



**Universidade Federal do Espírito Santo**  
**Centro Tecnológico**  
**Colegiado de Engenharia Ambiental**

**MATHEUS SIQUEIRA PIOL**

**Avaliação do desempenho dos indicadores regionais para  
apropriação de vazões de referência – Estudo de caso da bacia  
hidrográfica do rio Manhuaçu.**

**Vitória**  
**2022**

**Universidade Federal do Espírito Santo**  
**Centro Tecnológico**  
**Colegiado de Engenharia Ambiental**

**MATHEUS SIQUEIRA PIOL**

**Avaliação do desempenho dos indicadores regionais para  
apropriação de vazões de referência – Estudo de caso da bacia  
hidrográfica do rio Manhuaçu.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Ambiental apresentado à Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental sob orientação do prof. Dr. José Antônio Tosta dos Reis.

**Vitória**  
**2022**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais, por toda dedicação e paciência para que eu chegasse nesta importante etapa da minha vida.

Ao meu orientador Dr. José Antônio Tosta dos Reis, pois sem sua ajuda e orientação esse projeto não seria concluído, agradeço principalmente sua dedicação e paciência para ensinar e corrigir sempre que necessário.

Ao meu primo Vinicius por todas as dicas e ajudas durante o meu curso sempre se prontificando em apoiar quando necessário.

Agradeço aos professores do departamento por contribuírem com meu aprendizado ao longo destes anos.

Não poderia deixar de agradecer ao Léo, secretário da coordenação do curso, por sempre esclarecer dúvidas e auxiliar quanto às questões burocráticas do curso.

Por fim, deixo o meu agradecimento a todos meus amigos que tornaram esses anos mais agradáveis e leves mesmo durante períodos turbulentos.

## RESUMO

Em função das limitações da rede de monitoramento hidrometeorológico, tanto do ponto de vista da distribuição espacial quanto da extensão das séries históricas disponíveis, ferramentas que busquem dar consistência e otimizar a análises dos dados disponíveis vêm ganhando espaço. Neste contexto, destacam-se as técnicas de regionalização, cujo principal foco é a delimitação de regiões hidrologicamente homogêneas com a subsequente transposição espacial de variáveis hidrológicas de interesse. O presente estudo teve como principal perspectiva comparar diferentes metodologias de regionalização de vazões, mais especificamente o método tradicional de regionalização com a aplicação de indicadores regionais. A área de estudo selecionada para a condução do estudo foi a bacia hidrográfica do rio Manhuaçu, importante afluente do rio Doce, cuja área de drenagem abrange os estados de Minas Gerais e o Espírito Santo. Os resultados indicaram que os indicadores permitem estimativas de diferentes vazões de referências com erros médios considerados satisfatórios para a área de estudo; entretanto, o método convencional de regionalização utilizando área de drenagem como variável independente apresentou resultados mais consistentes, independentemente da vazão de referência analisada. Observou-se, adicionalmente, que a adoção de séries históricas de vazões com extensões diferenciadas não produziu diferenças relevantes quando da apropriação das diferentes vazões de referência para a bacia hidrográfica do rio Manhuaçu.

**Palavras-chave:** Regionalização de Vazões, Rio Manhuaçu, Indicadores Regionais.

## SUMÁRIO

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES	6
LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	9
1. Introdução	10
2. Objetivos	12
2.1. Objetivo geral	12
2.2. Objetivos específicos	12
3. Revisão de literatura	13
3.1. Gerenciamento de recursos hídricos	13
3.2. Regionalização hidrológica	15
3.3. Métodos convencionais para a regionalização hidrológica de vazões	17
3.4. Indicadores regionais de vazão	17
4. Área de estudo	19
5. Metodologia	23
5.1. Dados fluviométricos e fisiográficos	23
5.2. Avaliação de vazões de referência	25
5.3. Método tradicional de regionalização de vazões de referência	26
5.4. Apropriação dos indicadores regionais de vazão	27
5.4.1. Indicador de Vazão Média - Vazão Específica	27
5.4.2. Indicadores obtidos através da curva de permanência	27
5.4.3. Indicadores de vazões mínimas	28
5.4.4. Indicadores de vazões máximas	29
5.5. Avaliação da influência da extensão da série histórica de vazões	30
6. Resultados e Discussão	31
6.1. Vazões de referência	31
6.1.1. Vazões associadas às curvas de Permanência	31
6.1.2. Vazões médias de longo período, máximas e mínimas	35
6.2. Funções regionais para apropriação das vazões de referência	36
6.3. Indicadores regionais de vazão	38
6.4. Influência da extensão da série histórica de vazões	40
6.5. Confrontação de valores de vazões de referência apropriadas	42
7. Conclusões e Recomendações	56
8. Referências	57

## ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Unidades de análise da bacia do Rio Doce.	20
Figura 2: Uso e cobertura do solo da bacia do Manhuaçu.	21
Figura 3: Uso da água na bacia do Manhuaçu.	22
Figura 4: Localização das estações na bacia do Manhuaçu.	23
Figura 5: Curva de Permanência da estação Fazenda Vargem Alta.	31
Figura 6: Curva de Permanência da estação Santo Antônio do Manhuaçu.	32
Figura 7: Curva de Permanência da estação Dores de Manhumirim.	32
Figura 8: Curva de Permanência da estação Ipanema.	33
Figura 9: Curva de Permanência da estação Mutum.	33
Figura 10: Curva de Permanência da estação Assarai Montante.	34
Figura 11: Curva de Permanência da estação São Sebastião da Encruzilhada.	34
Figura 12: Vazões médias de longo período (reais e estimadas) para as estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Manhuaçu.	46
Figura 13: Vazões $Q_{95}$ (reais e estimadas) para as estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Manhuaçu.	47
Figura 14: Vazões $Q_{90}$ (reais e estimadas) para as estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Manhuaçu.	47
Figura 15: Vazões $Q_{50}$ (reais e estimadas) para as estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Manhuaçu.	48
Figura 16: Vazões $Q_{7,10}$ (reais e estimadas) para as estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Manhuaçu.	48
Figura 17: Vazões $Q_{2\text{anos}}$ (reais e estimadas) para as estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Manhuaçu.	49
Figura 18: Vazões $Q_{100\text{anos}}$ (reais e estimadas) para as estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Manhuaçu.	49

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Estações e suas áreas de drenagem.	24
<b>Tabela 2.</b> Tamanho para série histórica Heterogênea.	30
<b>Tabela 3.</b> Vazões ( $m^3/s$ ) extraídas das curvas de permanência para as estações fluviométricas da bacia do rio Manhuaçu.	35
<b>Tabela 4.</b> Vazões de referências para os sete postos fluviométricos.	36
<b>Tabela 5.</b> Vazões de referência obtidas através da regionalização tradicional.	38
<b>Tabela 6.</b> Indicadores regionais de vazão para a bacia hidrográfica do rio Manhuaçu.	39
<b>Tabela 7.</b> Vazões de referência obtidas por meio dos indicadores regionais de vazão.	40
<b>Tabela 8.</b> Indicadores regionais de vazão para a bacia hidrográfica do rio Manhuaçu estimados a partir das séries históricas heterogêneas.	41
<b>Tabela 9.</b> Vazões de referência obtidas por meio dos indicadores regionais de vazão apropriados a partir de séries históricas heterogêneas.	42
<b>Tabela 10.</b> Valores reais e calculados estimados para a vazão $Q_m$ .	43
<b>Tabela 11.</b> Valores reais e calculados estimados para a vazão $Q_{95}$ .	43
<b>Tabela 12.</b> Valores reais e calculados estimados para a vazão $Q_{90}$ .	44
<b>Tabela 13.</b> Valores reais e calculados estimados para a vazão $Q_{50}$ .	44
<b>Tabela 14.</b> Valores reais e calculados estimados para a vazão $Q_{7,10}$ .	45
<b>Tabela 15.</b> Valores reais e calculados estimados para a vazão máxima com período de retorno de 2 anos ( $Q_{2anos}$ ).	45
<b>Tabela 16.</b> Valores reais e calculados estimados para a vazão máxima com período de retorno de 100 anos ( $Q_{100anos}$ ).	46
<b>Tabela 17.</b> Erros percentuais entre valores reais e estimados por indicadores e a função regional para a vazão $Q_m$ .	50
<b>Tabela 18.</b> Erros percentuais entre valores reais e estimados por indicadores e a função regional para a vazão $Q_{95}$ .	51
<b>Tabela 19.</b> Erros percentuais entre valores reais e estimados por indicadores e a função regional para a vazão $Q_{90}$ .	51
<b>Tabela 20.</b> Erros percentuais entre valores reais e estimados por indicadores e a função regional para a vazão $Q_{50}$ .	52
<b>Tabela 21.</b> Erros percentuais entre valores reais e estimados por indicadores e a função regional para a vazão $Q_{7,10}$ .	52
<b>Tabela 22.</b> Erros percentuais entre valores reais e estimados por indicadores e a função regional para a vazão $Q_{2anos}$ .	53

**Tabela 23.** Erros percentuais entre valores reais e estimados por indicadores e a função regional para a vazão  $Q_{100\text{anos}}$ .

53



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos.
- SNIS – Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento.
- PARH – Plano de Ações de recursos Hídricos.
- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.
- Igam – Instituto Mineiro de Gestão das Águas.
- SisCAH – Sistema computacional para Análises Hidrológicas.
- $Q_{90}$  – Vazão que é superada ou igualada em 90% das medições.
- $Q_{95}$  – Vazão que é superada ou igualada em 95% das medições.
- $Q_{7,10}$  – Vazão mínima de 7 dias de duração e retorno de 10 anos.
- $Q_{50}$  – Vazão que é superada ou igualada em 50% das medições.
- $Q_{2anos}$  – Vazão máxima de um dia com o período de retorno de 2 anos.
- $Q_{100anos}$  – Vazão máxima de um dia com o período de retorno de 100 anos.
- $Q_m$  – Vazão média de longo período.
- $q$  – Indicador para vazão média de longo período.
- CV – Coeficiente de Variação.
- S – Desvio Padrão.
- $r_i$  – Média de um indicador.
- $R_{cp95}$  – Indicador desenvolvido para calcular a  $Q_{95}$ .
- $R_{cp90}$  – Indicador desenvolvido para calcular a  $Q_{90}$ .
- $R_{cp50}$  – Indicador desenvolvido para calcular a  $Q_{50}$ .
- $r_{7,10}$  – Indicador desenvolvido para calcular a  $Q_{7,10}$ .
- $r_m$  – Indicador que relaciona as vazões  $Q_{7,10}$  e  $Q_{90}$ .
- $r_2$  – Indicador desenvolvido para calcular a  $Q_{2anos}$ .
- $r_{100}$  – Indicador desenvolvido para calcular a  $Q_{100anos}$ .
- $Q_{estimada}$  – Vazão estimada por alguns dos métodos de regionalização aplicados.
- $Q_{real}$  – Vazão real obtida pela curva de permanência.
- $R^2$  - Coeficiente de Correlação.

# 1. Introdução

A água é um recurso essencial para a humanidade, seja para a sobrevivência ou para o desenvolvimento econômico. Com o crescimento populacional o uso da água cresceu exponencialmente, o que motivou o estabelecimento de políticas públicas para tentar minimizar os aspectos negativos do aumento da pressão sobre os recursos hídricos e proporcionar a exploração da água de forma sustentável.

Em 08 de janeiro de 1997, por meio da Lei nº 9433, foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), com a perspectiva de proporcionar um uso consciente e sustentável da água. Um dos instrumentos da PNRH foi a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, instrumento por meio do qual o poder público estabelece uma concessão ou autorização para o uso da água. A concessão de uma outorga é baseada em diferentes vazões de referência, definidas pela União ou estados em decorrência da dominialidade dos cursos d'água. As vazões de referência mais usualmente empregadas no Brasil são vazões associadas a elevadas permanências nos cursos d'água ( $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  para permanências de 90% e 95%, respectivamente) e a vazão média mínima de sete dias consecutivos com período de retorno de dez anos ( $Q_{7,10}$ ).

Para a apropriação das referidas vazões de referência é necessária a existência de séries históricas de vazões estabelecidas por meio do monitoramento sistemático dos cursos d'água, monitoramento que envolve a medição diárias dos níveis d'água, medições recorrentes de vazão e cota para estabelecimento da curva-chave e, com auxílio desta função hidrológica, conversão das cotas em de vazões. É relevante observar que o trabalho de monitoramento que permite o estabelecimento de séries históricas de vazões nem sempre é simples em função das condições climáticas, localização de algumas estações e elevada extensão dos corpos d'água brasileiros.

A rede de monitoramento hidrológico do Brasil é limitada, com distribuição heterogênea de postos que, em diferentes partes do território nacional, também se apresentam em baixa densidade no espaço. Em função dessa limitação, várias bacias hidrográficas apresentam séries de vazão insatisfatórias, com extensões limitadas e excesso de falhas. No entanto, o conhecimento das vazões em cada ponto de uma bacia hidrográfica constitui informação importante e necessária, uma vez que

contribui com a tomada de decisões políticas a respeito da bacia, principalmente no que diz respeito à outorga (PIOL,2017).

A regionalização hidrológica constitui um conjunto de procedimentos estatísticos que permitem aproveitar ao máximo as informações hidrológicas existentes num local, com a finalidade de estimar variáveis ou parâmetros hidrológicos em lugares sem dados ou, com dados insuficientes, permitindo, desta forma, que se conheça a distribuição espacial das variáveis ou parâmetros hidrológicos, além de melhorar a sua estimativa temporal (TUCCI, 2002).

Os indicadores regionais, definidos como valores médios de uma variável hidrológica e característico de uma região homogênea, são definidos como uma alternativa para a regionalização de variáveis hidrológicas (PIOL, 2017). Tucci (2002), Tucci et al. (2003), Reis et al. (2008) e Piol (2017) descrevem o uso dos indicadores regionais para a estimativa de vazões em diferentes bacias hidrográficas brasileiras.

Por meio do presente trabalho pretende-se estabelecer indicadores regionais para apropriação de vazões de referência para cursos d'água da Bacia Hidrográfica do Rio Manhuaçu, importante bacia para os estados de Minas Gerais e Espírito Santo e uma das principais sub-bacias presentes na bacia do Rio Doce.

## 2. Objetivos

### 2.1. Objetivo geral

Avaliar o desempenho de indicadores regionais para apropriação de vazões dos cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Manhuaçu.

### 2.2. Objetivos específicos

Para a consecução do objetivo geral foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Estabelecer indicadores regionais para apropriação de vazões máximas, médias e mínimas dos cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Manhuaçu;
- Confrontar as respostas dos indicadores regionais com as estimativas de vazões estabelecidas a partir do método tradicional de regionalização de vazões;
- Avaliar a influência da extensão da série histórica sobre a apropriação dos indicadores regionais de vazão.

### 3. Revisão de literatura

#### 3.1. Gerenciamento de recursos hídricos

O Brasil é caracterizado por sua grande disponibilidade hídrica. No entanto, todo o volume de água disponível não é distribuído de forma homogênea no território nacional. No país onde se encontra a maior bacia fluvial do mundo existe uma região (região Nordeste) que é constantemente afetada por secas severas. Segundo dados do Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto de 2020, do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS, 2020), a região norte possui a maior disponibilidade hídrica e é responsável por 0,5 bilhão de m<sup>3</sup>/ano de consumo de água tratada, enquanto a região nordeste, que frequentemente sofre com secas, consumiu 1,8 bilhão de m<sup>3</sup>/ano, segundo maior consumo do país no ano de 2020. A região campeã de consumo é a sudeste, região mais industrializada do país que, segundo o SNIS (2020), apresentou consumo de 5,2 bilhão de m<sup>3</sup>/ano.

