

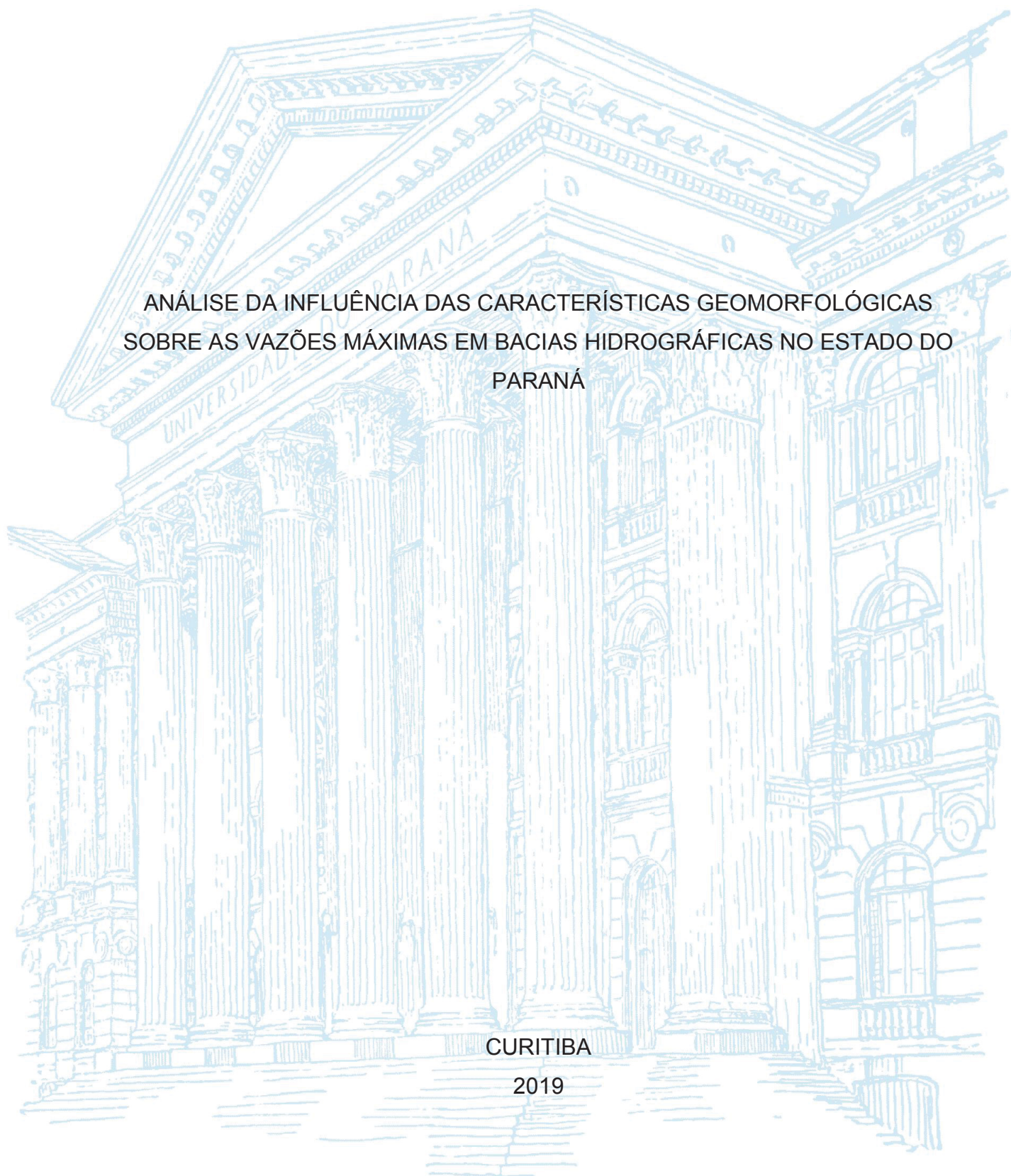
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

KÁSSIA REGINA BAZZO

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS  
SOBRE AS VAZÕES MÁXIMAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS NO ESTADO DO  
PARANÁ

CURITIBA

2019



KÁSSIA REGINA BAZZO

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS  
SOBRE AS VAZÕES MÁXIMAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS NO ESTADO DO  
PARANÁ

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Júlio Gomes

CURITIBA

2019

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR  
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

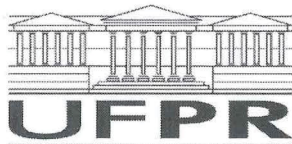
---

- B364a Bazzo, Kássia Regina  
Análise da influência das características geomorfológicas sobre as vazões máximas em bacias hidrográficas no Estado do Paraná [recurso eletrônico] / Kássia Regina Bazzo – Curitiba, 2019.
- Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.  
Orientador: Prof. Dr. Júlio Gomes
1. Geomorfologia. 2. Estatística multivariada. 3. Análise de regressão. I. Universidade Federal do Paraná. II. Gomes, Júlio. III. Título.

CDD: 551.48011

---

Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585




## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **KÁSSIA REGINA BAZZO** intitulada: **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS SOBRE AS VAZÕES MÁXIMAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DO PARANÁ**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.


A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 17 de Junho de 2019.

  
JÚLIO GOMES  
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

  
DANIEL HENRIQUE MARCO DETZEL  
Avaliador Interno (UFPR)

  
HUGO ALEXANDRE SOARES GUEDES  
Avaliador Externo (UFPEL)

  
IRANI DOS SANTOS  
Avaliador Externo (UFPR)

## AGRADECIMENTOS

Ao longo destes anos, diversas pessoas colaboraram para a concretização do meu mestrado. Em especial, destaco meus mais sinceros agradecimentos:

Aos meus pais, Alfeu e Clarinei, que por muitas vezes sucumbiram-se para garantir estudo de qualidade para mim e minhas irmãs, Karen e Kamila, na qual também sou grata. O incentivo, segurança e amor que vocês me passam, são a força motriz que me permite correr atrás dos meus desejos com obstinação.

Ao meu orientador, Júlio Gomes, pela confiança, paciência e dedicação na construção desta dissertação. Sua dinâmica de trabalho e orientação me trouxeram ensinamentos que levarei comigo.

Às mulheres amigas que fui presenteada pelo convívio na RHA, na qual as trocas não se limitam às questões profissionais. Agradeço o convívio diário que inspira, fortalece, ensina e demonstra que papel da mulher é na engenharia também. Nós formamos uma grande equipe.

A todos meus amigos e amigas que Curitiba tem proporcionado, meu muito obrigada. Dentre eles, cito aqui os que acompanharam este trajeto com maior proximidade: Lorraine Cavalcante, Marcus Cavasin, Elisa Stefan, João Mine, Iverson Siebert e Andreia Pedroso. Também, ao encontro inesperado durante este período, cujo incentivo, amor e companheirismo auxiliaram para finalizar esse trajeto com mais leveza, cores, flores e carnavais, meu muito obrigada.

Aos meus amigues, irmão e irmãs de vida que Pelotas e a graduação me proporcionaram, Káren Bes, Camila Fávero, Bianca Peruchin, Anderson Bach e Anita Avancini, o apoio, carinho e afeto de vocês é indescritível. Já dizia Gonzaguinha, “*é tão bonito quando a gente entende que a gente é tanta gente onde quer que a gente vá*”, a alegria de trocar bons momentos com vocês me transforma a cada dia.

*“Ser um homem de conhecimento não é um estado que implique permanência. Nunca há certeza de que, desempenhando-se passos predeterminados do conhecimento ensinado, a pessoa se torne um homem de conhecimento. Está implícito que a função dos passos é apenas mostrar como se tornar um homem de conhecimento. Assim, tornar-se um homem de conhecimento é uma tarefa que não pode realizar plenamente; ou melhor, é um processo incessante, que envolve: (1) a ideia de que é preciso renovar a busca para ser um homem de conhecimento; (2) a ideia da transitoriedade da pessoa; (3) a ideia de que é preciso seguir um caminho com um coração.*

*A renovação constante da busca de se tornar um homem de conhecimento é expressa no tema dos quatro inimigos simbólicos encontrados no caminho do conhecimento: medo, clareza, poder e velhice. Renovar a busca implica em conquistar e manter o controle sobre si mesmo. Um verdadeiro homem de conhecimento deve combater cada um dos quatro inimigos, sucessivamente, até o último momento de sua vida, a fim de se manter ativamente empenhado em tornar-se um homem de conhecimento. No entanto, a despeito da verdadeira renovação da busca, as circunstâncias eram inevitavelmente contra o homem; ele sucumbiria a seu último inimigo simbólico. Era essa a ideia de transitoriedade.*

*Contrabalanceando o valor negativo da transitoriedade da pessoa, já a noção de que é preciso seguir “o caminho com um coração”. O caminho com coração é uma maneira metafórica de asseverar que, a despeito de ser transitória, a pessoa ainda assim tem de prosseguir e tem de ser capaz de encontrar satisfação e realização pessoal no ato de escolher a alternativa mais acessível e identificar-se completamente com ela.*

*Dom Juan sintetizou o fundamento lógico de todo seu conhecimento na metáfora de que o importante para ele era encontrar o caminho com coração e depois percorrer a sua extensão, significando que a identificação com a alternativa acessível era o suficiente para ele. A viagem em si era suficiente; qualquer esperança de chegar a uma posição permanente estava fora dos limites de seu conhecimento.”*

(CARLOS CASTAÑEDA, 1968)

## RESUMO

Entre a ocorrência da precipitação e a formação das vazões, existem diversos processos hidrológicos que ocorrem de forma subjacente. As características da forma do relevo das bacias hidrográficas (BH), objeto de estudo da ciência geomorfológica, exercem influência sobre estes processos e conseqüentemente podem atuar como controle dominante nas respostas hidrológicas. Nesta dissertação, é levantada a hipótese de que as vazões máximas em diferentes bacias hidrográficas do Estado do Paraná apresentam variações na sua magnitude em razão da influência das características geomorfológicas. As diversas variáveis utilizadas para caracterizar as bacias hidrográficas podem ser relacionadas à escala, morfometria, topografia, aos sistemas de drenagem, dentre outros, e apresentam variações conforme as condições locais. Nesse sentido, a outra hipótese levantada é que determinadas características exercem maior influência sobre a magnitude das vazões máximas. Para avaliar estas hipóteses, foram selecionadas 53 bacias hidrográficas monitoradas e localizadas nas quatro principais bacias hidrográficas do Estado do Paraná (rios Iguaçu, Ivaí, Tibagi e Piquiri). Para cada bacia foram extraídas 25 características geomorfológicas que potencialmente afetam as vazões máximas, relacionadas à escala, forma, topografia e rede de drenagem. Os modelos de regressão múltipla foram utilizados para correlacionar variáveis e, portanto, para avaliar a influência das características geomorfológicas sobre as vazões máximas. Dessa maneira, a partir da matriz de características geomorfológicas, utilizou-se técnicas multivariadas para obtenção de um novo conjunto de dados (escores fatoriais) que apresentam correlações nulas ou baixas entre si, sendo essas utilizadas como variáveis explicativas. Quanto aos parâmetros do escoamento, foram utilizadas as distribuições de probabilidade Generalizada de Valores Extremos (GEV) e Gumbel para obtenção das vazões com tempos de recorrência de 2, 5, 10, 100 e 1000 anos a partir das séries históricas de vazões máximas anuais consistidas, estacionárias e homogêneas. Os resultados indicaram que, com exceção da BH Tibagi, para uma mesma bacia hidrográfica, as vazões com diferentes tempos de recorrência são explicadas pelas mesmas características geomorfológicas. Para a BH Tibagi, há variação das características determinantes conforme o tempo de recorrência considerado. Verificou-se também que as características que influenciam as vazões máximas apresentam variação conforme a bacia hidrográfica. À exceção da BH Piquiri, a metodologia utilizada neste estudo também destaca que quanto maior a severidade das cheias, menos elas são explicadas pelas características geomorfológicas. Os resultados desta dissertação demonstram os padrões complexos relacionados às respostas hidrológicas das bacias hidrográficas, justificados pela heterogeneidade espacial, temporal e as diferenças de escalas consideradas, e reafirmam a necessidade de estudos regionais para a compreensão dos processos subjacentes dominantes na explicação da variação das vazões máximas.

**Palavras-chaves:** Geomorfologia. Vazões máximas. Estatística multivariada. Regressão múltipla exploratória.

## ABSTRACT

Between the occurrence of precipitation and the formation of flows, there are several hydrological processes that occur in an underlying way. The basin's relief characteristics, object of geomorphological science studies, have a role influencing these processes and consequently can act as dominant control in the hydrological responses. In this dissertation, it was considered the hypothesis that the maximum flow rate in different basins of the State of Paraná could have variations in their magnitude due to the influence of the geomorphological characteristics. The different variables used to characterize river basins can be related to scale, morphometry, topography, drainage systems, among others, and present variations according to local conditions. In this sense, another hypothesis was raised, that certain characteristics have a greater influence on the magnitude of the maximum flows. To evaluate these hypotheses, 53 gauged basins, located in the four main basins of the State of Paraná (Iguaçu, Ivaí, Tibagi and Piquiri rivers) were selected. For each basin, 25 geomorphological characteristics that could potentially affect the maximum flows, related to scale, shape, topography and drainage network, were extracted. The multiple regression models are suitable to correlate variables and, therefore, to evaluate the influence of geomorphological characteristics on maximum flows. Therefore, from the matrix of geomorphological characteristics, it was used multivariate techniques to obtain a new set of data (factorial scores) that present null or low correlations, being used as explanatory variables. For the flow parameters, the Generalized Values of Extreme Values (GEV) and Gumbel probability distributions model were used to obtain the flows with recurrence intervals of 2, 5, 10, 100 and 1000 years from the consistent, stationary and homogeneous historical series of maximum annual flows. The results indicated that, with the exception of BH Tibagi, for the same basin, the flows with different recurrence intervals are explained by the same geomorphological characteristics. For BH Tibagi, there are variations of the determining characteristics according to the recurrence intervals considered. It was also verified that the characteristics that influence the maximum flows vary according to the river basin. With the exception of BH Piquiri, the methodology used in this study also highlights that the stronger the severity of flooding, the less it is explained by geomorphological characteristics. The results of this study demonstrate the complex patterns related to the hydrological responses of the hydrographic basins, justified by the spatial heterogeneity, temporal and the differences of scales considered, and reaffirm the need for regional studies to understand the dominant underlying processes in the explanation of the variation of the maximum flows.

