

Yan Martins Ferreira Guedes

**AVALIAÇÃO DA REGIONALIZAÇÃO DAS
VAZÕES $Q_{7,10}$ E Q_{MLT} DO RIO BOA
ESPERANÇA – SC**

Florianópolis
2018



Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Bacharelado em Engenharia Civil

Yan Martins Ferreira Guedes

**AVALIAÇÃO DA REGIONALIZAÇÃO DAS VAZÕES $Q_{7,10}$ E Q_{MLT}
DO RIO BOA ESPERANÇA – SC**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Patrícia Kazue Uda

Florianópolis
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Guedes, Yan Martins Ferreira
AVALIAÇÃO DA REGIONALIZAÇÃO DAS VAZÕES Q7,10 E
QMLT DO RIO BOA ESPERANÇA - SC / Yan Martins
Ferreira Guedes ; orientador, Patrícia Kazue Uda,
2018.
82 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro
Tecnológico, Graduação em Engenharia Civil,
Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. I. Kazue Uda, Patrícia . II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia Civil. III. Título.

Yan Martins Ferreira Guedes

**AVALIAÇÃO DA REGIONALIZAÇÃO DAS VAZÕES Q_{7,10} E Q_{MLT}
DO RIO BOA ESPERANÇA – SC**

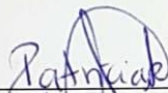
Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 05 de dezembro de 2018.



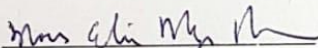
Prof. Luciana Rohde, Dr.^a
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

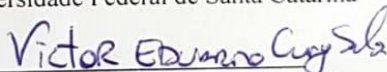


Prof.^a Patricia Kazuo Uda, Dr.^a
Orientadora

Universidade Federal de Santa Catarina



Prof.^a Marcos Aurélio Noronha, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina



Eng. Victor Eduardo Cury da Silva, Msc.
Universidade Federal de Santa Catarina



Eng. João Henrique Macedo Sá, Msc.
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico esse trabalho aos meus avós Maria e Adelino (in memoriam), que me ensinaram valores importantes para toda a vida.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer em primeiro lugar, a Deus, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada;

Dedico esta, bem como todas as minhas demais conquistas, aos meus amados pais e 7 irmãos;

À professora Patrícia, pelas orientações e momentos bons que compartilhamos no LaHiMar;

Aos Professores Davide e Victor pelas orientações nos momentos de dúvida;

Aos professores João do LabHidro e Marcos Noronha do LabTun, pela disponibilidade;

À Priscilla do LaHiMar, pelas orientações, companhia e risadas;

Aos colegas do LaHiMar, que preparavam aquele café esperto;

Aos amigos do ECV, Carol Brüggmann, Anderson, Mikerson, Lauro, Barbara Ribeiro e todos os outros que contribuíram para minha formação;

Às famílias Cipriani, Cé, Fabrin e Bogaert, pelo apoio nos momentos difíceis.

À galera da MUNIL;

RESUMO

A necessidade de suprir a demanda de energia elétrica brasileira utilizando recursos hídricos tem se tornado cada vez mais difícil no que diz respeito a escassez de informações fluviométricas, tendo uma grande limitação para se representar o comportamento dos recursos hídricos em estudos de bacias hidrográficas. As metodologias de regionalização de vazão apresentam modelos que representam hidrologicamente uma bacia hidrográfica, visando suprir informações de lugares com carências de dados fluviométricos. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi regionalizar as $Q_{7,10}$ e Q_{MLT} aplicando o Método Tradicional proposto pela (ELETROBRÁS, 1985) através do programa SisCoRV e utilizando o estudo de regionalização de vazões da SDS. Como resultados, foi obtida apenas uma região hidrologicamente homogênea tanto para as vazões mínimas quanto para as médias, onde o modelo potencial associado a variável área de drenagem foi o que melhor representou as vazões de acordo com os resultados das análises estatísticas. Pode-se concluir que, as vazões estimadas utilizando o Método Tradicional e o estudo da SDS obtiveram estimativas semelhantes quando analisado o ERMA e o REMQ, porém não se pode ter certeza desta estimativa, haja vista que técnica de regionalização foi aplicada em um conjunto amostral muito pequeno, o que pode retornar valores muito tendenciosos.

Palavras-chave: Regionalização; vazão média; vazão mínima; SisCoRV.

ABSTRACT

The need to supply Brazilian electricity demand using water resources has become increasingly difficult as regards the scarcity of fluviometric information, with a great limitation to represent the behavior of water resources in basin studies. The flow regionalization methodologies present models that represent hydrologically a watershed, in order to supply information from places with lack of fluviometric data. In this sense, the objective of this study was to regionalize the medium and minimum flows by applying the Traditional Method through the SisCoRV program and using the regionalization study of SDS flows. As results, it was done since the data were homogeneous for both the means and the averages, where the potential model associated with a drainage variable was the one that best represented the outputs according to the results of the statistical analyzes. The traditional method and SDS method can be used as the data distribution method when compared to ERMA and REMQ, although it does not have the verification that the regionalization information was applied in a very small sample set, which can return very biased values.

Keywords: Regionalization; average flow; minimum flow rate; SisCoRV.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 : Esquema do ciclo hidrológico	6
Figura 2 - caso 1: estimativa da vazão em um ponto (y) a montante de um posto com vazão conhecida (x) em uma bacia hipotética.	19
Figura 3 - caso 2: situação de um ponto de interesse (z) situado entre dois postos com vazão de referência conhecida (x, y).	19
Figura 4 - caso 4: situação de um ponto de interesse (z) situado em um canal afluente, cuja foz (z') se situa entre dois pontos de vazão conhecida (x e y), localizados em um canal de ordem superior.	19
Figura 5 - caso 3: situação de um ponto de interesse (y) situado em trecho de canal à jusante de um posto com vazão de referência conhecida.(x).	19
Figura 6 - solução gráfica da obtenção dos pesos p_x e p_y , (Equações 2.7), através de lógica fuzzy.	19
Figura 7- Área de estudo. Fonte: (autor, 2018).	25
Figura 8 - Mapa de declividade da bacia do rio Boa Esperança.	26
Figura 9 - Variação da precipitação média mensal da bacia.	27
Figura 10 - BoxPlot dos dados das vazões médias e mínimas mensais para a bacia do rio Boa esperança. Fonte: (Autor, 2018).	29
Figura 11 - BoxPlot dos dados de vazão média e mínima anual para a bacia do rio Boa Esperança.	30
Figura 13 - Diagrama de disponibilidade dados fluviométricos.	31
Figura 14 - Mapa com as estações fluviométricas utilizadas no estudo. Fonte: (Autor, 2018).	33
Figura 15 - Gráfico de correlação das vazões $Q_{7,10}$ e Q_{MLT} observadas em função da área de drenagem calculada.	41
Figura 15 - $Q_{7,10}$ observadas e as estimadas pelo método tradicional para cada uma das estações fluviométricas usadas no estudo de caso.	44
Figura 16 - $Q_{7,10}$ observadas e as estimadas pelos modelos linear e potencial.	45
Figura 17 - $Q_{7,10}$ observadas e as estimadas pelo modelo.	46
Figura 18 - Q_{MLT} observadas e as estimadas pelo método tradicional para cada uma das estações fluviométricas usadas no estudo de caso.	47
Figura 19 - Q_{MLT} observadas e as estimadas pelos modelos linear e potencial.	47
Figura 20 - Q_{MLT} observadas e as estimadas pelo método tradicional para cada uma das estações fluviométricas usadas no estudo de caso ..	49
Figura 22- Q_{MLT} observadas e as estimadas pelos modelos linear e potencial.	49

Figura 23 - (*QMLT*) observadas e as estimadas pelo modelo potencial.
..... 50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do relevo da área de estudo de acordo com a EMBRAPA. Fonte: (adaptado de Embrapa, 1979)	26
Tabela 2 - Características da bacia do rio Boa Esperança, SC	28
Tabela 3 - Estações fluviométricas selecionadas no estudo	32
Tabela 4 - Variáveis explicativas para cada estação fluviométrica	34
Tabela 5 - Vazões das estações fluviométricas efetivas	39
Tabela 6 - Matriz de correlação entre as vazões e as variáveis independentes	40
Tabela 7 - Resultados estatísticos em função do aumento do número de variáveis. Fonte: (Autor, 2018)	42
Tabela 8 - Resultados dos testes estatísticos obtidos pelo Método Tradicional para a vazão $Q_{7,10}$	45
Tabela 9 - Resultados dos testes estatísticos obtidos pelo Método Tradicional para a vazão Q_{MLT}	48
Tabela 10 - Resultados dos testes estatísticos obtidos pelo Método Tradicional para a vazão Q_{MLT} excluindo a estação Garcia de São José.	50
Tabela 11 - Análise de vazão média específica em cada posto fluviométrico	51
Tabela 12 - Valores de CV para cada grupo de dados de vazão específica.	52
Tabela 13 - Análise do CV da precipitação.	53
Tabela 14 – Diferença percentual entre a área delimitada no MDE e a área fornecida pela ANA.	53
Tabela 15 - Resultados obtidos para as vazões mínima e média, pelo modelo Potencial no eixo da PCH-Pinheral	54
Tabela 16 Equações de regionalização para as vazões mínima e média e resultado obtido no eixo da PCH-Pinheral	55
Tabela 17 – Vazões $Q_{7,10}$ e Q_{MLT} observadas e estimadas pelo Método Tradicional utilizado no estudo	55
Tabela 18 – Vazões $Q_{7,10}$ e Q_{MLT} observadas e estimadas pelo estudo da SDS.	56
Tabela 19 - Comparação das metodologias aplicadas para estimativa das vazões ($Q_{7,10}$) e (Q_{MLT}) pelos índices estatísticos (REMQ) e (ERMA).	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CV- Coeficiente de variação

ER – Erro relativo

SDS – Secretaria de Desenvolvimento do Estado de Santa Catarina

σ – Erro padrão

σ_F – Erro padrão fatorial

ER – Erro relativo

ERA – Erro relativo absoluto

ERMA – Erro relativo médio absoluto

MDE - Modelo digital de elevação

ANA – Agência Nacional de Água

REMQ – Raiz do erro médio quadrático

Q_{MLT} - Vazão média de longo período

$Q_{7,10}$ – Vazão mínima de 7 dias com período de retorno de 10 anos

RHH – Região hidrologicamente homogênea

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS.....	3
2.1.1	Objetivo Geral.....	3
2.1.2	Objetivos Específicos	3
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1	ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	5
3.2	VAZÕES DE REFERÊNCIA.....	7
3.2.1	VAZÃO MÁXIMA	8
3.2.2	VAZÃO MÉDIA	9
3.2.3	VAZÃO MÍNIMA.....	9
3.3	VARIÁVEIS EXPLICATIVAS	10
3.4	REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA	11
3.5	MÉTODOS DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES	12
3.5.1	METODOLOGIA TRADICIONAL	12
3.5.2	METODOLOGIA BASEADA NA INTERPOLAÇÃO LINEAR	14
3.5.3	METODOLOGIA PROPOSTA POR CHAVES	16
3.5.4	ESTUDO DE REGIONALIZAÇÃO SDS-SC	20
3.5.5	ESTUDOS ANTERIORES	20
4	METODOLOGIA.....	23
4.1	FLUXOGRAMA DE TRABALHO	23
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	25
4.3	SELEÇÃO E ANÁLISE DE DADOS UTILIZADOS NO ESTUDO	30
4.4	OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS.....	33
4.5	MÉTODOS DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÃO APLICADOS	34
4.5.1	MÉTODO TRADICIONAL	34
4.5.1.1	PROCESSAMENTO DOS DADOS HIDROLÓGICOS...	34

4.5.1.2	IDENTIFICAÇÃO DAS REGIÕES HIDROLOGICAMENTE HOMOGÊNEAS E OBTENÇÃO DAS EQUAÇÕES REGIONAIS	35
4.5.2	ESTUDO DA SDS	36
5	RESULTADO E DISCUSSÃO	39
5.1	MÉTODO TRADICIONAL	39
5.1.1	OBTENÇÃO DAS VAZÕES MÍNIMAS E MÉDIAS	39
5.1.2	IDENTIFICAÇÃO DAS RHH.....	40
5.1.3	EQUAÇÕES REGIONAIS E PARÂMETROS AJUSTADOS	54
5.2	ESTUDO DA SDS.....	55
5.3	COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO TRADICIONAL E O ESTUDO DA SDS	55
6	CONCLUSÃO	59
7	Bibliografia	61

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o crescimento econômico e populacional, são variáveis que determinam o consumo de energia. No ano de 2015, estudos apontaram que, aproximadamente, 11% da energia ofertada, tinham origem hidráulica, sendo o restante, basicamente, correspondente a combustíveis fósseis, tendo o petróleo e o gás natural como principais componentes da matriz energética (IBP, 2018).

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a matriz de energia elétrica brasileira é predominantemente renovável, sendo que 61% da geração de energia do país provêm dos recursos hídricos. Apesar de o Brasil possuir todos esses recursos hídricos, existem dificuldades quando se diz respeito ao gerenciamento dos mesmos.

No gerenciamento do uso múltiplo da água, torna-se necessário o conhecimento da disponibilidade hídrica no local de estudo. No entanto, sabe-se que nenhum modelo ou técnica é capaz de criar informações e que as mesmas são cruciais para o adequado entendimento do comportamento de um sistema hídrico. Isto, tendo em vista que a sua falta pode comprometer a gestão do uso da água, principalmente, ao realizar estudos que tenham como objetivo o enquadramento e outorga dos recursos hídricos (TUCCI, 2002).

Devido à baixa escala de monitoramento dos recursos hídricos, a regionalização hidrológica permite transferir informações de um local para outro, dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante, tendo como objetivo a obtenção de informações em locais com ausência de dados ou com poucos dados, baseando na similaridade espacial de algumas funções, variáveis e parâmetros que permitem essa transferência (TUCCI, 2002).

Considera-se que a regionalização de vazões realizada de maneira consistente, será de grande importância para o conhecimento a respeito das disponibilidades hídricas locais, e contribuirá nos possíveis projetos de obras hidráulicas, estimando resultados de vazões de grande utilidade para os gerenciadores dos recursos hídricos.

No presente trabalho, há a necessidade da obtenção das vazões mínimas e médias, que são normalmente utilizadas para estimar a disponibilidade hídrica e energética em locais que se pretende instalar centrais hidroelétricas. Para tanto, foi utilizada a técnica de regionalização de vazões, a fim de explorar dados pré-existentes e transferir informações

de locais com monitoramento fluviométrico para outro sem informações, dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante.

O Rio Boa Esperança está localizada no município de Major Gercino. O regime pluviométrico da região, a densidade de drenagem, a declividade do rio com a existência de inúmeras corredeiras e cachoeiras, capacitam o Rio Boa Esperança como um grande potencial de geração de hidroeletricidade do leste catarinense.

2 OBJETIVOS

2.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a regionalização de vazões mínimas e média do rio Boa Esperança – SC.

2.1.2 Objetivos Específicos

- Estabelecer o modelo matemático de regionalização das vazões mínimas e médias do rio Boa Esperança através do Método Tradicional.
- Comparar vazões regionalizadas pelo Método Tradicional e estudo da SDS.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O ciclo hidrológico, segundo Silveira (2014), é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre, que abrange os continentes e os oceanos, e a atmosfera que possui uma diversidade de condições físicas importante, impulsionado pela energia solar associada à gravidade e à rotação da Terra.

O comportamento natural da água quanto à sua ocorrência, transformação de estado físico e relações com a vida humana é bem caracterizado através do conceito de ciclo hidrológico (Figura 1) (Garcez & Alvarez, 1988).