As regiões sudeste e nordeste, com cerca de 69% da população brasileira, possuem disponibilidade de apenas 10% do volume de água disponível para consumo (SNIS, 2020). Outro fator agravante é que, além da distribuição heterogênea, a água doce não é destinada apenas para o consumo humano; a atividade industrial, irrigação e consumo animal são algumas das atividades que competem pela disponibilidade de água doce. Ainda segundo o SNIS (2020), no ano de 2019 a atividade de irrigação foi responsável por 49,8% da água retirada das bacias hidrográficas brasileiras, enquanto o abastecimento público foi responsável por apenas 24,3% das retiradas de água das bacias nacionais.

Além das dificuldades associadas à distribuição heterogênea e ao consumo concentrado em regiões com baixa disponibilidade hídrica, outro problema relevante é a contaminação dos corpos d'água já existentes. Com base nos dados fornecidos pelo SNIS (2020), a região sudeste trata apenas 76,4% do esgoto que é coletado na região, com as parcelas não coletadas ou coletadas e não tratadas sendo dispostas de forma irregular em corpos d'água ou no solo. Existem, adicionalmente, os efluentes industriais dispostos irregularmente, agrotóxicos e outras fontes poluidoras que prejudicam a qualidade d'água.

Este contexto, incluindo-se a ausência ou o inadequado gerenciamento dos recursos hídricos, levou à sobrecarga das bacias hidrográficas, condição que induziu

o desenvolvimento de soluções que buscaram minimizar os impactos da exploração hídrica e tentaram recuperar os corpos d'água que já se encontravam comprometidos.

A Política Nacional de Recursos Hídricos definiu a água como recurso limitado e dotado de valor econômico e estabeleceu os usos prioritários da água em casos de escassez. Adicionalmente, definiu os seguintes instrumentos para o gerenciamento dos recursos hídricos:

- Os planos de recursos hídricos;
- O enquadramento dos corpos d'água em classes segundo seu uso;
- A outorga do direito de uso dos recursos hídricos;
- A cobrança pelo uso de recursos hídricos;
- O sistema de informações sobre recursos hídricos.

Os planos de recursos hídricos (planos de longo prazo, com horizonte de planejamento compatível com o período de implantação dos programas e projetos que conforme) devem conter, dentre outros aspectos, o diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e o balanço entre disponibilidades e demandas futuras por água, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais, informações que só são possíveis com o adequado entendimento do regime de vazões dos corpos d'água.

O enquadramento dos corpos d'água em classes de uso, por sua vez, tem como perspectivas **a)** diminuir os custos de combate à poluição e **b)** assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas. O condicionamento do Enquadramento ao uso demandará a compreensão tanto disponibilidade hídrica dos cursos d'água quanto das condições de qualidade, particularmente das condições de qualidade nos períodos de recessão.

Já a outorga de direitos de uso de recursos hídricos tem como objetivos **a)** assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e **b)** o efetivo exercício dos direitos de acesso à água. Constitui importante instrumento de comando e controle e, como regra, estabelece como limites para outorga uma parcela de vazão mínima de referência dos cursos d'água.

A cobrança pelo uso da água tem como perspectivas **a)** reconhecer a água como bem econômico, **b)** incentivar a racionalização do uso da água e **c)** obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos. Como são passíveis de cobrança

todos os usos de recursos hídricos sujeitos a outorga, também a cobrança é dependente do entendimento da disponibilidade hídrica dos cursos d'água.

Por fim, os sistemas de informações sobre recursos hídricos (sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos) deverão armazenar, dentre outras relevantes informações, as séries históricas de vazões, séries a partir das quais as ações (operacionais ou associadas às atividades de planejamento) associadas aos outros instrumentos da PNRH serão estabelecidas.

Neste contexto, o monitoramento das vazões dos cursos d'água e o tratamento das séries históricas decorrentes desse monitoramento assumem papel central para a implementação dos instrumentos da PNRH e, por consequência, para o efetivo gerenciamento dos recursos hídricos. No entanto, considerando que o sistema de monitoramento hidrológico no Brasil é composto por uma rede limitada e com uma distribuição heterogênea das estações de monitoramento, a criação de alternativas que permitam otimizar as informações hidrológicas disponíveis se estabeleceu como necessidade. Dentre as ferramentas disponíveis, a regionalização hidrológica tem sido amplamente utilizada pelos órgãos de gerenciamento e controle dos recursos hídricos, sendo recorrentemente a ferramenta central para regulação da outorga e cobrança pelo uso da água.

### 3.2. Regionalização hidrológica

Segundo Eletrobrás (1985), os estudos hidrológicos de regionalização têm como perspectivas **a)** estimar variáveis e parâmetro hidrológicos em locais sem a disponibilidade de dados, **b)** verificar a consistência de séries hidrológicas e **c)** avaliar a carência de dados e de postos hidrológicos em determinadas regiões. Eletrobrás (1985) sugere, adicionalmente, que os estudos de regionalização são de fundamental importância para a elaboração de alguns projetos hidráulicos, como previsão de pontos de inundação, dimensionamento de obras hidráulicas e de volume de reservatórios, além de possibilitar o planejamento para a utilização de recursos hídricos.

Existem diferentes métodos para regionalização de vazões, mas nenhum método é capaz de gerar valores de vazões regionalizadas sem que séries históricas de vazão estejam disponíveis (ELETROBRÁS, 1985), ou seja, a qualidade e

quantidade dos dados registrados nas estações fluviométricas disponíveis afeta diretamente na qualidade da regionalização e, por efeito em cadeia, se a regionalização não apresentar bons resultados todos os dimensionamentos subsequentes que dependam das vazões estimadas através da regionalização terão seus resultados afetados.

Segundo Eletrobrás (1985) três tipos de dados devem ser analisados para o desenvolvimento de uma boa regionalização de uma bacia hidrográfica. São eles:

- Os dados descritivos da bacia: Dados relativos ao uso e ocupação do solo, formação geológica, cobertura vegetal, distribuição climática. Esses dados permitem a familiarização da região pelo responsável da regionalização e ajudam na hora de interpretar os dados hidrográficos;
- Os dados físicos da bacia: São os dados geralmente associados às vazões na hora da definição das curvas de regionalização das bacias. As características físicas recomendadas para esse tipo de processo são a área de drenagem, o comprimento do rio principal, declividade média do rio principal e a densidade de drenagem. Esses dados podem ser associados com as vazões individualmente ou em conjunto;
- Os dados hidrológicos: São comumente divididos em dois grupos. O primeiro grupo são os dados que explicam as variações de vazão, que são os dados de precipitação, evaporação, etc. Já o segundo grupo são, de fato, os dados hidrológicos de vazão. Estes são os dados obtidos através dos postos de observação e registro climatológicos.

As metodologias de regionalização apresentam grande variação e são muito difundidas dada a importância da necessidade de conhecimento a respeito das bacias hidrográficas. Um método de aplicação simples é o método de regionalização por meio de indicadores. Segundo Tucci (2014), esse método consiste na apropriação de valores médios de variáveis que permitam, de forma rápida, a estimativa de alguma variável e o conhecimento a respeito de seu comportamento. O método dos indicadores será explicado detalhadamente no tópico 3.4, uma vez que constituiu a metodologia de regionalização empregada no presente estudo.



### 3.3. Métodos convencionais para a regionalização hidrológica de vazões

Como observado por Tucci (2002), Chaves (2002) e Eletrobrás (1985), existem diversos métodos convencionais aplicáveis à regionalização de vazões. Dentre os métodos mais recorrentemente empregados destacam-se o Método dos Valores Característicos (BAENA, 2002; PIOL, 2017; SILVA et al., 2003), Método da Curva Adimensional (KOEENDER, 2015; PINTO, 2006; CASTIGLIONI, 2013), Método dos Parâmetros (NAGHETTINI; PINTO, 2007; WOLFF, 2013) e o Método da Curva Exponencial (CORTÊS, 2004; AGRA et al., 2003).

Segundo Gasparini (2015), o procedimento convencional para a aplicação dos diferentes métodos de regionalização é composto basicamente por duas etapas. A primeira etapa consiste no reconhecimento de uma região hidrológicamente homogênea, ou seja, o primeiro passo para a aplicação dos métodos de regionalização é a definição da bacia a ser estudada. A etapa subsequente consiste no ajuste de equações de regressão entre a variável que se deseja regionalizar e características físicas e/ou climáticas da região de estudo. Área de drenagem, precipitação total e comprimento do principal curso d'água constituem características físicas e climáticas usualmente empregadas para a definição de funções regionais.

Segundo Ferreira (2010), as regiões hidrológicamente homogêneas habitualmente não se estendem por grandes áreas, isso em função da variabilidade do clima, da topografia, do solo e da cobertura vegetal. Apesar de prático e proporcionar resultados satisfatórios, a aplicação do procedimento convencional fica comprometida e apresenta restrições quando a bacia hidrográfica apresenta baixa disponibilidade de dados de vazão.

### 3.4. Indicadores regionais de vazão

Os indicadores regionais aparecem como uma alternativa aos métodos tradicionais de regionalização hidrológica. Segundo Reis et al. (2008), um indicador regional constitui um valor médio de uma variável hidrológica, característico de uma região homogênea. Os indicadores podem ser aplicados para a regionalização de

diversas vazões de referência. Dentre os indicadores comumente aplicados, a vazão específica é o indicador mais recorrentemente empregado.

Os indicadores podem ser obtidos através de diversas relações entre vazões. Para a curva de permanência geralmente são gerados indicadores para as vazões  $Q_{95}$ ,  $Q_{90}$  e  $Q_{50}$ , indicadores obtidos por meio da relação entre as referidas vazões e a vazão média de longo período. As vazões  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  servem para estudar o comportamento de estiagem; já a  $Q_{50}$  representa as condições médias de escoamento na bacia.

Outro indicador recorrentemente utilizado para caracterizar as condições de estiagem que é o  $R_{7,10}$ , obtido por meio da relação entre a vazão  $Q_{7,10}$  e a média de longo período. O indicador  $R_m$ , que representa a relação entre a  $Q_{95}$  e a  $Q_{7,10}$ , permite observar a relação entre duas vazões que geralmente são empregadas para caracterização da estiagem dos cursos d'água (REIS et al., 2008).

Como indicadores para as vazões de máximas usualmente são empregados o  $r_2$  e o  $r_{100}$ . O  $r_2$  é obtido por meio da relação entre as vazões máximas com período de 2 anos e as vazões médias de longo período. O  $r_{100}$ , por sua vez, é obtido pela relação entre as vazões máximas com período de retorno de 100 anos e as vazões médias de longo período. Conforme observam Reis et al. (2008), vazão máxima associada a um período de retorno da ordem de 2 anos corresponde aproximadamente à cota limite do leito menor de rios aluvionares; já a vazão máxima associada ao período de retorno de 100 anos geralmente representa o limite superior da faixa de inundação ribeirinha.

No capítulo reservado para a Metodologia (Capítulo 5), a forma de obtenção dos indicadores será apresentada detalhadamente e, na sequência, as respostas dos indicadores serão confrontadas com os resultados obtidos por meio da metodologia tradicional de regionalização.

## 4. Área de estudo

A bacia do rio Manhuaçu é uma importante sub bacia do rio Doce. Segundo informações do Plano de ações de recursos hídricos da unidade de planejamento e recursos hídricos Manhuaçu (PARH - MANHUAÇU, 2010), a bacia possui uma área de drenagem de 9.189 Km<sup>2</sup> distribuída entre os estados de Minas Gerais e do Espírito Santo, correspondendo a aproximadamente 10,48% da área da bacia do Doce. Nos dois estados a bacia abrange, seja totalmente ou parcialmente, 32 municípios (Aimorés, Alto Caparaó, Alto Jequitibá Alvarenga, Caratinga, Chalé, Conceição de Ipanema, Conselheiro Pena, Durandé, Ibatiba, Imbé de Minas, Inhapim, Ipanema, Itueta, Iúna, Lajinha, Luisburgo, Manhuaçu, Manhumirim, Martins Soares, Mutum, Piedade de Caratinga, Pocrane, Reduto, Resplendor, Santa Bárbara do Leste, Santa Rita do Itueto, Santana do Manhuaçu, São João do Manhuaçu, São José do Mantimento, Simonésia e Taparuba).

O rio Manhuaçu, principal curso d'água da bacia, nasce na Serra da Seritinga, localizada na divisa entre os municípios de Divino e São João do Manhuaçu, percorrendo uma distância de aproximadamente 347 Km até desaguar no rio Doce, nas proximidades de Aimorés (PARH - MANHUAÇU, 2010). A Figura 1 apresenta as divisões das unidades de análise da bacia do rio Doce onde a bacia do rio Manhuaçu está inserida.

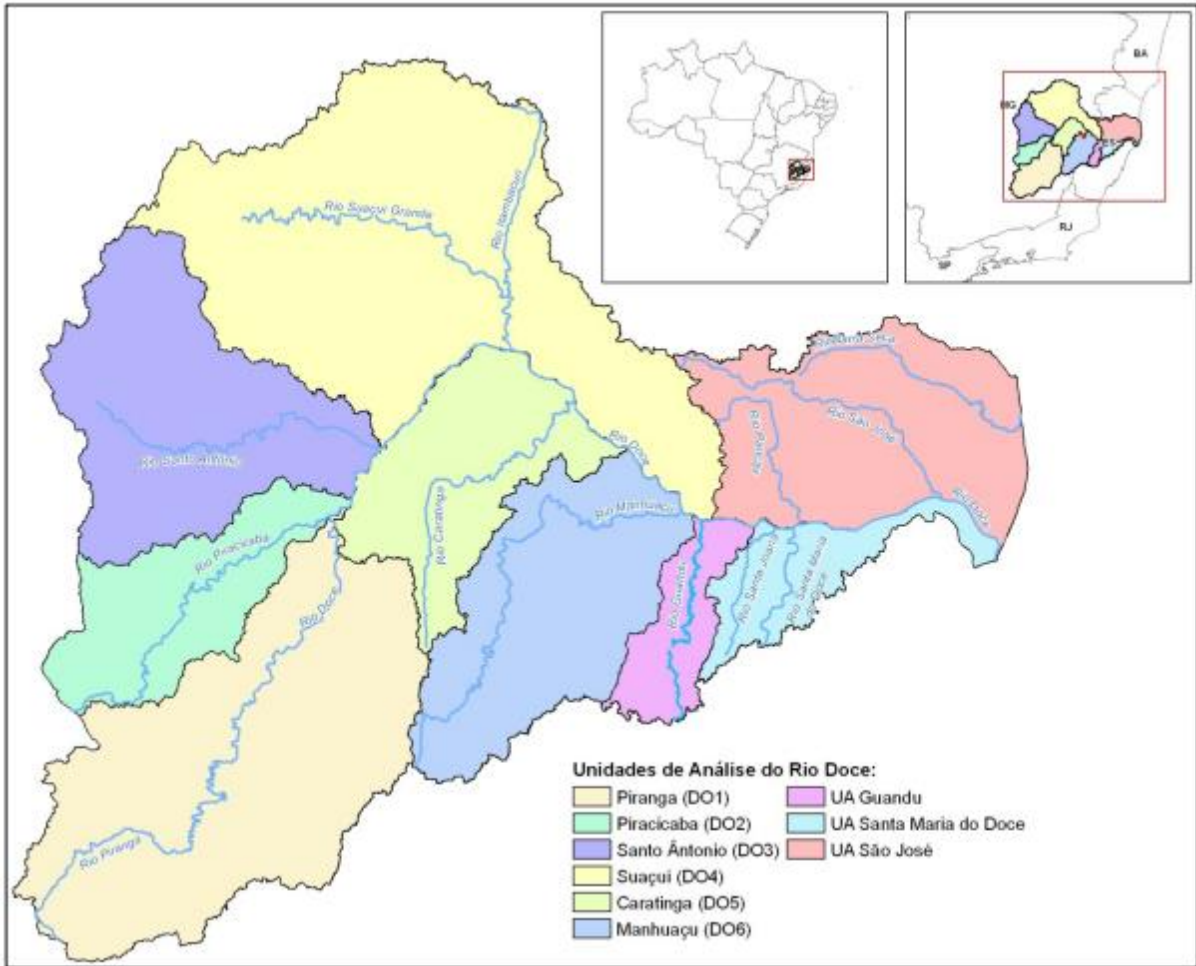


Figura 1: Unidades de análise da bacia do Rio Doce.