**Keywords:** Geomorphology. Maximum flow. Multivariate statistics. Exploratory Regression



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - FLUXOGRAMA DAS ETAPAS METODOLÓGICAS .....	25
FIGURA 2 - ABORDAGEM METODOLÓGICA DA ETAPA DE ANÁLISE MULTIVARIADA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS .....	33
FIGURA 3 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS SELECIONADAS PARA O ESTUDO .....	36
FIGURA 4 - PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL MÉDIA DISTRIBUÍDA NA ÁREA DE ESTUDO.....	37
FIGURA 5 - ALTIMETRIA ATRAVÉS DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO DO TERRENO DA ÁREA DE ESTUDO .....	38
FIGURA 6 - DECLIVIDADE DA ÁREA DE ESTUDO .....	39
FIGURA 7 – DOMÍNIOS GEOLÓGICOS DA ÁREA DE ESTUDO .....	40
FIGURA 8 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO CONJUNTA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS.....	50
FIGURA 9 - AUTOVALORES ( <i>SCREE PLOT</i> ) DOS COMPONENTES PRINCIPAIS.....	54
FIGURA 10 - BIPLLOT DOS DOIS PRIMEIROS FATORES SOBRE AS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS ANTES DA ROTAÇÃO (a) E APÓS A ROTAÇÃO DOS FATORES (b) .....	59
FIGURA 11 - ESPACIALIZAÇÃO DOS ESCORES FATORIAIS DOS FATORES RESULTANTES (a) FATOR 1 <sub>RE</sub> ; (b) FATOR 2 <sub>RE</sub> ; (c) FATOR 3 <sub>RE</sub> ; (d) FATOR 4 <sub>RE</sub> ; (e) FATOR 5 <sub>RE</sub> .....	63
FIGURA 12 - ABORDAGEM METODOLÓGICA DA ETAPA DE ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE CHEIAS .....	71
FIGURA 13 - EXEMPLO DE TRAÇADOS DE CURVA DE DESCARGA DISPONIBILIZADA PELA ANA (a) E AJUSTADO PELA AUTORA (b).....	72
FIGURA 14 - TESTE DE TENDÊNCIA DAS SÉRIES HISTÓRICAS DE VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS MÁXIMAS ANUAIS PARA VERIFICAÇÃO DA ESTACIONARIEDADE .....	79
FIGURA 15 - RELAÇÃO ENTRE MÉDIAS DE LONGO TERMO DAS SMAs ( $Q_{MÁXMLT}$ ) E AS ÁREAS DE DRENAGEM DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS CONSIDERADAS NO ESTUDO, CONFORME AS BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	82
FIGURA 16 - RELAÇÃO ENTRE OS COEFICIENTES DE VARIAÇÃO DAS SMAs ( $Q_{MÁXMLT}$ ) E AS ÁREAS DE DRENAGEM DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS .....	83

FIGURA 17 - BOX SPLOTS DAS MÉDIAS DE LONGO TERMO DAS SÉRIES DE VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS MÁXIMAS ANUAIS ( $Q_{MÁXMLT}$ ) DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	84
FIGURA 18 - DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE TEÓRICAS DAS SÉRIES DE VAZÕES MÁXIMAS ANUAIS, CONFORME TESTE DE ADERÊNCIA DE FILLIBEN .....	85
FIGURA 19 - VAZÕES MÁXIMAS COM TEMPO DE RECORRÊNCIA ( $Q_{TR}$ ) DE 2 ANOS NORMALIZADAS PELA VAZÃO MÁXIMA MÉDIA DE LONGO TERMO ( $Q_{MÁXMLT}$ ) EM FUNÇÃO DA ÁREA DE DRENAGEM .....	86
FIGURA 20 - VAZÕES MÁXIMAS COM TEMPO DE RECORRÊNCIA ( $Q_{TR}$ ) DE 5 ANOS NORMALIZADAS PELA VAZÃO MÁXIMA MÉDIA DE LONGO TERMO ( $Q_{MÁXMLT}$ ) EM FUNÇÃO DA ÁREA DE DRENAGEM .....	86
FIGURA 21 - VAZÕES MÁXIMAS COM TEMPO DE RECORRÊNCIA ( $Q_{TR}$ ) DE 10 ANOS NORMALIZADAS PELA VAZÃO MÁXIMA MÉDIA DE LONGO TERMO ( $Q_{MÁXMLT}$ ) EM FUNÇÃO DA ÁREA DE DRENAGEM .....	86
FIGURA 22 - VAZÕES MÁXIMAS COM TEMPO DE RECORRÊNCIA ( $Q_{TR}$ ) DE 100 ANOS NORMALIZADAS PELA VAZÃO MÁXIMA MÉDIA DE LONGO TERMO ( $Q_{MÁXMLT}$ ) EM FUNÇÃO DA ÁREA DE DRENAGEM .....	87
FIGURA 23 - VAZÕES MÁXIMAS COM TEMPO DE RECORRÊNCIA ( $Q_{TR}$ ) DE 1000 ANOS NORMALIZADAS PELA VAZÃO MÁXIMA MÉDIA DE LONGO TERMO ( $Q_{MÁXMLT}$ ) EM FUNÇÃO DA ÁREA DE DRENAGEM .....	87
FIGURA 24 - VAZÕES MÁXIMAS COM TEMPO DE RECORRÊNCIA DE 1000 ANOS ( $Q_{1000}$ ) NORMALIZADAS PELA VAZÃO MÁXIMA MÉDIA DE LONGO TERMO ( $Q_{MÁXMLT}$ ) EM FUNÇÃO DA ÁREA DE DRENAGEM E DO PARÂMETRO DE FORMA $\kappa$ DA DISTRIBUIÇÃO GEV .....	89
FIGURA 25 - ABORDAGEM METODOLÓGICA DA ETAPA DE ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS SOBRE AS VAZÕES MÁXIMAS.....	99
FIGURA 26 – CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS NA EXPLICAÇÃO DA VARIAÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA COM TEMPO DE RECORRÊNCIA DE 2 ANOS .....	112
FIGURA 27 – CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS NA EXPLICAÇÃO DA VARIAÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA COM TEMPO DE RECORRÊNCIA DE 5 ANOS .....	113
FIGURA 28 – CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS NA EXPLICAÇÃO DA VARIAÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA COM TEMPO DE RECORRÊNCIA DE 10 ANOS .....	114

FIGURA 29 – CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS NA EXPLICAÇÃO DA VARIAÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA COM TEMPO DE RECORRÊNCIA DE 100 ANOS .....	114
FIGURA 30 – CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS NA EXPLICAÇÃO DA VARIAÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA COM TEMPO DE RECORRÊNCIA DE 1000 ANOS .....	115
FIGURA 31 – CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS NA EXPLICAÇÃO DA VARIAÇÃO DAS VAZÕES MÁXIMAS NA BH IGUAÇU.....	116
FIGURA 32 – CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS NA EXPLICAÇÃO DA VARIAÇÃO DAS VAZÕES MÁXIMAS NA BH PIQUIRI .....	117
FIGURA 33 – CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS NA EXPLICAÇÃO DA VARIAÇÃO DAS VAZÕES MÁXIMAS NA BH IVAÍ, EXPRESSAS EM TERMOS DOS VALORES PARCIAIS DE R <sup>2</sup> .....	118
FIGURA 34 – CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS NA EXPLICAÇÃO DA VARIAÇÃO DAS VAZÕES MÁXIMAS NA BH TIBAGI.....	119
FIGURA 35 – CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS NA EXPLICAÇÃO DA VARIAÇÃO DAS VAZÕES MÁXIMAS NO CONJUNTO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	120

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - ESTRUTURA DO DOCUMENTO.....	26
TABELA 2 – RELAÇÃO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS SELECIONADAS PARA O ESTUDO.....	34
TABELA 3 - LISTA E DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS UTILIZADAS.....	42
TABELA 4 - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ISOLADA PARA CADA BACIA HIDROGRÁFICA.....	51
TABELA 5 - COMPONENTES PRINCIPAIS SELECIONADOS PELO CRITÉRIO DE KAISER NA ACP.....	55
TABELA 6 - CARGAS FATORIAIS E FATORES DOS COMPONENTES PRINCIPAIS SEM ROTAÇÃO SELECIONADOS NA AF.....	56
TABELA 7 - CARGAS FATORIAIS E FATORES DOS COMPONENTES PRINCIPAIS ROTACIONADOS.....	58
TABELA 8 - CARGAS FATORIAIS E FATORES DOS COMPONENTES PRINCIPAIS ROTACIONADOS REESPECIFICADOS.....	60
TABELA 9 - VARIÂNCIA TOTAL (%) DE CADA VARIÁVEL EXPLICADA POR CADA FATOR E PORCENTAGEM DO AUTOVALOR EXPLICADO PELAS CARGAS SIGNIFICATIVAS.....	62
TABELA 10 - VALOR DO R CRÍTICO ( $r_{crítico}$ ) PARA A DISTRIBUIÇÃO GEV COM PROBABILIDADE EMPÍRICA CALCULADA CONFORME CUNNANE, N=30 E $\alpha=0,01$ .....	78
TABELA 11 - TRANSFORMAÇÕES ASSOCIADAS À FAMÍLIA DE TRANSFORMAÇÕES JOHNSON (ADAPTADO DE CHOU; POLANSKY; MASON, 1998).....	100
TABELA 12 – VALORES CRÍTICOS DO TESTE DE HIPÓTESE DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO $\rho$ DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES COM NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA DE 5%.....	105
TABELA 13 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NOS MODELOS DE REGRESSÃO SELECIONADOS PARA A BH IGUAÇU PARA AS VAZÕES COM TEMPOS DE RECORRÊNCIA DE 2, 5, 10, 100 E 1000 ANOS.....	108
TABELA 14 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NOS MODELOS DE REGRESSÃO SELECIONADOS PARA A BH PIQUIRI PARA AS VAZÕES COM TEMPOS DE RECORRÊNCIA DE 2, 5, 10, 100 E 1000 ANOS.....	109

TABELA 15 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NOS MODELOS DE REGRESSÃO SELECIONADOS PARA A BH IVAÍ PARA AS VAZÕES COM TEMPOS DE RECORRÊNCIA DE 2, 5, 10, 100 E 1000 ANOS .....	109
TABELA 16 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NOS MODELOS DE REGRESSÃO SELECIONADOS PARA A BH TIBAGI PARA AS VAZÕES COM TEMPOS DE RECORRÊNCIA DE 2, 5, 10, 100 E 1000 ANOS .....	110
TABELA 17 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NOS MODELOS DE REGRESSÃO SELECIONADOS PARA O CONJUNTO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS PARA AS VAZÕES COM TEMPOS DE RECORRÊNCIA DE 2, 5, 10, 100 E 1000 ANOS.....	110
TABELA 18 – CONTRIBUIÇÃO RELATIVA (%) DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS NA EXPLICAÇÃO DA VARIAÇÃO DAS VAZÕES MÁXIMAS PARA OS DIFERENTES TEMPOS DE RECORRÊNCIA.....	111
TABELA 19 – COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO AJUSTADOS ( $R^2$ ) DOS MODELOS DE REGRESSÃO PARA OS DIFERENTES TEMPOS DE RECORRÊNCIA	111
TABELA 20 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO SEMIPARCIAL DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES .....	122
TABELA 21 – MODELOS DE REGRESSÃO SELECIONADOS PARA A BH IGUAÇU PARA AS VAZÕES COM TEMPOS DE RECORRÊNCIA DE 2, 5, 10, 100 E 1000 ANOS, DESCONSIDERANDO A MULTICOLINEARIDADE.....	125
TABELA 22 – MODELOS DE REGRESSÃO SELECIONADOS PARA A BH PIQUIRI PARA AS VAZÕES COM TEMPOS DE RECORRÊNCIA DE 2, 5, 10, 100 E 1000 ANOS, DESCONSIDERANDO A MULTICOLINEARIDADE.....	125
TABELA 23 – MODELOS DE REGRESSÃO SELECIONADOS PARA A BH IVAÍ PARA AS VAZÕES COM TEMPOS DE RECORRÊNCIA DE 2, 5, 10, 100 E 1000 ANOS, DESCONSIDERANDO A MULTICOLINEARIDADE.....	125

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	- Análise de correlação
ACP	- Análise dos componentes principais
AF	- Análise fatorial
AFC	- Análise de frequência de cheias
AICc	- Critério de informação de Akaike corrigido
ANA	- Agência Nacional de Águas
BH(s)	- Bacia(s) hidrográfica(s)
BH Iguaçu	- Bacia hidrográfica do rio Iguaçu
BH Ivaí	- Bacia hidrográfica do rio Ivaí
BH Piquiri	- Bacia hidrográfica do rio Piquiri
BH Tibagi	- Bacia hidrográfica do rio Tibagi
Cfa	- Clima subtropical temperado com verões quentes
Cfb	- Clima subtropical temperado com verões temperados
CP	- Componente(s) principal(is)
EF	- Escores fatoriais
ESRI	- <i>Environmental Systems Research Institute</i>
Fator <sub>r</sub>	- Fatores das componentes principais rotacionadas
Fator <sub>re</sub>	- Fatores das componentes principais rotacionadas especificadas
fdp	- Função de densidade de probabilidade
GEV	- Distribuição de probabilidade generalizada de valores extremos
GLO	- Distribuição de probabilidade generalizada logística
GPA	- Distribuição de probabilidade generalizada de Pareto
IASH	- <i>International Association of Hydrological Sciences</i> (Associação Internacional de Ciências Hidrológicas)
KAP	- Distribuição de probabilidade Kappa
LN2	- Distribuição de probabilidade log-Normal a 2 parâmetros
LN3	- Distribuição de probabilidade log-Normal a 3 parâmetros
LP3	- Distribuição de probabilidade log-Pearson tipo III
MDE	- Modelos Digitais de Elevação
MPP	- Momentos Ponderados por probabilidade
PUB	- <i>Prediction in Ungauged Basins</i> (Previsão em bacias hidrográficas sem monitoramento)
SIG	- Sistemas de Informação Geográficas
SMA <sub>s</sub>	- Séries de vazões médias diárias máximas anuais
SRTM	- Missão Topográfica <i>Radar Shuttle</i>