Segundo Garcez e Alvarez (1988) e Silveira (2014) o ciclo hidrológico pode ser compreendido quando se tem conhecimento sobre quatro etapas principais:

- a) precipitação: é o conjunto de águas que provém do meio atmosférico e atinge a superfície terrestre. A sua forma mais comum é a chuva podendo ocorrer de diversas formas, como orvalho, neve ou granizo;
- b) escoamento subterrâneo: a infiltração é o fenômeno da penetração da água no interior do solo através da sua superfície (meio poroso) enquanto o solo não se satura. A porção de precipitação infiltrada percola até os aquíferos subterrâneos gerando o escoamento de forma lenta;
- c) escoamento superficial: é o excesso de água não infiltrado sobre a superfície do solo, sendo impulsionado pela gravidade para as cotas mais baixas, vencendo, principalmente, o atrito com a superfície do solo;
- d) evapotranspiração: o conjunto de processos físicos e fisiológicos que provocam a mudança do estado físico da água precipitada; do estado como ela se precipita na superfície da Terra, para vapor.

Figura 1 : Esquema do ciclo hidrológico



Fonte: SILVEIRA (2014)

Segundo Garcez e Alvarez (1988), o escoamento superficial pode ser entendido como a fase do ciclo hidrológico que trata das formas com que a água pode se apresentar em função da precipitação (neve, granizo, chuva, etc), que por efeito da gravidade, se desloca na superfície da Terra sobre o solo saturado de umidade ou impermeável, escoando superficialmente até o grande curso de água que se destina ao oceano.

O escoamento superficial tem origem fundamentalmente nas precipitações. Apenas uma porção da água da chuva escoar sobre a superfície do solo. Parte é interceptada pela vegetação, parte é retida pelas depressões e parte se infiltra. Na fase inicial da precipitação, o escoamento superficial forma uma película laminar que aumenta de espessura até cessar o processo de precipitação (Martins, Holtz, Gomide, & Pinto, 1976).

Dentre os processos reconhecidos na formação do escoamento superficial, os autores Collischonn e Dornelles (2013) citam os principais:

- a) processo Hortoniano: é o processo de geração de escoamento superficial caracterizado quando se tem uma precipitação intensa seguida de uma baixa capacidade de infiltração do solo;
- b) processo Dunniano: é o processo de geração de escoamento superficial caracterizado quando se tem uma precipitação que atinge áreas de solo saturado por umidade.

Com o aumento da intensidade pluviométrica e da área abrangida pela precipitação, o escoamento superficial tende a crescer (Pruski, Brandão, & Silva, 2014).

Diversos são os autores que descrevem os fatores que influenciam no escoamento superficial. Os fatores podem ser agroclimáticos

(intensidade da chuva, duração da chuva, evapotranspiração, cobertura e condições de uso do solo) e fatores fisiográficos (área da bacia, forma da bacia, área de drenagem, declividade da bacia, redes de drenagem, obras hidráulicas) (Pruski, Brandão, & Silva, Escoamento Superficial, 2014).

Dentro do ciclo hidrológico e relacionado à engenharia, o escoamento superficial é uma das fases mais importantes quando se diz a respeito do estudo da previsão de cheias em cursos de água ou dimensionamento de obras hidráulicas como barragens, canais, vertedores e estruturas destinadas ao controle de erosão hídrica (Garcez & Alvarez, 1988) e (Singh, 1992)

3.2 VAZÕES DE REFERÊNCIA

O critério de vazão referencial é abordado nas leis de vários estados brasileiros. No Brasil cada estado utiliza uma vazão como base para o processo de gestão (outorga dos usos múltiplos da água). As vazões de referência mais conhecidas são baseadas em métodos hidrológicos, como: ($Q_{7,10}$) vazão observada em sete dias consecutivos com tempo de dez anos de recorrência ou vazões de permanência ($Q_{90\%}$), ($Q_{95\%}$) que representam a vazão que um curso d'água mantém por 90% ou 95% do tempo, respectivamente. Chamadas de vazão de permanência, esses indicadores estão associados ao tempo em que uma determinada vazão permanece igualada ou excedida em um período predefinido (Bezerra, Rudke, Souza, Andrade, & Evangelista, 2013).

Segundo Cruz (2011) para a outorga do uso da água, as vazões de referência são estabelecidas com base em critérios pragmáticos sem apresentar justificativas da adoção de tais valores. No estado de Santa Catarina, o Decreto 4.778/2006 e Portarias n° 025/2006, 035/2006 e 035/2006 estabelecem que a outorga só possa ser emitida quando o limite máximo de derivações consuntivas em todas as seções de controle de uma bacia hidrográfica for igual ou menor a 50% da vazão de referência de ($Q_{98\%}$). No Paraná a Portaria SUDERHSA n° 20/99, estabelece que a vazão máxima outorgável para captação a fio d'água é 50% da vazão de referência ($Q_{7,10}$).

3.2.1 VAZÃO MÁXIMA

“A vazão máxima é entendida como a maior vazão que ocorre numa seção de um rio num período definido.” (Tucci, 2002, p. 127). O estudo de vazões máximas é de extrema importância para previsão de enchente e dimensionamento de obras hidráulicas tais como, extravasores de barragens, canais, condutos, galerias de águas pluviais, entre outras (Uehara, 1964).

Segundo Tucci (2002), a previsão da vazão máxima num ponto qualquer pode ser realizada a curto prazo, envolvendo o acompanhamento de enchentes quando se conhece ou prevê a precipitação utilizando modelo matemático, ou a longo prazo, de maneira estatística, determinando a probabilidade de ocorrer um evento com base em dados históricos registrados no ponto de interesse.

Uehara (1964) e Tucci (2014) apresentam de maneira equivalente as metodologias para cálculos das vazões máximas, podendo ser estimada por métodos diretos (modelos estatísticos), empíricos (com base na precipitação) ou indiretos (regionalização de vazões).

Dentre os métodos empíricos, podem-se citar os seguintes: método Racional e método Soil Conservation Service (SCS). O método racional é muito utilizado na estimativa da vazão máxima de projeto para bacias pequenas. Este método segue alguns princípios básicos, como considerar a duração da precipitação intensa de projeto igual ao tempo de concentração; adotar um coeficiente único de perdas, estimado com base nas características da bacia; e não avaliar o volume da cheia e a distribuição temporal das vazões (TUCCI, 2004).

O método do (SCS) é um método de distribuição temporal e é aplicado em bacias de pequeno porte. Este método tem objetivo de estabelecer relações entre a precipitação, o deflúvio superficial, grau de vegetação, tipo e ocupação do solo. O método é baseado no conceito de hidrograma unitário (RIGHETTO, 1998).

Dentre os métodos diretos, vários são encontrados na literatura (Uehara, 1964), entre outros podem ser citados: Método de Fuller, Método de Vem Te Chow, Método de Foster-Hazen e Método de Gumbell sendo o mais utilizado quando se deseja obter a máxima vazão.

Diversos autores afirmam que na regionalização a vazão máxima tem sido usada como uma variável no planejamento dos recursos hídricos, sendo capaz de caracterizar os condicionantes de inundação, onde o escoamento superficial é o componente principal (Silva Junior, Bueno, Tucci, & Castro, 2003).

3.2.2 VAZÃO MÉDIA

De acordo com Tucci (2002), a vazão média é definida como a média das vazões da série disponível num local. A vazão média também pode ser expressa em vazão por unidade de área, ou seja, vazão média específica.

Usualmente os dados são apresentados na forma de valores médios mensais, anuais e de longo período. Quando se tem dados registrados, a previsão da vazão média pode ser realizada pela média simples dos valores, ou ponderada, dependendo do horário da medição. Na realização destes cálculos, deve-se atentar aos períodos de cheias. Frente a situações desfavoráveis, pode existir um erro grande da estimativa (Tucci, 2002).

Segundo Tucci (2002), a vazão média não é representativa das vazões num período devido sua variabilidade. A variabilidade é de grande importância para o uso e conservação dos recursos hídricos, além de ser indicadora da disponibilidade hídrica e de enchentes de uma bacia. A principal estatística utilizada para representar essa variabilidade é o desvio padrão, que tem função de representar características temporais nos períodos chuvosos e secos da série histórica.

Para a estimativa da vazão, Tucci (2002) comenta que a regionalização é o procedimento usual nas bacias onde há a ausência de dados, porém existem outras metodologias que podem ser utilizadas para fazer essa estimativa simplificada, como balanço hídrico e vazão específica.

Garcez e Alvarez (1988) ressaltam que o estudo das vazões médias é de grande importância, pois vem sendo útil para cálculos prévios de potência e energia de centrais hidroelétricas.

3.2.3 VAZÃO MÍNIMA

As vazões mínimas são comumente conhecidas como vazões de estiagem ou ecológica e representam os menores valores dentro de uma série histórica de vazões. O conhecimento das vazões mínimas é importante para projetos como abastecimento de água, irrigação e concessão de outorgas em geração de energia elétrica (Tucci, Regionalização de vazões, 2002).

A vazão mínima é caracterizada por dois fatores: a quantidade de água e duração. A vazão mínima diária tem similaridade com a vazão mínima instantânea, sendo pouco utilizada na prática por não representar

a situação mais desfavorável. Assim, vazões com duração maiores que sete dias ou trinta dias representam melhor esta situação (Tucci, 2002).

Tucci (2002) cita que para maior entendimento, as características das vazões mínimas podem ser estabelecidas pela análise da frequência, curvas de duração ou permanência e depleção. Entretanto, para que estas curvas sejam significativas, são necessárias longas séries de dados.

Dentro deste contexto, vale ressaltar a importância das vazões de referência, se estabelece um valor de vazão passando a ser o limite superior da utilização da água em cursos d'água. A aplicação deste critério visa a proteção dos cursos de água, pois as alocações para derivações são geralmente feitas a partir de uma vazão de base de pequeno risco (Ruthes, 2017).

3.3 VARIÁVEIS EXPLICATIVAS

Pode-se definir variável explicativa como a que melhor explica o comportamento hidrológico da bacia hidrográfica. Diversos autores afirmam que as variáveis explicativas são aquelas utilizadas na regionalização para explicar uma variável dependente através de uma função. Em estudos hidrológicos, a vazão é a variável comumente utilizada como variável dependente, com objetivo de explicar o comportamento das vazões torna-se de grande importância o conhecimento dos fatores climáticos, fisiográficos ou as características espaço-temporais (Tucci, 2002), (Koefender, 2015), (Oliveira, 2013), (Freitas, 2003).

Dentre as características fisiográficas destacam-se as possíveis variáveis explicativas utilizadas em estudos de regionalização de vazões, tais como: área de drenagem, comprimento do rio, densidade de drenagem e declividade média do rio principal. Dentre características climáticas as variáveis explicativas mais utilizadas são: a taxa de evaporação, a precipitação anual média e a precipitação máxima diária. Entre as características espaço-temporais, pode-se destacar: a cobertura vegetal e o uso e ocupação do solo (Freitas, 2003) e (Tucci, 2002).

Entretanto, alguns autores afirmam que entre os dados fisiográficos a área de drenagem é considerada a variável explicativa mais utilizada na quase totalidade dos estudos de regionalização de vazões, em função da sua influência na potencialidade hídrica da bacia hidrográfica, haja vista que o clima desempenha um importante papel na representação do comportamento hidrológico, sendo a precipitação a variável climática mais utilizada nos estudos de regionalização de vazões (Gasques, Neves, Santos, Mauad, & Okawa, 2018), (Azevedo, 2004).

3.4 REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA

Segundo Tucci (2002), o termo regionalização tem sido utilizado em hidrologia para dar nome à transferência de informações de um local com dados hidrológicos para outro com poucos ou até mesmo sem dados dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante. Essa informação pode ocorrer na forma de uma variável, função ou parâmetro. O princípio da regionalização se baseia na similaridade espacial destas informações que permitem essa transferência.

De acordo com Fill (1987) em sentido abrangente, entende-se por regionalização hidrológica qualquer processo de transferência de informações das estações pluviométricas e fluviométricas para outros locais sem dados hidrológicos. Essa transferência pode abranger diretamente as séries de vazões e, ou, precipitações, ou até mesmo determinados parâmetros estatísticos relevantes, tais como: média, variância, máximos e mínimos ou, ainda, equações e parâmetros relacionados com estas estatísticas.

A regionalização pode também ser usada para verificar a consistência das séries hidrológicas, bem como, para identificar a necessidade de instalação dos postos de monitoramento em um determinado local dentro da bacia hidrográfica (Naghetini & Pinto, 2007).

Para qualquer tipo de dado hidrológico a ser regionalizado, Tucci (2002) expõe as etapas que envolvem a regionalização: definição dos limites da área a ser estudada; determinação das variáveis dependente e possíveis variáveis explicativas da regionalização; seleção dos dados das variáveis; e funções regionais: relações regionais e definição das regiões homogêneas.

Tucci (2002) ressalta que a qualidade dos dados hidrológicos é essencial para o processo de regionalização. Para que as informações dos dados possam ser utilizadas, é necessário realizar uma análise de qualidade que envolve duas etapas: triagem preliminar dos dados; e análise dos dados selecionados. Dessa forma, se os dados não possuem boa qualidade ou não foram identificados e sanados os seus erros, a regionalização será tendenciosa, com resultados inadequados.

Silva Junior et al. (2003) salienta que apesar da regionalização se caracterizar por uma ferramenta útil para o conhecimento hidrológico espacial, não é um método seguro para extrapolação hidrológica quando se busca obter dados de bacias de pequeno porte a partir de bacias maiores

devido suas limitações. Tucci (2002) chama a atenção sobre o uso generalizado desta ferramenta, orientando que a regionalização não substitui uma rede adequada de monitoramento hidrológico e não deve ser usada sem uma pré-análise da qualidade de seus resultados, haja vista que este tipo de atitude pode comprometer o processo de tomada de decisão.

3.5 MÉTODOS DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES

A regionalização de vazões é uma alternativa para explorar dados pré-existentes, transferindo informações de um local com monitoramento fluviométrico para outro sem informações dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante (Bazzo, Guedes, Castro, Siqueira, & Almeida, 2017).

Devido cada bacia hidrográfica ter suas particularidades, vem sendo estudada a aplicação de diferentes métodos para estimativa da vazão. Sendo assim é de grande importância o estudo comparativo de metodologias de regionalização de vazões a fim de se obter a mais adequada às características regionais de cada bacia hidrográfica (Moreira & Silva, Análise de Métodos para Estimativa das Vazões da Bacia do Rio Paraopeba, 2014).

Dentre os métodos para estimativa da vazão, destacam-se o método proposto por Chaves et. al. (2002), o qual utiliza técnicas de interpolação e extrapolação automáticas em ambiente de sistemas de informações geográficas; O método de interpolação linear, alternativa proposta pela Eletrobrás (1985), onde se obtém as vazões relativas à seção de interesse utilizando as vazões correspondentes às estações fluviométricas mais próximas e; O método tradicional proposto pela ELETROBRÁS (1985) que consiste na identificação de regiões hidrologicamente homogêneas e no ajuste de equações de regressão múltiplas sobre diferentes variáveis (Pruski & Novaes, 2007).

3.5.1 METODOLOGIA TRADICIONAL

A metodologia proposta pela ELETROBRÁS (1985) é uma das mais utilizadas para regionalização de vazões. Este método consiste no ajuste das equações de regressões múltiplas entre a vazão e as características físicas e climáticas aplicadas às regiões homogêneas, ou seja, com comportamento hidrológico semelhante (Bazzo, Guedes, Castro, Siqueira, & Almeida, 2017). Este método pode ser aplicado às

vazões mínimas, máximas, curva de regularização e curva de permanência (Fior & Fernandes, 2015).

De acordo com Lemos (2006), a homogeneidade da regionalização pode ser expressa quando se tem um alto coeficiente de determinação, resultante da regressão múltipla das vazões com as características físicas e climáticas das sub-bacias. Segundo Hosking (1997) conforme citado por Lemos (2006), a identificação de regiões homogêneas deve ser feita em duas etapas consecutivas: delimitação das regiões com base unicamente das características locais e teste estatístico com base unicamente das estatísticas locais.

Lemos (2006) afirma que é usual a utilização de dois critérios estatísticos na definição das regiões homogêneas:

- a) critério baseado na análise da distribuição de frequência das vazões adimensionalizadas de cada posto de monitoramento.

