soil Moisture Accounting Procedure) - 1999.

MAKSIMOVIC, C. 2001. General Overview of Urban Drainage Principles and Practice. Urban Drainage in Specific Climates (IHPV- Technical Documents in Hydrology). Paris: UNESCO, Vol.1, n.40, p.1-21.

MIRANDA, F. M., 2016. Índice de Susceptibilidade do Meio Físico a Inundações como Ferramenta para o Planejamento Urbano. Dissertação de Mestrado. Programa de Engenharia Civil - COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro.

NAGHETTINI, Mauro; PINTO, Éber José de Andrade. Hidrologia estatística. CPRM, 2007, Cap. 10, p. 411 – 467; Cap. 5, p. 152 – 160.

NERC, 1975 e CRESPO, 1982, 1993, Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. IN: TUCCI, C.E.M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, Cap. 15, p. 591.

NRC, 1993, Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. IN: TUCCI, C.E.M.

Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, Cap. 1, p. 27-32.

PEEL, M. C., FINLAYSON, B. L. e MCMAHON, T. A. “Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification” (2007): 1633–1644.

PEREIRA, Geraldo Magela. Projeto de usinas hidrelétricas: passo a passo - Oficina de Textos, 2015.

PSR, Energy Report PSR novembro (2016).

PORTELA, Maria M.; DIAS, Ana Teresa. Regionalização de caudais de cheia em Portugal Continental. Tecnologia da Água, 2003, 19. Jg., p. 30-39.

SANCHEZ, 1993, Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. IN: TUCCI, C.E.M.

Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, Cap. 5, p. 196.

SEMADS, Bacias Hidrográficas e Recursos Hídricos da Macrorregião Ambiental 2. Bacia da Baía de Sepetiba Rio de Janeiro: Secretaria de Estado e meio ambiente e desenvolvimento sustentável Projeto PLANÁGUASEMADS 2001.

TALLAKSEN, Lena M.; VAN LANEN, Henny AJ. Hydrological drought: processes and estimation methods for streamflow and groundwater. Elsevier, 2004. Cap. 6, p. 200 – 146.

ROSMAN, P.C.C., 2005. Referência Técnica do SISBAHIA – SISTEMA BASE DE HIDRODINÂMICA AMBIENTAL, Programa COPPE: Engenharia Oceânica, Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica, Rio de Janeiro, Brasil

TUCCI, C. E. M. Simulação no gerenciamento de recursos hídricos. In: BARTH, F.T. et al. Modelos para gerenciamento de recursos hídricos. São Paulo: Nobel: ABRH, 1987. Cap3.

TUCCI, Carlos E. M. BERTONI, et al. Hidrologia: ciência e aplicação. 1993. Cap. 4, p. 154, 156 – 169. Cap. 15, p. 573 – 617.

TUCCI, C. E. M. Modelos Hidrológicos Porto Alegre: UFRGS/ABRH,1998.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia, Ciências e Aplicação. Porto Alegre – 2.ed. - Ed Universidade UFRGS; ABRH, 2005. Cap. 1, p. 23 – 31. Cap. 6, p. 233 – 314.

TCE, Tribunal de contas do Estado do Rio de Janeiro. Estudo sócio econômico 2015 – Rio de Janeiro.

TCE, Tribunal de contas do Estado do Rio de Janeiro. Estudo sócio econômico 2014 – Rio de Janeiro.

TCE. Tribunal de contas do Estado do Rio de Janeiro. Estudo sócio econômico 2004 - Miguel Pereira.

VIENNA, World maps of Köppen-Geiger climate classification - observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/shifts.htm>, acessado em 24/06/2016.

TOPODATA, I. N. P. E. Banco de dados geomorfométricos do Brasil. São José dos Campos, 2011. - <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/> - acessado em 20/05/2016.

BUCHIANERI, V. C. Bacia do Rio Grande E. GERAÇÃO DA SÉRIE HISTÓRICA DE VAZÃO POR MEIO DO MODELO SMAP: SUBSÍDIO PARA O PLANO DE MANEJO DA. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

KELMAN, Jerson; KELMAN, Rafael; PEREIRA, Mario Veiga Ferraz. Energia firme de sistemas hidrelétricos e usos múltiplos dos recursos hídricos. Revista brasileira de recursos hídricos, 2004, 9. Jg., Nr. 1, S. 189-198.