USGS - *United States Geological Survey*  
UTM - Universal Transversa de Mercator  
VIF - Fator de Inflação da Variância  
WAK - Distribuição de probabilidade Wakeby

## LISTA DE SÍMBOLOS E VARIÁVEIS

<i>A</i>	- Área de drenagem (km <sup>2</sup> )
<i>C</i>	- Comprimento da bacia (km)
<i>C<sub>m</sub></i>	- Coeficiente de manutenção (m)
<i>CP1</i>	- Primeira componente principal
<i>CP2</i>	- Segunda componente principal
<i>Cr</i>	- Comprimento relativo
<i>Cr<sub>p</sub></i>	- Comprimento do rio principal (km)
<i>C<sub>t</sub></i>	- Comprimento total dos rios (km)
<i>C<sub>v</sub></i>	- Coeficiente de variação
<i>D<sub>d</sub></i>	- Densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> )
<i>F</i>	- Fator de forma
<i>HI</i>	- Integral hipsométrica
<i>H<sub>m</sub></i>	- Amplitude altimétrica máxima (m)
<i>H<sub>0</sub></i>	- Hipótese nula
<i>I</i>	- Declividade média (%)
<i>I</i>	- Matriz identidade de dimensão $p \times p$
<i>I&lt;1°</i>	- Declividade <1° (%)
<i>I&lt;2°</i>	- Declividade <2° (%)
<i>I&lt;5°</i>	- Declividade <5° (%)
<i>IC</i>	- Índice de circularidade
<i>I<sub>máx</sub></i>	- Declividade máxima
<i>I<sub>r</sub></i>	- Índice de rugosidade (%)
<i>I<sub>rp</sub></i>	- Declividade média do rio principal (%)
<i>I<sub>rp máx</sub></i>	- Declividade máxima do rio principal (%)
<i>K<sub>c</sub></i>	- Coeficiente de compacidade
<i>M</i>	- Matriz de cargas fatoriais
<i>N</i>	- Tamanho da sub amostra no teste de Mann-Whitney
<i>n</i>	- Número de observações
<i>P</i>	- Perímetro (km)
<i>p-valor</i>	- Probabilidade de significância
<i>p</i>	- Autovalores correspondentes às variâncias de cada um dos componentes principais
<i>Q<sub>2</sub></i>	- Vazão máxima com tempo de recorrência de 2 anos (m <sup>3</sup> /s)
<i>Q<sub>5</sub></i>	- Vazão máxima com tempo de recorrência de 5 anos (m <sup>3</sup> /s)
<i>Q<sub>10</sub></i>	- Vazão máxima com tempo de recorrência de 10 anos (m <sup>3</sup> /s)



$Q_{100}$	- Vazão máxima com tempo de recorrência de 100 anos ( $m^3/s$ )
$Q_{1000}$	- Vazão máxima com tempo de recorrência de 1000 anos ( $m^3/s$ )
$Q_{MÁXANUAL}$	- Vazões médias diárias máximas anuais ( $m^3/s$ )
$Q_{MÁXMLT}$	- Média de longo termo das séries de vazões médias diárias máximas anuais ( $m^3/s$ )
$Q_{TR}$	- Vazões máximas com diferentes tempos de recorrência ( $m^3/s$ )
$QMReg$	- Variância dos resíduos
$r$	- Estatística do teste de aderência de Filliben
$R$	- Matriz de correlação
$R^2 a$	- Coeficiente de determinação ajustado
$R^2 parcial$	- Coeficiente de determinação parcial
$R^2$	- Coeficiente de determinação
$Rd$	- Relação da declividade
$Rr$	- Relação de relevo (%)
$Srp$	- Sinuosidade do rio principal
$S$	- Teste de tendência Mann-Kendall
$SQReg$	- Soma dos quadrados da regressão com todas as variáveis
$SQReg(X_k)$	- Contribuição da variável $X_k$ à soma dos quadrados da regressão
$SQT$	- Soma dos quadrados total da regressão
$Ta$	- Taxa de alongamento
$Tr$	- Tempo de recorrência
$T$	- Estatística do teste de Mann-Whitney
$x(F)$	- Função dos quantis dos momentos ponderados por probabilidade
$y$	- Coeficiente de assimetria
$Z$	- Estatística do teste de Mann-Kendall
$F_X^{-1}$	- Inversa da função de distribuição acumulada
$a_i$	- Autovetor
$w_{(i)}$	- Quantis teóricos da distribuição de probabilidade
$\hat{\alpha}$	- Estimador do parâmetro de escala da GEV
$\alpha_{critico}$	- Nível de significância
$\hat{\beta}$	- Estimador do parâmetro de posição da GEV
$\hat{\kappa}$	- Estimador do parâmetro de forma da GEV
$\lambda_1$	- Momento-L de 1ª ordem
$\lambda_2$	- Momento-L de 2ª ordem
$\lambda_3$	- Momento-L de 3ª ordem
$\lambda_r$	- Momentos-L de ordem $r$

$v_i$	- Autovalores
$ \rho $	- Módulo do coeficiente de correlação linear de Pearson
$\sigma^2$	- Variância
$\sigma_{X,Y}$	- Covariância entre as variáveis X e Y
$\sigma_x$	- Desvio-padrão da variável x
$\Gamma(z)$	- Função gama
$\alpha$	- Parâmetro de escala da GEV
$\beta$	- Parâmetro de posição da GEV
$\kappa$	- Parâmetro de forma da GEV
$\mu$	- Média
$\rho$	- Coeficiente de correlação linear de Pearson
$\phi$	- Vetor nulo de dimensão $p \times 1$ .

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>21</b>
1.1 HIPÓTESE .....	23
1.2 OBJETIVOS .....	23
1.3 ABORDAGEM METODOLÓGICA.....	24
1.4 ESTRUTURA DO DOCUMENTO.....	26
<b>2 ANÁLISE MULTIVARIADA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS</b> .....	<b>27</b>
2.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	33
2.1.1 Área de estudo e seleção das bacias hidrográficas .....	34
2.1.2 Obtenção das características geomorfológicas.....	40
2.1.3 Análise de Correlação (AC).....	44
2.1.4 Análise dos Componentes Principais (ACP) .....	45
2.1.5 Análise Fatorial (AF).....	46
2.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	48
2.2.1 Análise de Correlação (AC).....	49
2.2.2 Análise dos Componentes Principais (ACP) .....	53
2.2.3 Análise Fatorial (AF).....	55
2.2.4 Análise Espacial .....	62
2.3 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	64
<b>3 ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE CHEIAS</b> .....	<b>67</b>
3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	69
3.1.1 Verificação da consistência hidrológica.....	71
3.1.2 Caracterização hidrológica .....	72
3.1.3 Teste de tendência Mann-Kendall.....	73
3.1.4 Teste da homogeneidade Mann-Whitney.....	74
3.1.5 Distribuição de probabilidade Generalizada de Valores Extremos (GEV) .....	75
3.1.6 Teste de aderência de Filliben .....	77
3.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	78
3.2.1 Análise preliminar dos dados .....	78
3.2.2 Caracterização hidrológica das séries de vazões máximas anuais.....	80
3.2.3 Teste de aderência e distribuição de probabilidade .....	84
3.2.4 Caracterização hidrológica das cheias.....	85
3.3 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	90

<b>4 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS SOBRE AS VAZÕES MÁXIMAS</b> .....	<b>92</b>
4.1 REGRESSÃO MÚLTIPLA .....	97
4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	99
4.2.1 Análise preliminar dos dados .....	100
4.2.1.1 Teste de normalidade .....	100
4.2.1.2 Análise de correlação .....	101
4.2.2 Regressão Múltipla.....	101
4.2.2.1 Seleção dos modelos de regressão.....	102
4.2.2.2 Avaliação da influência das variáveis independentes.....	104
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	104
4.3.1 Análise de correlação .....	105
4.3.2 Seleção dos modelos de regressão .....	106
4.3.3 Avaliação da influência das variáveis independentes.....	110
4.3.3.1 Análise por tempo de recorrência .....	112
4.3.3.2 Análise por bacia hidrográfica.....	116
4.3.3.3 Análise dos coeficientes de correlação semiparcial.....	121
4.3.4 Validação dos modelos .....	124
4.4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	126
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>129</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>131</b>
<b>APÊNDICES</b> .....	<b>138</b>

<b>APÊNDICE I – CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS</b> .....	<b>139</b>
<b>APÊNDICE II – DADOS HIDROLÓGICOS</b> .....	<b>158</b>
<b>APÊNDICE III – DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES MÁXIMAS</b> .....	<b>170</b>
<b>APÊNDICE IV – MATRIZES DE CORRELAÇÕES</b> .....	<b>173</b>
<b>APÊNDICE V – MODELOS DE REGRESSÃO MÚLTIPLA</b> .....	<b>175</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A ciência hidrológica abrange a investigação dos fenômenos que influenciam a distribuição no tempo e no espaço dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas. Estes fenômenos são descritos por variáveis hidrológicas que apresentam variabilidade temporal e espacial, sendo de natureza probabilística. Assim, utilizam-se observações ocorridas no passado para obter possíveis conclusões sobre a situação atual e futura destas variáveis. É indispensável, portanto, o monitoramento sistemático e consequente obtenção de séries históricas que representem o comportamento destas variáveis.

A gestão e o planejamento dos recursos hídricos requerem a estimativa de vazões extremas de interesse. Para a aplicação dos instrumentos de gestão da Política Nacional de Recursos Hídricos do Brasil (BRASIL, 1997), interessa-se conhecer as vazões mínimas de referência, por exemplo. Estas subsidiam o conhecimento da disponibilidade hídrica, a concessão dos pedidos de outorga do direito de uso da água, as propostas de enquadramento dos corpos hídricos, dentre outros. Para o dimensionamento adequado de obras hidráulicas, tais como vertedouros, canais, condutos forçados, bueiros, sistemas de drenagem, dentre outros, o interesse é nas vazões máximas. Estas vazões são associadas a uma probabilidade de ocorrência, assumindo-se assim um determinado risco quanto à sua excedência, descrito em termos de Tempos de Recorrência ( $Tr$ ) (PINTO *et al.*, 1976). Por exemplo, diversas estruturas de desvio de rios são projetadas com base nas vazões máximas com tempos de recorrência de 10, 25 e 100 anos; para projetos de vertedouros costumam ser utilizados  $Tr$  de 1.000 a 10.000 anos e para barragens utiliza-se  $Tr$  de 10.000 anos (AYDOĞAN; KANKAL; ÖNSOY, 2016).

No cenário ideal, as vazões de projeto são obtidas a partir das séries históricas de vazões máximas observadas. Em países em desenvolvimento, como o Brasil, a rede de monitoramento hidrológico apresenta grandes deficiências. Quanto à distribuição espacial, a coleta de dados é concentrada nas bacias hidrográficas de grande porte e/ou com interesse econômico, sendo escasso o monitoramento nas demais. Temporalmente, a maioria das séries históricas apresenta um período relativamente curto de observações e, portanto, com pouca representatividade do comportamento dos rios, além de apresentarem falhas e inconsistências. Segundo

Tucci (2002), estas lacunas espaço-temporais sempre existirão, dado que uma rede de monitoramento dificilmente cobrirá todos os locais de interesse.

A Associação Internacional de Ciências Hidrológicas (IASH) lançou na década de 2003 a 2012 a iniciativa “*Prediction in Ungauged Basins (PUB)*”, visando motivar os hidrólogos a desenvolverem alternativas para reduzir as incertezas nas previsões hidrológicas. Os três principais fatores que contribuem para estas incertezas, conforme levantado na iniciativa PUB e apontado por Hrachowitz *et al.* (2013), são:

- Pouca compreensão do conjunto de processos subjacentes à resposta do sistema hidrológico e da influência da escala das bacias hidrográficas sobre esses processos;
- Uma compreensão incompleta da heterogeneidade espaço-temporal multi-escala de processos em diferentes paisagens e climas, em especial das bacias hidrográficas de pequeno porte;
- Técnicas de regionalização inadequadas para transferir os padrões de resposta hidrológica de locais monitorados a locais sem monitoramento, devido à falta de estudos comparativos entre bacias hidrográficas e à falta de compreensão dos princípios físicos que regem a regionalização robusta.

Percebe-se que os três fatores apresentados estão relacionados direta ou indiretamente à falta de compreensão do conjunto de processos físicos que influenciam as respostas hidrológicas das bacias hidrográficas devido às heterogeneidades espaço-temporal e às diferentes escalas em que os processos físicos ocorrem. De qualquer maneira, com a criação do PUB buscou-se desenvolver uma nova perspectiva para a compreensão da hidrologia, considerando que ela não é uma ciência isolada, mas a agente central na interface da evolução conjunta do clima, geologia, topografia e ecologia (HRACHOWITZ *et al.*, 2013).

Após a finalização da iniciativa PUB, permaneceu em destaque a necessidade de investigar os processos hidrológicos e caracterizar a sua variabilidade espacial, temporal e nas múltiplas escalas com o objetivo de, dentre outros, identificar os controles dominantes. Sob esta perspectiva ganha destaque os métodos geomorfológicos, que são formas de medir o tamanho e as propriedades de forma das bacias hidrográficas (STRAHLER, 1957). A morfologia muitas vezes atua como um

controle dominante nos caminhos do fluxo da água e pode ser utilizada como uma indicação para as respostas hidrológicas, possibilitando a melhoria das previsões de cheias (BEVEN; WOOD; SIVAPALAN, 1988). Portanto, compreender a influência da geomorfologia sobre as vazões pode ser visto como um dos passos primordiais para a melhoria da previsão em bacias sem monitoramento.

Enquanto são necessários recursos financeiros e levantamentos de campo frequentes para a instalação e manutenção de uma estação de monitoramento fluviométrico, a obtenção das características geomorfológicas das bacias hidrográficas é facilitada com o advento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) e a obtenção de dados por sensoriamento remoto. Assim, uma vez que estas características influenciam nas respostas hidrológicas das bacias, compreender a sua influência de maneira integrada sobre as cheias em diferentes regiões é uma alternativa para aproximar os modelos matemáticos de previsão de vazões de cheia à realidade física das bacias, assim como, auxiliar na gestão e planejamento de recursos hídricos.