Este critério é baseado no fato de que as distribuições de frequências das vazões nos postos numa região hidrologicamente homogênea seguem a mesma linha de tendência. O gráfico formado pelos pontos representativos dos valores de vazão é uma reta, sendo ajustada uma equação de primeiro grau às vazões adimensionalizadas de cada posto de medição. Os postos monitorados que apresentarem valores próximos para o coeficiente de regressão podem ser considerados pertencentes a uma região hidrologicamente homogênea. A função matemática no que se refere ao ajuste das vazões adimensionalizadas é da forma:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i \quad (2.1)$$

em que:

Y_i = valor observado para a variável dependente Y no i-ésimo nível da variável independente X;

β_0 = constante de regressão. Representa o intercepto da reta com o eixo dos Y;

β_1 = coeficiente de regressão. Representa a variação de Y em função da variação de uma unidade da variável X; e

X_i = i-ésimo nível da variável independente X (i=1,2,...,n).

- b) critério baseado na análise do ajuste do modelo de regressão múltipla.

Segundo Souza (2009) e Lemos (2006) neste critério são estabelecidas regressões múltiplas entre as séries de vazões e as diferentes características físicas e climáticas das bacias. A função matemática que relaciona as variáveis é da forma:

$$Q = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (2.2)$$

em que:

Q = vazão estimada;

X = variável independente como: área de drenagem, comprimento do rio principal, densidade de drenagem, declividade média da bacia hidrográfica, declividade média do rio principal, precipitação média na bacia hidrográfica; e

n = número de variáveis independentes.

Existem algumas limitações para utilização deste método. Segundo ELETROBRÁS (1985), Tucci (2002) e Rodriguez (2008), para sua aplicação é necessário um número mínimo de estações para a utilização dos modelos de regressão, e ainda, não se deve utilizar estações influenciadas por reservatórios à montante. Diversas pesquisas têm sido desenvolvidas com o intuito de superar as limitações das bases de dados, com a busca de métodos que exijam menos informações que o método de equações de regressão múltiplas.

3.5.2 METODOLOGIA BASEADA NA INTERPOLAÇÃO LINEAR

A metodologia baseada na interpolação linear foi desenvolvida com o objetivo de superar as limitações existentes quando se refere às bases de dados da maioria das bacias hidrográficas brasileiras. Tal metodologia destaca-se por não utilizar um grande número de variáveis para obtenção da vazão no ponto de interesse, o que permite sua aplicação em bacias hidrográficas com número reduzido de postos fluviométricos. Desta maneira é proposto que a vazão na seção de interesse seja estimada em função das vazões e área de drenagem dos postos fluviométricos mais próximos (Lemos, 2006).

De acordo com Rodriguez (2008, p. 11), essa metodologia é uma das alternativas propostas pela a Eletrobrás (1985), em que é realizada a ponderação no cálculo das vazões tendo como ponto de partida as áreas de drenagem de postos fluviométricos localizados a montante e, ou, a jusante da seção de interesse. Entretanto recomenda-se que esta metodologia seja aplicada quando a diferença das áreas de drenagem das duas seções analisadas é inferior a três vezes uma em relação à outra. Esta metodologia torna-se sobressalente por não precisar trabalhar com o conceito de regiões homogêneas a fim de utilizar equações de regressão, portanto são utilizadas as mesmas equações ao longo de toda bacia hidrográfica.

No estudo realizado por Pruski e Novaes (2007) para a estimativa dos valores de vazão é apresentado quatro casos distintos, dependendo da posição da seção de interesse em relação aos postos fluviométricos.

• Caso 1 e 2 – Local de interesse situado a montante ou a jusante de um posto com vazão conhecida

$$Q_z = \left(\frac{A_z}{A_x} \right) Q_x \quad (2.3)$$

em que:

Q_z = vazão no local de interesse, $m^3 s^{-1}$;

Q_x = vazão em um posto fluviométrico a jusante ou a montante da seção em análise, $m^3 s^{-1}$.;

A_z = área de drenagem no local onde se deseja conhecer a vazão, Km^2 ; e

A_x = área de drenagem do posto fluviométrico a jusante do local de interesse, Km^2 .

• Caso 3 – Local de interesse situado entre dois postos com vazão conhecida

$$Q_z = Q_m + \left(\frac{A_z - A_m}{A_j - A_m} \right) (Q_j - Q_m) \quad (2.4)$$

em que:

Q_z = vazão no local de interesse, $m^3 s^{-1}$;

Q_j = vazão em um posto fluviométrico a jusante da seção em análise, $m^3 s^{-1}$.;

Q_m = vazão em um posto fluviométrico a montante da seção em análise, $m^3 s^{-1}$.;

A_m = área de drenagem do posto fluviométrico a montante do local de interesse, Km^2 ;

A_z = área de drenagem no local onde se deseja conhecer a vazão, Km^2 ; e

A_j = área de drenagem do posto fluviométrico a jusante do local de interesse, Km^2 .

• Caso 4 – Local de interesse situado em um canal afluente, cuja foz está entre dois postos fluviométricos de um canal de ordem superior

Neste caso aplicou-se uma combinação das outras duas situações descritas anteriormente, sendo primeiramente calculada a vazão (equação 2.4) na seção de confluência. Estimada a vazão na confluência dos rios aplicou-se a (equação 2.3) para estimar a vazão na seção de interesse.

3.5.3 METODOLOGIA PROPOSTA POR CHAVES

No estudo desenvolvido por Chaves (2002) o método proposto tem similaridade com a metodologia dita anteriormente. A metodologia de Chaves (2002) também foi desenvolvida com a finalidade de propor um método que supere as limitações existentes quando se refere às bases de dados.

A metodologia tem como base a interpolação e extrapolação de vazões mínimas em diferentes situações da bacia, apresentando soluções que vão depender da posição relativa do ponto de interesse em relação aos postos fluviométricos mais próximos. Para fazer a estimativa das vazões nas seções de interesse, o método faz o uso das seguintes variáveis: área de drenagem, e as distâncias entre a seção de interesse e o posto fluviométrico considerado (Chaves, Rosa, Vadas, & Oliveira, 2002), (Ferreira, 2010).

Por se tratar de um método interpolativo como o proposto pela Eletrobrás (1985), o mesmo dispensa a definição de regiões hidrologicamente homogêneas. O método proposto não se aplica a extrapolações em bacias onde dados fluviométricos não são disponíveis (Chaves, Rosa, Vadas, & Oliveira, 2002).

Segundo Chaves (2002) o método funciona da seguinte forma: partindo-se da rede de drenagem da bacia e da distribuição da rede de postos fluviométricos existente; classificam-se os canais de acordo com os seguintes casos:

• Caso 1 e 2 – Local de interesse situado a montante ou a jusante de um posto com vazão conhecida

$$Q_y = \left(\frac{A_y}{A_x} \right) Q_x \quad (2.5)$$

em que:

Q_y = vazão mínima de referência no local de interesse, m^3s^{-1} ;

Q_x = vazão de referência em um posto fluviométrico próximo, m^3s^{-1} ;

A_y = área de drenagem relativa no local onde se deseja conhecer a vazão, Km^2 ; e

A_x = área de drenagem do posto fluviométrico próximo, Km^2 .

Se os pontos x (posto conhecido) e y (ponto de interesse) estiverem relativamente próximos, a robustez da equação será elevada, além de haver alta probabilidade de os pontos estarem dentro de uma mesma região hidrológica (Chaves, Rosa, Vadas, & Oliveira, 2002).

• Caso 3 – Local de interesse entre dois postos com vazão conhecida

$$Q_z = A_z \left[\left(\frac{p_x Q_x}{A_x} + \frac{p_y Q_y}{A_y} \right) \right] \quad (2.6)$$

sendo:

$$p_x = \frac{dy}{(dx + dy)} \quad e \quad p_y = \frac{dx}{(dx + dy)} \quad (2.7)$$

em que :

Q_y = vazão mínima de referência em um posto fluviométrico próximo, $m^3 s^{-1}$;

Q_x = vazão mínima de referência em um posto fluviométrico próximo, $m^3 s^{-1}$;

Q_z = vazão mínima de referência no local de interesse, $m^3 s^{-1}$;

A_z = área de drenagem relativa no local onde se deseja conhecer a vazão, Km^2 ;

A_x = área de drenagem do posto fluviométrico próximo, Km^2 ;

A_y = área de drenagem do posto fluviométrico próximo, Km^2 ;

p_y = peso relativo a y;

p_x = peso relativo a x.

dx = distância entre o posto em questão e a seção de interesse, Km; e

dy = distância entre o posto em questão e a seção de interesse, Km.

**• Caso 4 – Local de interesse situado em um canal afluente cuja
foz está entre dois postos fluviométricos de um canal de ordem
superior**

Neste caso aplicou-se uma combinação das outras duas situações descritas anteriormente, sendo primeiramente calculada a vazão (equação 2.5) na seção de confluência. Estimada a vazão na confluência dos rios aplicou-se a (equação 2.6) para estimar a vazão na seção de interesse.

Tanto para a metodologia da interpolação linear proposta pela Eletrobrás (1985), quanto para a metodologia de Chaves (2002), foram generalizadas soluções para interpolação e extrapolação de vazões em diferentes situações da bacia que dependem da posição relativa do ponto de interesse em relação aos postos fluviométricos mais próximos. Para que se tenha um melhor entendimento de cada caso exposto nas metodologias citadas, às figuras abaixo ilustrará cada um deles.

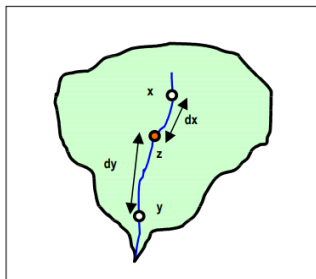


Figura 3 - caso 2: situação de um ponto de interesse (z) situado entre dois postos com vazão de referência conhecida (x, y).

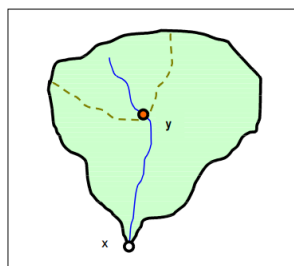


Figura 2 - caso 1: estimativa da vazão em um ponto (y) a montante de um posto com vazão conhecida (x) em uma bacia hipotética.

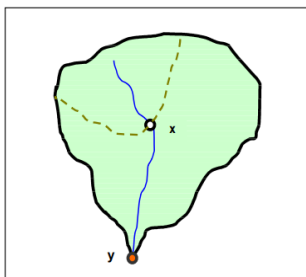


Figura 5 - caso 3: situação de um ponto de interesse (y) situado em trecho de canal à jusante de um posto com vazão de referência conhecida.(x).

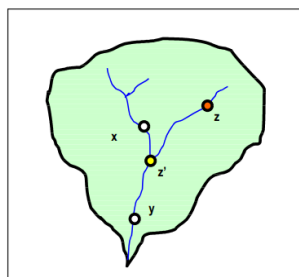


Figura 4 - caso 4: situação de um ponto de interesse (z) situado em um canal afluente, cuja foz (z') se situa entre dois pontos de vazão conhecida (x e y), localizados em um canal de ordem superior.

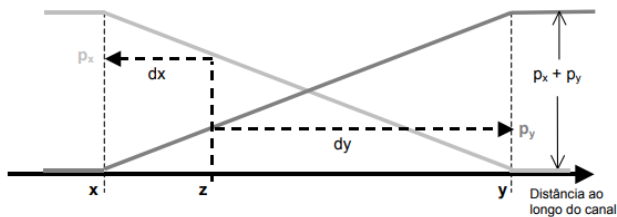


Figura 6 - solução gráfica da obtenção dos pesos p_x e p_y , (Equações 2.7), através de lógica fuzzy.

3.5.4 ESTUDO DE REGIONALIZAÇÃO SDS-SC

O Estado de Santa Catarina dispõe de estudo de regionalização de vazões das bacias hidrográficas estaduais (SANTA CATARINA, 2006). O estudo foi realizado pela Secretaria de desenvolvimento Sustentável (SDS) apresentando a regionalização de vazões com diferentes permanências, além de vazões médias mínimas para diferentes durações e períodos de retorno, visando à estimativa da disponibilidade hídrica em seções fluviométricas de interesse.

A regionalização foi desenvolvida a partir do banco de dados fluviométricos e pluviométricos das estações da ANA e da SUDERHSA, cujas áreas de drenagem das bacias monitoradas variam de centenas a milhares de quilômetros quadrados. Os estudos de regionalização hidrológica não devem ser aplicados fora dos limites estabelecidos pelas equações regionais e, principalmente em microbacias hidrográficas por se tratar de um estudo com erro grande associado.

3.5.5 ESTUDOS ANTERIORES

Moreira e Silva (2014), publicaram um estudo que teve como objetivo realizar a análise de métodos para estimativa da $(Q_{7,10})$ (Q_{MLT}) da bacia hidrográfica do rio Paraopeba. Para cada estação fluviométrica foram calculados os valores das vazões utilizando as seguintes metodologias: Tradicional, Proporcionalidade de vazões, Conservação das massas e o estudo de Deflúvios superficiais. Os métodos aplicados, basicamente utilizaram a área de drenagem como variável explicativa e base de dados diária. Entretanto, o método de Deflúvio não segue a mesma linha, se baseia na utilização de base de dados mensal e utilização de funções de inferência sobre os rendimentos característicos. A partir da análise do erro relativo, erro relativo médio e coeficiente de eficiência ajustado foi possível concluir que o estudo de Deflúvios apresentou os piores resultados para o cálculo das vazões enquanto o método Tradicional permitiu melhores estimativa dos valores de vazão.

Prado et al. (2016) aplicaram o método tradicional a fim de regionalizar as vazões máximas e mínimas $(Q_{7,10})$ e $(Q_{95\%})$ da bacia hidrográfica do rio Ivaí. Na regionalização foram testados os seguintes modelos probabilísticos: Gumbel e Log-normal com dois e três parâmetros; para as vazões máximas o modelo Log-normal a três parâmetros apresentou o melhor ajuste, já para as vazões mínimas o modelo de distribuições de probabilidade de Gumbel apresentou à

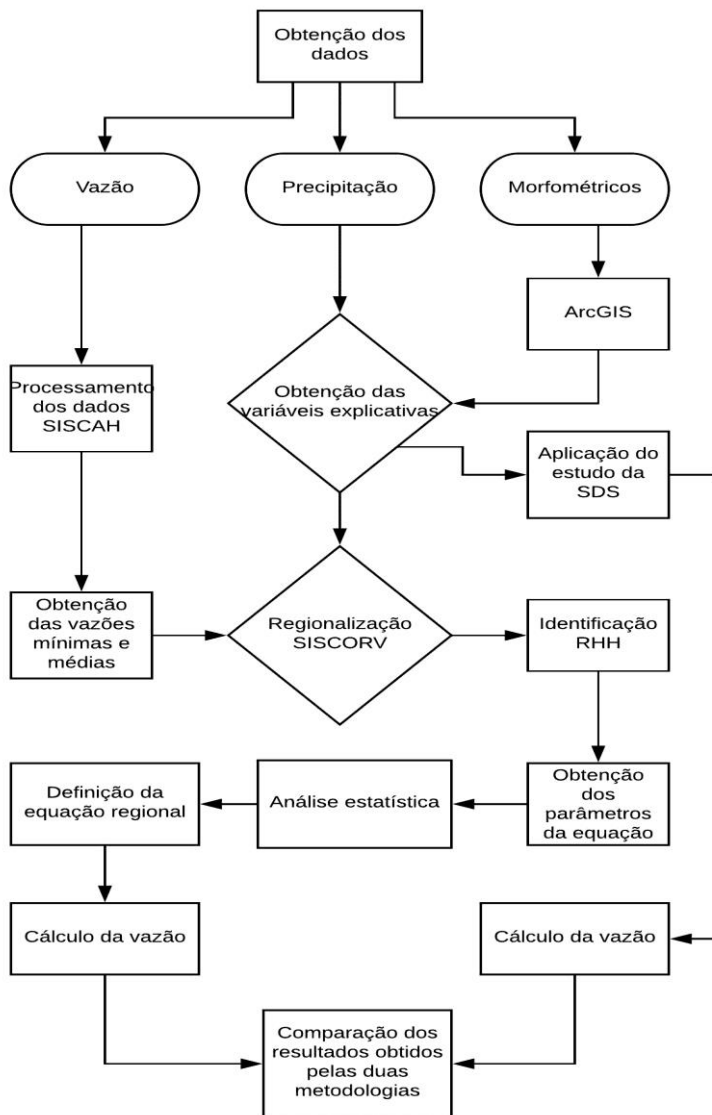
adequação a série de dados. Na análise de regressão foram aplicados aos dados os modelos linear, potencial, exponencial e logarítmico para as vazões máximas em função do tempo de retorno e também para as vazões mínimas ($Q_{7,10}$) e ($Q_{95\%}$) de permanência, com as variáveis explicativas: precipitação média anual total, densidade de drenagem e área da bacia hidrográfica. Através das curvas das vazões adimensionais mínimas e máximas, em função do tempo de retorno pode se observar que todas as regiões apresentaram tendência semelhante. Diante desta semelhança, pode se concluir que as regiões de toda a bacia do rio Ivaí são homogêneas e o mesmo modelo pode ser aplicado em toda a bacia.