Anexo

UEL Santa Cecília  
COOD: 2243205

Data	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Dia 8	Dia 9	Dia 10	Dia 11	Dia 12	Dia 13	Dia 14	Dia 15	Dia 16	Dia 17	Dia 18	Dia 19	Dia 20	Dia 21	Dia 22	Dia 23	Dia 24	Dia 25	Dia 26	Dia 27	Dia 28	Dia 29	Dia 30	Dia 31						
01/01/1954	0	3.5	3.3	12.8	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
02/01/1954	0	24.6	18.8	3	46.4	1	0	0	3.8	10.2	3.7	0	0	0	20	11.4	5.2	0	9.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
03/01/1954	0	0	0	0	0	3	6.5	0.5	10.9	15.3	0.7	0	0	0	0	0	5.13	13.7	0	7.6	6	0	0	0	0	0	0	37.6	1.7	61.1	2.7						
04/01/1954	0.9	62.5	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4.2	14	0.2	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.4	19.4							
05/01/1954	14.9	0	0	0	0	19.8	0	0	0	28.5	0	0	12	0.2	0	0	0	3.4	7.5	12	11.8	0.8	0	0	0	0	0	0	0	1.3	0						
06/01/1954	0	0	0.5	0	0	6.8	0	0.9	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
07/01/1954	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.5	2	0	0	5.3	0	0	2.3	0	0	0	0	0	0						
08/01/1954	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.6	3.8	0	0	0						
09/01/1954	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.2	13.8	0	0	0	0	0.9						
10/01/1954	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.4	3.3	3.6	0	0	6.9	1.8	30.8	3.4	0	0	0	0	7.5	0	1	3.4	4							
11/01/1954	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	1.6	0	0	0	9.4	0	0	0	0	0	0	14.4	3.4	0	0	0	0	0	0	0	0						
12/01/1954	0	0	1.2	0	0	0	0	17.5	4.5	13	5	3.5	8.8	0.6	0	0	5.4	0	4.64	5.4	0.5	0	0	0	0	0	3	5.4	8.4	0	0						
01/01/1955	0	24	6.1	10	0	1.2	0	0	0	20	11	6	28.2	9.8	3.8	32.4	22.2	2.2	0.8	0	0.6	3.2	7.6	4.7	5.8	0	0	0	0	0	0						
02/01/1955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1.4	5.2	0	0	0	9.8	0	0	0	0						
03/01/1955	0.4	0	0	0	0	2.8	0.4	3.2	0	1.4	1.8	0	0	0	1.8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30.5	2				
04/01/1955	0	4.2	2.8	3.2	1.2	1	0	0	0	36.6	11.5	0.5	0	0	2.8	1.2	0	0	0	0	0	3.2	0	0	0	0	0	11.6	7	0	0	0	13				
05/01/1955	0	0	0	0	0	23.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.8	0	0	0	0	8.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
06/01/1955	4	0	0	0	0	0.8	0	0.4	8.4	0.4	0	0	0	7.8	0	0	0	0	1.6	0	0	0	4.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
07/01/1955	0	0	0	0	0	0	0	2.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
08/01/1955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.6	0	0	0	0	0	0	0	0			
09/01/1955	0	1	1.1	0	0	0	3.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0			
10/01/1955	0	2	0.5	0	0	0	0.8	4.2	0	0	0	0	8.4	7.2	6.6	11.8	1.8	12.8	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5.2	0	0	0	0	0			
11/01/1955	11.8	0.2	2.5	0	0	6	6.8	0	30.4	10.2	19.6	0.4	0	0	0	2	7.2	0.2	10.6	8.4	4.2	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
12/01/1955	0	2	3.2	16.9	34.8	36	6.6	0	0	0	0	4	21	1.7	0	0	3	0.4	0	0	2.4	2.8	0	0	10.2	2.4	10.2	24.4	3	90.2	0	0	0	0	0		
01/01/1956	3.2	0	6.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.2	8.2	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
02/01/1956	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21.5	8.2	31.4	0.4	9.7	18.8	2.7	25.8	1	1.4	0	14.8	0	0	0	4.6	0	0	0	0	0	0	0	0	
03/01/1956	13	24.2	1.2	0	0	0	0	0	0	9	12.4	0.4	0	0	0	0	0	12.2	1	0	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	30.2	1.8	0	0	
04/01/1956	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0	1.6	0.4	0	1	0	0	0	1.4	0	2.4	0	0	0.4	2.2	1.8	7.8	3	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	
05/01/1956	0	0.4	0	0	0	0	0	0	1.1	1	1	0	0	0	0	2.5	1	0	0	4.8	1.2	0	0	3.4	33.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
06/01/1956	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	13.8	8	0.7	0.2	0	0	4.8	0	2.2	2.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
07/01/1956	0	0	0	0	1.2	1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.8	0	0.6	8.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.2	6.6
08/01/1956	1.2	23.2	24.2	3.2	3.4	2.2	0	2.6	0	0	0	0	1.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.3	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09/01/1956	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.4	6	31.6	4.4	1	0	0	1.2	0	0	0	0	0	0	0	6.2	0	2.8	14	2	0	0	0	0	0	0	0	0
10/01/1956	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18.8	8.2	0	2	3	0	0	3.8	0	0	0	0	4.3	1.8	1.6	0	0	5	0	0	0	9	0	0	0	0	
11/01/1956	0	0	0	19.8	0	0	0	0	10.4	8.6	0	0.4	1.4	3.2	2.4	0	0.4	0	0	2.9	0.4	0	0	2.2	3.6	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12/01/1956	0	0	0	0	0	26.2	18.9	21.2	1.8	0	0	0	1	0	28	1	0	0	1.2	3	0	1	0.8	20	37.2	5.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 40 - Medições de precipitação – Posto UEL SANTA CECÍLIA – 1954 a 1956