## 1.1 HIPÓTESE

Com base no exposto, levantam-se os questionamentos: Quais as características geomorfológicas que condicionam as vazões máximas? A influência das características geomorfológicas sobre as vazões máximas varia conforme a sua magnitude e conforme a localização das bacias hidrográficas?

A hipótese levantada é que as vazões máximas em diferentes bacias hidrográficas do estado do Paraná apresentam variações na sua magnitude em razão da influência das suas características geomorfológicas. Subjacente a esta hipótese, pode-se estabelecer também a hipótese de que determinadas características geomorfológicas exercem maior influência sobre as vazões máximas.

## 1.2 OBJETIVOS

O **objetivo principal** desta dissertação é analisar a influência das características geomorfológicas das bacias hidrográficas sobre as vazões máximas em bacias hidrográficas no estado do Paraná. Os **objetivos específicos** que norteiam a pesquisa são os seguintes:

- a. Identificar um conjunto de características geomorfológicas que potencialmente afetam o escoamento;
- b. Estimar as vazões máximas para diferentes tempos de recorrência em bacias hidrográficas do estado do Paraná e realizar a caracterização hidrológica das cheias nas bacias em estudo;
- c. Avaliar a influência das características geomorfológicas nas vazões máximas para diferentes tempos de recorrência em bacias hidrográficas do estado do Paraná.

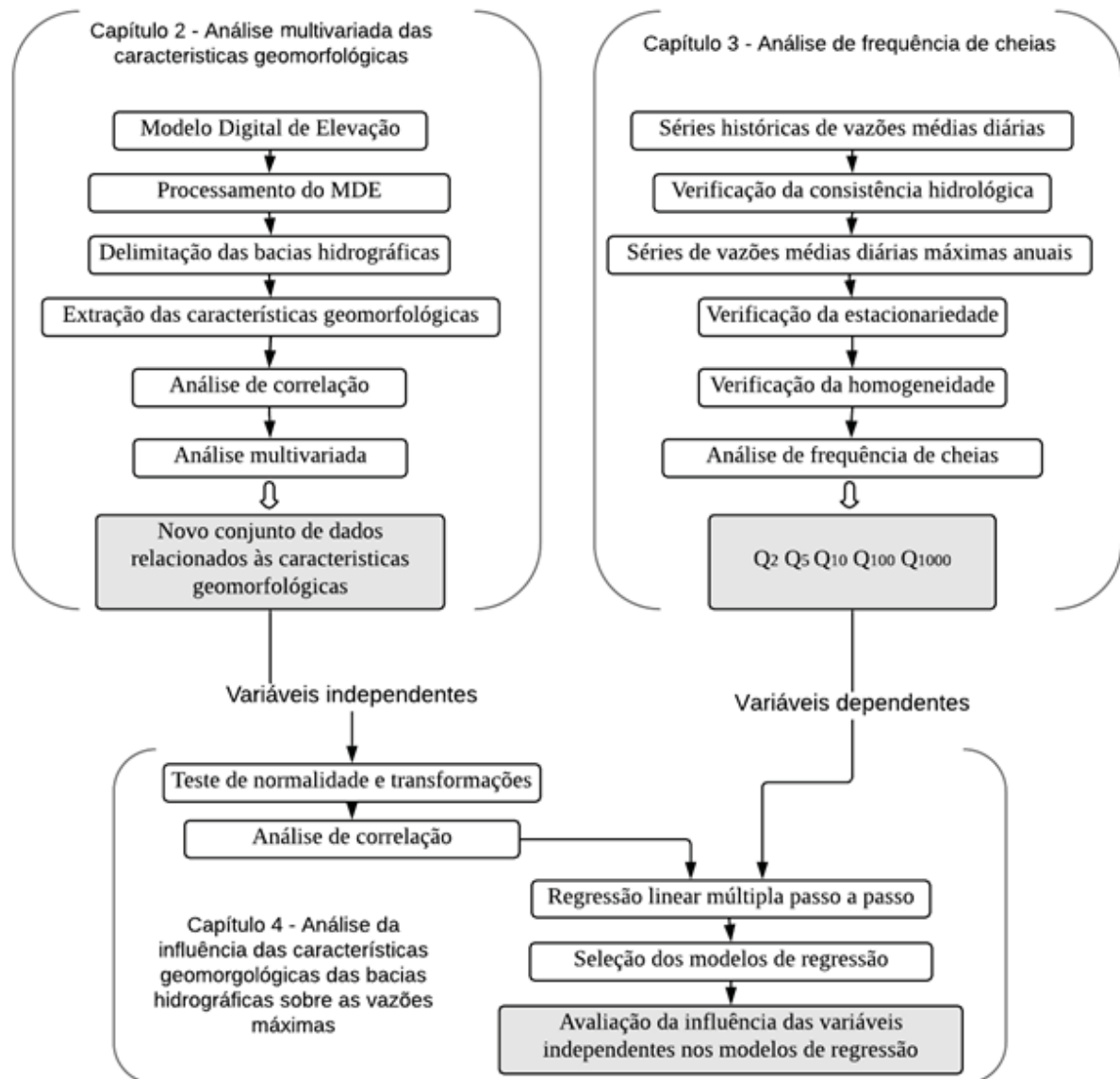
### **1.3 ABORDAGEM METODOLÓGICA**

Resumidamente, foram selecionadas 53 bacias hidrográficas monitoradas e localizadas nas quatro principais bacias hidrográficas do Estado do Paraná (Iguaçu, Ivaí, Tibagi e Piquiri) com séries históricas de, pelo menos, 30 anos. Para cada bacia foram extraídas 25 características geomorfológicas que potencialmente afetam as vazões máximas e foram aplicadas técnicas de análise multivariada para identificar um novo conjunto de variáveis com relativamente baixa correlação entre si, uma vez que esta é uma premissa para aplicação de métodos de regressão. Na sequência, foram calculadas as vazões máximas para diferentes tempos de recorrência para cada uma das bacias hidrográficas selecionadas. Finalmente, a influência das características geomorfológicas sobre as vazões máximas foi avaliada através de modelos de regressão linear.

Para orientação quanto ao desenvolvimento do trabalho, a FIGURA 1 apresenta um esquema resumido das etapas realizadas nesta dissertação, separadas por capítulo.



FIGURA 1 - FLUXOGRAMA DAS ETAPAS METODOLÓGICAS



## 1.4 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

Esta dissertação está dividida basicamente em cinco capítulos principais. No Capítulo 1 é apresentada a introdução, os objetivos da pesquisa, a estruturação do documento e uma síntese da abordagem metodológica. Os Capítulos 2 e 3 apresentam as etapas para obtenção dos resultados parciais e objetivos específicos. O Capítulo 4 integra os resultados parciais obtidos nos capítulos anteriores, visando o alcance do objetivo geral da dissertação. O Capítulo 5 apresenta as considerações finais do trabalho e as recomendações para estudos futuros.

A estrutura dos Capítulos 2 a 4 procura reproduzir a estrutura usual de trabalhos científicos, com itens que descrevem a fundamentação teórica, metodologia e análise de resultados, conforme os seus objetivos específicos. A TABELA 1 apresenta a estruturação do documento e os objetivos de cada capítulo.

TABELA 1 - ESTRUTURA DO DOCUMENTO

<b>Capítulo</b>	<b>Objetivos específicos do capítulo</b>
1. INTRODUÇÃO	Introduzir a temática desta dissertação e apresentar os objetivos da pesquisa.
2. ANÁLISE MULTIVARIADA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS	Identificar um conjunto de características geomorfológicas que potencialmente afetam o escoamento.
3. ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE CHEIAS	Estimar as vazões máximas para diferentes tempos de recorrência em bacias hidrográficas do estado do Paraná e realizar a caracterização hidrológica das cheias nas bacias em estudo.
4. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS SOBRE AS VAZÕES MÁXIMAS	Avaliar a influência das características geomorfológicas sobre vazões máximas de diferentes tempos de recorrência em bacias hidrográficas do estado do Paraná.
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	Apresentar as considerações finais do estudo e as recomendações para trabalhos futuros.

## 2 ANÁLISE MULTIVARIADA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS

A caracterização das bacias hidrográficas é fundamental para o entendimento dos diversos processos hidrológicos (ALTAF; MERAJ; ROMSHOO, 2013; BEVEN; WOOD; SIVAPALAN, 1988). Enquanto as condições meteorológicas, que governam a entrada de água através da precipitação, apresentam rápida variação temporal, as características do terreno, que influenciam na dinâmica da água sobre a superfície, sofrem mudanças de forma lenta. Esta constatação sugere os estudos da forma do relevo, ciência denominada de geomorfologia (CHRISTOFOLETTI, 1980), como um dos caminhos oportunos para a compreensão do comportamento das vazões das bacias hidrográficas.

Strahler (1957) categoriza os métodos geomorfológicos em dois grandes grupos: medições de escala linear e número adimensionais. O primeiro grupo se refere às medições em que unidades topográficas geometricamente análogas podem ser comparadas quanto ao tamanho, o que inclui a densidade de drenagem, comprimento dos rios de determinada ordem, constante de manutenção do canal, perímetro e relevo. Os números adimensionais incluem as ordens dos rios, relações de bifurcação, declives médios, relação de relevo, curvas hipsométricas, dentre outros. Christofolletti (1980) classifica os métodos geomorfológicos em três categorias: análise areal, análise linear e análise hipsométrica. Os estudos mais recentes têm utilizado diferentes categorizações das características geomorfológicas (PRICE *et al.*, 2011; AHN; MERWADE, 2015; ABDEL-FATTAH *et al.*, 2017).

O avanço da informática e dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) possibilitam que uma quantidade maior de características sejam avaliadas e com maior precisão (BEVEN; WOOD; SIVAPALAN, 1988; ALTAF; MERAJ; ROMSHOO, 2013). Da mesma maneira, as técnicas de medições de dados, como os sensores remotos, encorajam os hidrólogos a usarem ferramentas mais avançadas para a caracterização geomorfológica (ABDEL-FATTAH *et al.*, 2017). Entretanto, Sidle (2006) aponta que, nos últimos anos, o foco dos estudos de processos hidrológicos tem deixado de lado as investigações de campo e alerta que os dados obtidos por SIGs e bancos de dados secundários, especialmente relacionados ao uso do solo, não substituem a experiência adquirida no processo de coleta e a interpretação destes dados em campo, onde surgem os problemas hidrológicos e onde as decisões devem ser tomadas.

De qualquer maneira, para a obtenção de características geomorfológicas é usual a utilização de Modelos Digitais de Elevação (MDE) obtidos por meio de sensores remotos (ALTAF; MERAJ; ROMSHOO, 2013; AHN; MERWADE, 2015; ABDEL-FATTAH *et al.*, 2017; SAHARIA; KIRSTETTER; VERGARA, 2017).

A influência das características geomorfológicas e do uso do solo das bacias hidrográficas no escoamento superficial tem sido estudado em diversas regiões do mundo.

PRICE *et al.* (2011) selecionaram 66 características geomorfológicas e do uso do solo para avaliar a sua influência na variabilidade das vazões baixas nos Estados Unidos. Os autores verificaram que as características mais influentes são: a densidade de drenagem; fração da área da bacia ocupada por colúvios; a variabilidade topográfica (desvio padrão da declividade); e a porcentagem da rede de drenagem com canais de primeira ordem.

SOUZA (2015) concluiu que a combinação da área de drenagem com a amplitude altimétrica ou com a integral hipsométrica possui grande poder explicativo da heterogeneidade dos parâmetros de escoamento de base em bacias hidrográficas do Alto Iguaçu, no estado do Paraná.

AHN e MERWADE (2015) selecionaram 36 características geomórficas e do uso do solo para avaliar sua relação com as cheias nos Estados Unidos e verificaram que o comprimento das bacias hidrográficas, a declividade, o percentual da área com declividade inferior a 1° e o uso do solo relacionado a áreas úmidas apresentaram as maiores contribuições na geração de cheias severas e extremas.

ABDEL-FATTAH *et al.* (2017) avaliaram o impacto de 38 características geomorfológicas e concluíram que, dentre os parâmetros mais eficazes na geração das cheias em bacias hidrográficas do Egito, têm-se área de drenagem, relação de declividade, fator de forma e razão de bifurcação de Horton.

Como consequência da complexidade e variabilidade dos sistemas naturais, são encontradas na literatura uma quantidade considerável de características geomorfológicas que buscam de maneira conjunta descrever a paisagem, através de valores numéricos. A representação da geomorfologia, portanto, é multivariada (AHN; MERWADE, 2015).

Existe uma significativa redundância na matriz dos parâmetros geomórficos, uma vez que estes apresentam forte correlação entre si (SINGH *et al.*, 2008). Considerando que o objetivo geral desta dissertação é analisar a influência das

características geomorfológicas das bacias hidrográficas sobre as vazões máximas, utilizando-se da regressão estatística, a correlação entre as variáveis, denominada em termos estatísticos de multicolinearidade, dificulta o processo interpretativo da influência relativa de cada característica geomorfológica sobre as vazões máximas. Segundo Hair *et al.* (2005, p. 142):

*O impacto da multicolinearidade é reduzir o poder preditivo de qualquer variável independente na medida em que ela é associada com as outras variáveis independentes. Quando a colinearidade aumenta, a variância única explicada por conta de cada variável independente diminui e o percentual da previsão compartilhada aumenta. Como essa previsão compartilhada pode ser considerada apenas uma vez, a previsão geral aumenta muito mais vagarosamente quanto mais variáveis independentes com multicolinearidade elevada são acrescentadas.*

Portanto, dados os objetivos desta dissertação e o princípio da parcimônia, é de interesse que sejam utilizadas técnicas que reduzam a quantidade de informações sem perdas significativas e que minimizem a correlação entre as variáveis para não haver influências na interpretação dos modelos de regressão linear.

Para isso, existem alguns métodos, como a análise de correlação e as técnicas de estatística multivariada, que possibilitam tanto a redução do número de variáveis, quanto a sua reestruturação em um novo conjunto independente.

A Análise de Correlação (AC) é um método estatístico que permite que seja conhecido o grau de associação entre duas variáveis aleatórias e, logo, que algumas redundâncias possam ser detectadas (HAN; KAMBER; PEI, 2012). Quando este grau de associação é alto, representado pelo módulo do coeficiente de correlação próximo à unidade, sugere-se que duas variáveis tendem a apresentar variação conjunta (NAGHETTINI; PINTO, 2007) e que as mesmas informações estão contidas em ambas as variáveis (SINGH *et al.*, 2008). Ao se trabalhar com um grande conjunto de variáveis é comum a utilização deste método para remover a redundância de informações (MORRIS; DONOVAN; STRAGER, 2009; PRICE *et al.*, 2011; AHN; MERWADE, 2015; AHN; PALMER, 2016), suportado pelo princípio da parcimônia.