Fonte: PARH - Manhuaçu (2010).

A utilização do solo é caracterizada em grande parte pela criação de bovinos e pelo plantio de culturas agrícolas, principalmente o café e cana de açúcar, ainda que indústrias do setor de extração mineral venham ganhando espaço nos últimos anos (PARH – MANHUAÇU, 2010).

A região da bacia se desenvolveu sobre o bioma da Mata Atlântica, considerado um dos biomas com maior biodiversidade do país. Atualmente é estimado que aproximadamente 65% do solo da bacia seja destinado à agropecuária, com apenas 30% sendo ocupado por florestas, conforme Figura 2.

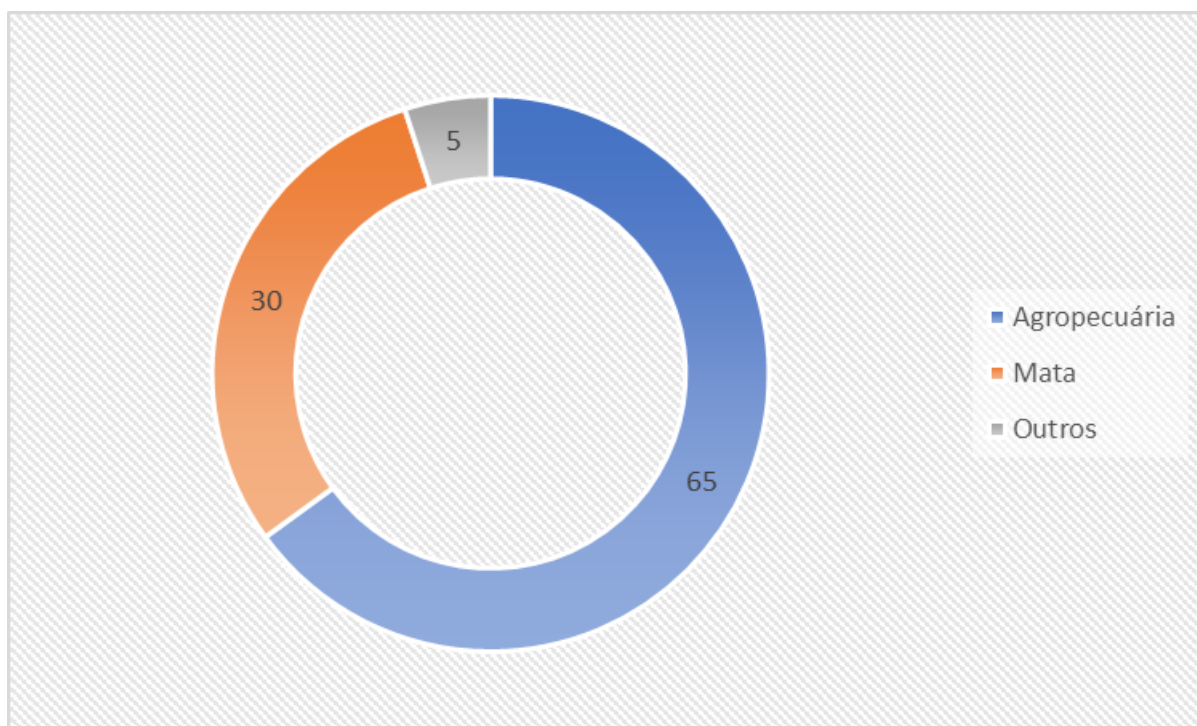


Figura 2: Uso e cobertura do solo da bacia do Manhuaçu.

**Fonte:** Adaptado de PARH - Manhuaçu (2010).

Devido ao tipo de relevo predominante na região da bacia, a elevada precipitação anual (1200 - 1250 mm/ano) e a forma com que o solo é utilizado, a região se torna propícia à incidência de processos erosivos. Além do problema relacionado com a erosão, devido à intensa prática agropecuária, ao plantio de café e outras culturas, os corpos hídricos da região estão sujeitos a contaminação por agrotóxicos e outros poluentes (PARH – MANHUAÇU, 2010).

Quanto ao uso da água na área da bacia (Figura 3), o PARH - Manhuaçu (2010) indica que a irrigação é a responsável por 59% do consumo de água na região, seguida pelo abastecimento humano, responsável por cerca de 28% das retiradas dos corpos d'água da bacia hidrográfica. O uso de água para dessedentação de animais e para fins industriais representam demandas menos relevantes na bacia.

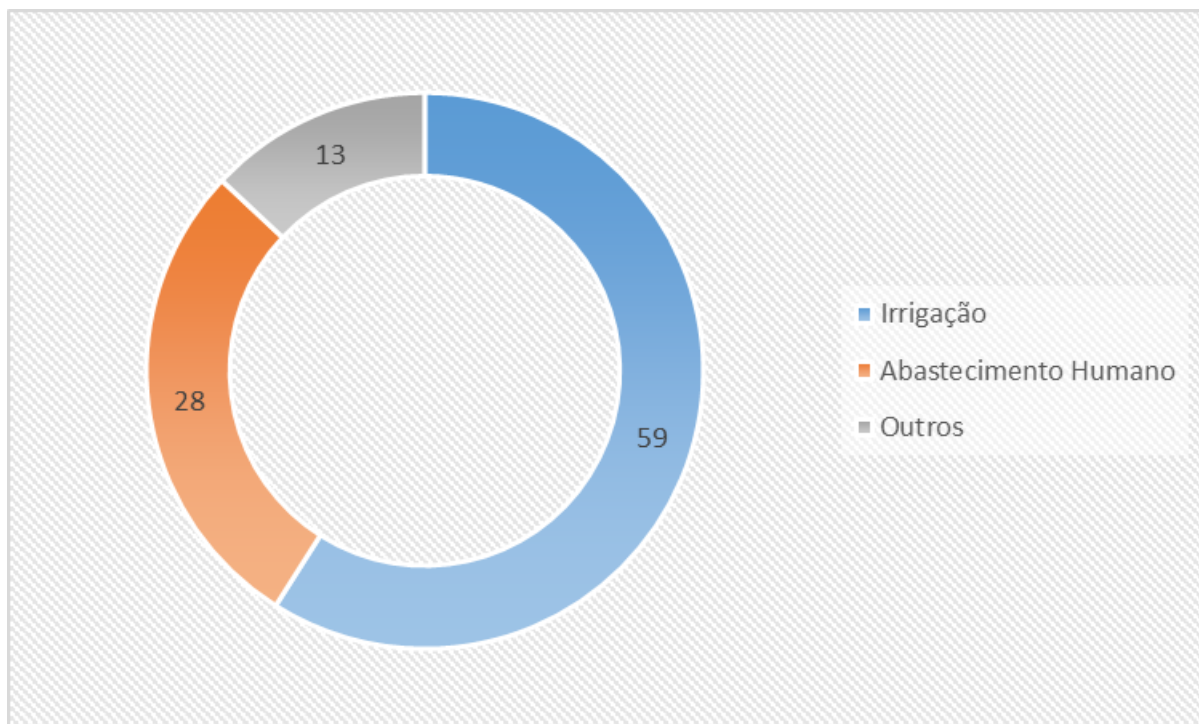


Figura 3: Uso da água na bacia do Manhuaçu.

**Fonte:** Adaptado de PARH - Manhuaçu (2010).

## 5. Metodologia

### 5.1. Dados fluviométricos e fisiográficos

Os dados fluviométricos foram obtidos a partir do portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA), uma ferramenta que integra o sistema nacional de informações sobre recursos hídricos, e que reúne dados sobre vazão, chuvas, níveis fluviais, climatologia, dentre outros. Os dados obtidos no portal Hidroweb foram previamente tratados, uma vez que podem conter falhas que, se não observadas e adequadamente tratadas, podem comprometer a qualidade dos resultados.

Foram encontradas séries históricas com disponibilidade de dados considerada satisfatória para sete estações da bacia do Manhuaçu. A Figura 4 apresenta a localização das estações fluviométricas selecionadas na bacia do rio Manhuaçu.

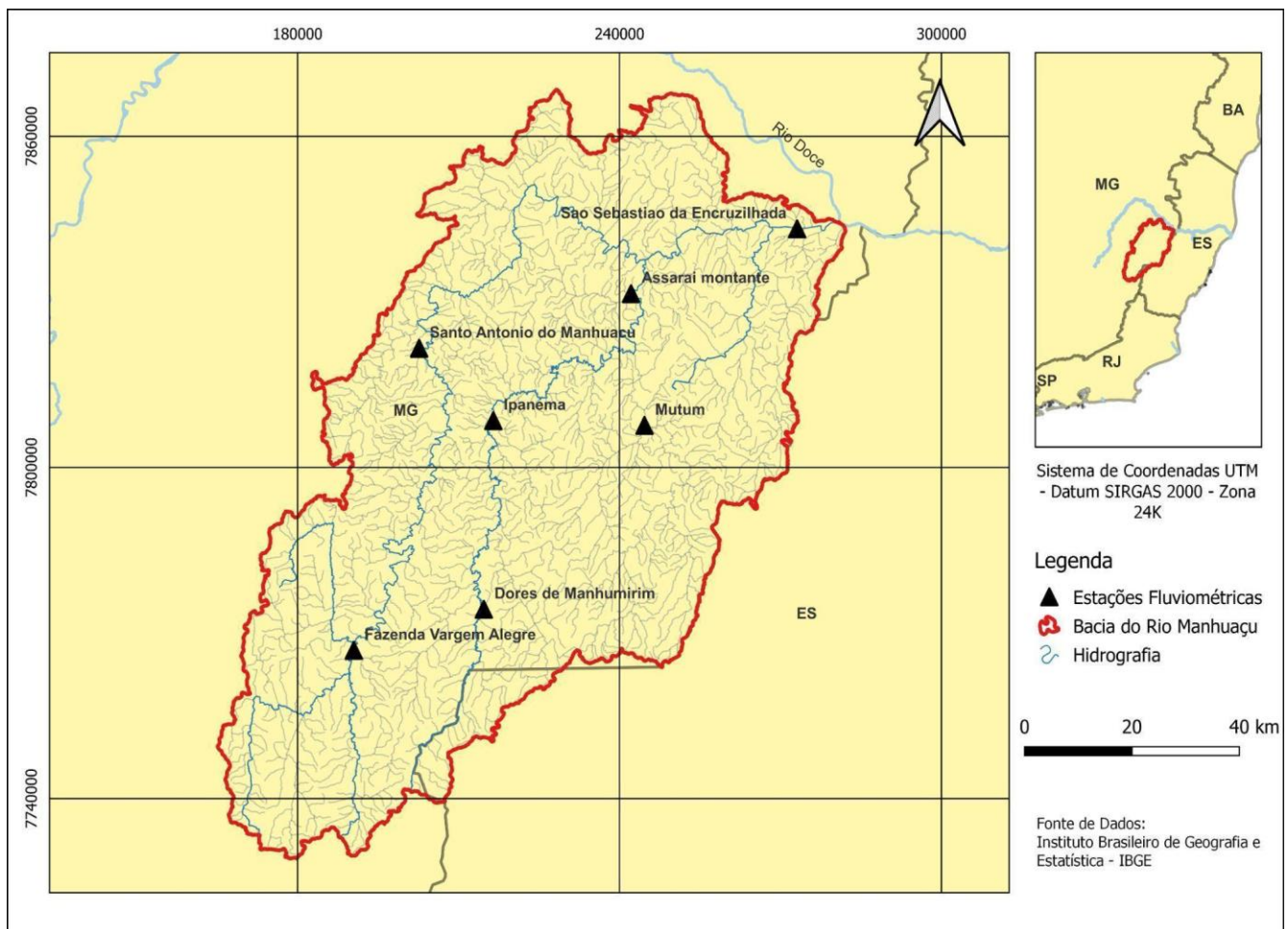


Figura 4: Localização das estações na bacia do Manhuaçu.

Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 1 são relacionadas as estações fluviométricas selecionadas, suas áreas de drenagem e códigos de identificação no portal Hidroweb.

**Tabela 1.** Estações e suas áreas de drenagem.

<b>Estação</b>	<b>Código da Estação</b>	<b>Área de Drenagem (km<sup>2</sup>)</b>
Fazenda Vargem Alegre	56960005	1070
São Sebastião da Encruzilhada	56990000	8720
Assarai Montante	56989400	3190
Mutum	56989001	1180
Ipanema	56988500	1410
Dores de Manhumirim	56983000	384
Santo Antônio do Manhuaçu	56978000	2350

Após a obtenção dos registros fluviométricos no portal Hidroweb, estes dados foram importados pelo *Software SisCAH 1.0*, por meio do qual foi possível identificar o período comum com disponibilidade de dados de vazão entre as estações selecionadas e, dessa forma, definir a extensão das séries históricas utilizadas nas etapas subsequentes do presente estudo. As vazões de referência e os indicadores de vazão foram inicialmente apropriados assumindo-se um período comum de 30 (trinta) anos para o conjunto de estações em operação na área de estudo, com início no ano de 1984 e fim no ano 2014. Numa segunda etapa do trabalho, buscando-se avaliar a influência da extensão das séries históricas, as vazões de referência e indicadores de vazão foram estimados considerando-se a integralidade da série de vazões de cada estação fluviométrica.



## 5.2. Avaliação de vazões de referência

Segundo a portaria nº 48 do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam), editada em 04 de outubro de 2019, a vazão de referência para o cálculo da liberação de outorgas para captação em cursos d'água de domínio do estado de Minas Gerais é a vazão  $Q_{7,10}$ . Em função desta condição, a vazão  $Q_{7,10}$  foi a primeira vazão mínima de referência escolhida para a condução do presente trabalho. As vazões mínimas com permanências de 90% e 95% ( $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , respectivamente), por constituírem as vazões que regulam a outorga pelo uso da água na maior parte dos estados brasileiros, também foram consideradas para a apropriação dos indicadores regionais de vazão objetos do presente trabalho.

Para a apropriação de indicadores regionais de vazão associados às condições médias de escoamento foram selecionadas a vazão média de longo período ( $Q_{med}$ ) e a vazão com permanência de 50% ( $Q_{50}$ ).

A descrição do comportamento das vazões máximas é relevante para o dimensionamento de infraestruturas urbanas como pontes, redes de drenagem, definição de áreas de alagamentos. Para a apropriação de indicadores regionais de vazão associados às vazões máximas foram selecionadas as vazões máximas diárias com períodos de retorno de 2 (dois) e 100 (cem) anos, respectivamente.