Data	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Dia 8	Dia 9	Dia 10	Dia 11	Dia 12	Dia 13	Dia 14	Dia 15	Dia 16	Dia 17	Dia 18	Dia 19	Dia 20	Dia 21	Dia 22	Dia 23	Dia 24	Dia 25	Dia 26	Dia 27	Dia 28	Dia 29	Dia 30	Dia 31
01/01/1954	0	0	0	2.6	15	5	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
02/01/1954	0	0	0	0	0	15.6	0	0	1	0	28	12	0	0	0	30	25.2	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
03/01/1954	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	10.2	0	0	0	0	0	0	0	21.4	43	3	5.2	3.8	0	0	0	0	0	18	0	
04/01/1954	1	12.2	6.8	0	0	21	0	0	0	7.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
05/01/1954	0	19	0	0	0	0	16.2	0	0	17.2	0	0	0	28.6	0	0	0	0	0	5.8	0	33.8	0	0	0	0	0	0	0	0	
06/01/1954	0	0	0	0	15.2	0	0	0	0	0	7.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
07/01/1954	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
08/01/1954	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
09/01/1954	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.2	7.2	0	0	0	
10/01/1954	0	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.4	2.2	1.5	0	1.6	0	0	34.2	5.2	0	0	0	0	0	0	8.2	0	
11/01/1954	4.8	6.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.2	0	0	37.6	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	3.6	
12/01/1954	0	0	0	10.2	0	0	0	0	1.4	1.5	15	1.3	11.6	9	0	0	0	0	14.1	37.4	0	0	0	0	0	0	0	0	2.5	0	
01/01/1955	0	0	27	43.2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	26	39.4	6	31	18.6	0	0	0	0	5	103.4	100	0	0	15.2	0	0	
02/01/1955	0	37.2	37.8	0	0	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38.2	10.5	1.8	1.2	5.6	0	0	
03/01/1955	28.1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	21	0	0	0	16.6	0	0	2.4	0	16.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32.6	
04/01/1955	6.2	0	6	0	2.6	0	8.5	0	0	0	5.6	2.2	0	0	0	0	16.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
05/01/1955	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	15.6	0	0	0	0	0	0	4.2	
06/01/1955	13	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
07/01/1955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
08/01/1955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	
09/01/1955	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10/01/1955	0	0	0	0	0	0	0	1	10.4	0	1.5	0	16.8	8	5.6	6	21	0	0	0	4.4	0	0	0	0	0	0	0	15.2	0	
11/01/1955	0	0	18.2	20.3	0	2.5	3.8	0	0	13.6	2.6	0	0	0	0	0	0	7.6	28.4	14.6	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	
12/01/1955	0	1.2	7.2	31.2	67	9	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	32.2	0	0	5.2	0	6.2	55.8	9.4	0	11.4	6.6	0	0	16	
01/01/1956	56	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	9.3	0	0	0	0	0	0	0	0	
02/01/1956	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	13	0	6	0	25.8	28	2	30	2.6	4	0	9	0	0	0	0	0	0	0	
03/01/1956	0	35.2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	
04/01/1956	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	
05/01/1956	0	5.2	0	0	0	0	0	8.2	1.5	2.5	0	0	0	0	6.4	0	0	0	0	0	5.2	19.4	0	0	31.6	0	0	1.2	0	0	
06/01/1956	3.2	0	0	2.5	0	0	0	0	0	0	7.2	5.8	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
07/01/1956	0	0	0	0	0	5.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0	6	4.2	0	0	0	0	0	2.8	0	
08/01/1956	2.2	0	0	15	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
09/01/1956	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23.2	12	7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10/01/1956	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	0	0	0	0	0	0	9.8	0	0	0	55	7.8	0	0	0	2.6	1	15.2	0	
11/01/1956	0	0	0	7.4	0	0	0	0	0	7.8	2.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.2	21.2	0	0	0	0	
12/01/1956	0	0	0	0	0	3	15.4	16.8	0	0	0	0	0	0	31.4	11.8	0	0	0	0	19	10.8	0	38	7.5	19	14	0	0	0	