A Análise dos Componentes Principais (ACP) e Análise Fatorial (AF) são técnicas da estatística multivariada que permitem a criação de novos fatores que apresentam independência entre si, possibilitando que sejam utilizados como variáveis explicativas nas análises de regressão (HAN; KAMBER; PEI, 2012). A

principal vantagem das técnicas multivariadas é tentar compreender as relações complexas, através da reorganização das diversas variáveis (HAIR *et al.*, 2005).

A Análise dos Componentes Principais (ACP) tem como um dos seus objetivos a transformação do conjunto original de variáveis em vetores independentes, sem que haja perdas significativas de informações (HAAN; ALLEN, 1972; VICINI, 2005). Estes vetores, denominados componentes principais (CPs), são combinações lineares das variáveis originais e possibilitam a identificação das variáveis responsáveis pelas maiores variações em um conjunto de dados (SINGH *et al.*, 2008; MORRIS; DONOVAN; STRAGER, 2009).

A Análise Fatorial (AF) possibilita analisar a estrutura das correlações entre um grande número de variáveis, e definir um conjunto de dimensões latentes comuns, denominadas de fatores, tendo como principais objetivos resumir e reduzir os dados (HAIR *et al.*, 2005). Quando os fatores são extraídos através dos componentes principais, com o novo conjunto de variáveis é possível identificar a correlação entre as variáveis originais e os CPs, e, portanto, determinar quanto cada variável é explicada pelo mesmo (VICINI, 2005). Além disso, a partir dos fatores é possível calcular os escores fatoriais para cada dimensão latente, e substituir as variáveis originais pelos mesmos quando o objetivo é a redução do número de dados (HAIR *et al.*, 2005). Nos trabalhos aqui citados, que aplicaram a AF a partir dos componentes principais, em sua maioria foi utilizada a denominação de *ACP com cargas fatoriais*. Entretanto cabe destacar que, no geral, se trata da mesma técnica.

A escolha entre a aplicação da ACP ou da AF deve ser feita com base nos objetivos do estudo. Se o objetivo é a redução dos dados sem grandes perdas de informações, sugere-se que seja optado pela ACP. Entretanto, se o objetivo prioritário é identificar as dimensões latentes das variáveis originais, deve-se optar pela AF (HAIR *et al.*, 2005). Estas soluções podem ser encontradas também na ACP, mas, para a maioria dos efeitos práticos, essa diferenciação das variáveis não é explícita (JOLLIFFE, 2002). No entanto, há autores que obtiveram sucesso na identificação dos constructos latentes (fatores) utilizando a ACP (NEISSE; HONGYU, 2000; MORRIS; DONOVAN; STRAGER, 2009).

Outra diferença entre as técnicas é que, enquanto a ACP considera a variância total de uma variável, a AF considera somente a variância compartilhada com as demais variáveis e cuja estimativa é dada pelas comunalidades (HAIR *et al.*, 2005). As comunalidades indicam quanto da variância compartilhada entre as

variáveis está sendo explicada pelos fatores. Além disso, na AF os fatores sofrem de indeterminância fatorial, o que significa que não há solução única para os fatores, diferentemente da ACP (HAIR *et al.*, 2005).

Uma vez que suas formulações e objetivos são diferentes, é adequado analisar ambos os resultados para um mesmo conjunto de dado (JOLLIFFE, 2002). Na maioria das aplicações, tanto a ACP quanto a AF chegam a resultados essencialmente idênticos, se as comunalidades excederem 0,6 para a maioria das variáveis (HAIR *et al.*, 2005).

A interpretação física dos resultados provenientes da ACP e da AF pode ser difícil, o que limita a sua utilização conforme os objetivos do estudo. Uma alternativa bastante utilizada na literatura para facilitar a interpretação dos fatores extraídos da AF é a rotação dos eixos (HAAN; ALLEN, 1972; HAIR *et al.*, 2005; VICINI, 2005). A rotação permite a visualização das variáveis originais que melhor representam cada fator, o que facilita a identificação de um significado físico (VICINI, 2005). Além disso, dependendo da técnica de rotação escolhida, os eixos permanecem ortogonais e os fatores independentes entre si.

Morris, Donovan e Strager (2009) utilizaram AC, ACP e análise de agrupamento para identificar as variáveis ótimas em um conjunto de variáveis geomorfológicas e climatológicas para avaliar o impacto da predição de vazões em diferentes regiões. A ACP foi utilizada para criar um número pequeno de componentes principais que apresentassem independência entre si para posterior relação com as vazões através da regressão matemática.

A partir de um conjunto de características geomorfológicas, Haan e Allen (1972) aplicaram ACP com cargas fatoriais rotacionadas e não rotacionadas para comparar os resultados da regressão múltipla entre o escoamento médio anual e os componentes principais resultantes, assim como, as próprias características geomorfológicas. Os autores observaram que a rotação das cargas fatoriais não melhorou a qualidade dos modelos de regressão, entretanto auxiliou na interpretação física dos resultados, permitindo enquadrar cada CP em uma categoria de características geomorfológicas. Da mesma maneira, verificou-se que os modelos de regressão múltipla com as próprias características geomorfológicas foram menos trabalhosos e apresentaram a mesma qualidade que os modelos de regressão múltipla com as CPs.

Destaca-se, entretanto, que Haan e Allen (1972) não avaliaram a multicolinearidade entre as características geomorfológicas nos modelos de regressão ao utilizarem, por exemplo, a área de drenagem e o perímetro das bacias hidrográficas, variáveis altamente correlacionadas. Em situações em que as variáveis explicativas são fortemente correlacionadas podem ocorrer problemas na regressão múltipla (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Singh *et al.* (2008) utilizaram ACP com cargas fatoriais para agrupar parâmetros geomorfológicos de bacias hidrográficas na Índia, conseguindo interpretar fisicamente os resultados obtidos, mesmo sem a aplicação da rotação dos eixos. Price *et al.* (2011) utilizaram AC e ACP com cargas fatoriais rotacionadas para reduzir o conjunto de variáveis independentes para avaliar, através da regressão passo a passo, a influência do uso do solo e das características geomorfológicas na variabilidade das vazões mínimas em bacias hidrográficas nos Estados Unidos. Elesbon *et al.* (2015) propuseram uma metodologia que utiliza AC, ACP com cargas fatoriais e análise de agrupamento visando a identificação de variáveis mais representativas em estudos de regionalização de vazões mínimas. Ahn e Merwade (2015) e Ahn e Palmer (2016) utilizaram AC e ACP com cargas fatoriais rotacionadas para remover a redundância das informações e filtrar um conjunto de características geomorfológicas mais significativas para serem analisadas em estudos das vazões máximas.

A diversidade de características geomorfológicas existentes sugere que seja realizada uma análise detalhada da interrelação e da variação do conjunto de dados previamente a qualquer inferência quanto ao comportamento hidrológico. O conhecimento detalhado das características morfométricas das bacias hidrográficas pode auxiliar na compreensão dos seus efeitos sobre a variação espaço-temporal das respostas hidrológicas (ALTAF; MERAJ; ROMSHOO, 2013).

Neste contexto, os objetivos específicos deste capítulo são:

- i. Definir um conjunto inicial de características geomorfológicas que potencialmente influenciam as vazões máximas;
- ii. Reduzir, se possível, o conjunto inicial de características geomorfológicas, de modo a ainda representar adequadamente o conjunto inicialmente definido sem perdas significativas de informações.

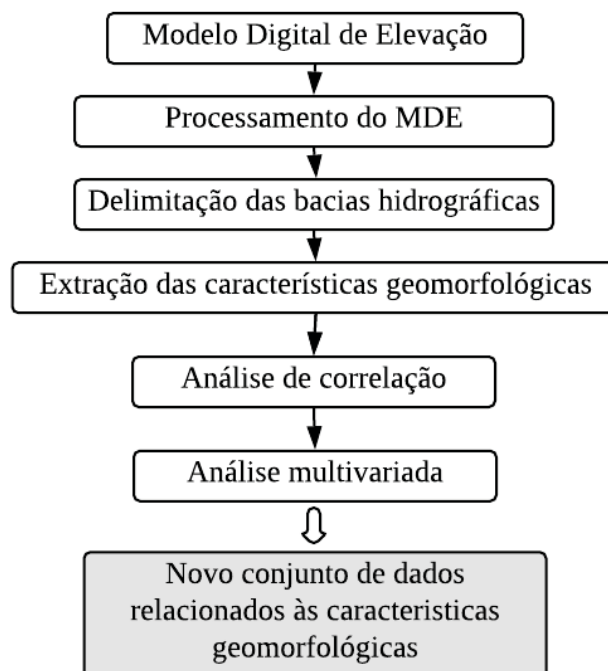


Objetiva-se que o novo conjunto de variáveis apresente relativamente baixa correlação entre si e cuja interpretação física seja possível para a posterior utilização como variáveis explicativas nos modelos de regressão. Complementarmente, objetiva-se avaliar a variabilidade espacial das características geomorfológicas na área de estudo.

## 2.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para alcançar os objetivos propostos para este estudo, foram selecionadas as bacias hidrográficas de interesse e foram extraídas as características geomorfológicas que potencialmente afetam o escoamento superficial. De posse da matriz de características geomorfológicas, foram aplicadas a Análise de Correlação (AC) e as técnicas multivariadas de Análise dos Componentes Principais (ACP) e de Análise Fatorial (AF). Complementarmente, foi realizada análise espacial dos resultados obtidos. A FIGURA 2 apresenta de modo simplificado as principais etapas relacionadas aos objetivos deste capítulo.

FIGURA 2 - ABORDAGEM METODOLÓGICA DA ETAPA DE ANÁLISE MULTIVARIADA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS



### 2.1.1 Área de estudo e seleção das bacias hidrográficas

Foram selecionadas bacias hidrográficas dos quatro principais rios contidos no Estado do Paraná, sendo eles o rio Iguaçu, Piquiri, Ivaí e Tibagi, cujas áreas totais de drenagem são, respectivamente, 67.435 km<sup>2</sup>, 24.232 km<sup>2</sup>, 36.506 km<sup>2</sup> e 24.232 km<sup>2</sup>. Estas bacias hidrográficas pertencem à Região hidrográfica do rio Paraná (CNRH, 2003), e possuem área total de aproximadamente 152.407 km<sup>2</sup> ocupando cerca de 70% da área do Estado do Paraná. A escolha desta área ocorreu devido à disponibilidade de dados hidrológicos de bacias hidrográficas com características diversificadas, o que possibilita a avaliação da influência das suas características sobre as vazões máximas.

Contidas nas bacias hidrográficas em estudo, foram pré-selecionadas as sub-bacias que apresentam estações fluviométricas operadas pela Agência Nacional de Águas (ANA) com séries históricas de vazões médias diárias de, pelo menos, 30 anos (1985 – 2014), conforme recomendação da Organização Meteorológica Mundial (WMO, 1994) para estudos estatísticos. No total, foram selecionadas 53 bacias com áreas de drenagem variando entre aproximadamente 12 km<sup>2</sup> e 67.127 km<sup>2</sup>.

Dentre as estações fluviométricas selecionadas, 25 estão localizadas na bacia hidrográfica do rio Iguaçu (BH Iguaçu), 12 na bacia hidrográfica do rio Piquiri (BH Piquiri), 11 na bacia hidrográfica do rio Ivaí (BH Ivaí), e 5 na bacia hidrográfica do rio Tibagi (BH Tibagi), apresentadas na TABELA 2 e na FIGURA 3.

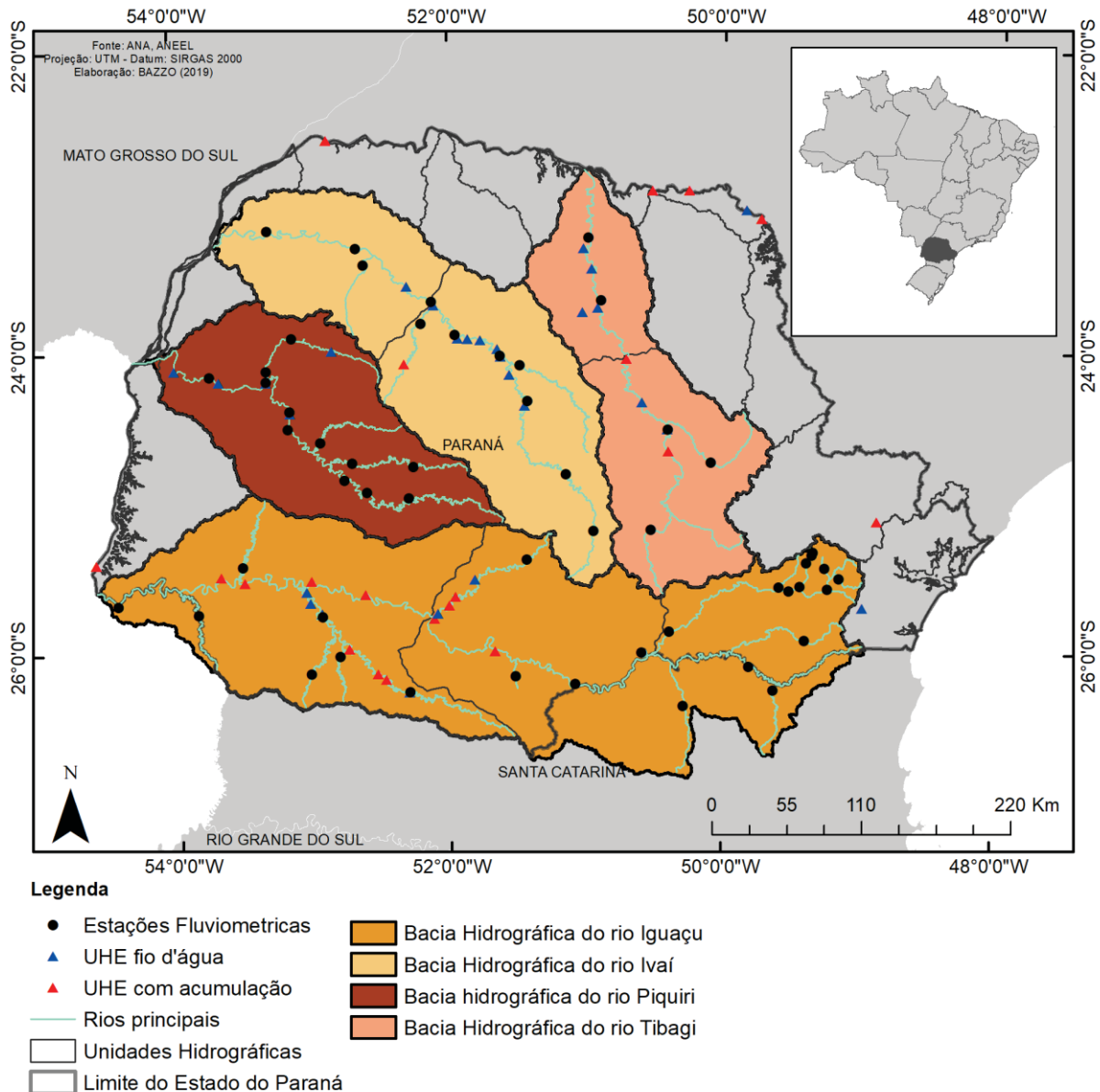
TABELA 2 - RELAÇÃO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS SELECIONADAS PARA O ESTUDO