Todas as vazões utilizadas para a apropriação dos indicadores regionais de vazão foram estimadas com auxílio do SisCAH.

Para a apropriação das vazões  $Q_{50}$ ,  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  foram construídas as curvas de permanência de vazões das estações fluviométricas considerando a divisão das séries históricas em 50 intervalos de classe. A definição dos intervalos de classe ocorreu com base na escala logarítmica em função da expressiva variação de magnitude das vazões, conforme procedimento estabelecido no SisCAH.

Para avaliação da vazão  $Q_{7,10}$  foram empregadas as distribuições de probabilidade de Weibull, Log-Normal tipo II, Log-Normal tipo III, Pearson tipo III e Log-Pearson tipo III. A avaliação das vazões máximas associadas aos períodos de retorno de 2 (dois) e 100 (cem), por sua vez, envolveu as distribuições de probabilidade de Gumbel, Log-Normal tipo II, Log-Normal tipo III, Pearson tipo III e Log-Pearson tipo III. Todas as distribuições de probabilidade empregadas para

avaliações das vazões máximas e mínimas de referências são detalhadamente apresentadas por Kite (1988).

A seleção da distribuição de probabilidade empregada para a avaliação das vazões máximas e mínimas ocorreu em função da análise do erro padrão de estimativa, assumindo-se aquela distribuição que não foi rejeitada em nenhuma das estações fluviométricas analisadas e que apresentou o menor erro padrão de estimativa na maior parte das estações analisadas.

Após a apropriação das vazões de referência (mínimas, médias e máximas), foram estabelecidos indicadores regionais e funções regionais definidas com auxílio do método tradicional de regionalização.

### 5.3. Método tradicional de regionalização de vazões de referência

Foram estabelecidas, por meio de análise de regressão, funções regionais para as diferentes vazões de referência. As funções produzidas foram potenciais (equação (1)) e a área foi a variável independente utilizada para a conformação de todas as funções regionais.

Lall e Olds (1987), Baena (2002), Mwakalia (2003) e Bárdossy (2007) sugerem que a área de drenagem constitui uma das variáveis físicas com maior relevância para a condução dos estudos de regionalização hidrológica.

$$Q_R = a.A^b \quad (1)$$

Na equação (1),  $Q_R$  representas as vazões mínimas, médias e máximas objetos da análise regional,  $A$  representa a área de drenagem e  $a$  e  $b$  os coeficientes apropriados por meio da análise de regressão.

Os coeficientes de correlação associados às análises de regressão e os erros percentuais entre vazões apropriadas a partir dos registros fluviométricos e vazões estimadas com auxílio das funções regionais constituíram parâmetros utilizados para avaliação das respostas das funções regionais produzidas.

Ainda que outras variáveis fisiográficas e climatológicas possam ser empregadas como variáveis independentes para a definição das funções regionais, optou-se pelo emprego exclusivo da área por constituir a única variável fisiográfica

utilizada para a definição dos indicadores regionais de vazão, conforme apresentado na seção subsequente.

Todas as análises de regressão necessárias à definição das funções regionais aplicáveis foram conduzidas com o auxílio da planilha eletrônica Microsoft Excel.

## 5.4. Apropriação dos indicadores regionais de vazão

### 5.4.1. Indicador de Vazão Média - Vazão Específica

Para Tucci (2002), a vazão específica usualmente apresenta resultados estáveis e é calculado por meio da relação entre a vazão média de longo período e a área de drenagem. Desta forma, para regiões onde o grupo de estações selecionadas apresentam áreas de drenagem com pouca variação de tamanho, este indicador deverá apresentar baixa variação, ou seja, apresentará um valor aproximadamente constante. O oposto desta condição também é válido, uma vez que grupos de estações com grande variação da área de drenagem entre si pode resultar em um indicador não linear, prejudicando a estabilidade do resultado. A equação (2) representa a forma com que o indicador para a vazão específica é calculado.

$$q = \frac{Q_m}{A} \quad (2)$$

Na equação (2)  $q$  representa a vazão específica,  $Q_m$  é a vazão média de longo período em L/s e  $A$  é a área de drenagem em km<sup>2</sup>.

### 5.4.2 Indicadores obtidos através da curva de permanência

Três indicadores de vazão foram estabelecidos a partir das curvas de permanência de vazões das estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Manhuaçu. Os indicadores  $R_{cp95}$  (equação 3) e o  $R_{cp90}$  (equação 4) estão associadas

à condição de estiagem dos cursos d'água. O  $R_{cp50}$  (equação 5), por sua vez, está relacionado com as condições médias de vazão.

$$R_{cp95} = \frac{Q_{95}}{Q_m} \quad (3)$$

$$R_{cp90} = \frac{Q_{90}}{Q_m} \quad (4)$$

$$R_{cp50} = \frac{Q_{50}}{Q_m} \quad (5)$$

Nas três últimas equações  $Q_{50}$ ,  $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$  representam as vazões com permanências de 50%, 90% e 95%, respectivamente.  $Q_m$ , por sua vez, a vazão média de longo período. Como os indicadores estabelecidos pelas equações 3, 4 e 5 são definidos pela relação entre vazões, não é relevante a unidade de medida utilizada, desde que as duas vazões de cada indicador apresentem uma unidade em comum, de tal modo que o indicador seja adimensional.

#### 5.4.3 Indicadores de vazões mínimas

Para as vazões mínimas, foram calculados dois indicadores: o  $r_{7,10}$  (equação 6) e o  $r_m$  (equação 7). O primeiro indicador possibilita a apropriação da vazão mínima  $Q_{7,10}$  (vazão média mínima de 7 dias consecutivos com período de retorno de 10 anos); já o segundo estabelece uma relação entre a  $Q_{95}$  e a  $Q_{7,10}$ , vazões comumente são utilizadas por órgãos ambientais para a definição de processos de outorgas.

$$r_{7,10} = \frac{Q_{7,10}}{Q_m} \quad (6)$$

$$r_m = \frac{Q_{95}}{Q_{7,10}} \quad (7)$$

#### 5.4.4 Indicadores de vazões máximas

As vazões máximas com períodos de retorno de 2 anos e 100 anos permitiram a definição dos indicadores de vazões máximas. O indicador  $r_2$  (equação 8) relaciona a vazão máxima com período de 2 anos ( $Q_{2\text{anos}}$ ) com a vazão média de longo período ( $Q_m$ ). O indicador  $r_{100}$ , por sua vez, (equação 8) associa a vazão máxima com período de 100 anos ( $Q_{100\text{anos}}$ ) com a vazão média de longo período ( $Q_m$ ).

$$r_2 = \frac{Q_{2\text{anos}}}{Q_m} \quad (8)$$

$$r_{100} = \frac{Q_{100\text{anos}}}{Q_m} \quad (9)$$

Também para os indicadores de vazões máximas, estabelecidos por relações entre vazões, não é relevante a unidade de medida utilizada desde que se garanta relação adimensional.

Para avaliação das respostas dos indicadores regionais de vazão foram utilizados os erros percentuais entre vazões apropriadas a partir dos registros fluviométricos e vazões estimadas com auxílio dos indicadores regionais de vazão (equação 9) e coeficiente de variação (equação 10).

$$\text{erro}(\%) = \frac{(Q_{\text{estimada}} - Q_{\text{real}})}{Q_{\text{real}}} \cdot 100 \quad (10)$$

$$CV = \frac{S}{r_i} \quad (11)$$

Nas equações (10) e (11),  $Q_{\text{estimada}}$  representa o valor da vazão de referência obtido a partir dos indicadores regionais de vazão,  $Q_{\text{real}}$  a vazão estimada a partir dos

registros de vazão das estações fluviométricas, CV o coeficiente de variação expresso em porcentagem, S representa o desvio padrão dos indicadores e  $r_i$  o valor médio de cada indicador obtido para a bacia hidrográfica do rio Manhuaçu.

### 5.5. Avaliação da influência da extensão da série histórica de vazões

Com o intuito de se verificar a influência da extensão da série histórica sobre os valores dos indicadores regionais de vazão, as vazões de referência (mínimas, médias e máximas) foram novamente estimadas empregando-se todo o conjunto de vazões disponíveis para cada estação fluviométrica, observando-se as séries históricas indicadas na Tabela 2. Após a apropriação das vazões de referência, novos indicadores foram apropriados e seus desempenhos avaliados conforme procedimento estabelecido na seção precedente.

**Tabela 2.** Tamanho para série histórica Heterogênea.

<b>Estação</b>	<b>Tamanho da Série</b>
Fazenda Vargem Alegre	30 anos
São Sebastião da Encruzilhada	75 anos
Assarai Montante	37 anos
Mutum	40 anos
Ipanema	75 anos
Dores de Manhumirim	75 anos
Santo Antônio do Manhuaçu	48 anos

## 6. Resultados e Discussão

### 6.1. Vazões de referência

Após a apropriação das séries históricas de vazões a partir do portal Hidroweb, as vazões de referência foram estimadas com auxílio do SisCAH. Nos itens de 6.1.1 a 6.1.4 são sumarizadas as vazões de referência estimadas para cada uma das estações fluviométricas quando assumido período comum de observação de 30 anos, estabelecido entre os anos de 1984 e 2014.

#### 6.1.1. Vazões associadas às curvas de Permanência

As figuras de 5 a 11 apresentam as curvas de permanência produzidas para as estações fluviométricas do rio Manhuaçu com auxílio do software SisCAH. A Tabela 3, por sua vez, apresenta os valores de vazão extraídos das referidas curvas, consideradas as permanências compreendidas entre 50% ( $Q_{50}$ ) e 95% ( $Q_{95}$ ).

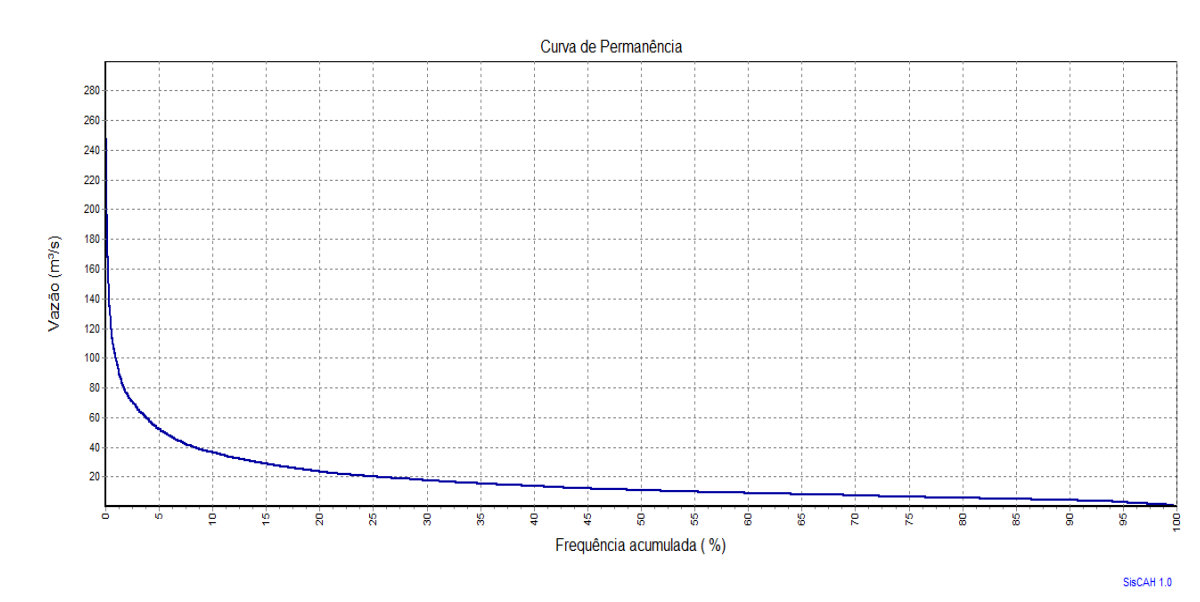


Figura 5: Curva de Permanência da estação Fazenda Vargem Alta.

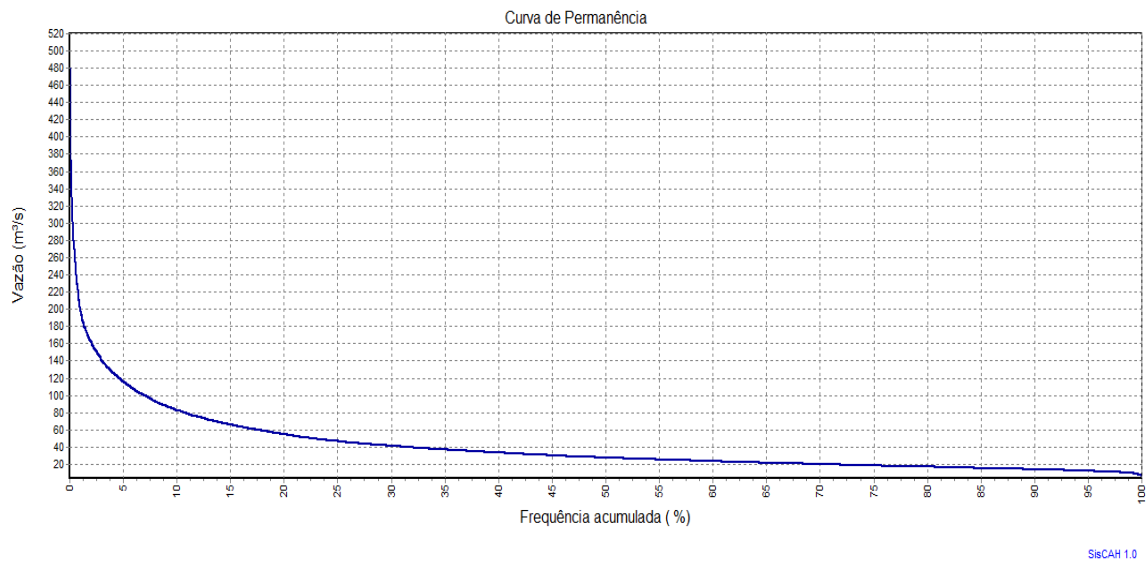


Figura 6: Curva de Permanência da estação Santo Antônio do Manhuaçu.

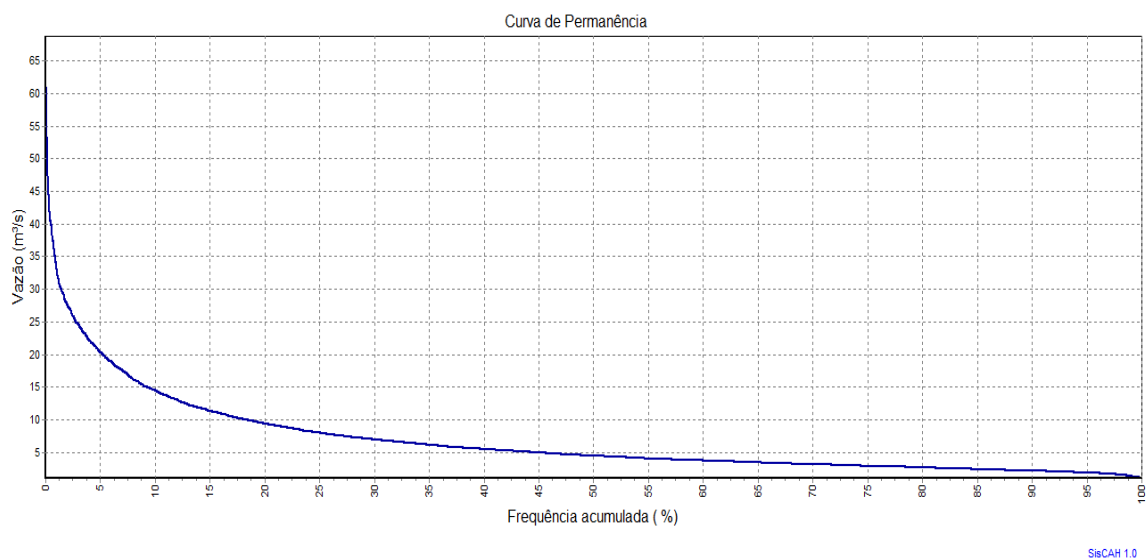


Figura 7: Curva de Permanência da estação Dores de Manhumirim.