Figura 41 - Medições de precipitação – Posto Pedro do Rio – 1954 a 1956

Data	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Dia 8	Dia 9	Dia 10	Dia 11	Dia 12	Dia 13	Dia 14	Dia 15	Dia 16	Dia 17	Dia 18	Dia 19	Dia 20	Dia 21	Dia 22	Dia 23	Dia 24	Dia 25	Dia 26	Dia 27	Dia 28	Dia 29	Dia 30	Dia 31					
01/01/1954	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24.2	15.8	0	0	15.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
02/01/1954	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	15.2	52	14.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.2	0	14.2	0	0	0	0					
03/01/1954	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23.8	0	15.2	16.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.2	24.6	0					
04/01/1954	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
05/01/1954	11.4	0	0	0	0	21.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	5	0	22.4	0	0	0						
06/01/1954	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
07/01/1954	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
08/01/1954	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
09/01/1954	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30.8	14.2	0	0	0	0	0					
10/01/1954	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.2	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24.2	34.8	0	0	0	13.2	15.4					
11/01/1954	34.2	0	0	0	0	14.2	0	0	0	0	0	34	7.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.2	0	0	0	0	0						
12/01/1954	0	0	0	0	0	0	0	14.2	15.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24.2	15.8	0	0	0	0	0	0	15.2	14	0	0					
01/01/1955	0	0	24	0	0	0	34.8	15.2	16	18.2	29.4	16.1	18.4	27.3	29.4	7.1	18.3	23.2	3.3	0	24.2	15.8	0	2.3	0.9	6.3	42.2	4.1	0	0	0					
02/01/1955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38.2	0	0	3	2	22	0	0	0					
03/01/1955	0	0	0	0	0	16.8	6.4	0	0	0	10	16	5.4	0	14.2	30.2	10	0	0	0	0	0	0	0	15.2	0	0	16.8	0	12	0					
04/01/1955	0	0	5.4	0	0	0	0	0	0	0	10	3.7	0.1	0	34.8	63.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.8	0	6.1	0	0	0					
05/01/1955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.2	0	11.4	0	5	0					
06/01/1955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.1	14.2	0	0	0	15.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
07/01/1955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
08/01/1955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
09/01/1955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
10/01/1955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.2	14.2	0	0	0	0	0	0	14.2	0	0	4.2	2.4	0	0	0	10.4	0	0	0	0			
11/01/1955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.2	26.3	0	0	0	0	24.2	15.4	50.2	46	6.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
12/01/1955	0	0	0	21.4	88.2	46.6	0	0	0	15.2	0	46.2	30.8	0	0	0	0	0	0	0	14.2	60.8	54.2	0	13.6	50.8	0	13.4	50.2	0	60.4	0	0			
01/01/1956	64.6	15.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21.4	38.4	0	56.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
02/01/1956	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
03/01/1956	10.2	7.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21.2	0	15	12.4	0	0	0	0	50.4	30.8	0	21.2	0	0	30.4	0	50.2	0	12.4	0	0	0	0		
04/01/1956	0	0	0	0	0	0	0	0	10.2	15.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.2	24.6	0	0	0	0		
05/01/1956	0	0	0	0	0	0	0	0	15.2	0	16.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.4	0	0	0	15.2	0	0	0	0	0	0	0	
06/01/1956	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.2	14.8	0	0	0	0	0	0	0	0	15.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
07/01/1956	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.2	14	0	16.8	0	0	0	0	0	0	0	0	
08/01/1956	0	0	0	25.8	2.2	0	0	0	0	14.2	0	0	25.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
09/01/1956	0	0	0	0	0	0	0	0	15.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25.2	0	0	0	0	0	0	0	0	
10/01/1956	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21.2	0	14.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52.4	0	25.4	0	0	22.2	25.4	8.2	0	0	0	0	0	
11/01/1956	0	0	0	0	0	0	0	22.4	0	12.6	0	0	0	0	25.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.2	0	0	0	0	0	22.4	0	0	0	0	0
12/01/1956	0	0	0	0	25.2	0	0	15.8	14.2	0	16.2	22.2	0	0	25.4	0	0	0	0	0	0	22.4	0	12.8	44.6	50.2	0	0	12	25.4	50.2	0	0	0	0	0