<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Rio</b>	<b>Bacia hidrográfica</b>	<b>Área de drenagem (km<sup>2</sup>)</b>
64442800	Lajeado	Imbituva	Tibagi	1.341,66
64465000	Tibagi	Tibagi	Tibagi	8.845,30
64477600	Chácara Cachoeira	Iapó	Tibagi	1.585,58
64501000	Porto Londrina	Tibagi	Tibagi	18.686,49
64507000	Jataizinho Ana/CESP	Tibagi	Tibagi	21.917,36
64620000	Rio dos Patos	Rio dos Patos	Ivaí	1.058,88
64625000	Tereza Cristina	Ivaí	Ivaí	3.179,61
64645000	Porto Espanhol	Ivaí	Ivaí	8.546,13
64652000	Porto Monteiro	Alonso	Ivaí	2.607,43
64655000	Ubá do Sul	Ivaí	Ivaí	12.699,07
64660500	Vila Rica	Ivaí	Ivaí	19.428,40
64673000	Quinta do Sol	Mourão	Ivaí	1.532,96
64675002	Porto Bananeira	Ivaí	Ivaí	23.098,23
64682000	Japurá - Rio dos Índios	Rio dos Índios	Ivaí	818,01
64685000	Porto Paraíso do Norte	Ivaí	Ivaí	28.405,49

TABELA 2 - RELAÇÃO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS SELECIONADAS PARA O ESTUDO  
(continuação)

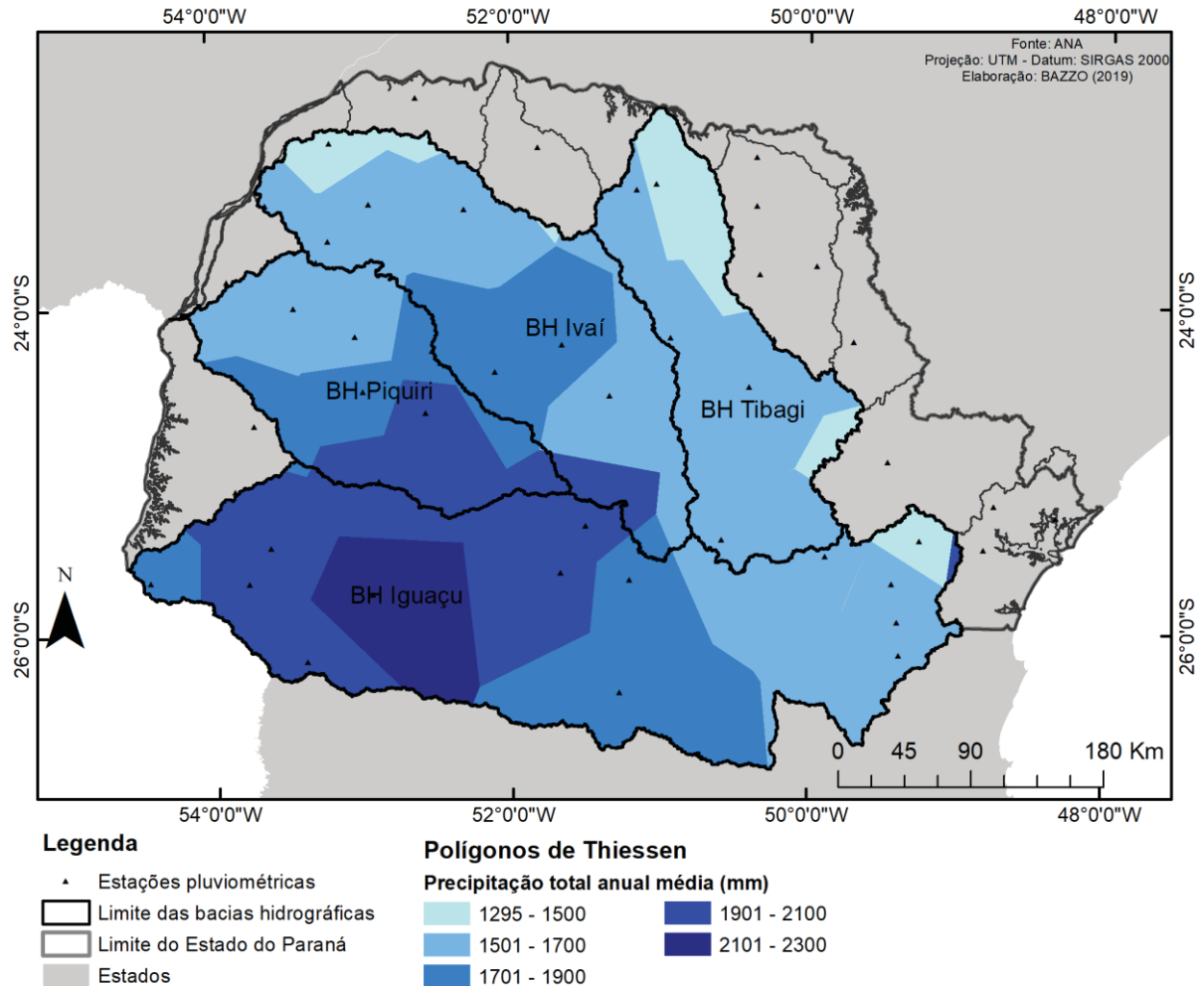
<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Rio</b>	<b>Bacia hidrográfica</b>	<b>Área de drenagem (km<sup>2</sup>)</b>
64693000	Novo Porto Taquara	Ivaí	Ivaí	34.389,21
64764000	Guampará	Piquiri	Piquiri	1.691,38
64767000	Porto Carriel	Piquiri	Piquiri	3.542,71
64771500	Porto Guarani	Piquiri	Piquiri	4.169,50
64773000	Ponte Leôncio Primo	Cantu	Piquiri	757,34
64775000	Balsa do Cantu	Cantu	Piquiri	2.147,15
64785000	Ponte do Goio – Bang	Goio Bang ou Tricolor	Piquiri	1.311,11
64795000	Ponte do Piquiri	Piquiri	Piquiri	11.248,29
64799500	Novo Porto 2	Piquiri	Piquiri	12.090,91
64810000	Balsa do Goio – Ere	Goio-Ere	Piquiri	2.031,77
64815000	Fazenda Uberaba	Goio-Ere	Piquiri	2.962,18
64820000	Porto Formosa	Piquiri	Piquiri	17.431,78
64830000	Balsa Santa Maria	Piquiri	Piquiri	20.968,90
65010000	Fazendinha	Pequeno	Iguaçu	105,23
65011400	Prado Velho – PUC	Belém	Iguaçu	39,23
65015400	Cachoeira	Miringuava	Iguaçu	256,45
65020995	Montante Aterro Sanitário	Passaúna	Iguaçu	12,02
65021000	Jusante Aterro Sanitário	Passaúna	Iguaçu	22,91
65021770	Colônia Dom Pedro	Cachoeirinha	Iguaçu	24,56
65024000	Campina das Pedras	Passaúna	Iguaçu	179,81
65025000	Guajuvira	Iguaçu	Iguaçu	2.222,25
65027000	Rodeio	Verde	Iguaçu	230,75
65060000	São Mateus do Sul	Iguaçu	Iguaçu	6.023,22
65094500	Avencal	Preto	Iguaçu	958,96
65100000	Rio Negro	Negro	Iguaçu	3.449,15
65135000	Rio da Várzea dos Lima	Rio da Várzea	Iguaçu	602,83
65180000	Salto Canoinhas	Canoinhas	Iguaçu	763,54
65220000	Fluviópolis	Iguaçu	Iguaçu	18.573,58
65310000	União da Vitória	Iguaçu	Iguaçu	24.206,43
65365000	Porto Vitória (Rio Espingarda)	Espingarda	Iguaçu	65,41
65809000	ETA - Guarapuava	das Pedras	Iguaçu	312,73
65925000	Salto Claudelino	Chopim	Iguaçu	1.644,88
65945000	Ponte do Vitorino	Vitorino	Iguaçu	553,66
65948000	Ponte Marmeleiro Mte. ETA	Marmeleiro	Iguaçu	270,96
65960000	Águas do Verê	Chopim	Iguaçu	6.691,61
65979000	São Sebastião	Andrada	Iguaçu	1.311,60
65990550	Muniz	Santo Antônio	Iguaçu	663,87
65993000	Salto Cataratas	Iguaçu	Iguaçu	67.127,13

FIGURA 3 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS SELECIONADAS PARA O ESTUDO



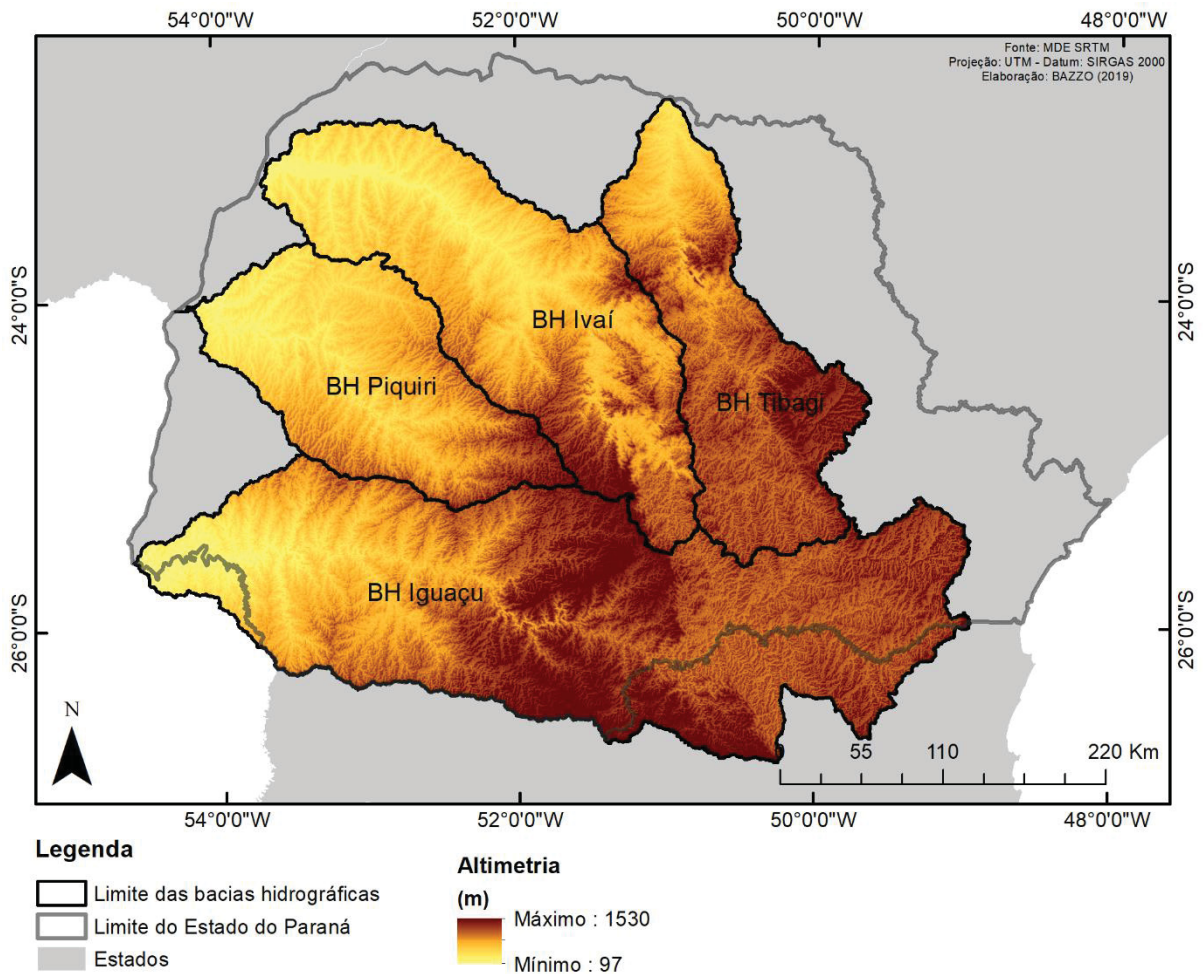
A FIGURA 4 apresenta a distribuição espacial da precipitação total anual média na área de estudo, considerando o período de 1985 a 2014. A delimitação da área de influência de cada estação pluviométrica foi obtida pela metodologia dos polígonos de Thiessen (THIESSEN, 1911). A BH Iguaçu apresenta precipitação total anual média de 1.870 mm, sendo que as maiores alturas precipitadas estão localizadas na sua porção baixa. A BH Piquiri apresenta as maiores alturas precipitadas na sua foz, e total anual médio de 1.840 mm. As BHs Ivaí e Tibagi apresentam menores alturas precipitadas, com valores anuais totais médios de 1.640 mm e 1.570 mm, respectivamente.