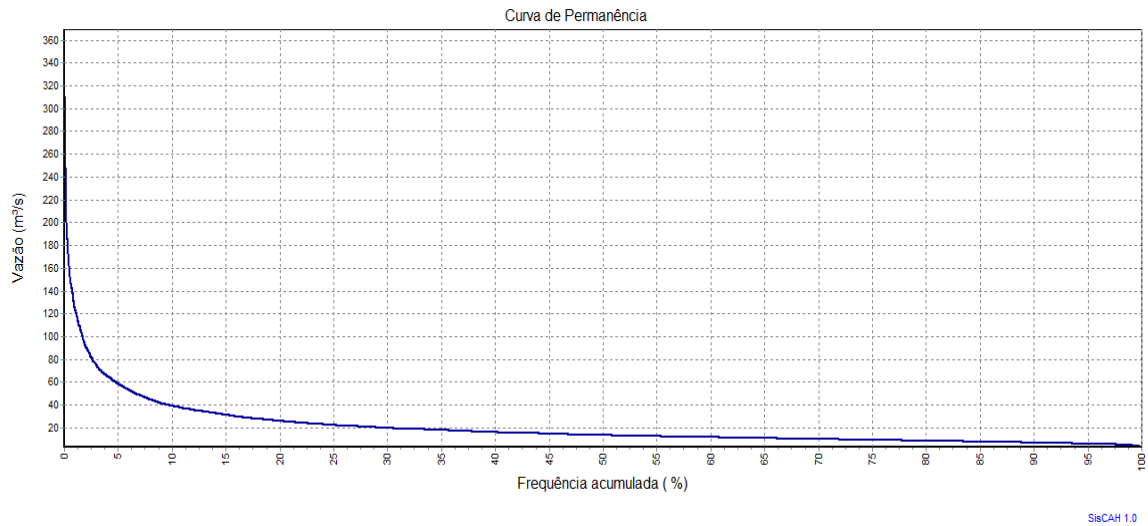


Figura 8: Curva de Permanência da estação Ipanema.

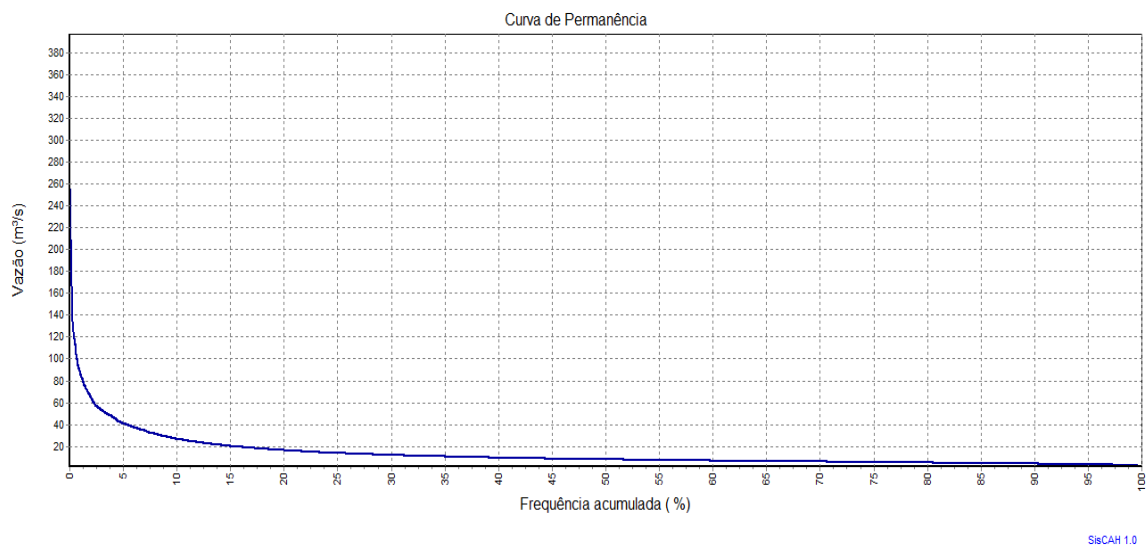


Figura 9: Curva de Permanência da estação Mutum.

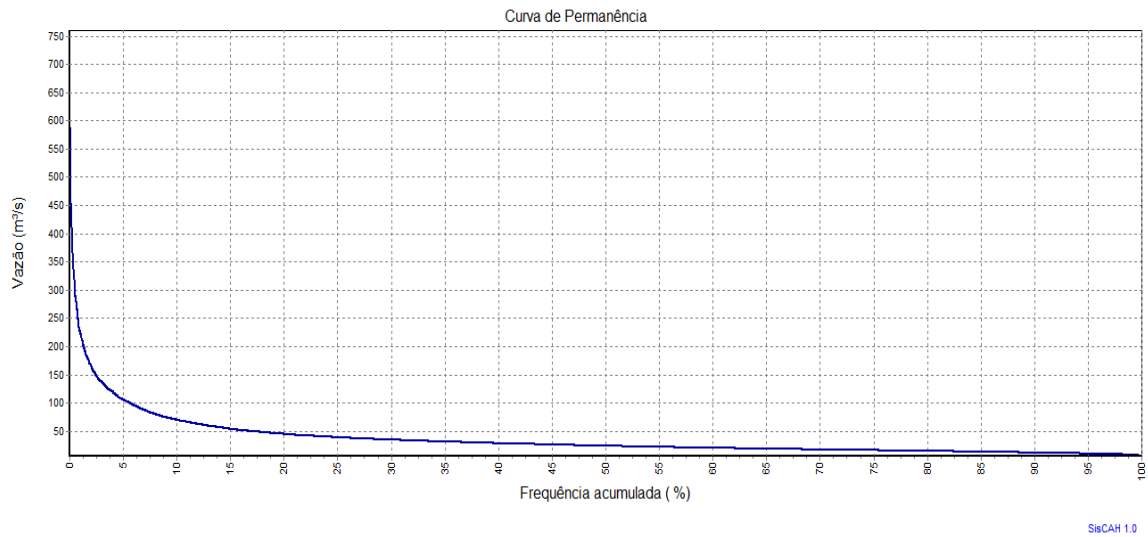


Figura 10: Curva de Permanência da estação Assarai Montante.

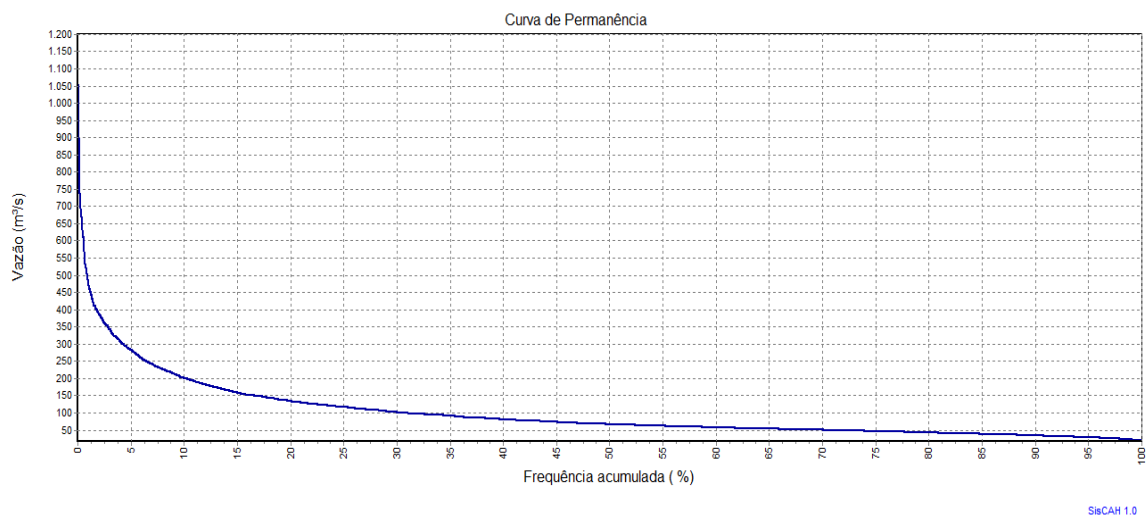


Figura 11: Curva de Permanência da estação São Sebastião da Encruzilhada.

**Tabela 3.** Vazões (m<sup>3</sup>/s) extraídas das curvas de permanência para as estações fluviométricas da bacia do rio Manhuaçu.

Permanência (%)	Estações						
	Fazenda Vargem Alegre	São Sebastião da Encruzilhada	Assaraí Montante	Mutum	Ipanema	Dores de Manhumirim	Santo Antônio do Manhuaçu
Q <sub>95</sub>	2,93	28,94	10,35	3,44	5,97	1,86	12,21
Q <sub>90</sub>	4,25	33,81	12,01	4,09	6,88	2,16	14,16
Q <sub>85</sub>	5,04	38,43	13,49	4,59	7,67	2,39	15,55
Q <sub>80</sub>	5,78	42,54	14,78	5,04	8,53	2,66	17,08
Q <sub>75</sub>	6,55	46,19	16,20	5,46	9,30	2,90	18,39
Q <sub>70</sub>	7,43	49,84	17,52	5,92	10,08	3,15	20,14
Q <sub>65</sub>	8,35	53,66	18,84	6,38	10,83	3,41	21,77
Q <sub>60</sub>	9,14	57,55	20,41	6,82	11,57	3,70	23,52
Q <sub>55</sub>	10,05	62,09	22,12	7,40	12,45	4,06	25,55
Q <sub>50</sub>	11,08	67,00	23,87	8,06	13,84	4,44	27,76

### 6.1.2. Vazões médias de longo período, máximas e mínimas

A Tabela 4 sumariza as vazões médias de longo período, as vazões máximas com o período de retorno de 2 e 100 anos e a vazões mínimas Q<sub>7,10</sub>, estimadas com auxílio do software SisCAH para as estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Manhuaçu, consideradas as séries históricas compreendidas entre os anos de 1984 e 2014.

É relevante observar que para a apropriação das vazões mínimas Q<sub>7,10</sub> foi empregada a distribuição de probabilidade Log-Pearson tipo III. Já para apropriação das vazões máximas associadas aos períodos de retorno de 2 e 100 anos foi utilizada

a distribuição de probabilidade Log-Normal tipo II. Conforme estabelecido na seção 5.2 (“Avaliação de vazões de referência”), as referidas distribuições de probabilidade foram aquelas que apresentaram os menores valores para o erro padrão de estimativa.

**Tabela 4.** Vazões de referências para os sete postos fluviométricos.

Postos fluviométricos	Vazões de referência em (m³/s)			
	Q <sub>m</sub>	Q <sub>2anos</sub>	Q <sub>100anos</sub>	Q <sub>7,10</sub>
Fazenda Vargem Alegre	17,26	118,29	327,91	1,70
São Sebastião da Encruzilhada	99,52	585,92	1390,04	19,98
Assaraí Montante	36,68	297,25	986,05	7,55
Mutum	13,37	127,47	453,37	2,4
Ipanema	20,57	173,19	461,43	4,41
Dores de Manhumirim	6,80	45,62	80,42	1,30
Santo Antônio do Manhuaçu	40,96	248,16	628,10	8,64

## 6.2. Funções regionais para apropriação das vazões de referência

Com o auxílio da planilha eletrônica Microsoft Excel foram geradas as equações potenciais (equações de 12 a 18) que correlacionam os valores das áreas de drenagem com as diferentes vazões de referência objetos de avaliação.

$$Q_{med} = 0,0362 \times A^{0,873}, R^2 = 0,97 \quad (12)$$

$$Q_{95} = 0,0058 \times A^{0,9394}, R^2 = 0,93 \quad (13)$$

$$Q_{90} = 0,008 \times A^{0,9213}, R^2 = 0,95 \quad (14)$$

$$Q_{50} = 0,0208 \times A^{0,8897}, R^2 = 0,95 \quad (15)$$

$$Q_{7,10} = 0,0036 \times A^{0,9528}, R^2 = 0,91 \quad (16)$$

$$Q_{2anos} = 0,395 \times A^{0,8183}, R^2 = 0,98 \quad (17)$$

$$Q_{100anos} = 0,6069 \times A^{0,8916}, R^2 = 0,91 \quad (18)$$

Nas equações de 12 a 18, a área de drenagem A deve ser fornecida em Km<sup>2</sup> e as vazões de referência são calculadas em m<sup>3</sup>/s. As referidas equações, produzidas a partir de análises de regressão, apresentaram coeficientes de correlação (R<sup>2</sup>) variando entre 0,91 e 0,98, valores considerados muito bons quando da condução de análise regional de vazões, conforme sugerem ELETROBRÁS (1985), Tucci (2000), Piol (2017) e Silva et al. (2003).

A Tabela 5 reúne os valores estimados para as diferentes vazões de referência com auxílio das funções regionais (equações de 12 a 18) nas estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Manhuaçu.

**Tabela 5.** Vazões de referência obtidas através da regionalização tradicional.

<b>Estações</b>	<b>Vazões de Referência (m<sup>3</sup>/s)</b>						
	<b>Q<sub>med</sub></b>	<b>Q<sub>95</sub></b>	<b>Q<sub>90</sub></b>	<b>Q<sub>50</sub></b>	<b>Q<sub>7,10</sub></b>	<b>Q<sub>2anos</sub></b>	<b>Q<sub>100anos</sub></b>
Fazenda Vargem Alegre	15,97	4,07	4,94	10,31	2,77	119,00	304,87
São Sebastião da Encruzilhada	99,72	29,18	34,16	66,67	20,46	662,40	1979,16
Assaraí Montante	41,45	11,35	13,52	27,25	7,85	290,90	807,42
Mutum	17,40	4,46	5,41	11,25	3,04	128,92	332,67
Ipanema	20,32	5,27	6,37	13,18	3,60	149,14	389,19
Dores do Manhumirim	6,53	1,55	1,92	4,14	1,04	51,45	122,27
Santo Antônio do Manhuaçu	31,74	8,52	10,21	20,76	5,86	226,54	614,84

Em seção subsequente, as vazões de referência estimadas com auxílio das funções regionais serão comparadas com aquelas estimadas a partir das séries histórica de vazões e estimadas com auxílio dos indicadores regionais de vazão.

### 6.3. Indicadores regionais de vazão

Para cada uma das vazões de referência definidas para o presente estudo foi calculado um indicador regional, conforme procedimentos apresentados no capítulo reservado para a Metodologia. Os valores dos indicadores estimados por estação fluviométrica, assim como sua média e coeficiente de variação estimados para a área de estudo, encontram-se apresentados na Tabela 6. Relevante observar que os valores médios dos indicadores definem o indicador regional para a bacia hidrográfica do rio Manhuaçu.