Pruski e Novaes et. al (2007) avaliaram o desempenho de cinco metodologias de regionalização de vazões que foram utilizados na bacia do rio Paracatu. Para esse estudo foi utilizado os seguintes metodologias: Tradicional, Interpolação linear, Chaves (2002), Interpolação linear modificado e Chaves (2002) modificado. Basicamente a área de drenagem e a precipitação foram utilizadas como variavel independente no processo de regionalização. Para as cinco metodologias foi feito a estimativa da vazão mínima ($Q_{7,10}$), ($Q_{95\%}$) e (Q_{MLT}). Todas as vazões estimadas foram comparadas através do erro relativo de cada metodologia, podendo-se concluir que as cinco metodologias não tiveram diferenças expressivas no desempenho quando analisadas as vazões estudadas e que a inserção da precipitação como variavel independente nos métodos modificados não apresentou melhora expressiva.

Garbossa e Pinheiro (2015), realizaram um estudo para avaliar as incertezas nas estimativas das vazões de referência em bacias hidrográficas rurais e urbanas que não possuíam monitoramento, ou seja, sem base de dados pluviométricos e fluviométricos. O estudo realizado foi aplicado no entorno da baía da Ilha de Santa Catarina, a partir de medições de vazão em campo e do estudo de regionalização de vazões da SDS. Medições de vazões foram realizadas em 26 bacias, cujas áreas de drenagem variam entre 0,91 e 532 km². Desvios entre as vazões estimadas pela equação de regionalização e àquelas medidas nas bacias foram elevados, apresentando o valor máximo de 397%, logo concluiu-se que, a minimização das incertezas pode ser obtida com o desenvolvimento de monitoramento fluviométrico adequado para pequenas bacias hidrográficas.

4 METODOLOGIA

4.1 FLUXOGRAMA DE TRABALHO



Para dar início as atividades, primeiramente obteve-se os dados que efetivamente foram utilizados no estudo, dentre eles a vazão, precipitação e alguns dados morfométricos como declividade e comprimento do rio principal e área de drenagem. Este procedimento foi realizado para todos os postos fluviométricos que continham série dados representativa.

De posse dos dados de vazão, preliminarmente foram verificadas as falhas e tendências através de pré-processamento e análise de estacionariedade. Dando sequência no processamento dos dados, foram aplicadas distribuições de probabilidade a fim de se obter as vazões mínimas e médias em cada posto fluviométrico. As vazões mínimas indicam a disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica, sendo assim, conhecê-las é de grande importância para o projeto de usinas hidrelétricas e concessão de outorga para uso da água, já as vazões médias permite também caracterizar a disponibilidade hídrica além do potencial energético.

Tendo as vazões em cada posto fluviométrico e as variáveis explicativas, deu início ao processo de regionalização das vazões, que inicialmente buscou identificar as RHH realizando testes de maneira iterativa, analisando qual grupo de bacias hidrográficas que daria como resposta um alto coeficiente de correlação associado a um baixo erro padrão.

Definido as RHH, iniciou-se uma análise estatística mais detalhada, que visou identificar qual o modelo matemático de regressão que melhor representou as vazões mínimas e médias, baseados nos testes T e F para nível de significância de 5%. Após definição do modelo que irá sintetizar as vazões, obteve-se os parâmetros da equação para o modelo escolhido. Por fim calculou-se a vazão mínima e média no ponto de interesse para o Método Tradicional.

Utilizando as variáveis explicativas obtidas no início do estudo, aplicou-se o estudo da SDS a fim de calcular as vazões mínimas e médias. Para aplicação deste estudo, existe equações já estabelecidas para sintetizar as vazões na região de interesse. Tendo os valores calculados pelo Método Tradicional e pelo Estudo da SDS, foram comparadas as metodologias e os resultados obtidos.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está inserida na bacia do Atlântico Trecho Sudeste – 8, sub-bacia-84 do município de Major Gercino, que engloba como principais rios, o rio Mampituba, o rio Tijucas e o rio Tubarão. A área de estudo compreende a região contribuinte ao eixo da PCH Pinheiral, está entre as coordenadas $27^{\circ} 20'$ e $27^{\circ} 30'$ S e $49^{\circ} 00'$ e $49^{\circ} 15'$ W, no Rio Boa Esperança, que é afluente do rio Tijucas pela margem esquerda.

A bacia do rio Boa Esperança, possui uma área de drenagem de $148,4\text{km}^2$ e um perímetro de $63,9\text{ km}$, e seu exutório localiza-se a aproximadamente $14,97\text{Km}$ da confluência com o Rio Tijucas. O exutório da bacia do rio Boa Esperança corresponde ao eixo da PCH Pinheiral, sob coordenadas médias de $27^{\circ} 23'$ S e $49^{\circ}02'$ W

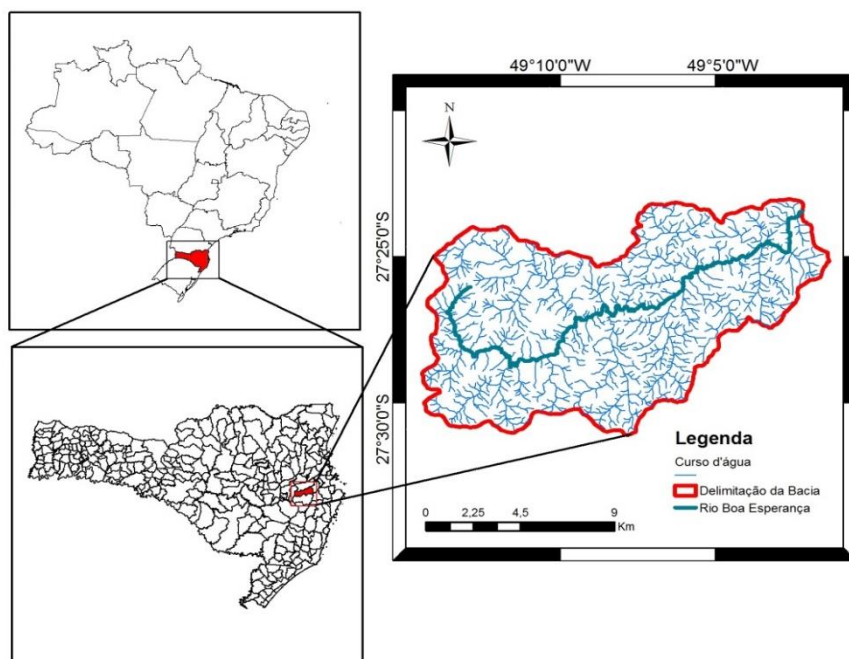


Figura 7- Área de estudo. Fonte: (autor, 2018)

A partir da elaboração do mapa de declividade Figura 8, o qual possibilita expressar as inclinações do relevo, é possível perceber que a bacia hidrográfica do rio Boa esperança é predominantemente caracterizada por um relevo forte-ondulado de acordo com a classificação da EMBRAPA (1979) com declividades variando entre 20 e 45% Tabela 1.

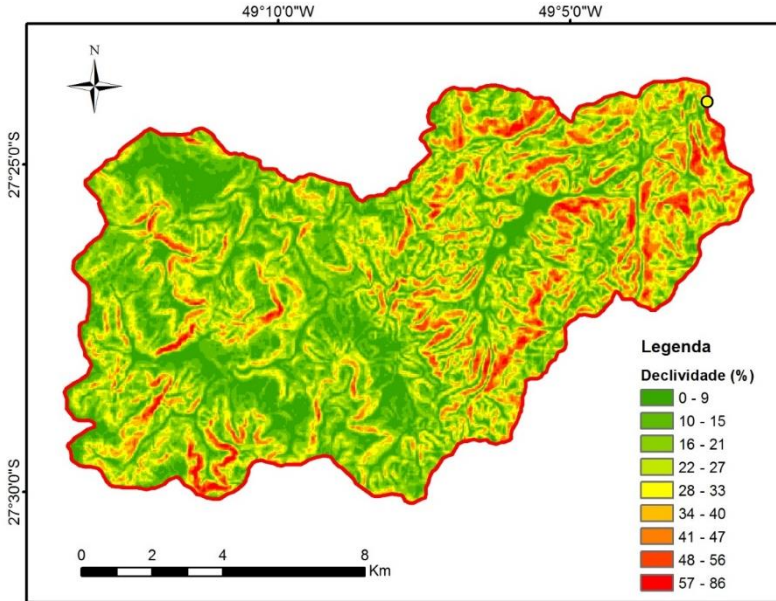


Figura 8 - Mapa de declividade da bacia do rio Boa Esperança.
Fonte: (Autor, 2018).

Tabela 1 - Classificação do relevo da área de estudo de acordo com a EMBRAPA. Fonte: (adaptado de Embrapa, 1979)

Declividade(%)	Relevo	Área (Km ²)	%
0-3	Plano	6,00	4,045
3 - 8	Suave- ondulado	17,30	11,66
8 - 20	Ondulado	53,81	36,26
20 - 45	Forte-ondulado	64,93	43,75
45 - 75	Montanhoso	6,33	4,27
>75	Forte-montanhoso	0,02	0,02
Total		148,40	100,00

Analisando a precipitação média mensal, constata-se que os três meses mais chuvoso correspondem a setembro, janeiro e fevereiro, acumulando, em média, 623,6 mm. O trimestre menos chuvoso ocorre de junho a agosto, acumulando uma precipitação média de 323,9 mm. Pode-se dizer que a bacia tem elevado índice pluviométrico, com precipitações significativas e bem distribuídas. A

Figura 9 apresenta a precipitação média mensal, com base nos dados de precipitação diária de 1988 a 2018, do posto pluviométrico situado a jusante do barramento da PCH-Pinheral, sob responsabilidade da ANA.

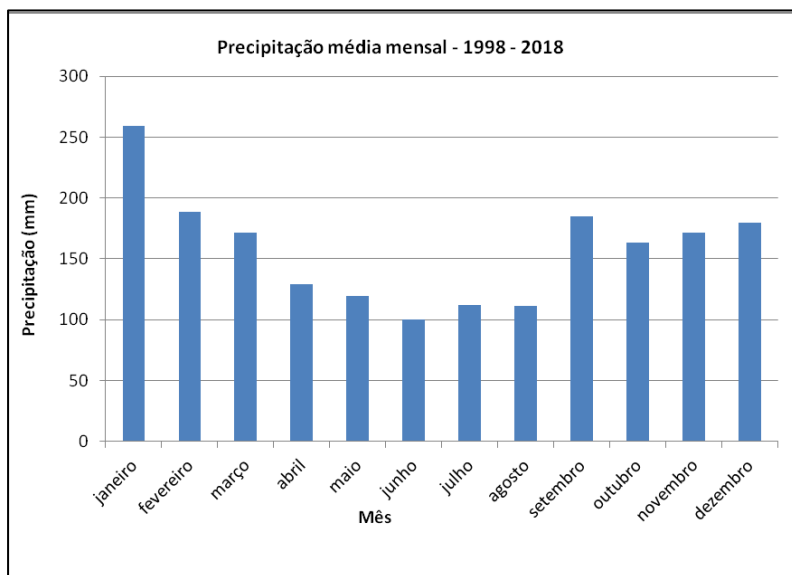


Figura 9 - Variação da precipitação média mensal da bacia.

Fonte: (Autor, 2018)

A Tabela 2 apresenta o resumo das características fisiográficas da região de estudo.

Tabela 2 - Características da bacia do rio Boa Esperança, SC

Características	Unidades	Resultados
Área de drenagem	Km ²	148,40
Comprimento rio principal	Km	31,4
Perímetro	Km	63,9
Coef. de compacidade	adm.	1,47
Fator de forma	adm.	0,15
Densidade de drenagem	Km/Km ²	3,30
Tempo de concentração	horas (h)	4,72

Fonte: (Autor, 2018)

A bacia hidrográfica do rio Boa Esperança, de maneira geral, apresenta um alto tempo de concentração de água da chuva, pelo fato do coeficiente de compacidade apresentar um valor afastado da unidade (1,47) e de seu fator de forma exibir um valor baixo (0,15). Esses valores indicam que a bacia não possui formato que se assemelha a uma circunferência, correspondendo, portanto, a uma bacia de formato alongado. De acordo com Villela e Mattos (1975), as bacias alongadas são menos propensas a picos de enchente. Considerando essa característica pode-se dizer que a bacia do rio Boa Esperança apresenta menor risco de enchentes diante das condições normais de precipitação.

A densidade de drenagem na bacia hidrográfica do rio Boa Esperança foi de (3,30 km/km²). De acordo com Villela e Mattos (1975), quando esse índice variar entre 0,5km/km² a 3,5 km/km² podemos caracterizar a drenagem como pobre e ótima respectivamente. Logo, em termos de densidade de drenagem, pode-se dizer que a bacia apresenta ótima drenagem.

As Figuras 10 e 11 apresentam a variação das vazões em função do tempo. Os pontos circulares e em cruz representam os *outliers* e extremos, respectivamente, especificamente definidos como valores suspeitos de ser discrepantes (Barbetta, 2012). A Figura 10 apresenta a variação das vazões na bacia do rio Boa Esperança ao longo dos meses, apresentando comportamento sazonal bem definido. De acordo com o gráfico é possível identificar que os picos das estações chuvosas e secas ocorrem, respectivamente, de dezembro a março e junho a agosto. Para a vazão média os meses que apresentaram valores atípicos são os meses de

agosto a novembro e maio. Já para a vazão mínima de agosto a novembro. Em geral, pode-se notar que a maior parte dos meses com valores discrepantes configura distribuição de assimétrica.

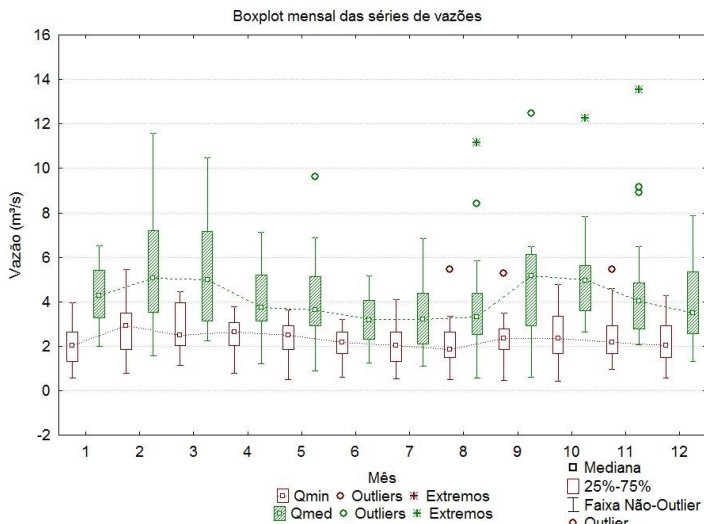


Figura 10 - BoxPlot dos dados das vazões médias e mínimas mensais para a bacia do rio Boa esperança. Fonte: (Autor, 2018).

A figura 11 apresenta a variação das vazões ao longo dos anos, pode-se observar que na primeira e segunda década os valores centrais variaram entre 3 a 6m³/s, além disso é possível ver que a vazão média possui variabilidade intra-anual com períodos de “cheias” seguidos por períodos de “secas” corroborando a presença de sazonalidade. Os anos de 57 e 61 foram os anos que o rio Boa esperança teve picos de vazão, com vazões médias chegando a 14 m³/s já em 49 e 52, houve extrema seca quando analisada as vazões mínimas.