FIGURA 4 - PRECIPITAÇÃO TOTAL ANUAL MÉDIA DISTRIBUÍDA NA ÁREA DE ESTUDO



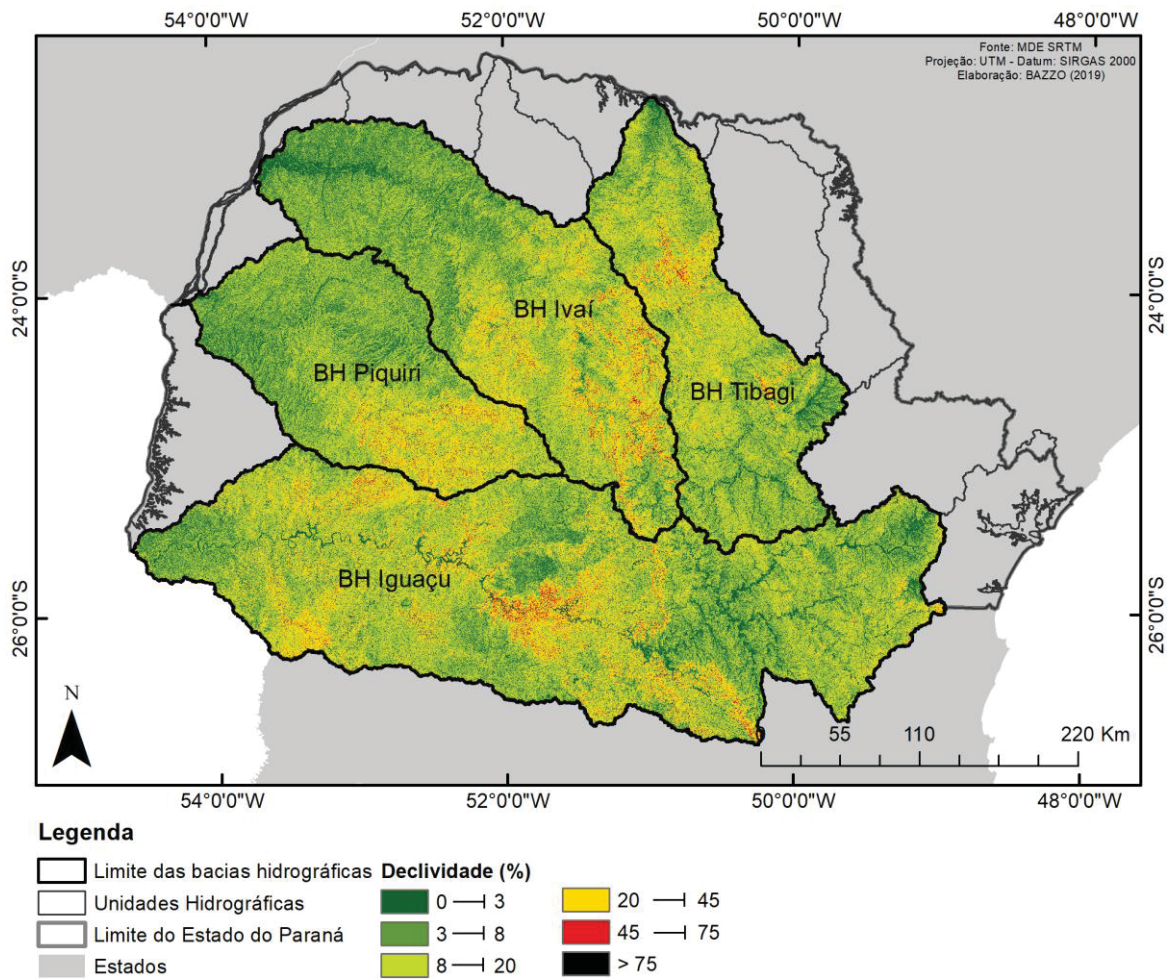
A FIGURA 5 apresenta a altimetria da área de estudo, obtida através do Modelo Digital de Elevação do terreno (MDE) da Missão Topográfica *Radar Shuttle* (SRTM), com resolução espacial de 30 m, disponibilizados pela *United States Geological Survey* (USGS). As maiores altitudes (1.530 m) estão situadas no extremo leste da área de estudo, contemplando a cabeceira da BH Iguaçu. Esta bacia também apresenta as menores altitudes em sua foz (97 m). A BH Piquiri apresenta altitude máxima de 1.242 m e mínima de 217 m; a BH Ivaí apresenta máxima de 1.341 m e mínima de 230 metros, e a BH Tibagi apresenta máxima de 1.362 e mínima de 324 m.

FIGURA 5 - ALTIMETRIA ATRAVÉS DO MODELO DIGITAL DE ELEVÇÃO DO TERRENO DA ÁREA DE ESTUDO



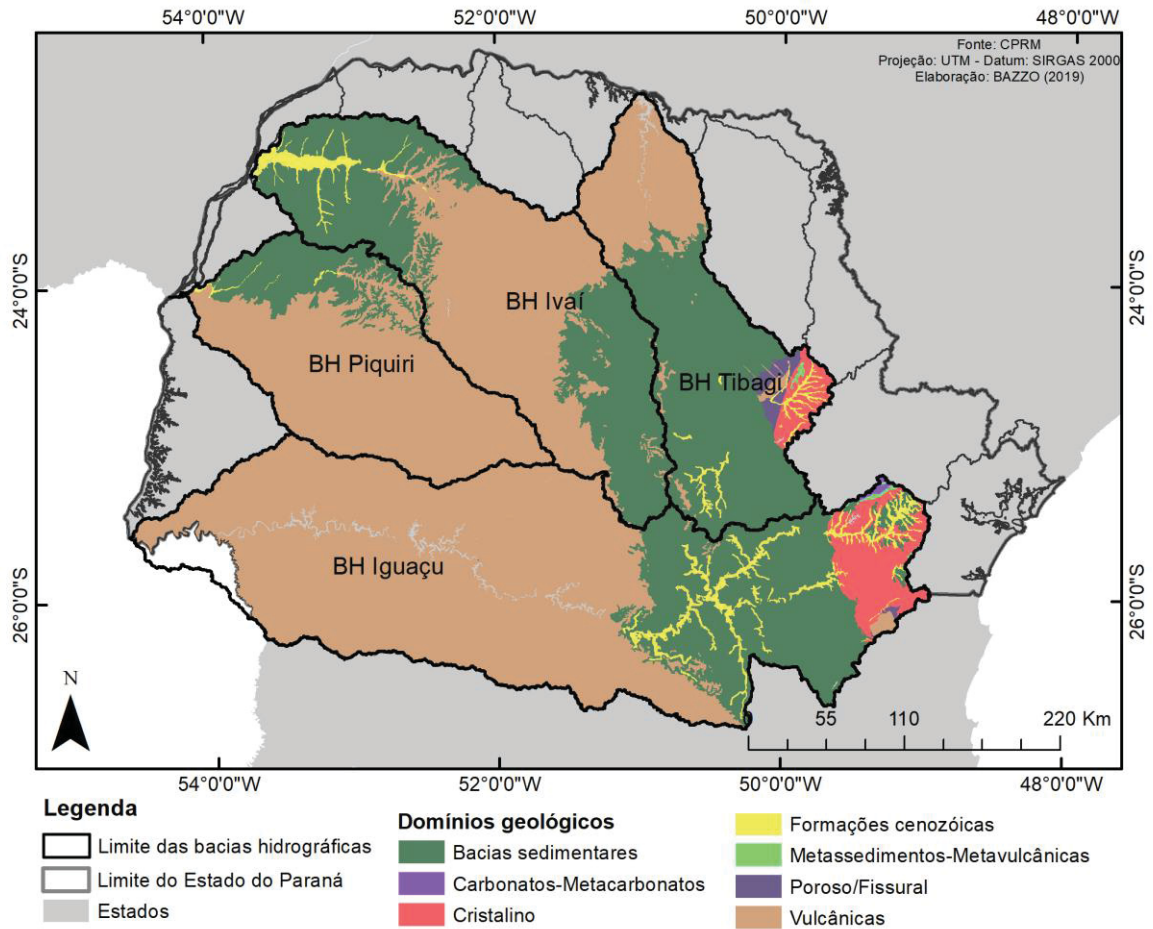
A FIGURA 6 apresenta as declividades da área de estudo, obtidas a partir do MDE. Segundo a classificação da Embrapa (1979), a porção média da BH Iguaçu e da BH Tibagi apresentam regiões com relevo forte ondulado e montanhoso (declividades entre 20% e 45% e entre 45% e 75%, respectivamente), assim como as porções altas das BH Piquiri e Ivaí. Estas duas BH apresentam regiões mais planas nas suas porções média baixa em comparação com as BH Iguaçu e Tibagi. As declividades médias das BH Iguaçu, Piquiri, Ivaí e Tibagi são, respectivamente, 13,2%, 11,4%, 12,2%, 12,2%, enquadrando-se como relevo ondulado.

FIGURA 6 - DECLIVIDADE DA ÁREA DE ESTUDO



A FIGURA 7 apresenta os domínios geológicos da área de estudo, obtidos da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo SF -22 e SG-22, disponibilizada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2004). A BH Iguaçu apresenta na sua cabeceira predominância de rochas cristalinas e, em sua porção média-alta, bacias sedimentares. Desde a porção média até a foz da BH, a predominância é de rochas vulcânicas. Esse domínio geológico está presente na porção média-alta da BH Piquiri, e parte da sua porção baixa apresenta rochas da bacia sedimentar. A BH Ivaí em suas porções alta e baixa possui predomínio da bacia sedimentar, enquanto a sua porção central é composta por rochas vulcânicas. A BH Tibagi, em sua porção de maior altimetria, apresenta predominância de rochas cristalinas, bacia sedimentar na porção média e rochas vulcânicas na porção baixa.

FIGURA 7 - DOMÍNIOS GEOLÓGICOS DA ÁREA DE ESTUDO



Segundo a classificação de Köppen (ALVARES *et al.*, 2014), toda região em estudo está localizada na zona subtropical úmida, com clima oceânico e sem estação seca. As porções média e alta da BH Iguaçu, assim como as porções altas das BHs Ivaí e Tibagi, encontram-se na região de clima subtropical temperado com verões temperados (*Cfb*), e a BH Piquiri e as porções baixas das demais BH apresentam clima do tipo *Cfa*, ou seja, subtropical temperado com verões quentes.

### 2.1.2 Obtenção das características geomorfológicas

Para a obtenção do valor numérico das características geomorfológicas para cada bacia hidrográfica, utilizou-se o Modelo Digital de Elevação do terreno (MDE) da Missão Topográfica *Radar Shuttle* (SRTM), com resolução espacial de 30 m, disponibilizado pela *United States Geological Survey* (USGS), no qual foi montado um mosaico que abrangesse a totalidade da área de estudo. Todas as informações geográficas foram georreferenciadas utilizando-se o sistema de projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator – UTM e *datum* SIRGAS 2000, conforme normativa



do Decreto nº 5.334 de 6 de janeiro de 2005 (BRASIL, 2005). Para todos os processamentos, análises e manipulações espaciais, utilizou-se o *software* ArcGIS 10.3, desenvolvido pelo *Environmental Systems Research Institute* (ESRI) e sua extensão ArcHydro.

O processamento do MDE para a delimitação das bacias hidrográficas e a geração da rede de drenagem obedeceu as seguintes etapas (ALTAF; MERAJ; ROMSHOO, 2013; ABDEL-FATTAH *et al.*, 2017; SAHARIA; KIRSTETTER; VERGARA, 2017):

- i. Preenchimento das depressões espúrias;
- ii. Determinação da direção de escoamento;
- iii. Cálculo do escoamento acumulado;
- iv. Geração da rede de drenagem;
- v. Delimitação das bacias hidrográficas.

As depressões espúrias (i) são falhas advindas do MDE bruto que são preenchidas com base na elevação dos pixels do entorno. A direção do escoamento (ii) espacializa o sentido do fluxo de cada pixel do MDE e de suas oito células vizinhas em direção à célula com maior declive (ZHANG *et al.*, 2017), permitindo a delimitação das bacias hidrográficas. O escoamento acumulado (iii) calcula o número de pixels que drenam para cada célula considerada e representa a rede hidrográfica da bacia (MENDES; CIRILO, 2001). A rede de drenagem (iv) é gerada a partir do escoamento acumulado, e a sua validação foi realizada por meio da análise visual com a rede de drenagem mapeada pela Agência Nacional de Águas - ANA (ABDEL-FATTAH *et al.*, 2017). A delimitação das bacias hidrográficas (v) foi realizada considerando-se cada estação fluviométrica como o exutório da bacia hidrográfica. As bacias hidrográficas cujas áreas de drenagem ultrapassam as fronteiras do estado do Paraná foram mantidas na análise.

Foram selecionadas 25 características geomorfológicas que potencialmente possuem relação teórica com as vazões e que foram utilizadas em diversos estudos usados como referência, a exceção da variável declividade máxima do rio principal (%) (*I<sub>rp</sub> máx*), cuja sua inclusão foi proposta pela autora. Estas características estão apresentadas na TABELA 3. As variáveis (características geomorfológicas) foram

classificadas em quatro tipos: escala, forma, topografia e rede de drenagem; com base na categorização utilizada por ABDEL-FATTAH *et al.* (2017).