**Tabela 6.** Indicadores regionais de vazão para a bacia hidrográfica do rio Manhuaçu.

Estações	Indicadores							
	q (L/s.Km <sup>2</sup> )	Rcp <sub>95</sub>	Rcp <sub>90</sub>	Rcp <sub>50</sub>	r <sub>7,10</sub>	r <sub>m</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>100</sub>
Fazenda Vargem Alegre	16,13	0,17	0,25	0,64	0,10	1,72	6,85	2,77
São Sebastião da Encruzilhada	11,41	0,29	0,34	0,67	0,20	1,45	5,89	2,37
Assaraí Montante	11,50	0,28	0,33	0,65	0,21	1,37	8,10	3,32
Mutum	11,33	0,26	0,31	0,60	0,18	1,39	9,53	3,56
Ipanema	14,59	0,29	0,33	0,66	0,12	1,35	8,42	2,66
Dores do Manhumirim	17,71	0,27	0,32	0,65	0,19	1,43	6,71	1,76
Santo Antônio do Manhuaçu	17,43	0,30	0,35	0,68	0,21	1,41	6,06	2,53
<b>Média</b>	<b>14,30</b>	<b>0,27</b>	<b>0,32</b>	<b>0,65</b>	<b>0,19</b>	<b>1,45</b>	<b>7,37</b>	<b>2,71</b>
<b>Coeficiente de variação (%)</b>	<b>20</b>	<b>17</b>	<b>11</b>	<b>4</b>	<b>22</b>	<b>9</b>	<b>18</b>	<b>22</b>

Os coeficientes de variação apropriados para a bacia hidrográfica do rio Manhuaçu oscilaram entre 4% (Rcp<sub>50</sub>) e 22% (r<sub>7,10</sub> e r<sub>100</sub>). Esta faixa de variação de valores é consideravelmente menor que aquela apresentada por Reis et al. (2008) que, quando da apropriação do mesmo conjunto de indicadores, apresentaram coeficientes de variação entre 6% e 52%. Assim como em Reis et al. (2008), os menores coeficientes de variação foram associados aos indicadores Rcp<sub>50</sub> e r<sub>m</sub>. Adicionalmente, é relevante registrar que coeficiente de variação apropriado para vazão específica (20%) foi similar àquele obtido (22%) pelos referidos autores.

A partir dos indicadores regionais de vazão (valores médios apresentados na Tabela 6), as vazões de referência foram estimadas para diferentes estações fluviométricas instaladas e em operação na bacia hidrográfica do rio Manhuaçu. As vazões estimadas nesta etapa do trabalho estão reunidas na Tabela 7 e, em seção subsequente, serão confrontadas com aquelas apropriadas nas estações a partir das séries históricas de vazões.

**Tabela 7.** Vazões de referência obtidas por meio dos indicadores regionais de vazão.

Estações	Vazões de Referência (m <sup>3</sup> /s)						
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>95</sub>	Q <sub>90</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>7,10</sub>	Q <sub>2anos</sub>	Q <sub>100anos</sub>
Fazenda Vargem Alegre	15,30	4,07	4,85	9,96	2,86	112,71	305,56
São Sebastião da Encruzilhada	124,70	33,17	39,49	81,14	23,27	918,57	2490,19
Assaraí Montante	45,62	12,13	14,45	29,68	8,51	336,04	910,98
Mutum	16,87	4,49	5,34	10,98	3,15	124,30	336,98
Ipanema	20,16	5,36	6,39	13,12	3,76	148,53	402,66
Dores do Manhumirim	5,49	1,46	1,74	3,57	1,02	40,45	109,66
Santo Antônio do Manhuaçu	33,60	8,94	10,64	21,87	6,27	247,55	671,10

Em seção subsequente, as vazões de referência estimadas com auxílio dos indicadores regionais de vazão serão comparadas com aquelas estimadas a partir das séries históricas de vazões e estimadas com auxílio das funções regionais.

#### 6.4. Influência da extensão da série histórica de vazões

Com o intuito de se verificar a relevância de apropriação de indicadores regionais de vazão a partir de séries históricas de mesma extensão (simplicadamente indicadas como homogêneas, a partir deste ponto do texto), repetiu-se a apropriação dos indicadores assumindo-se a integralidade das séries históricas disponíveis (indicadas como heterogêneas, a partir deste ponto do texto). Esta perspectiva permite o aproveitamento do máximo de dados disponíveis em cada estação, ainda que isso signifique a existência de séries com inícios e fins descontraçados entre as estações selecionadas.

A Tabela 8 apresenta os indicadores regionais de vazão estimados para a bacia hidrográfica do rio Manhuaçu a partir das séries históricas com diferentes extensões.



**Tabela 8.** Indicadores regionais de vazão para a bacia hidrográfica do rio Manhuaçu estimados a partir das séries históricas heterogêneas.

Estações	Indicadores							
	q (L/s.Km <sup>2</sup> )	Rcp <sub>95</sub>	Rcp <sub>90</sub>	Rcp <sub>50</sub>	r <sub>7,10</sub>	r <sub>m</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>100</sub>
Fazenda Vargem Alegre	16,13	0,17	0,25	0,64	0,10	1,72	6,85	2,77
São Sebastião da Encruzilhada	11,51	0,28	0,35	0,71	0,19	1,51	5,32	2,47
Assaraí Montante	12,11	0,28	0,33	0,65	0,20	1,40	7,64	3,19
Mutum	11,56	0,26	0,31	0,63	0,18	1,38	8,89	3,49
Ipanema	14,75	0,31	0,35	0,69	0,23	1,34	6,95	2,88
Dores do Manhumirim	17,73	0,26	0,31	0,67	0,19	1,39	6,19	1,86
Santo Antônio do Manhuaçu	17,16	0,31	0,35	0,69	0,23	1,34	5,64	2,53
<b>Média</b>	<b>14,42</b>	<b>0,27</b>	<b>0,32</b>	<b>0,67</b>	<b>0,19</b>	<b>1,44</b>	<b>6,78</b>	<b>2,74</b>
<b>Coeficiente de variação (%)</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>23</b>	<b>10</b>	<b>18</b>	<b>19</b>

Com o emprego das séries heterogêneas, os indicadores regionais q, Rcp<sub>50</sub>, r<sub>2</sub> e r<sub>100</sub> apresentaram coeficientes de variação iguais ou menores aqueles estimados com auxílio das séries históricas homogêneas; condição inversa foi observada para os indicadores Rcp<sub>95</sub>, Rcp<sub>90</sub>, r<sub>7,10</sub> e r<sub>m</sub>. É relevante observar que as variações, em ambas as situações, foram pequenas, não superando 3%.

Na sequência, as vazões de referência foram recalculadas considerando-se o novo conjunto de indicadores regionais. Os resultados desta etapa do trabalho estão reunidos na Tabela 9.

**Tabela 9.** Vazões de referência obtidas por meio dos indicadores regionais de vazão apropriados a partir de séries históricas heterogêneas.

Estações	Vazões de Referência (m³/s)						
	Q <sub>med</sub>	Q <sub>95</sub>	Q <sub>90</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>7,10</sub>	Q <sub>2anos</sub>	Q <sub>100anos</sub>
Fazenda Vargem Alegre	15,43	4,10	4,95	10,34	2,90	104,69	287,06
São Sebastião da Encruzilhada	125,75	33,44	40,37	84,25	23,64	853,18	2339,40
Assaraí Montante	46,00	12,23	14,77	30,82	8,65	312,11	855,81
Mutum	17,02	4,53	5,46	11,40	3,20	115,45	316,57
Ipanema	20,33	5,41	6,53	13,62	3,82	137,96	378,27
Dores do Manhumirim	5,54	1,47	1,78	3,71	1,04	37,57	103,02
Santo Antônio do Manhuaçu	33,89	9,01	10,88	22,71	6,37	229,93	630,46

Na seção subsequente, as vazões de referência estimadas com auxílio dos indicadores regionais de vazão reunidos na Tabela 8 serão comparadas com aquelas estimadas a partir das séries histórica de vazões, estimadas com auxílio das funções regionais e apropriadas com os indicadores decorrentes das séries históricas homogêneas.

### 6.5. Confrontação de valores de vazões de referência apropriadas

As tabelas de 10 a 16 reúnem, por vazão de referência, os valores de vazões estimadas a partir das diferentes abordagens. São apresentadas as vazões estimadas a partir dos registros fluviométricos (simplicadamente indicadas nas referidas tabelas como “Real”), as vazões estimadas com auxílio das funções regionais (simplicadamente “Função regional”) e as vazões estimadas por meio dos indicadores regionais estabelecidos a partir de séries históricas de mesma extensão (séries homogêneas) ou de séries históricas diferentes extensões (séries heterogêneas).

**Tabela 10.** Valores reais e calculados estimados para a vazão Qm.

<b>Estação</b>	<b>Real (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Função regional (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Indicador série homogênea (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Indicador série heterogênea (m<sup>3</sup>/s)</b>
Fazenda Vargem Alegre	17,26	15,97	15,30	15,43
São Sebastião da Encruzilhada	99,52	99,72	124,70	125,75
Assaraí Montante	36,68	41,45	45,62	46,00
Mutum	13,37	17,40	16,87	17,02
Ipanema	20,57	20,32	20,16	20,33
Dores do Manhumirim	6,80	6,53	5,49	5,54
Santo Antônio do Manhuaçu	40,96	31,74	33,60	33,89

**Tabela 11.** Valores reais e calculados estimados para a vazão Q<sub>95</sub>.

<b>Estação</b>	<b>Real (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Função regional (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Indicador série homogênea (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Indicador série heterogênea (m<sup>3</sup>/s)</b>
Fazenda Vargem Alegre	2,93	4,07	4,07	4,10
São Sebastião da Encruzilhada	28,94	29,18	33,17	33,44
Assaraí Montante	10,35	11,35	12,13	12,23
Mutum	3,44	4,46	4,49	4,53
Ipanema	5,97	5,27	5,36	5,41
Dores do Manhumirim	1,86	1,55	1,46	1,47
Santo Antônio do Manhuaçu	12,21	8,52	8,94	9,01

**Tabela 12.** Valores reais e calculados estimados para a vazão Q<sub>90</sub>.

<b>Estação</b>	<b>Real (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Função regional (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Indicador série homogênea (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Indicador série heterogênea (m<sup>3</sup>/s)</b>
Fazenda Vargem Alegre	4,25	4,94	4,85	4,95
São Sebastião da Encruzilhada	33,81	34,16	39,49	40,37
Assaraí Montante	12,01	13,52	14,45	14,77
Mutum	4,09	5,41	5,34	5,46
Ipanema	6,88	6,37	6,39	6,53
Dores do Manhumirim	2,16	1,92	1,74	1,78
Santo Antônio do Manhuaçu	14,16	10,21	10,64	10,88

**Tabela 13.** Valores reais e calculados estimados para a vazão Q<sub>50</sub>.

<b>Estação</b>	<b>Real (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Função regional (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Indicador série homogênea (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Indicador série heterogênea (m<sup>3</sup>/s)</b>
Fazenda Vargem Alegre	11,08	10,31	9,96	10,34
São Sebastião da Encruzilhada	67,00	66,67	81,14	84,25
Assaraí Montante	23,87	27,25	29,68	30,82
Mutum	8,06	11,25	10,98	11,40
Ipanema	13,48	13,18	13,12	13,62
Dores do Manhumirim	4,44	4,14	3,57	3,71
Santo Antônio do Manhuaçu	27,76	20,76	21,87	22,71

**Tabela 14.** Valores reais e calculados estimados para a vazão Q7,10.

<b>Estação</b>	<b>Real (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Função regional (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Indicador série homogênea (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Indicador série heterogênea (m<sup>3</sup>/s)</b>
Fazenda Vargem Alegre	1,7	2,77	2,86	2,90
São Sebastião da Encruzilhada	19,98	20,46	23,27	23,64
Assaraí Montante	7,55	7,85	8,51	8,65
Mutum	2,47	3,04	3,15	3,20
Ipanema	4,41	3,60	3,76	3,82
Dores do Manhumirim	1,3	1,04	1,02	1,04
Santo Antônio do Manhuaçu	8,64	5,86	6,27	6,37

**Tabela 15.** Valores reais e calculados estimados para a vazão máxima com período de retorno de 2 anos (Q2anos).

<b>Estação</b>	<b>Real (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Função regional (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Indicador série homogênea (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Indicador série heterogênea (m<sup>3</sup>/s)</b>
Fazenda Vargem Alegre	118,29	119,00	112,71	104,69
São Sebastião da Encruzilhada	585,92	662,40	918,57	853,18
Assaraí Montante	297,25	290,90	336,04	312,11
Mutum	127,47	128,92	124,30	115,45
Ipanema	173,19	149,14	148,53	137,96
Dores do Manhumirim	45,62	51,45	40,45	37,57
Santo Antônio do Manhuaçu	248,16	226,54	247,55	229,93

**Tabela 16.** Valores reais e calculados estimados para a vazão máxima com período de retorno de 100 anos (Q100anos).

Estação	Real (m <sup>3</sup> /s)	Função regional (m <sup>3</sup> /s)	Indicador série homogênea (m <sup>3</sup> /s)	Indicador série heterogênea (m <sup>3</sup> /s)
Fazenda Vargem Alegre	327,91	304,87	305,56	294,60
São Sebastião da Encruzilhada	1390,04	1979,16	2490,19	2400,86
Assaraí Montante	986,05	807,42	910,98	878,30
Mutum	453,37	332,67	336,98	324,89
Ipanema	461,43	389,91	402,66	388,21
Dores do Manhumirim	80,42	122,27	109,66	105,73
Santo Antônio do Manhuaçu	628,10	614,84	671,10	647,02

As figuras de 12 a 18 representam graficamente as diferentes vazões de referência apropriadas a partir das diferentes abordagens empregadas no presente trabalho.

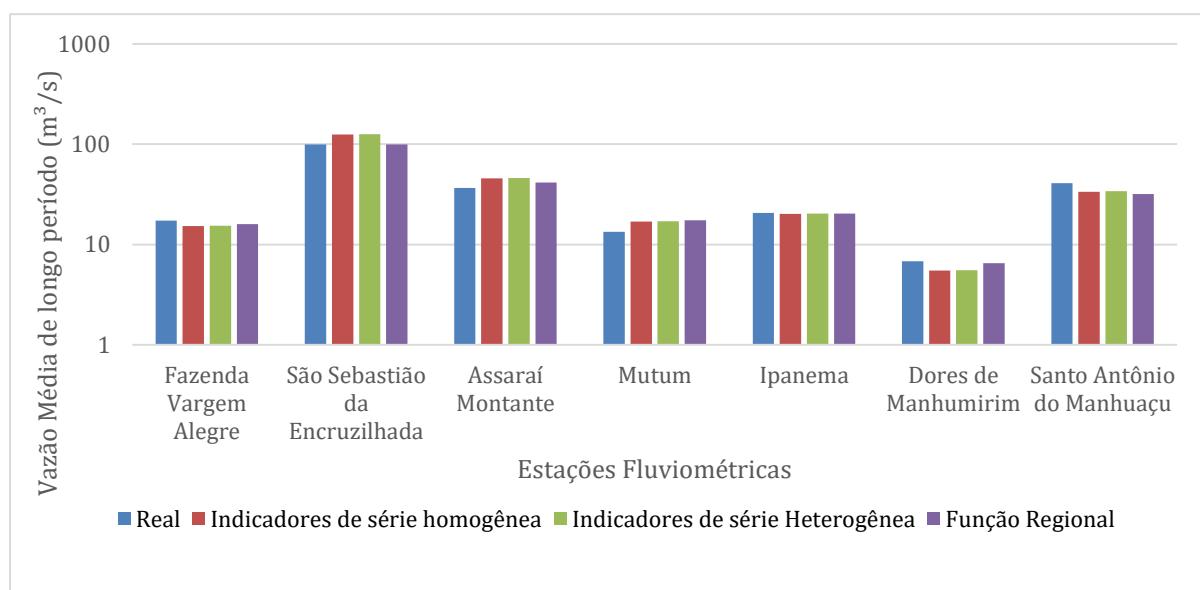


Figura 12: Vazões médias de longo período (reais e estimadas) para as estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Manhuaçu.