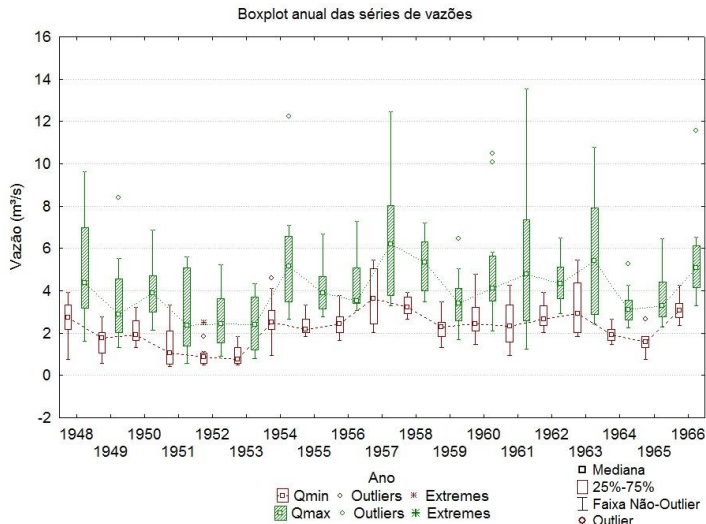


Figura 11 - BoxPlot dos dados de vazão média e mínima anual para a bacia do rio Boa Esperança.

4.3 SELEÇÃO E ANÁLISE DE DADOS UTILIZADOS NO ESTUDO

Para a realização do estudo foi coletados e sistematizados os dados fluviométricos disponíveis no banco de dados Hidroweb da ANA. Este levantamento preliminar identificou 13 possíveis estações fluviométricas, mas apenas 5 contêm dados disponíveis (Tabela 3). Após a obtenção dos dados, elaborou um diagrama de barras com os dados das estações fluviométricas Figura 12 e suas séries de vazões disponíveis, objetivando a caracterização dos períodos de dados disponíveis em todas as estações. A partir disto, a definição das estações fluviométricas efetivamente utilizadas no estudo, baseou-se na amplitude das suas séries históricas, considerando estações com no mínimo 90% dos registros anuais. De acordo com Eletrobrás (1985), o número mínimo de anos deve ser 3 a 4 vezes maior do que o número de variáveis utilizadas no estudo, de modo que um período maior acaba por influenciar nos resultados da regressão (ELETROBRÁS, 1985).

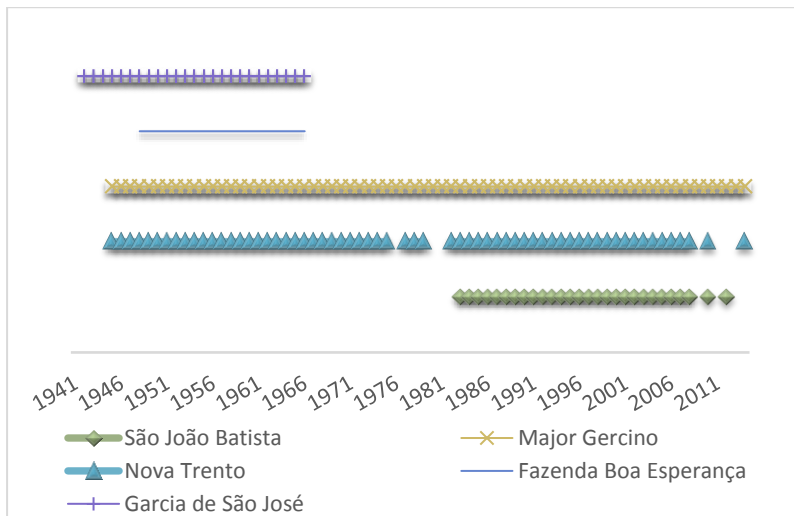


Figura 12 - Diagrama de disponibilidade dados fluviométricos.

Fonte: (Autor, 2018)

Nome	Código	Lat	Long	A _{d ANA} (Km ²)	Curso d'água	UF	Município	Série de dados
Major Gercino	84071000	-27,414167	-48,952778	1032	Rio Tijucas	SC	Major Gercino	1998-2007
PCH São sebastião(montante)	84034000	-27,401667	-49,046111	145	Rio Boa Esperança	SC	Major Gercino	-
PCH Angelina(barramento)	84025000	-27,456111	-48,983889	741	Rio Tijucas	SC	Major Gercino	-
PCH Santa Ana(barramento)	84017500	-27,498889	-49,035556	302	Rio do Engano	SC	Angelina	-
PCH São Valentim(jusante)	84078000	-27,317500	-49,012222	521	Rio Allto Braço	SC	Nova Trento	-
PCH São Valentim(barramento)	84077000	-27,323611	-49,025830	521	Rio Allto Braço	SC	Nova Trento	-
PCH São sebastião(barramento)	84076000	-27,319167	-49,041944	482	Rio Allto Braço	SC	Nova Trento	-
PCH Aguti(montante)	84074000	-27,320000	-49,121667	395	Rio Allto Braço	SC	Nova Trento	-
PCH Garcia(jusante)	84016000	-27,519722	-49,006389	315	Rio Garcia	SC	Angelina	-
Garcia de São José	84020000	-27,479769	-48,979149	376	Rio Garcia	SC	São João Batista	1941-1967
PCH São Valentim(jusante1)	84079000	-27,296667	-48,970278	522	Rio Allto Braço	SC	Nova Trento	-
Nova Trento	84095000	-27,286111	-48,933611	598	Rio Alto Braço	SC	Nova Trento	1944-2013
São João Batista	84095500	-27,275000	-48,850000	1964	Rio Tijucas	SC	São João Batista	1983-2014
Fazenda Boa Esperança	84041000	-27,383333	-49,000000	168	Rio Boa Esperança	SC	Major Gercino	1947-1967

Tabela 3 - Estações fluviométricas selecionadas no estudo

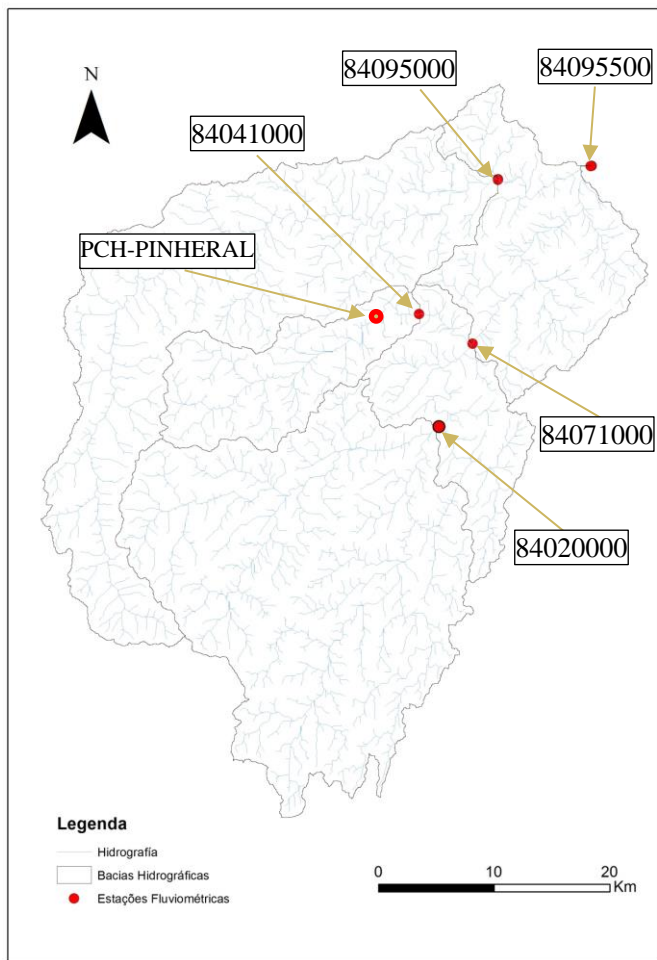


Figura 13 - Mapa com as estações fluviométricas utilizadas no estudo. Fonte: (Autor, 2018).

4.4

OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS

As variáveis explicativas representam as grandezas de ordem física no âmbito da bacia hidrográfica, e têm sido utilizadas para explicar o comportamento das vazões, a área de drenagem é considerada a variável explicativa mais utilizada na quase totalidade dos estudos de regionalização de vazões, em função da sua influência na potencialidade

hídrica da bacia hidrográfica (Gasques, Neves, Santos, Mauad, & Okawa, 2018).

Neste estudo, buscou avaliar o comportamento das variáveis área de drenagem (A_d), o comprimento do rio principal (L) e a Declividade média do rio principal (S), obtidas a partir de um MDE e a precipitação (P) obtida a partir dos dados do estudo da SDS.

Tabela 4 - Variáveis explicativas para cada estação fluviométrica

Nome	Código	A_d - MDE (km ²)	S (m/Km)	L (Km)	P (mm/ano)
Garcia de São José	84020000	703	21,12	44,5	1705
Major Gercino	84071000	1032	11,18	59,9	1687
Nova Trento	84095000	599	10,17	98,3	1495
São João Batista	84095500	1901	30,32	93,7	1633
Fazenda Boa Esperança	84041000	167	22,81	34,2	1578

4.5 MÉTODOS DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÃO APLICADOS

No desenvolvimento do presente estudo de regionalização de vazões, foram avaliadas duas metodologias, aqui denominadas como Método Tradicional proposto por ELETROBRÁS (1985) e o estudo de regionalização da SDS proposto por Santa Catarina (2006).

4.5.1 MÉTODO TRADICIONAL

Esta metodologia de regionalização envolve a definição prévia das RHH e, em seguida, a obtenção das equações que associam a variável regionalizada com as variáveis explicativas. Para a aplicação do Método Tradicional, utilizou-se o programa SisCoRV 1.0 (Sistema Computacional para Regionalização de Vazões), desenvolvido e disponibilizado pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH), vinculado ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), o qual permite regionalizar diferentes variáveis hidrológicas.

4.5.1.1 PROCESSAMENTO DOS DADOS HIDROLÓGICOS

No processamento das séries de dados disponíveis foi utilizado o programa SisCAH 1.0 (Sistema Computacional para Análises

Hidrológicas), desenvolvido e disponibilizado pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH), vinculado ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Com o uso do programa, foi possível importar dados diretamente do banco de dados Hidroweb, e a partir destes, obter as vazões mínimas (considerada, neste estudo, como a vazão mínima média de sete dias consecutivos, para o período de retorno de 10 anos, $Q_{7,10}$) e a vazão média (considerada como a vazão média de longo termo, Q_{MLT}) para cada posto fluviométrico. Na definição da série histórica utilizada no estudo, foi realizado um pré-processamento dos dados, descartando-se os anos com registros menores que 90% ou inexistentes, considerando um período mínimo de dados 15 anos, para cada posto monitorado. Durante o processamento, foram utilizadas ferramentas que possibilitaram ajustar distribuição estatísticas e verificação de não-estacionariedade na série de dados, a fim de determinar a melhor distribuição de probabilidade e avaliar de maneira mais criteriosa o comportamento dos dados utilizados.

4.5.1.2 IDENTIFICAÇÃO DAS REGIÕES HIDROLOGICAMENTE HOMOGENEAS E OBTENÇÃO DAS EQUAÇÕES REGIONAIS

Para a determinação das RHH foi utilizado o programa SisCoRV, utilizando diferentes modelos de regressão, realizando regressões múltiplas entre as variáveis explicativas definidas neste estudo (área de drenagem, comprimento do rio principal e declividade média do rio principal, precipitação) e as variáveis dependentes $Q_{7,10}$ e Q_{MLT} . Os modelos de regressão utilizados foram o modelo linear, modelo potencial, modelo exponencial, modelo logarítmico e o modelo recíproco, conforme mostrado a seguir:

Modelo linear

$$Q = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_m \quad 3.5$$

Modelo potencial

$$Q = \beta_0 X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} + \dots + X_m^{\beta_n} \quad 3.6$$

Modelo exponencial

$$Q = e^{(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_m)} \quad 3.7$$

Modelo logarítmico

$$Q = \beta_0 + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2 + \dots + \beta_n \ln X_m \quad 3.8$$

Modelo Recíproco

$$Q = (\beta_0 + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2 + \dots + \beta_n \ln X_m)^{-1} \quad 3.9$$

onde, Q representa a vazão estimada pelo modelo, β_0 corresponde ao valor da constante do modelo, β_1 , β_2 e β_n correspondem aos coeficientes das variáveis explicativas e X_1 , X_2 e X_m correspondem às variáveis explicativas.

Para a escolha do número de variáveis explicativas que efetivamente foram utilizadas no estudo, foi avaliada a influência que o aumento do número de variáveis teve no coeficiente de determinação ajustado (R^2), teste F e (σ_f) erro padrão fatorial (Tucci, 2002). Outra maneira que foi usada para validar as variáveis que seriam utilizadas, foi a elaboração de uma matriz de correlação entre as variáveis.

A definição da RHH foi baseada na análise dos ajustes dos modelos de regressão, analisando resultados dos testes estatísticos T e F, erro padrão fatorial (σ_f) e R^2 . Segundo ELETROBRÁS (1985) o R^2 é representativo quando igual ou superior a 0,9, consistindo em uma análise mais conservadora. Para os valores do (σ_f), considerou-se adequados quando os valores se apresentaram inferiores a 1,5 de acordo com estudos existentes. Quando os resultados estatísticos atenderam aos valores definidos no estudo, então, a região foi confirmada como hidrologicamente homogênea.

4.5.2 ESTUDO DA SDS

A regionalização de vazão tem como premissa que a região hidrológica pode ser considerada homogênea quando suas características fisiográficas e hidrometeorológicas são similares. No estudo da SDS a característica hidrometeorológica frequentemente utilizada é a precipitação, enquanto as características fisiográficas incluem a área de

drenagem, comprimento do talvegue, densidade de drenagem, declividade média, dentre outras.

Na análise de regressão da (Q_{MLT}) e $(Q_{MIN,7})$ foram utilizadas como variáveis explicativas o total precipitado anual, a área de drenagem, a declividade média e o comprimento do rio principal, porém as análises de regressões indicaram que para analisar as vazões (Q_{MLT}) e $(Q_{MIN,7})$ seria necessário como variável explicativa somente a área de drenagem e a precipitação média anual.

Para as vazões mínimas anuais de 7 dias consecutivos o estudo resultou em 6 regiões homogêneas, sendo que a bacia do rio Boa Esperança pertence a região $M_7 - 5$. Para as vazões médias de longo termo, o estado foi dividido em 5 regiões homogêneas, sendo que a área deste estudo está integralmente abrangida pela região M4. Estas regiões podem ser identificadas nos mapas temáticos apresentados por Santa Catarina (2006). Logo a (Q_{MLT}) e $(Q_{MIN,7})$ podem ser estimadas utilizando as equações a seguir.

$$\text{Região M4:} \quad (Q_{MLT}) = 9,393 \cdot 10^{-4} \cdot P^{0,362} AD^{1,092} \quad (3.5)$$

$$\text{Região } M_7 - 5: \quad (Q_{MIN,7}) = 3,56310^{-3} \cdot AD^{1,119} \quad (3.6)$$

$$(Q_{7,t}) = \bar{Q}_{MIN,7} \cdot K_{7,t} \quad (3.7)$$

Onde, $K_{7,t}$ é a relação entre a vazão mínima média de 7 dias consecutivos com período de retorno de T e a média das vazões mínimas médias anuais de 7 dias consecutivos, $\bar{Q}_{MIN,7}$ é a média das vazões mínimas médias anuais de 7 dias consecutivos, P é a precipitação e A_d a área de drenagem. Todas as vazões são expressas em m³/s, P mm/ano e A_d km².

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

5.1 MÉTODO TRADICIONAL

5.1.1 OBTENÇÃO DAS VAZÕES MÍNIMAS E MÉDIAS

Com a utilização do SisCAH, foi possível processar os dados da série histórica e obter as vazões ($Q_{7,10}$) e (Q_{MLT}) para cada posto fluviométrico. As vazões ($Q_{7,10}$) e (Q_{MLT}) obtidas nas 5 estações selecionadas no estudo estão apresentadas na Tabela 5. Para o cálculo da ($Q_{7,10}$) foi analisado o modelo probabilístico que melhor se ajustasse aos dados. Dentre os modelos de distribuição probabilística que foram analisados como Weibull, Pearson 3, Log Normal 2, Log Normal 3 e Log Pearson 3. O que melhor representou as vazões foi o modelo Log Pearson 3. A escolha do modelo foi baseada no seu erro padrão e no índice de confiabilidade. Já a vazão (Q_{MLT}) é expressa apenas pela média dos dados.