Figura 42 - Medições de precipitação – Posto Taboas – 1954 a 1956

Data	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Dia 8	Dia 9	Dia 10	Dia 11	Dia 12	Dia 13	Dia 14	Dia 15	Dia 16	Dia 17	Dia 18	Dia 19	Dia 20	Dia 21	Dia 22	Dia 23	Dia 24	Dia 25	Dia 26	Dia 27	Dia 28	Dia 29	Dia 30	Dia 31						
01/01/1954	1	0	0	15.3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
02/01/1954	0	9	1.2	5.3	33	3	0	0.1	8.4	10	0	0	0	0	4	43.3	20.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
03/01/1954	0	0	0	0	0	0	17.1	0	1.1	4.8	0	0	0	0	0	0	18.2	2	0	5.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
04/01/1954	0.4	24.3	0	0	0	0	0	0	1.1	0	0	0	0	7.4	2.2	19.1	0	0.1	0	0.4	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0						
05/01/1954	11	0	12	13	0	9.5	0	0	0	37	0	2	15	0.9	0	0	0	0	7.1	12	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
06/01/1954	0	0	0	16	5	12	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
07/01/1954	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.5	0	0	0	0	0	7.2	0	0	0	0	0	0						
08/01/1954	0	0	0	0	0	0	0	2.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	3	4	1	0	0	0						
09/01/1954	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	8.4	0	0	0	0	0						
10/01/1954	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	9.2	2	18.4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
11/01/1954	14	8.4	0	6	0	16	0	0	0	1	0	8.4	0	0	10.2	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
12/01/1954	0	0	1	0	0	0	0	5	12.8	17.6	3.2	3.2	14.8	0	0	0	19.6	0	2.5	8.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
01/01/1955	0	93	49.2	3.2	0	0	0	0	2	0	9	10	0	21.4	16.2	7.4	48.8	8.8	5.2	0	2	2	7	49	1	0	0	0	0	0	0	0					
02/01/1955	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	7.4	3	5.6	1.6	0	0	0	0					
03/01/1955	0	0	0	0	0	5.4	0	2.4	0	31	33	0	0	0	17.2	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
04/01/1955	0	5.6	3.4	0	1	0	0	0	0	35.8	0	3.8	0	2	0	2.3	0	0	0	0	0	4.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
05/01/1955	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
06/01/1955	7.4	0	0	0	5.2	0	0	1	4.8	1	0	0	0	4.2	0	0	0	0	0	0	0	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
07/01/1955	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
08/01/1955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
09/01/1955	0	0	0	0	0	0	5	1.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
10/01/1955	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	4.6	20	5.4	4	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
11/01/1955	14.4	1	1	0	0	0	5	0	31	41.8	33.4	0	1.2	0	0	0	8.8	0	7.2	8.8	5	8.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
12/01/1955	0	2.8	5	19.2	37.4	21.6	1.6	0	0	0	0	54.2	18.2	0	0	7.4	14.2	0	0	0	0	0	11.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
01/01/1956	0	0	6.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
02/01/1956	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	3.6	19.2	2	138	15.8	5	14.8	1	1	8.4	5.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
03/01/1956	12.8	33.8	0	0	0	0	2.6	0	0	0	5	11.2	0	0	0	0	0	0	8.2	2	0	8.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
04/01/1956	11.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5.2	0	0	0	0	0	2.2	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
05/01/1956	1	0	0	0	0	0	0	0	41	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
06/01/1956	0	0	4.2	0	0	0	0	0	0	0	26	8.4	5.6	0.4	15	0	7.8	2.8	4.2	1.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
07/01/1956	0	0	0	0	13	2.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3.6	4.6	1.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
08/01/1956	0	22.4	40	1.8	2.4	0	0	0	0	0	0	0	6.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
09/01/1956	0	0	0	0	0	0	0	0	6.8	8	26	6.2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/01/1956	2.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	1.6	0	4.2	0.4	0	0	3.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11/01/1956	0	0	0	19	0	0	0	0	13.2	0	0	2	4.4	0	4	8	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12/01/1956	0	0	0	0	0	6.4	22.6	25	1.8	0	0	0	0	0	21.4	0	0	0	0	5.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 43 - Medições de precipitação – Posto Vigário – 1954 a 1956