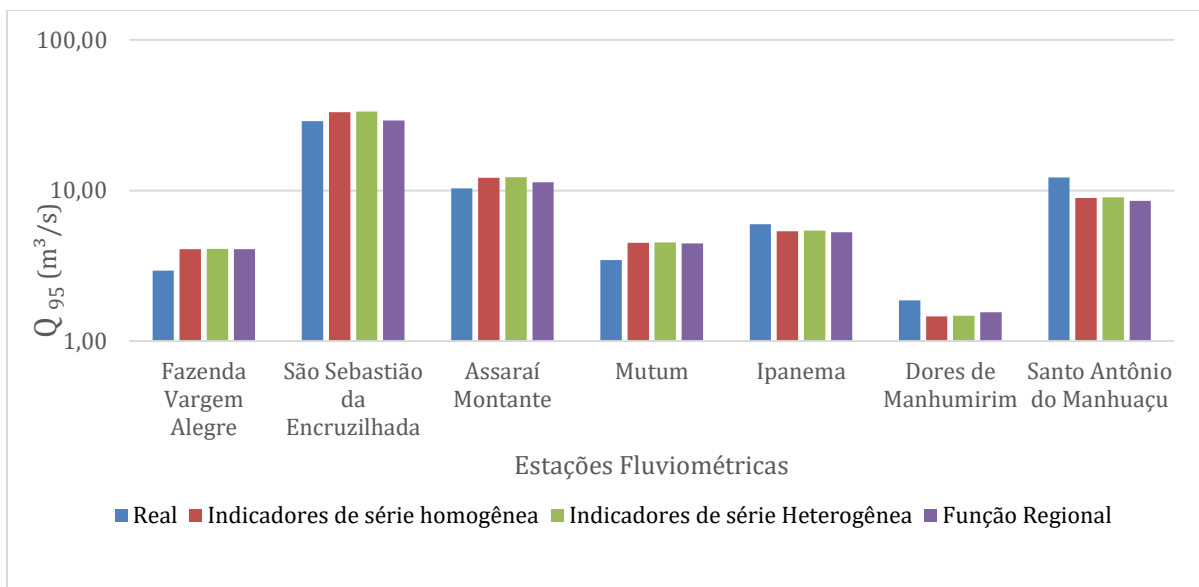


Figura 13: Vazões Q<sub>95</sub> (reais e estimadas) para as estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Manhuaçu.

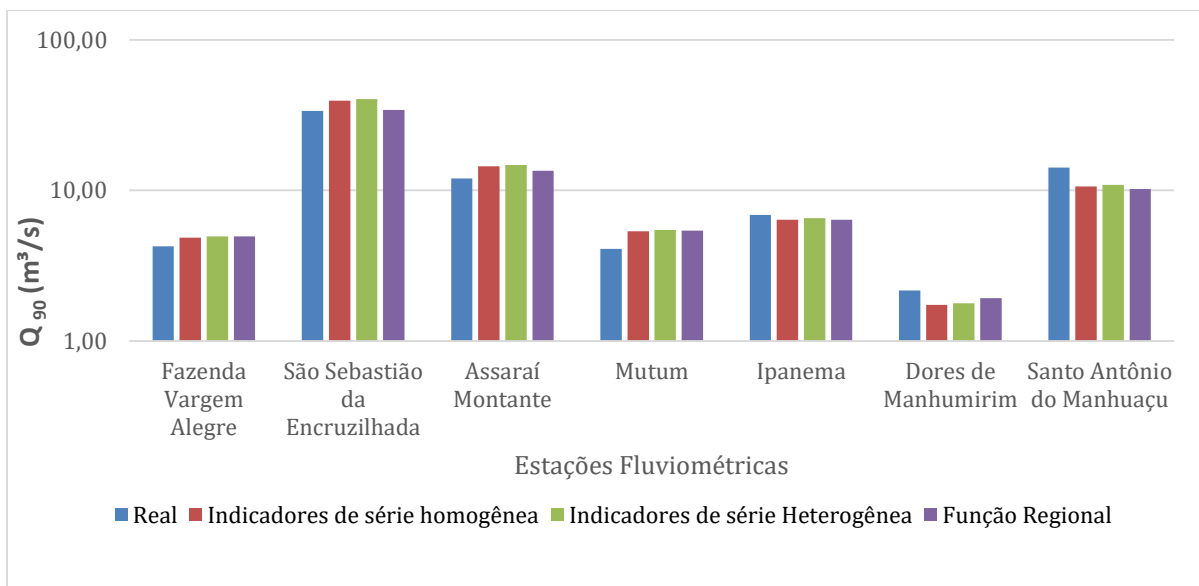


Figura 14: Vazões Q<sub>90</sub> (reais e estimadas) para as estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Manhuaçu.

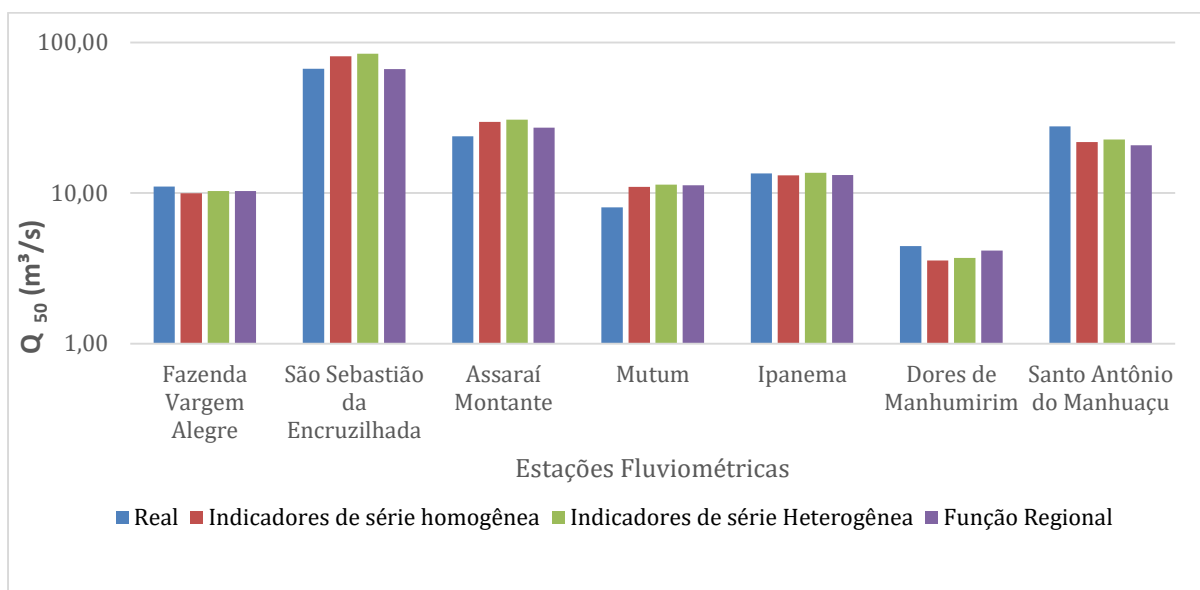


Figura 15: Vazões Q<sub>50</sub> (reais e estimadas) para as estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Manhuaçu.

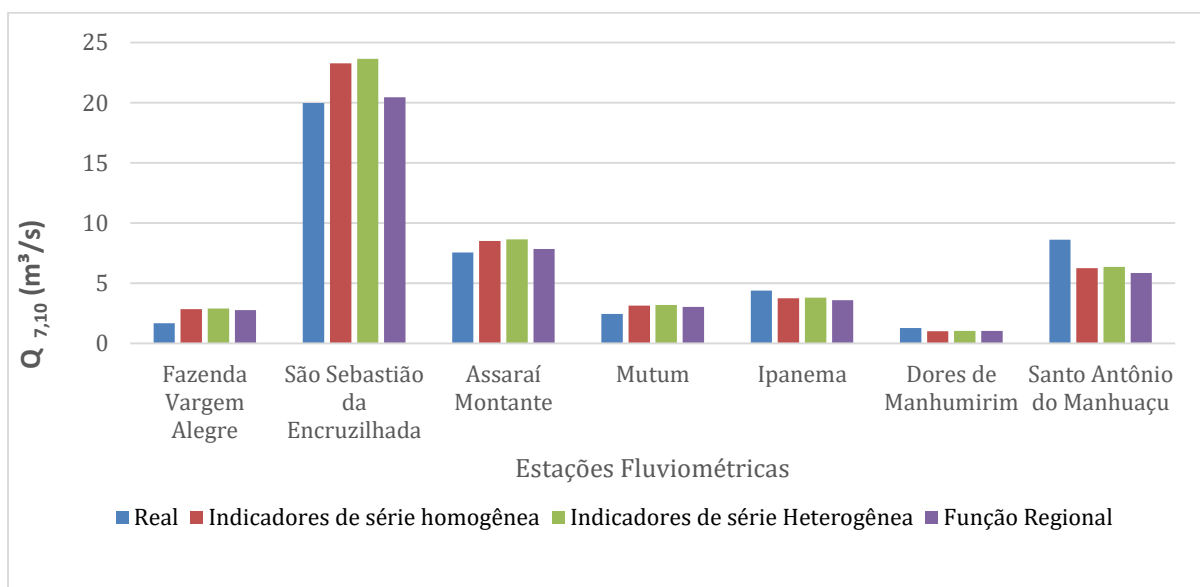


Figura 16: Vazões Q<sub>7,10</sub> (reais e estimadas) para as estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Manhuaçu.



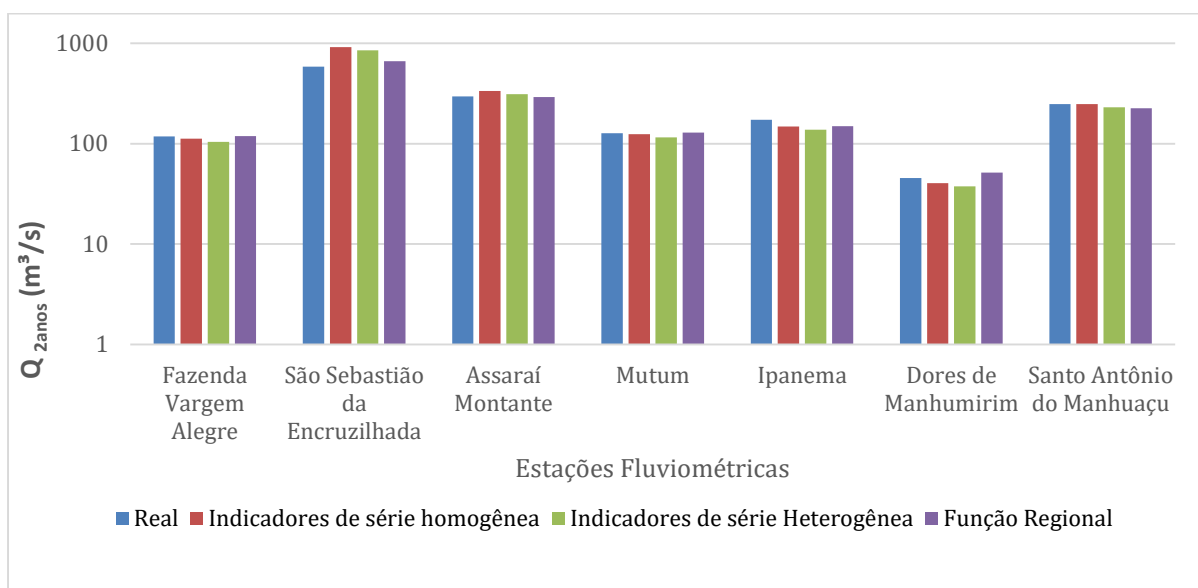


Figura 17: Vazões  $Q_{2anos}$  (reais e estimadas) para as estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Manhuaçu.

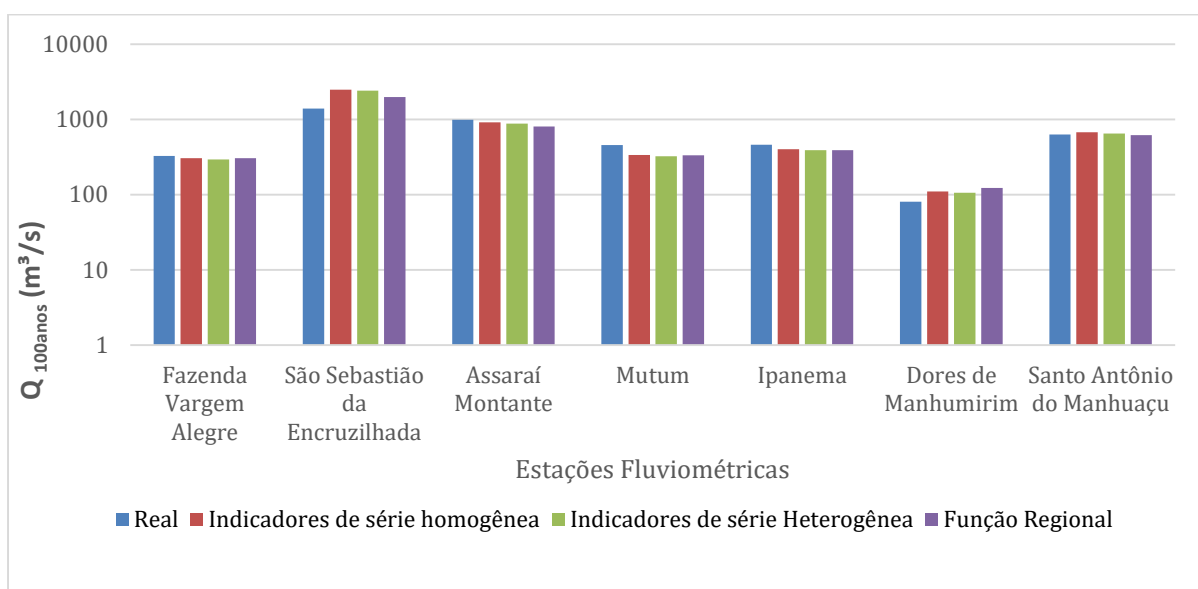


Figura 18: Vazões  $Q_{100anos}$  (reais e estimadas) para as estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Manhuaçu.

As tabelas de 17 a 23 sumarizam os erros percentuais das vazões estimadas em relação às vazões de referências apropriadas para as diferentes estações fluviométricas a partir das séries históricas de vazões decorrentes do monitoramento sistemático dos cursos d'água.

**Tabela 17.** Erros percentuais entre valores reais e estimados por indicadores e a função regional para a vazão  $Q_m$ .