Tabela 5 - Vazões das estações fluviométricas efetivas.

Nome	Código	$Q_{7,10}$ (m^3/s)	σ (m^3/s)	Q_{MLT} (m^3/s)
Garcia de São José	84020000	2,39	0,16	9,57
Major Gercino	84071000	5,61	0,25	24,81
Nova Trento	84095000	2,96	0,16	14,02
São João Batista	84095500	14,04	1,30	54,32
Fazenda Boa Esperança	84041000	0,62	0,09	4,36

A estação 84095500 com área de drenagem de 1964 km² apresentou os maiores valores de vazões quando comparada as demais. Para ($Q_{7,10}$) o valor calculado foi de 14,04m³/s associado a um erro padrão de 1,3m³/s, em adição, foi calculada a (Q_{MLT}), com valor de 54,32m³/s. A estação 84041000 instalada no rio Boa Esperança, possui área de drenagem de 168 km², sendo a menor bacia aqui estudada. Para ($Q_{7,10}$) o valor calculado foi de 0,62 m³/s associado a um erro padrão de 0,09m³/s, em adição, na mesma estação foi calculada (Q_{MLT}), obtendo valor de 4,36 m³/s.

5.1.2 IDENTIFICAÇÃO DAS RHH E DEFINIÇÃO DO MODELO DE REGRESSÃO

Para a determinação das RHH, inicialmente teve-se que definir as variáveis explicativas que efetivamente serão utilizadas no estudo. Tucci (2002) enfatiza que para o modelo de regressão possa representar a variável regionalizada, deve-se incluir o menor número de variáveis explicativas e apresentar a menor porcentagem de erro.

Como análise preliminar de quais variáveis que efetivamente serão utilizadas no estudo, foi montada uma matriz de correlação que retorna o coeficiente de correlação de Pearson para análises entre as vazões e as variáveis independentes Tabela 6. Foi considerado para um $R^2 > 0,6$ uma correlação moderada e $R^2 > 0,9$ como uma correlação excelente.

Variáveis	A_d	L	S	N	$Q_{7,10}$	Q_{MLT}	P
A_d	1,00						
L	0,60	1,00					
S	0,44	-0,11	1,00				
N	0,12	0,54	-0,83	1,00			
$Q_{7,10}$	0,98	0,62	0,50	0,07	1,00		
Q_{MLT}	0,98	0,64	0,46	0,11	1,00	1,00	
P	0,16	-0,68	0,66	-0,70	0,12	0,09	1,00

A = área de drenagem; S = declividade média do rio principal; L = comprimento do rio principal; P = precipitação; $Q_{7,10}$ = vazão de referência; Q_{MLT} = vazão média de longa duração

Tabela 6 - Matriz de correlação entre as vazões e as variáveis independentes.

Pode-se observar, que a variável A_d tem uma correlação excelente com as vazões ($Q_{7,10}$) e (Q_{MLT}) com valores de R^2 de 0,98 para as duas combinações $A_d \times Q_{7,10}$ e $A_d \times Q_{MLT}$, em adição, apresenta valores moderados quando combinada com a variável L, R^2 próximo de 0,60. Observa-se que as variável L apresentam valores considerados moderados quando combinada com as vazões ($Q_{7,10}$) e (Q_{MLT}) com R^2 de 0,62 e 0,64.

Através do gráfico de dispersão Figura 14 fica explícito a influência da variável A_d na estimativa das vazões ($Q_{7,10}$) e (Q_{MLT}). Portanto, a partir da matriz de correlação utilizando, é possível afirmar que a variável A_d pode ser usada para explicar as vazões ($Q_{7,10}$) e (Q_{MLT}).

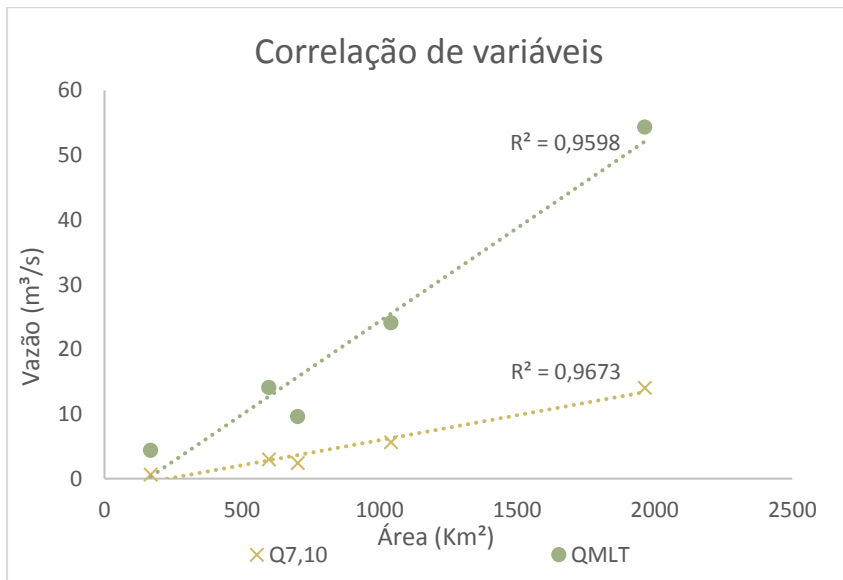


Figura 14 - Gráfico de correlação das vazões $Q_{7,10}$ e Q_{MLT} observadas em função da área de drenagem calculada.

Para se ter um resultado mais preciso de quais variáveis utilizar nos modelos de regressão, a seguir foram feitas análises estatísticas minuciosas, para avaliar o efeito que cada variável impacta na estimativa das vazões quando aplicado aos modelos de regressão múltipla Tabela 7.

	Nº de variáveis	Variáveis independentes	Linear			Potencial			Exponencial			Logarítmico			Recíproco		
			R ²	σ_f	Teste F Valor-p	R ²	σ_f	Teste F Valor-p	R ²	σ_f	Teste F Valor-p	R ²	σ_f	Teste F Valor-p	R ²	σ_f	Teste F Valor-p
Q_{7,10}	1	A _d	0,956	1,10	0,002	0,961	0,23	0,002	0,862	0,43	0,014	0,612	3,29	0,007	0,404	0,47	0,142
	2	A _d , S	0,945	1,24	0,027	0,942	0,27	0,028	0,975	0,18	0,012	0,661	3,01	0,169	0,663	0,36	0,168
	3	A _d , S, L	0,921	1,48	0,178	0,928	0,31	1,169	0,953	0,25	0,137	0,558	3,52	0,415	0,328	0,51	0,507
Q_{MLT}	1	A _d	0,988	2,30	0,003	0,992	0,09	0,002	0,878	0,37	0,042	0,723	11,38	0,097	0,496	0,06	0,184
	2	A _d , P	0,980	3,03	0,080	0,991	0,10	0,052	0,878	0,37	0,201	0,689	12,05	0,322	0,586	0,06	0,371

A_d = área de drenagem; S = declividade média do rio principal; L = comprimento do rio principal; P = precipitação

Tabela 7 - Resultados estatísticos em função do aumento do número de variáveis. Fonte: (Autor, 2018)

A partir dos resultados da Tabela 7, para ($Q_{7,10}$) pode se notar que o aumento de uma variável teve influência positiva verificada apenas no modelo de regressão exponencial, onde o R^2 , aumentou de 0,862, quando considerada somente a área como variável explicativa, para 0,975 quando considerada a área e a declividade do rio principal como variáveis explicativas. Assim, este modelo teve variação positiva do R^2 , além de apresentar 99% de confiabilidade para o teste F. Já considerando três variáveis (área, declividade e comprimento do rio principal) não se obteve valores representativos para R^2 , com teste F resultando em um nível de confiabilidade inferior a 87% em todos os modelos de regressão. Ainda com base na Tabela 7, e lembrando os limites utilizados para representatividade de R^2 igual ou superior a 0,9, e σ_f inferior a 1,5 (ELETROBRÁS, 1985), constata-se que as melhores correlações ocorreram entre ($Q_{7,10}$) e a variável explicativa área, nos modelos linear ($R^2 = 0,956$, $\sigma_f = 1,10$ e valor-p = 0,002) e potencial ($R^2 = 0,961$, $\sigma_f = 0,23$ e valor-p = 0,002), e, também, para as variáveis explicativas área e declividade do rio principal, no modelo exponencial ($R^2 = 0,975$, $\sigma_f = 0,18$ e valor-p = 0,012).

Para a vazão (Q_{MLT}), o aumento de uma variável influenciou positivamente o R^2 apenas no modelo de regressão recíproco, que aumentou de 0,496 quando utilizada a área como variável explicativa para 0,586 quando considerada a área e a precipitação, sendo rejeitado com a aplicação do teste F. Constata-se que as melhores correlações ocorreram entre (Q_{MLT}) e a variável explicativa área, utilizada no modelo potencial ($R^2 = 0,992$, $\sigma_f = 0,09$ e valor-p = 0,002).

Diante do exposto, através das análises estatísticas, as duas maneiras para definir quais as variáveis que serão utilizadas no estudo convergiram, apontando que a área de drenagem é a variável que melhor pode representar as vazões (Q_{MLT}) e ($Q_{7,10}$).

Após determinada as variáveis que efetivamente são utilizadas no estudo, se dá continuidade no processo de determinação das RHH e dos modelos de regressão, a Figura 15 mostra o resultado das ($Q_{7,10}$) quando aplicado os modelos linear, potencial, exponencial e logarítmico, além dos dados de ($Q_{7,10}$) observados nas estações Garcia de São José – 84020000, Nova Trento – 84095000, São João Batista – 84095500, Fazenda Boa esperança – 84041000 e Major Gercino – 84071000.

Utilizando a A_d como variável explicativa, evidencia-se o comportamento inadequado das vazões estimadas quando aplicado os modelos exponencial, logarítmico e linear. Foi estimada vazão negativa (para a estação 84041000) com área igual a 168 km², tal fato ocorreu

utilizando o modelo logarítmico e linear apresentando ER% de 380 e 178% respectivamente. O modelo logarítmico (para as estações 84020000, 84095000 e 84071000) apresentou superestimativas da ($Q_{7,10}$) em relação à vazão observada, com ER% que variaram de 30 a 120%. Ocorreu superestimativa da vazão (para a estação 84095500) quando aplicado o modelo exponencial com A_d 1964 km² e ER% de 30%.

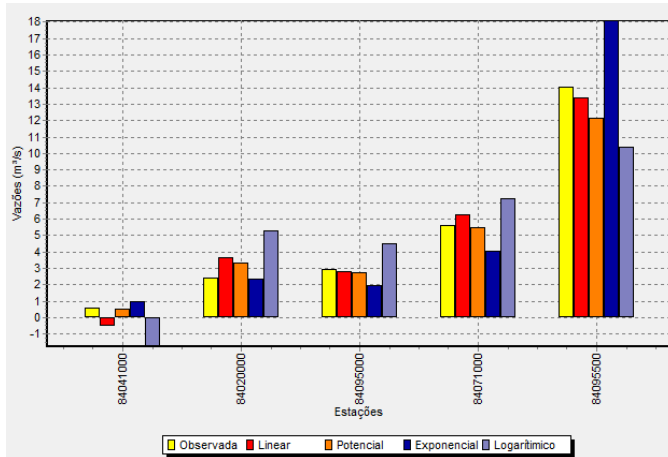


Figura 15 - $Q_{7,10}$ observadas e as estimadas pelo método tradicional para cada uma das estações fluviométricas usadas no estudo de caso.

O gráfico da Figura 16, apresenta os modelos de regressão que tiveram o melhor desempenho na estimativa da $Q_{7,10}$ para tanto foi plotado as vazões estimadas pelos modelos potencial e linear em função da área de drenagem.

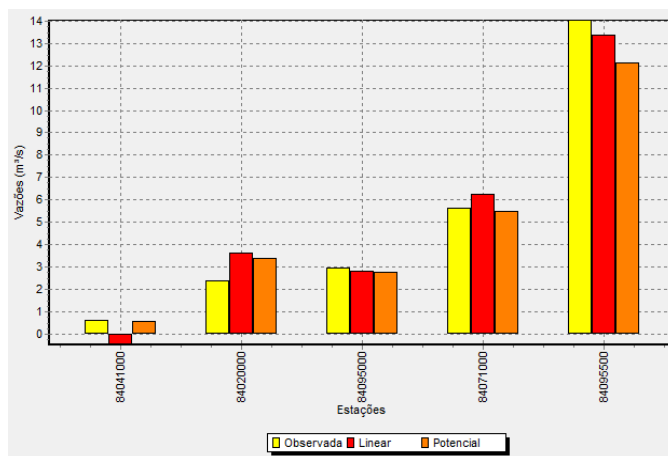


Figura 16 - $Q_{7,10}$ observadas e as estimadas pelos modelos linear e potencial.

Modelos	Linear	Potencial	Exponencial	Logarítmico
Parâmetros	A_d	A_d	A_d	A_d
R^2	0,967	0,971	0,896	0,701
R^2 ajustado	0,956	0,961	0,862	0,612
Erro padrão	1,110	0,220	0,425	3,298
Teste F (Valor-P)	0,002	0,002	0,014	0,073
Teste T (Valor-P): Intercepto	0,136	0,003	0,480	0,109
Teste T (Valor-P): Área (km ²)	0,002	0,002	0,014	0,0736
Erro padrão: Intercepto	0,880	0,810	0,340	11,961
Erro padrão: Área (Km ²)	0,001	0,125	0,001	1,821

Tabela 8 - Resultados dos testes estatísticos obtidos pelo Método Tradicional para a vazão $Q_{7,10}$.

Na análise dos resultados dos testes estatísticos Tabela 8, o modelo linear foi rejeitado no teste T para o intercepto, com o modelo exponencial também houve rejeição por conta de não satisfazer a condição de significância para o intercepto, além de ter um $R^2 < 0,9$. O modelo logarítmico foi rejeitado em praticamente todas análises, portanto os modelos linear, exponencial e logarítmico foram rejeitados. Em análise, o modelo potencial teve bons resultados, com R^2 igual a 0,961 e σ_f igual 0,220.

Portanto, a vazão ($Q_{7,10}$) pode ser estimada utilizando o modelo potencial Figura 17, além de não haver a necessidade de subdivisão da bacia, pois tem um modelo de regressão que quando aplicado apresenta resultados satisfatórios nos ajustes estatístico.

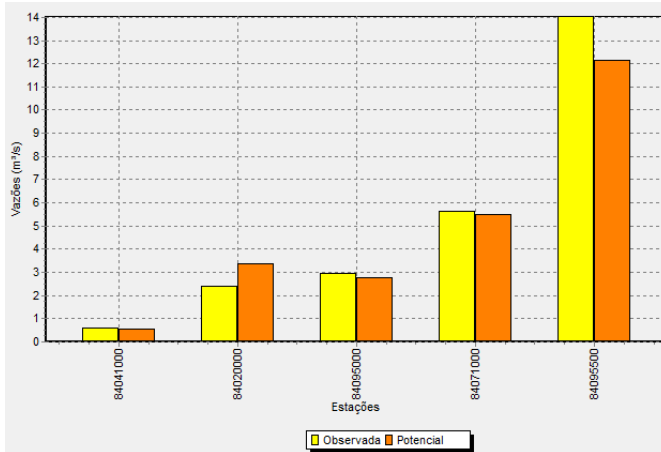


Figura 17 - $Q_{7,10}$ observadas e as estimadas pelo modelo potencial.