Estação	Erros (%)		
	Função regional	Indicador série homogênea	Indicador série heterogênea
Fazenda Vargem Alegre	7,46	11,35	10,60
São Sebastião da Encruzilhada	0,65	24,24	25,28
Assaraí Montante	7,30	18,09	19,09
Mutum	27,59	23,75	24,80
Ipanema	2,30	3,06	2,24
Dores do Manhumirim	4,08	19,32	18,64
Santo Antônio do Manhuaçu	21,29	16,68	15,97
<b>Média</b>	<b>10,10</b>	<b>16,64</b>	<b>16,66</b>

**Tabela 18.** Erros percentuais entre valores reais e estimados por indicadores e a função regional para a vazão  $Q_{95}$ .

Estação	Erros (%)		
	Função regional	Indicador série homogênea	Indicador série heterogênea
Fazenda Vargem Alegre	38,75	38,87	40,02
São Sebastião da Encruzilhada	2,70	16,73	17,69
Assaraí Montante	5,47	12,79	13,72
Mutum	27,88	28,76	29,82
Ipanema	17,21	15,75	15,05
Dores do Manhumirim	13,16	18,32	17,65
Santo Antônio do Manhuaçu	30,96	27,53	26,93
<b>Média</b>	<b>19,45</b>	<b>22,68</b>	<b>22,98</b>

**Tabela 19.** Erros percentuais entre valores reais e estimados por indicadores e a função regional para a vazão  $Q_{90}$ .

Estação	Erros (%)		
	Função regional	Indicador série homogênea	Indicador série heterogênea
Fazenda Vargem Alegre	16,41	14,11	16,64
São Sebastião da Encruzilhada	1,82	13,51	16,03
Assaraí Montante	6,65	13,93	16,46
Mutum	29,48	27,90	30,74
Ipanema	13,41	13,26	11,33
Dores do Manhumirim	9,40	18,07	16,25
Santo Antônio do Manhuaçu	28,52	25,46	23,81
<b>Média</b>	<b>15,10</b>	<b>18,03</b>	<b>18,75</b>

Tabela 20. Erros percentuais entre valores reais e estimados por indicadores e a função regional para a vazão Q<sub>50</sub>.

Estação	Erros (%)		
	Função regional	Indicador série homogênea	Indicador série heterogênea
Fazenda Vargem Alegre	6,94	10,14	6,69
São Sebastião da Encruzilhada	6,38	13,94	18,31
Assaraí Montante	6,14	15,62	20,05
Mutum	31,74	28,60	33,52
Ipanema	8,62	9,04	5,55
Dores do Manhumirim	8,64	21,21	18,19
Santo Antônio do Manhuaçu	25,16	21,18	18,16
<b>Média</b>	<b>13,37</b>	<b>17,10</b>	<b>17,21</b>

Tabela 21. Erros percentuais entre valores reais e estimados por indicadores e a função regional para a vazão Q<sub>7,10</sub>.

Estação	Erros (%)		
	Função regional	Indicador série homogênea	Indicador série heterogênea
Fazenda Vargem Alegre	63,02	67,95	70,62
São Sebastião da Encruzilhada	8,95	23,93	25,89
Assaraí Montante	1,97	10,61	12,36
Mutum	20,66	24,88	26,86
Ipanema	24,24	20,93	19,68
Dores do Manhumirim	19,09	20,58	19,32
Santo Antônio do Manhuaçu	36,16	31,74	30,66
<b>Média</b>	<b>24,87</b>	<b>28,66</b>	<b>29,34</b>

**Tabela 22.** Erros percentuais entre valores reais e estimados por indicadores e a função regional para a vazão Q<sub>2anos</sub>.

Estação	Erros (%)		
	Função regional	Indicador série homogênea	Indicador série heterogênea
Fazenda Vargem Alegre	0,60	4,71	11,50
São Sebastião da Encruzilhada	23,97	71,91	59,67
Assaraí Montante	1,47	13,82	5,72
Mutum	6,35	2,54	4,76
Ipanema	3,12	2,69	4,62
Dores do Manhumirim	22,02	4,06	10,89
Santo Antônio do Manhuaçu	0,32	8,93	1,17
<b>Média</b>	<b>8,26</b>	<b>15,52</b>	<b>14,05</b>

**Tabela 23.** Erros percentuais entre valores reais e estimados por indicadores e a função regional para a vazão Q<sub>100anos</sub>.

Estação	Erros (%)		
	Função regional	Indicador série homogênea	Indicador série heterogênea
Fazenda Vargem Alegre	7,03	6,82	12,46
São Sebastião da Encruzilhada	44,64	81,99	70,97
Assaraí Montante	16,51	5,81	11,51
Mutum	22,21	21,20	25,97
Ipanema	7,46	4,44	10,22
Dores do Manhumirim	45,63	30,62	22,71
Santo Antônio do Manhuaçu	1,80	11,12	4,39
<b>Média</b>	<b>20,76</b>	<b>23,14</b>	<b>22,60</b>

A partir da simples inspeção das figuras de 12 a 18 e dos erros percentuais reunidos nas tabelas de 17 a 23, são consideradas relevantes as seguintes observações:

- Na bacia hidrográfica do rio Manhuaçu, os erros médios apropriados para entre valores de vazões de referência apropriados a partir das séries históricas de vazões e os valores estimados a partir da análise regional, independentemente da abordagem utilizada, não superou 30%, perspectiva considerada satisfatória por Piol (2017), quando da condução de estudos de regionalização de vazões.
- As funções regionais estabelecidas para apropriação das vazões, assumindo-se exclusivamente a área de drenagem como variável explicativa, produziram, para todas as vazões de referência analisadas, erros médios inferiores aqueles associados ao emprego dos indicadores regionais de vazão;
- Os menores erros nas estimativas de vazões foram associados às vazões médias de longo período – vazões que usualmente apresentam forte dependência da área de drenagem, conforme observam Eletrobrás (1985), Tucci (2002) e Piol et al. (2017) – vazões com permanência de 50% e para as vazões máximas com 2 anos de período de retorno. Independentemente da abordagem de regionalização empregada, os erros médios para a bacia hidrográfica do rio Manhuaçu não superaram 20%. Relevante observar que Tucci (2002) e Reis et al. (2018) indicaram que os indicadores associados às condições médias de escoamento ( $q$  e  $R_{cp50}$ ) são consistentes, produzindo respostas usualmente satisfatórias;
- O emprego de indicadores regionais de vazão estimados adoção de séries históricas de mesma extensão ou com extensões diferenciadas não produziu diferenças relevantes quando da apropriação das diferentes vazões de referência. Este comportamento pode ser decorrente da manutenção do comportamento das vazões médias e extremas (máximas e mínimas) nas porções complementares das séries históricas, em relação ao período comum compreendido entre os anos de 1984 e 2014;
- Ainda que os erros médios associados às diferentes vazões de referência tenham sido considerados satisfatórios na bacia hidrográfica do rio Manhuaçu, as respostas nas diferentes estações fluviométricas apresentaram pronunciadas variações. A estação de Mutum, por exemplo, apresentou erros

expressivos quando da apropriação das vazões mínimas e médias. A estação de Santo Antônio do Manhuaçu, por sua vez, apresentou erros relevantes quando da apropriação das vazões mínimas de referência. Já São Sebastião da Encruzilhada e Dores do Manhumirim apresentaram maiores erros na estimativa das vazões máximas.

## 7. Conclusões e Recomendações

As principais conclusões do presente estudo podem ser assim sumarizadas:

- Os indicadores regionais de vazão estabelecidos para avaliações de diferentes vazões de referência apresentaram-se consistentes, produzindo erros médios de estimativa na bacia hidrográfica do rio Manhuaçu que oscilaram entre 14% e 30%;
- As funções regionais estabelecidas para apropriação das vazões, assumindo-se exclusivamente a área de drenagem como variável explicativa, apresentaram-se mais consistentes que os indicadores de vazão, produzindo erros médios (erros que variaram entre 8% e 20%) invariavelmente inferiores aqueles associados ao emprego dos indicadores regionais de vazão;
- Os indicadores regionais de vazão estimados a partir de séries históricas de mesma extensão não produziram diferenças relevantes para a apropriação das diferentes vazões de referência, quando considerados como referência os indicadores estabelecidos a partir de séries históricas com extensões diferenciadas.

Constituem recomendações para estudos futuros:

- A replicação da metodologia empregado neste trabalho para outras áreas de estudo;
- Que sejam testadas para a bacia hidrográfica do rio Manhuaçu outras abordagens disponíveis para a análise regional de vazões;
- Que se avalie o efeito da incorporação de outras variáveis independentes, quando do emprego do método tradicional de regionalização para a bacia hidrográfica do rio Manhuaçu.



## 8. Referências

AGRA, S. G.; DE SOUZA V. C. B.; DAS NEVES M. G. F. P.; CRUZ M. A. S. Metodologias de regionalização de vazões: estudo comparativo na bacia do rio Carreiro – RS. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 15, 2003, Curitiba. Anais... Porto Alegre: ABRH, 2003.

BAENA, L. G. N. Regionalização de vazões para a bacia do rio Paraíba do Sul, a montante de Volta Redonda, a partir de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente. 2002. 135 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Ambientais)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

BARBOSA, Rodolfo Alves et al. RMRH -Rev. Min. Rec. Hidr., Belo Horizonte, v.1, n.2, p. 1-18. jul./dez. 2020. 1BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MANHUAÇU: caracterização ambiental e proteção de nascentes. Revista Mineira de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, v. 1, n. 2, p. 1-18, dez. 2020.

BÁRDOSSY, A. Calibration of hydrological model parameters for ungauged catchments. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, v. 11, n. 2, p. 703-710, 2007.

BRASIL. Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Brasília, 1997. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/CCIVIL\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/leis/L9433.htm). Acesso em: 12 jun. 2022.

CAMARA A. C. F. C. Análise da vazão máxima outorgável e da introdução simplificada da qualidade da água no processo de outorga da bacia do Rio Gramame (PB). Porto Alegre: UFRGS. 2003. 219p.

CASTIGLIONI, Isabela Fadini. ANÁLISE REGIONAL DE VAZÕES PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPEMIRIM. 2013. 170 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

CHAVES, H. M. L., ROSA, J. W. C., VADAS, R. G., OLIVEIRA, R. V. T. Regionalização de Vazões Mínimas em Bacias Através de Interpolação em Sistemas de Informações Geográfica. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.7, n. 3, 2002. p. 43-51.

CLARKE, R.T. & TUCCI, C.E.M. Regionalização Hidrológica. In: PAIVA, J.B.D. de & PAIVA, E.M.C.D. DE (Orgs.), Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 169-222, 2003.

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE (CBH DOCE). PLANO DE AÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS DA UNIDADE DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS MANHUAÇU - PARH MANHUAÇU. 2010. Disponível em: [https://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2014/10/PARH\\_Manhuacu.pdf](https://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2014/10/PARH_Manhuacu.pdf). Acesso em: 04 maio 2022.

CORTÊS, F. C. Obtenção e validação de modelos de regionalização de vazões na Bacia do Rios dos Bois, Estado de Goiás. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, UNB, Brasília, 2004.

ELETROBRÁS – CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRA. Metodologia para regionalização de vazões. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS, 1985. (v.1).

ELETROBRÁS – CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRA. Metodologia para regionalização de vazões. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS, 1985. (v.2).

FERREIRA, Gláucia Machado. REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES DE REFERÊNCIA Q7,10 e Q90. 2010. 180 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

GASPARINI, Kaio Allan Cruz. REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPEMIRIM, ES. 2014. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2014.

GPRH – GRUPO DE PESQUISAS EM RECURSOS HÍDRICOS. SISCAH Sistema Computacional para Análises Hidrológicas – Versão 1.0. Viçosa, GPRH, 2008.

IBGE. Downloads de Cartas de imagens. Disponível em: [https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html?caminho=informacoes\\_ambientais/estudos\\_ambientais/bacias\\_e\\_divisoes\\_hidrograficas\\_do\\_brasil/2021/Bacias\\_Hidrograficas\\_do\\_Brasil\\_BHB250/vetores/](https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html?caminho=informacoes_ambientais/estudos_ambientais/bacias_e_divisoes_hidrograficas_do_brasil/2021/Bacias_Hidrograficas_do_Brasil_BHB250/vetores/). Acesso em: 16 jun. 2022.

IBGE. Downloads de Cartas de imagens. Disponível em: [https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html?caminho=informacoes\\_ambientais/estudos\\_ambientais/bacias\\_e\\_divisoes\\_hidrograficas\\_do\\_brasil/2021/Bacias\\_Hidrograficas\\_do\\_Brasil\\_BHB250/tabelas/](https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html?caminho=informacoes_ambientais/estudos_ambientais/bacias_e_divisoes_hidrograficas_do_brasil/2021/Bacias_Hidrograficas_do_Brasil_BHB250/tabelas/). Acesso em: 16 jun. 2022.

IGAM - INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Portaria Administrativa no 010/98, Diário Oficial de Minas Gerais, 1998.

KITE, G. W. Frequency and risk analyses in hydrology. 5. ed. Highlands Ranch, Colorado: Water Resources Publications. 1988. 257p.

KOEFENDER, Amália. REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES Q7,10, Q90% E Q50% NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IBICUÍ (SUB-BACIA 76). 2015. 98 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

LALL, U.; OLDS, J. A parameter estimation model for ungagged streamflows. Journal of Hydrology, v. 92, p. 245-262, 1987.

MWAKALILA, S. Estimation of stream flows of ungauged catchments for river basin management. Physics and Chemistry of the Earth, v. 28, p. 935-942, 2003.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. Hidrologia Estatística. Belo Horizonte: CPRM. 552 p., 2007.

PINTO, Jorge Antonio de Oliveira. AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA A REGIONALIZAÇÃO DE CURVAS DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES PARA A BACIA DO RIO DAS VELHAS. 2006. 242 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

PIOL, Marcos Vinícius Alpoim. ANÁLISE REGIONAL DE CURVAS DE PERMANÊNCIA E DE CURVAS DE PROBABILIDADE DE VAZÕES MÍNIMAS –

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE DIFERENTES MÉTODOS DE REGIONALIZAÇÃO. 2017. 228 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

REIS, J. A. T.; GUIMARÃES, M. A.; BARRETO NETO, A. A.; BRINGHENTI, J. Indicadores Regionais Aplicáveis à Avaliação do Regime de Vazão dos Cursos D'Água da Bacia Hidrográfica do Rio Itabapoana. *Geociências*. São Paulo, v. 27, n. 4, p. 509-516, 2008.

RODRIGUES, Jéssica Assaid Martins et al. INDICADORES HIDROLÓGICOS PARA A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MANUEL ALVES DA NATIVIDADE, TOCANTINS. *Scientia Agraria*, [s. l], v. 16, n. 4, p. 58-79, 2015.

SILVA, B. C., TIAGO FILHO, G. L., SILVA, A. P. M., de PAULO, R. G. F. Regionalização de vazões na bacia do Rio Grande. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2003, Curitiba - PR. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba, 2003.

TUCCI, C.E.M. Regionalização de Vazões. Porto Alegre:Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 256 p., 2002.

TUCCI, C. E. M. CLARK R. T.; COLLISCHONN W.; DIAS, P. L. S.; OLIVEIRA, G. S. Long-term flow forecasts based on climate and hydrologic modeling: Uruguay River basin. *Water Resources Research*, v. 39, n. 7, 2003.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 4a Ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 2014.

WOLFF, W. Avaliação e nova proposta de regionalização hidrográfica para o Estado de São Paulo. 2013. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