A Figura 18 mostra os resultados dos ajustes da (Q_{MLT}), aos modelos linear, potencial, exponencial e potencial. logarítmico, além dos dados de (Q_{MLT}) observados nas estações Garcia de São José – 84020000, Nova Trento – 84095000, São João Batista – 84095500, Fazenda Boa esperança – 84041000 e Major Gercino – 84071000. De posse da A_d como variável explicativa fica evidente o comportamento inadequado das vazões estimadas quando aplicado os modelos exponencial, logarítmico. A estação 84041000 com área igual a 168 km² apresentou valores de vazão negativa ao aplicar o modelo logarítmico com ER% de 200% em relação a vazão observada. Para a estação 84020000 com área de 703 km², ocorreu superestimativa da vazão com ER% de 130% quando aplicado o modelo logarítmico e ER% de 60% para os modelos potencial e linear. O modelo exponencial subestimou as vazões quando aplicado (para as estações 84095000 e 84071000) com ER% de 30% em bacias com área de 598 km² e 1042 km².

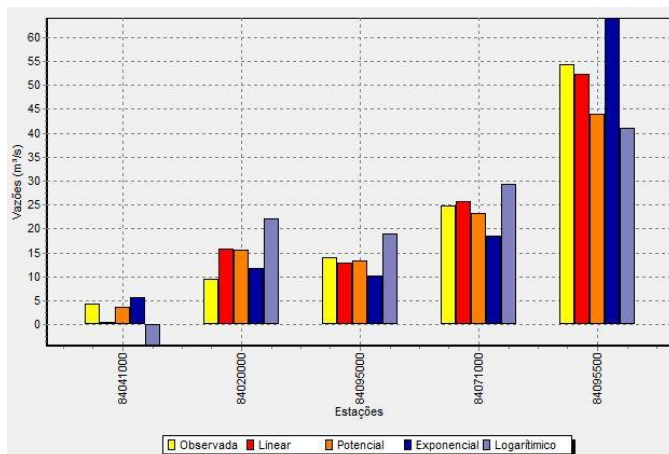


Figura 18 - Q_{MLT} observadas e as estimadas pelo método tradicional para cada uma das estações fluviométricas usadas no estudo de caso.

Para tanto, procurou-se representar a (Q_{MLT}) Figura 19 considerando apenas o modelo linear e potencial. A fim de decidir qual o modelo que melhor representa a estimativa, foi analisado os resultados obtidos pela aplicação de testes estatísticos.

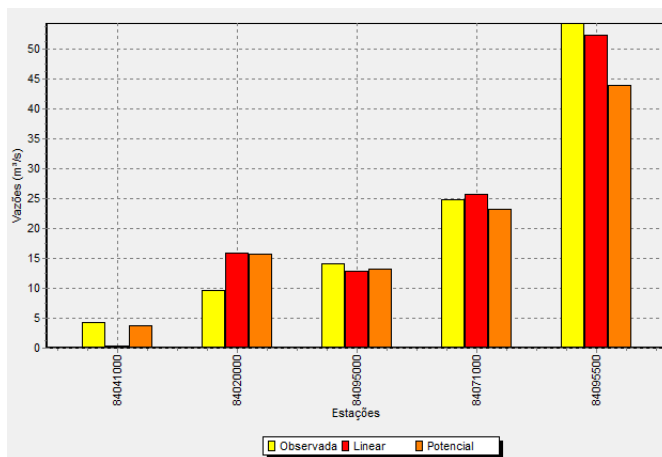


Figura 19 - Q_{MLT} observadas e as estimadas pelos modelos linear e potencial.

Modelos	Linear	Potencial	Exponencial	Logarítmico
Parâmetros	A_d	A_d	A_d	A_d
R^2	0,961	0,911	0,909	0,712
R^2 ajustado	0,947	0,882	0,878	0,616
Erro padrão	4,530	0,320	0,332	12,307
Teste F (Valor-P)	0,003	0,001	0,012	0,072
Teste T (Valor-P): Intercepto	0,309	0,005	0,010	0,112
Teste T (Valor-P): Área (km ²)	0,003	0,011	0,011	0,072
Erro padrão: Intercepto	3,620	1,180	0,266	44,65
Erro padrão: Área (Km ²)	0,003	0,180	0,001	6,796

Tabela 9 - Resultados dos testes estatísticos obtidos pelo Método Tradicional para a vazão Q_{MLT} .

Na análise dos resultados dos testes estatísticos Tabela 9, os modelos linear, potencial, logarítmico e exponencial não satisfazem as condições mínimas $R^2 > 0,9$ e $\sigma_f < 1,5$ proposta pela ELETROBRÁS (1985). Diante do exposto, optou-se pela subdivisão da bacia através de um processo iterativo, onde se analisou o resultado dos testes estatísticos a fim de determinar novas RHH. No entanto, não foi possível determinar mais que uma RHH, por se tratar de um número insuficiente de postos fluviométricos com dados, então optou-se por excluir apenas os postos fluviométricos que estão fazendo com que os ajustes tenham comportamento inesperado.

Após definição da nova RHH, tal qual abrange apenas 4 estações fluviométricos sendo que a estação 84020000 - Garcia de São José foi excluída, a Figura 20 mostra os resultados dos ajustes da (Q_{MLT}), aos modelos linear, potencial, exponencial e logarítmico, além dos dados de (Q_{MLT}) observados nas estações Nova Trento – 84095000, São João Batista – 84095500, Fazenda Boa esperança – 84041000 e Major Gercino – 84071000.

Pode-se observar que o modelo logarítmico apresentou comportamento diferenciado como vazão negativa (para a estação 84041000). Em adição, o modelo superestimou a vazão (para as estações 84095000 e 84071000) apresentando ER% de 35 a 60%. Para o modelo exponencial, todas as estações têm ER% que variam em torno dos 30%, subestimando as vazões (para as estações 84095000 e 84071000).

Para tanto, procurou-se representar a (Q_{MLT}) considerando apenas o modelo linear e potencial Figura 21, por se tratarem de modelos que tiveram melhores ajustes. A fim de decidir qual o modelo que melhor representa a vazão, foi analisado os resultados obtidos pela aplicação de testes estatísticos.

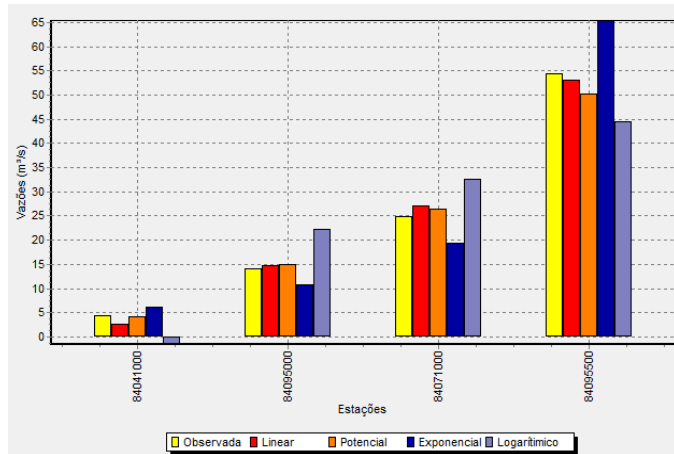


Figura 20 - Q_{MLT} observadas e as estimadas pelo método tradicional para cada uma das estações fluviométricas usadas no estudo de caso

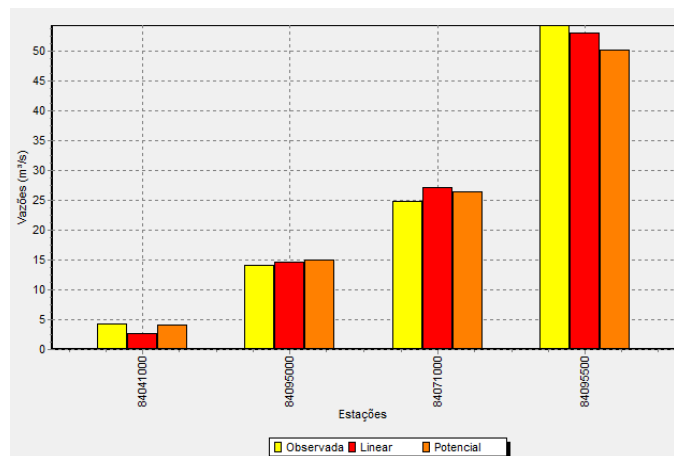


Figura 21- Q_{MLT} observadas e as estimadas pelos modelos linear e potencial.

Modelos	Linear	Potencial	Exponencial	Logarítmico
Parâmetros	A_d	A_d	A_d	A_d
R^2	0,992	0,995	0,917	0,815
R^2 ajustado	0,989	0,992	0,876	0,723
Erro padrão	2,300	0,092	0,374	11,382
Teste F (Valor-P)	0,004	0,003	0,042	0,097
Teste T (Valor-P): Intercepto	0,413	0,008	0,039	0,143
Teste T (Valor-P): Área (km ²)	0,004	0,003	0,042	0,097
Erro padrão: Intercepto	1,995	0,334	0,325	41,332
Erro padrão: Área (Km ²)	0,002	0,051	0,000	6,286

Tabela 10 - Resultados dos testes estatísticos obtidos pelo Método Tradicional para a vazão Q_{MLT} excluindo a estação Garcia de São José.

Na Tabela 10 é apresentada as análises dos resultados dos testes estatísticos para os ajustes dos modelos de regressão linear, potencial, exponencial e logarítmico. O modelo linear é rejeitado no teste T para o intercepto, já o exponencial foi rejeitado por apresentar $R^2 < 0$, o modelo logarítmico foi totalmente rejeitado. O modelo potencial teve resultados expressantes, com R^2 de 0,992 e nível de confiabilidade próximo de 100%. Portanto, a vazão (Q_{MLT}) pode ser representada utilizando o modelo potencial.

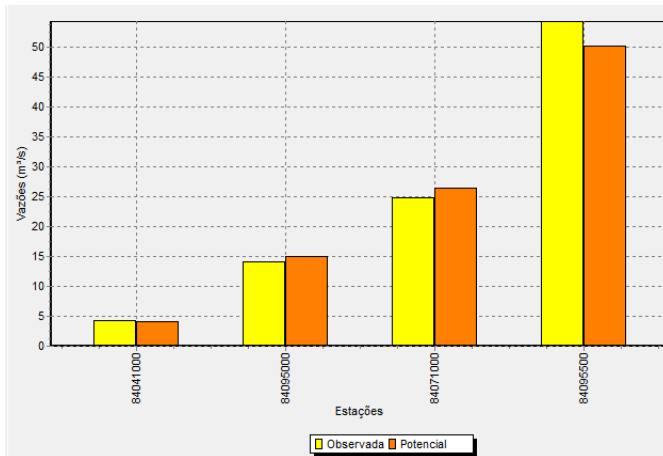


Figura 22 - (Q_{MLT}) observadas e as estimadas pelo modelo potencial.

A fim de investigar o motivo que levou a necessidade de subdividir a área de estudo, foram calculadas as vazões médias específicas para cada posto fluviométrico. A vazão específica, relação entre a vazão média de longo período e a área de drenagem de cada bacia hidrográfica, usualmente tem sido utilizada como indicadores para avaliação de vazão em RHH (Tucci, 2002). Na Tabela 11 é apresentado o valor da vazão específica para cada posto fluviométrico utilizado no estudo.

Tabela 11 - Análise de vazão média específica em cada posto fluviométrico

Estação	84020000	84071000	84095000	84095500	84041000
Q_{med} (m^3/s)	9,570	24,810	14,080	54,324	4,364
$Q_{med-esp}$ ($m^3/s.Km^2$)	0,014	0,024	0,024	0,028	0,026
A_d (Km^2)	703	1042	598	1964	168
P (mm/ano)	1693	1605	1377	1633	1644
L (Km)	44,50	59,90	98,32	93,73	34,30
N	25	58	56	31	20
S (m/Km)	22,12	11,18	10,17	30,32	22,81

Q_{med} = vazão média; $Q_{med-esp}$ = vazão média específica; A_d = área de drenagem; P = precipitação;
 N = número de anos com dados; S = declividade do rio principal.

Analisando as vazões específicas, pode-se notar que existe uma grande variabilidade na produção de água quando a estação 84020000 – Garcia de São José é comparada com as demais, para tanto também foi analisado o coeficiente de variação (CV) a fim de avaliar os quão dispersos estão os valores de vazão específica em relação a média. Os valores de CV encontram-se na Tabela 12.

Tabela 12 - Valores de CV para cada grupo de dados de vazão específica.

Estações	Vazão específica média (m ³ /s.Km ²)	
84020000	0,014	-
84071000	0,024	0,024
84095000	0,024	0,024
84095500	0,028	0,028
84041000	0,026	0,026
média	0,023	0,025
Desvio	0,005	0,002
cv (%)	21,3	6,7

Analisando o CV foi possível verificar que a retirada do posto fluviométrico 84020000 – Garcia de São José causou uma variação de aproximadamente 14%. A retirada deste posto foi imprescindível para que os modelos de regressão obtivessem melhores resultados nas análises estatísticas, a fim de se fazer o reconhecimento da variabilidade da vazão específica média, foi analisado o comportamento pluviométrico da região Tabela 13, onde se obteve um CV de 6,9% indicando baixa dispersão dos dados em relação a média, podendo de fato, concluir que a precipitação não influenciou na variação da vazão específica.

Tabela 13 - Análise do CV da precipitação.

Estações	Precipitação (mm/ano)
84020000	1693
84071000	1605
84095000	1377
84095500	1633
84041000	1644
média	1590,4
Desvio	110,4
cv (%)	6,9

Analisando os dados de entrada no programa SisCORV, observou-se que o mesmo utiliza a área de drenagem fornecida pela base de dados da ANA, enquanto que a área utilizada no estudo foi estimada a partir do MDE-SRTM, a Tabela 14 apresenta a diferença percentual entre a área delimitada pelo ArcGis e a fornecida pela ANA.

Nome	Código	A_d - MDE (km²)	A_d - ANA (km²)	Diferença(%)
Garcia de São José	84020000	703	376	86,91
Major Gercino	84071000	1032	1042	0,90
Nova Trento	84095000	599	598	0,13
São João Batista	84095500	1901	1964	3,31
Fazenda Boa Esperança	84041000	167	168	0,52

Tabela 14 – Diferença percentual entre a área delimitada no MDE e a área fornecida pela ANA.

Observando os valores da Tabela 14, foi constatado diferenças que variam de 0,5 a 86,91%. A maior diferença encontrada foi de 86,91%, pertencente a estação 84020000 – Garcia de São José, a mesma que foi retirada no grupo no momento de definição da RHH por se tratar de uma bacia com comportamento hidrológico anômalo comparado com as demais.

Segundo Baena (2004), a eficiência da extração das características físicas, medida em termos de precisão e de exatidão, está diretamente relacionada com a qualidade do modelo digital de elevação (MDE) e do algoritmo utilizado.

O MDE deve representar o relevo da melhor maneira, afim de assegurar a convergência do escoamento superficial para a rede de drenagem mapeada, garantindo, assim, a sua consistência hidrológica. Portanto, a necessidade de utilizar um (MDE) é imprescindível (Bazzo et. al; 2017).

A magnitude da diferença encontrada para a variável área de drenagem da estação 84020000, pode estar associada a resolução espacial da imagem obtida pelo satélite que a ANA utiliza para adquirir suas imagens. Para tanto, estimando a vazão média específica na estação 84020000 utilizando a área delimitada pela ANA 376 km² o resultado da vazão média específica é 0,025m³/s, valor esperado quando comparado com as outras bacias hidrográficas.

Outra possibilidade do porquê de ter ocorrido a diferença de 86,9% da área calculada em relação a área fornecida pela ANA, foi de que a área considerada neste estudo, foi determinada a partir da delimitação das bacias, usando as coordenadas geográficas fornecidas pela ANA e o MDE do SRTM. Assim, foi estimada uma área de 703 km² para bacia contribuinte à estação 84020000-Garcia de São José. Já no inventário de estações da ANA, a área, para esta mesma estação fluviométrica, é de 376 km². Isto possivelmente indica uma inconsistência na área ou nas coordenadas geográficas fornecidas pela ANA.

5.1.3 EQUAÇÕES REGIONAIS E PARÂMETROS AJUSTADOS

A partir da análise dos resultados discutidos no capítulo anterior, a Tabela 15 apresenta a relação das equações regionais para os modelos matemáticos que obtiveram melhor desempenho nas análises estatísticas, a fim de realizar a estimativa das vazões ($Q_{7,10}$) e (Q_{MLT}).

Para Ambas as vazões ($Q_{7,10}$) e (Q_{MLT}), o modelo de regressão que melhor representou-as foi o potencial, utilizando como variável explicativa somente a área de drenagem, assim como encontrado nos trabalhos de Oliveira (2008) e Lisboa et al. (2008).

Tabela 15 - Resultados obtidos para as vazões mínima e média, pelo modelo Potencial no eixo da PCH-Pinheral.

	Nº de estações	Equação	R ² _a	σF	Vazão estimada (m ³ /s)
$Q_{7,10}$	5	$Q = 0,00093 A_d^{1,250}$	0,962	0,225	0,48
Q_{MLT}	4	$Q = 0,023 A_d^{1,012}$	0,993	0,092	3,62

5.2 ESTUDO DA SDS

A aplicação do estudo da SDS para regionalização das vazões se faz de maneira simplificada. As vazões $Q_{7,10}$ e Q_{MLT} são obtidas aplicando as equações da Tabela 16, para tanto, as variáveis explicativas utilizadas são a área de drenagem e a precipitação. A precipitação foi extraída do próprio estudo da SDS enquanto que a área de drenagem da delimitação da bacia no MDE.

Tabela 16 Equações de regionalização para as vazões mínima e média e resultado obtido no eixo da PCH-Pinheral

	Região	Precipitação (mm/ano)	Equação	Vazão estimada (m ³ /s)
$Q_{7,10}$	M7 - 5	-	$Q = 0,58.3,583. 10^{-3} AD^{1,119}$	0,56
Q_{MLT}	M - 4	1578	$Q = 9,393. 10^{-4} P^{0,362} AD^{1,092}$	3,17

5.3 COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO TRADICIONAL E O ESTUDO DA SDS

Nas Tabela 17 e 18 são apresentados os valores comparativos entre os valores da $Q_{7,10}$ e Q_{MLT} observados e estimados pelos Método Tradicional e estudo da SDS para as estações Garcia de São José – 84020000, Nova Trento – 84095000, São João Batista – 84095500, Fazenda Boa esperança – 84041000 e Major Gercino – 84071000. Em vermelho está representando as estações que tiveram o maior erro absoluto, em verde as que tiveram melhor resultado com a aplicação do método.

Tabela 17 – Vazões $Q_{7,10}$ e Q_{MLT} observadas e estimadas pelo Método Tradicional utilizado no estudo.

Estação	$Q_{7,10-obs}$ (m ³ /s)	$Q_{7,10-est}$ (m ³ /s)	Diferença Absoluta (m ³ /s)	ERA%	$Q_{MLT-obs}$ (m ³ /s)	$Q_{MLT-est}$ (m ³ /s)	Diferença Absoluta (m ³ /s)	ERA%
84020000	2,39	3,37	0,98	40,86	9,57	17,49	7,92	82,78
84071000	5,61	5,44	0,17	3,03	24,81	25,80	0,99	3,98
84095000	2,96	2,76	0,20	6,89	14,02	14,88	0,86	6,10

84095500	14,04	11,67	2,37	16,85	54,32	47,87	6,45	11,88
84041000	0,62	0,56	0,06	9,95	4,36	4,08	0,28	6,32
			ERAM %	15,52			ERAM %	22,21

Tabela 18 – Vazões $Q_{7,10}$ e Q_{MLT} observadas e estimadas pelo estudo da SDS.

Estação	$Q_{7,10-obs}$ (m ³ /s)	$Q_{7,10-est}$ (m ³ /s)	Diferença Absoluta (m ³ /s)	ERA%	$Q_{MLT-obs}$ (m ³ /s)	$Q_{MLT-est}$ (m ³ /s)	Diferença Absoluta (m ³ /s)	ERA%
84020000	2,39	3,19	0,80	33,36	9,57	17,85	8,28	86,49
84071000	5,61	4,90	0,71	12,70	24,81	27,04	2,23	8,98
84095000	2,96	2,66	0,30	9,98	14,02	14,29	0,27	1,91
84095500	14,04	9,70	4,34	30,90	54,32	52,07	2,25	4,15
84041000	0,62	0,64	0,02	2,92	4,36	3,61	0,75	17,16
			ERAM %	17,97			ERAM %	23,74

Observando os valores dos erros absolutos entre a vazão observada e a vazão calculada, a estação 84020000 – Garcia de São José foi a que apresentou o maiores valores de erros relativos para as vazões $Q_{7,10}$ e Q_{MLT} , com valores de 40,86% e 82,78%. Para a mesma estação o estudo da SDS também apresentou elevado erro absoluto para a mínima e média com valores de 33,36% e 86,49%. Havendo uma diferença percentual absoluta de 7% para as vazões mínimas e 4% para as vazões médias.

Para a estação 84071000 – Major Gercino, o Método Tradicional retornou ótimos resultados de erros relativos para $Q_{7,10}$ e Q_{MLT} , com valores de 3,03% e 3,98%, em comparação com o estudo da SDS houve um aumento de 6 a 9% de erro absoluto. Por se tratar de uma bacia com área de drenagem de 1032 km² já era esperado este valor.

A estação 84041000 – Fazenda Boa esperança com área de 168 km² é de grande interesse no estudo, haja vista que o barramento da PCH-Pinheral está localizado na bacia contribuinte à estação. Para tanto, foi encontrado resultados bons, considerando uma bacia com baixa área de drenagem 168 km². Para as vazões $Q_{7,10}$ e Q_{MLT} pelo Método Tradicional,

encontrou erros relativos de 9,9 e 6,3% , já pelo estudo da SDS 2,9 a 17,6%.

Lisboa et al. (2008), a fim de regionalizar as vazões ($Q_{7,10}$) e (Q_{MLT}) no rio Paracatu utilizando o Método Tradicional encontrou erros relativos de 0,6 a 20% para ($Q_{7,10}$) em bacias com área de drenagem variando de 249 a 1900Km². Para (Q_{MLT}), encontrou erros relativos que variaram de 2,9 a 12,8% para as mesmas áreas de drenagem.

Garbossa e Pinheiro (2015) em estudo de vazões de referência para gestão de bacias hidrográficas rurais e urbanas sem monitoramento, obteve desvios médios absoluto variando de, 24 a 45%. Este estudo foi aplicado em bacias hidrográficas com área menor que 10 km².

Silva et al (2009) em seu estudo de regionalização utilizou a metodologia proposta pela (ELETROBRAS, 1985) e inferiu que obteve resultados significativos comparado a outras metodologias, obtendo um erro relativo médio de 26,8%.

Segundo Bazzo (2017), muitos estudos vêm utilizando o erro absoluto e o coeficiente de correlação para avaliar os modelos de regressão obtidos na regionalização. Porém diversos autores têm incluído outros índices estatísticos para a avaliação desses modelos com a finalidade de se obter valores mais confiáveis. Sendo assim, a Tabela apresenta os índices Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ) e Erro Relativo Médio Absoluto (ERMA), obtidos a partir da comparação entre a ($Q_{7,10}$) e (Q_{MLT}) e os dados observados. O REMQ tem objetivo de mostrar a dimensão do erro da estimativa, sendo o valor nulo indicando uma previsão perfeita

Tabela 19 - Comparação das metodologias aplicadas para estimativa das vazões ($Q_{7,10}$) e (Q_{MLT}) pelos índices estatísticos (REMQ) e (ERMA).

Metodologia	Q _{7,10}		Q _{MLT}	
	ERMA (%)	REMQ (m ³ /s)	ERMA (%)	REMQ (m ³ /s)
Tradicional	15,52	0,55	22,21	3,38
SDS	17,97	3,58	23,74	3,61

É apresentado na Tabela 19 os valores dos erros encontrados para o Método Tradicional e pelo estudo da SDS. Para tanto, as duas metodologias apresentam valores baixos quando analisado os erros ERMA e REMQ. Para essa base de dados aconselha-se o uso do Método

tradicional tendo em vista a maior precisão quando calculadas as vazões e comparadas com as vazões observadas nas estações fluviométricas.

6 CONCLUSÃO

A técnica aplicada, regionalização de vazões permite transferir informações entre bacias hidrográficas semelhantes. Assim, foi possível estimar no rio Boa Esperança-SC, as vazões $Q_{7,10}$ e Q_{MLT} em qualquer ponto inclusive no local que se encontra a PCH-Pinheral.

Para o Método Tradicional, foram identificadas duas regiões hidrologicamente homogêneas e suas respectivas equações de regionalização, o modelo de regressão que apresentou melhor confiabilidade para a região de estudo, foi o potencial. Esse método foi utilizado devido a facilidade de aplicação das equações de regressão e extensa área de abrangência, permitindo obter as vazões $Q_{7,10}$ e Q_{MLT} em qualquer ponto com área de drenagem conhecida dentro da respectiva RHH.

Para a realização do estudo foram coletados dados fluviométricos disponíveis no banco de dados Hidroweb da ANA. Este levantamento preliminar identificou 13 possíveis estações fluviométricas, mas apenas 5 contêm dados disponíveis, para estimativas mais precisas deve-se ampliar a malha da rede hidrométrica aumentando a disponibilidade dos dados, além disso, fica recomendado a verificação das coordenadas das estações fluviométricas a fim de delimitar a área das bacias hidrográficas de forma mais precisa.

A análise dos valores das vazões $Q_{7,10}$ e Q_{MLT} observadas e estimadas nos postos fluviométricos com o uso das equações regionais, permite verificar que o menor ERMA e REMQ foi obtido aplicando o Método tradicional em comparação com o estudo da SDS, por falta de dados observado no ponto em que se encontra a PCH- Pinheral, não foi possível verificar a possíveis subestimativa ou superestimativa das vazões no ponto de interesse.

A estimativa das vazões no rio Boa Esperança e sua respectiva regionalização fornecem subsídios para a tomada de decisão no processo de gestão de recursos hídricos. Embora a disseminação de fontes renováveis na geração de energia elétrica tenha como um dos obstáculos, o aprimoramento das redes hidrométricas para obtenção de dados, é inegável que a sua maior participação na matriz energética brasileira trará resultados socioeconômicos positivos e maior atenção com o meio ambiente.

7 Bibliografia

- Azevedo, A. A. (2004). *Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para a sub-bacia do rio Paranã*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- Bazzo, K. R., Guedes, H. A., Castro, A. S., Siqueira, T. M., & Almeida, C. F. (Outubro de 2017). Regionalização da vazão Q95: comparação de métodos para a bacia hidrográfica do Rio Taquari-Antas. *Ambiente & Água*, 12, 856-869.
- Bezerra, R. R., Rudke, A. P., Souza, W., Andrade, N. L., & Evangelista, D. H. (Junho de 2013). Determinação da (Q7,10), (Q90) e (Q95) como ferramenta para gestão dos recursos hídricos: estudo de caso do rio Jamari. *Bahia Análise e Dados*, 23(2), 425-435.
- Chaves, H. M., Rosa, J. W., Vadas, R. G., & Oliveira, R. V. (setembro de 2002). Regionalização de vazões mínimas em bacias através de interpolação em sistemas de informação geográfica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 7(3), 43-51.
- Collischonn, W., & Dornelles, F. (2013). *Hidrologia para engenharia e ciências ambientais*. Porto Alegre: CD.G.
- Cruz, J. C. (2011). *Disponibilidade hídrica para outorga: Avaliação de aspectos técnicos e conceituais*. Dissertação (Mestrado em engenharia de recursos hídricos) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS.
- ELETOBRÁS. (1985). *Centrais Elétricas Brasileiras: Metodologia para regionalização de vazões* (Vol. 2). Rio de Janeiro.
- Ferreira, G. M. (2010). *Regionalização das vazões de referência Q7,10 e Q90*. Dissertação (Mestrado em engenharia ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória - ES.
- Fior, S., & Fernandes, V. M. (22 a 27 de Novembro de 2015). *Regionalização de vazões de permanência: Estudo aplicado na região hidrográfica do Uruguai*. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS-ABRH, Brasília-DF.
- Freitas, V. A. (2003). *Contribuição ao processo de regionalização de vazões: Análise de métodos e variáveis explicativas*. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE.
- Garbossa, L. H., & Pinheiro, A. (Agosto de 2015). Vazões de referência para gestão de bacias hidrográficas rurais e urbanas sem

- monitoramento. *REGA - Revista de Gestão de Água da América Latina*, 12(1), 43-52.
- Garcez, L. N., & Alvarez, G. A. (1988). *Hidrologia* (2ª Edição ed.). São Paulo: Edgard Blucher.
- Gasques, A. C., Neves, G. L., Santos, J. D., Mauad, F. F., & Okawa, C. M. (Julho de 2018). Regionalização de vazões mínimas: Breve revisão teórica. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, 14(2), 60-70.
- IBGE. (2018). Fonte: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/major-gercino/panorama>
- Koefender, A. (2015). *Regionalização de vazões Q7,10, Q90% e Q50 na bacia hidrográfica do rio Ibicuí (sub-bacia 76)*. TCC (TCC em Engenharia Ambiental)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.
- Lemos, A. F. (2006). *Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia hidrográfica do Rio São Francisco, a montante do reservatório Três Marias*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- Lopes, T. R., Prado, G., Zolin, C. A., Paulino, J., & Antoniel, L. S. (Março de 2016). Regionalização de vazões máximas e mínimas para a bacia do rio Ivaí. *IRRIGA (Brazilian Journal of Irrigation and Drainage)*, 21(1), 188-201.
- Martins, J. A., Holtz, A. C., Gomide, F. L., & Pinto, N. S. (1976). *Hidrologia Básica*. São Paulo: Blucher.
- Moreira, M. C., & Silva, D. D. (Junho de 2014). Análise de métodos para estimativa das vazões da bacia do rio Paraopeba. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 19(2), 313-324.
- Moreira, M. C., & Silva, D. D. (Junho de 2014). Análise de Métodos para Estimativa das Vazões da Bacia do Rio Paraopeba. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 19, 313-324.
- Naghetini, M., & Pinto, É. J. (2007). *Hidrologia Estatística*. Belo Horizonte: CRPM.
- Oliveira, V. A. (2013). *Regionalização de vazões nas regiões das unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos GD1 e GD2, Minas Gerais*. Dissertação, Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

- Pruski, F. F., & Novaes, L. F. (Abril de 2007). Avaliação do Desempenho de Cinco Metodologias de. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 12, 51-61.
- Pruski, F. F., Brandão, V. S., & Silva, D. D. (2014). *Escoamento Superficial* (2ª Edição ed.). Viçosa: UFV.
- Rodriguez, R. D. (2008). *Proposta conceitual para a regionalização de vazões*. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Ruthes, J. M. (2017). *A curva de permanência e a disponibilidade hídrica para a outorga no estado do Paraná*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.
- Silva Junior, O. B., Bueno, E. O., Tucci, C. E., & Castro, N. M. (Janeiro de 2003). Exploração Espacial na Regionalização de Vazão. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 8, 21-37.
- Silveira, A. L. (2014). Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. Em C. E. Tucci, *Hidrologia: ciência e aplicação* (4ª Edição ed., pp. 36-51). Porto Alegre: UFRGS/ABRH.
- Singh, V. P. (1992). *Elementary Hydrology*. New Jersey: Prentice Hall.
- Sousa, H. T. (2009). *Sistemas computacional para regionalização de vazões*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Tucci, C. E. (2002). *Regionalização de vazões* (1ª Edição ed.). Porto Alegre: UFRGS.
- Tucci, C. E. (2014). Vazão máxima e hidrograma de projeto. Em C. E. Tucci, *Hidrologia: ciência e aplicação* (4ª Edição ed., pp. 527-572). Porto Alegre: UFRGS/ABRH.
- Uehara, K. (1964). *Contribuição para o estudo das vazões mínimas, médias e máximas de pequenas bacias hidrográficas*. Tese, Tese (Doutorado em Hidráulica aplicada)- Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, SP.
- Veiga, A. M., Melo, D., Marcuzzo, F. F., & Cardoso, M. R. (2011). *Métodos de regionalização de vazões em cotas baixas de referências para o rio Teles Pires na bacia Amazônica*. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió.
- Villela, S. M., & Mattos, A. (1975). *Hidrologia Aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil.