TABELA 3 - LISTA E DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS UTILIZADAS

Tipo	Característica	Variável	Equações	Referências
Escala	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	<i>A</i>	-	1; 2; 3; 6; 8; 14; 16
	Comprimento da bacia (km)	<i>C</i>	Maior comprimento desde a foz	1; 2; 4; 14; 16
	Perímetro (km)	<i>P</i>	-	1; 2; 14; 16
	Comprimento do rio principal (km)	<i>Crp</i>	-	1; 8; 15
	Comprimento total dos rios (km)	<i>Ct</i>	Soma do comprimento dos rios	1; 2; 14; 15; 16
	Amplitude altimétrica máxima (m)	<i>Hm</i>	$Hm = Hmáx - Hmín$	1; 2; 11; 12; 14; 16
Forma	Comprimento relativo	<i>Cr</i>	$Cr = C/A^{0,5}$	2; 14; 16
	Taxa de alongamento	<i>Ta</i>	$Ta = (2/C)\sqrt{A/\pi}$	1; 11; 15; 16
	Índice de circularidade	<i>IC</i>	$IC = 4\pi A/P^2$	1; 2; 14; 15; 16
	Coeficiente de compacidade	<i>Kc</i>	$Kc = P/[2(\pi A)^{0,5}]$	1; 2; 14; 15; 16
	Fator de forma	<i>F</i>	$F = A/C^2$	1; 2; 3; 5; 14; 15; 16
Topografia	Relação de relevo (%)	<i>Rr</i>	$Rr = 100 (Hm/\sqrt{A})$	1; 2; 7; 9; 12; 14; 16
	Índice de rugosidade (%)	<i>Ir</i>	$IR = 100 Hm Dd$	1; 8; 13; 15; 16
	Declividade média (%)	<i>I</i>	Declividade média dos pixels	1; 2; 3; 14; 16
	Declividade máxima (%)	<i>Imáx</i>	Declividade máxima dos pixels	2; 16
	Declividade média do rio principal (%)	<i>Irp</i>	-	1; 8
	Declividade máxima do rio principal (%)	<i>Irp máx</i>	-	
	Declividade <1° (%)	<i>I&lt;1°</i>	fração de pixels <1°	2; 14
	Declividade <2° (%)	<i>I&lt;2°</i>	fração de pixels <2°	2; 14; 16
	Declividade <5° (%)	<i>I&lt;5°</i>	fração de pixels <5°	2; 14; 16
	Integral hipsométrica	<i>HI</i>	$HI = (Hméd - Hmín)/Hm$	1; 4; 12
	Relação da declividade	<i>Rd</i>	$Rd = Irp/I$	1
Rede de drenagem	Densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> )	<i>Dd</i>	$Dd = Ct/A$	1; 2; 3; 6; 14; 15; 16
	Coeficiente de manutenção (m)	<i>Cm</i>	$Cm = 1000(1/Dd)$	11; 15
	Sinuosidade do rio principal	<i>Srp</i>	$Srp = Crp/Crp axial$	1; 10

*Hmáx* = altitude máxima; *Hmín* = altitude mínima; *Hméd* = altitude média; *Crp axial* = comprimento axial do rio principal.  
Referências: 1 - Abdel - Fattah *et al.* (2017); 2 - Ahn; Merwade (2015); 3 - Black (1972); 4 - Chistofolletti (1980); 5 - Horton (1932); 6 - Horton (1945); 7 - Melton (1965); 8 - Rao; Srinivas (2006); 9 - Saharia; Kirstetter; Vergara (2017); 10 - Schumm, (1963); 11 - Schumm (1956); 12 - Souza (2015); 13 - Melton (1957); 14 - Ahn; Palmer (2016); 15 - Altaf *et al.* (2013); 16- Price *et al.* (2011)

A área de drenagem (*A*), o comprimento da bacia (*C*) e o perímetro (*P*), relacionados à escala, foram extraídos através do contorno das bacias hidrográficas

delimitadas, diretamente pelo ArcGIS, e foram utilizadas para as estimativas das características relacionadas à forma das bacias.

As características relacionadas à topografia, especificamente as declividades, foram estimadas através dos pixels contidos em cada bacia hidrográfica, sendo automatizada no *software* utilizado. As características relacionadas à rede de drenagem foram extraídas a partir da hidrografia gerada no processamento do MDE.

O fator de forma ( $F$ ), definido pela razão entre a área de drenagem e o quadrado do comprimento da bacia, pode indicar tendência à formação de enchentes (VILLELA; MATTOS, 1975). O índice de circularidade ( $IC$ ) representa a relação entre a área da bacia e a área de um círculo de mesmo perímetro. Similarmente, o coeficiente de compacidade ( $Kc$ ) relaciona o perímetro e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. Para os dois índices ( $IC$  e  $Kc$ ), quanto mais próximo da unidade, mais próxima a bacia está da forma circular e maior a tendência a enchentes (VILLELA; MATTOS, 1975; CHRISTOFOLETTI, 1980).

As declividades médias ( $I$ ) e máxima ( $Imáx$ ) representam a variação da elevação na bacia em relação ao seu comprimento, sendo superior a 100% quando a diferença de elevação é superior à distância horizontal.

A relação de relevo ( $Rr$ ) é uma medida da inclinação geral de uma bacia hidrográfica (ALTAF; MERAJ; ROMSHOO, 2013) que relaciona a amplitude altimétrica máxima com a área de drenagem ou comprimento, sendo que maiores valores indicam maiores tendências a enchentes devido à rápida concentração das vazões (SAHARIA; KIRSTETTER; VERGARA, 2017). Dentre as diferentes formas de calcular o relevo relativo, ABDEL-FATTAH *et al.* (2017) sugerem a utilização da equação de Melton, apresentada na TABELA 3, quando o propósito é a predição de cheias ou a avaliação de risco, devido à eliminação do efeito de escala. Segundo Altaf, Meraj e Romshoo (2013), valores mais altos de  $Rr$  indicam maiores tendências a processos erosivos.

A hipsometria estuda as interrelações entre a unidade horizontal de espaço e a sua distribuição em relação às faixas de altitudes, sendo que, para uma bacia hidrográfica, a unidade geométrica de referência é um sólido limitado pelo seu perímetro e pelos pontos de menor e maior altitude (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A densidade de drenagem ( $Dd$ ) representa a quantidade de rios necessários para drenar a bacia hidrográfica, sendo que valores altos podem indicar altas vazões de cheia e alta produção de sedimentos (USGS, 1998). Segundo Villela e Matos

(1975), pode-se afirmar que este índice varia de 0,5 km/km<sup>2</sup> para bacias com drenagem pobre, a 3,5 km/km<sup>2</sup> ou mais para bacias bem drenadas. Este parâmetro reflete o comportamento das rochas, de modo que, quanto menor a infiltração, melhores as condições para formar o escoamento superficial (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A sinuosidade dos canais (*Srp*) pode ter relação com o tempo de movimento da água, visto que a velocidade do fluxo de água diminui com a sinuosidade do canal (VILLELA; MATTOS, 1975; ABDEL-FATTAH *et al.*, 2017).

O índice de rugosidade (*Ir*) indica a complexidade estrutural do terreno pela associação da relação de relevo com a densidade de drenagem (ALTAF; MERAJ; ROMSHOO, 2013).

### 2.1.3 Análise de Correlação (AC)

A análise de correlação linear de Pearson possibilita verificar o grau de associação linear da variação conjunta de duas variáveis e é representada pelo coeficiente de correlação linear (NAGHETTINI; PINTO, 2007), expresso pela Equação 1.

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{X,Y}}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (1)$$

onde  $\sigma_{X,Y}$  é a covariância entre as variáveis X e Y;  $\sigma_X$  e  $\sigma_Y$  são os desvios-padrão das variáveis X e Y, respectivamente. O coeficiente de correlação linear de Pearson,  $\rho$ , varia entre -1 e 1. Quando o seu valor é nulo significa que as variáveis são linearmente independentes, e quando seu valor absoluto é 1 significa que há relação linear perfeita.

Montou-se a matriz de correlação linear de Pearson entre as 25 características geomorfológicas selecionadas com o objetivo de reduzir a redundância de informações e eliminar as altas correlações, contudo mantendo um número significativo de variáveis. A definição do valor absoluto do coeficiente de Pearson na qual acima desse é indicado reter somente uma das variáveis difere conforme os inúmeros estudos já realizados ( $|\rho| \geq 0,9$  para MORRIS; DONOVAN; STRAGER, 2009 e SINGH *et al.*, 2008;  $|\rho| \geq 0,7$  para AHN; PALMER, 2016 e AHN; MERWADE, 2015)

devido à subjetividade envolvida. No presente estudo, utilizou-se, como linha de corte, o coeficiente de correlação  $|\rho| \geq 0,8$  calculado para cada área de estudo. Para validar os resultados, realizou-se novamente a análise de correlação considerando cada uma das grandes bacias hidrográficas (Iguaçu, Piquiri, Ivaí e Tibagi) separadamente e analisou-se os pares de variáveis que apresentaram  $|\rho| \geq 0,8$ .

Após a validação das correlações, a cada par de variáveis consideradas com correlação alta ( $|\rho| \geq 0,8$ ), manteve-se no estudo àquela cuja influência teórica sobre as vazões máximas tenha sido demonstrada nos estudos de referência, sendo a outra variável removida. As variáveis (características geomorfológicas) mantidas no estudo após a AC foram utilizadas para aplicação da ACP e AF. Para todos os testes estatísticos realizados foi utilizado o programa computacional *Minitab 16 Statistical Software*.

#### 2.1.4 Análise dos Componentes Principais (ACP)

A Análise dos Componentes Principais (ACP) é baseada nos trabalhos iniciais de Pearson em 1901, adaptada por Hotelling em 1933 (SINGH *et al.*, 2008), e é uma técnica da estatística multivariada que transforma um conjunto de variáveis originais em outro conjunto, denominado componentes principais (CP). Os CPs são combinações lineares das variáveis originais e são utilizados para explicar a estrutura da variância e covariância do conjunto de dados original, e contêm a variabilidade total contida nas variáveis originais. Além disso, estes componentes principais representam eixos ortogonais, ou seja, são independentes entre si (HONGYU; SANDANIELO; OLIVEIRA JUNIOR, 2016).

O primeiro CP apresenta a combinação linear das variáveis originais que contribui com o máximo para a variância total; o segundo CP, não correlacionado com o primeiro, contribui, no máximo, para a variância residual, e assim sucessivamente até que toda a variância seja explicada (SINGH *et al.*, 2008). Para cada CP, tem-se a proporção da variância explicada, que indica o peso de cada CP na variância total dos dados, e os autovalores, que indicam o total da variância explicada por cada CP (HAIR *et al.*, 2005).

A ACP é realizada a partir da matriz de correlação  $R$ , onde os autovalores e autovetores são extraídos resolvendo-se o sistema representado pela Equação 2 (ELESBON *et al.*, 2015):

$$(R - v_i I)a_i = \phi \quad (2)$$

onde  $R$  é a matriz de correlação das características geomorfológicas de dimensão  $p \times p$ ;  $v_i$  são os autovalores da matriz  $R$ ;  $I$  é a matriz identidade de dimensão  $p \times p$ ;  $a_i$  é o autovetor, que contém os  $p$  coeficientes para cada autovalor  $v_i$  correspondente ao componente principal específico; e  $\phi$  é um vetor nulo de dimensão  $p \times 1$ .

Há diversos métodos para selecionar o número de componentes principais para representar o conjunto de dados, sendo o critério de Kaiser o mais utilizado (VELICER; JACKSON, 1990). O autovalor representa a totalidade da variância que é explicada pelos componentes principais, sendo que a quantidade de variância máxima que pode ser explicada por uma única variável é igual a 1. O critério de Kaiser (KAISER, 1958) considera que um CP precisa explicar, pelo menos, a quantidade de variância explicada por uma única variável e, portanto, sugere que sejam retidos os CPs cujo autovalor é superior a 1 (HAIR *et al.*, 2005).

Além do critério de Kaiser, têm-se o método de análise gráfica que relaciona os componentes principais e seus autovalores, usualmente denominado de gráfico *scree*. O padrão esperado do gráfico *scree* é uma curva acentuada seguido de um ponto de inflexão em determinado CP na qual a tendência passa a ser mais horizontal e cujo corte dos CPs é realizado. Quando se deseja que os fatores expliquem um percentual cumulativo da variância específico e previamente determinado, utiliza-se a própria percentagem como critério (HAIR *et al.*, 2005).

A correlação de cada variável original com os CPs pode ser enquadrada na análise fatorial, apresentada a seguir.

### 2.1.5 Análise Fatorial (AF)

A análise fatorial (AF) estuda a interrelação entre uma grande quantidade de variáveis, definindo um conjunto de dimensões latentes comuns, denominadas fatores (ou constructos latentes). Os seus dois principais objetivos são resumir e reduzir os dados. Ao resumir os dados, são obtidos fatores que, quando são possíveis de serem interpretados, descrevem os dados originais com uma quantidade inferior de variáveis. Além disso, estes fatores não apresentam correlação, sendo independentes entre si. Já a redução de dados é alcançada com o cálculo dos escores fatoriais para cada fator, substituindo-se os valores das variáveis originais (HAIR *et al.*, 2005).

O grau de contribuição de cada variável original aos fatores é identificado através das cargas fatoriais. Quando os fatores da AF são extraídos através do método dos componentes principais, as cargas fatoriais de cada variável em cada fator é a correlação entre as variáveis originais e os coeficientes dos autovetores. A matriz de cargas fatoriais é então obtida conforme a Equação 3 (SINGH *et al.*, 2008):

$$M = a_i v_i^{0,5} \quad (3)$$

onde  $M$  é a matriz de cargas fatoriais;  $v_i$  são os autovalores dos CPs; e  $a_i$  são os autovetores.

A carga fatorial ao quadrado, logo, é a quantia de variância da variável explicada pelo fator (HAIR *et al.*, 2005). O somatório das variâncias de cada variável nos diferentes fatores resulta na comunalidades, que é a proporção de variabilidade de cada variável que é explicada pelos fatores.

O autovalor é a quantia total de variância explicada por um fator, obtida pelo somatório das variâncias totais das variáveis. O autovalor pode ser comparado a variação total do conjunto de dados, que é representada pelo traço da matriz fatorial ( $M$ ), ou variância. A variância, portanto, pode ser utilizada como índice para determinar o quão bem uma solução fatorial explica o conjunto de dados.

Como os autovalores dos fatores e dos CPs são os mesmos, os critérios para a determinação da quantidade de fatores a serem selecionados são os mesmos para AF e ACP (HAIR *et al.*, 2005).

A interpretação dos fatores é feita através da análise das cargas fatoriais e de forma subjetiva. Quando o valor absoluto é próximo à unidade, sugere-se forte correlação da variável com o fator (VICINI, 2005). Esta interpretação pode apresentar um padrão significativo, possibilitando que seja designado a cada fator uma rotulação a partir da identificação das variáveis que apresentam as maiores contribuições para o fator. Entretanto, a interpretação das cargas nem sempre é facilitada, sendo indicada a rotação dos eixos de referência dos fatores para simplificar a estrutura, redistribuindo a variância dos primeiros fatores para os últimos (HAAN; ALLEN, 1972; HAIR *et al.*, 2005; VICINI, 2005).

Como o objetivo deste capítulo é obter um novo conjunto de dados que não sejam correlacionados, é de interesse que os eixos sejam rotacionados ortogonalmente, ou seja, mantendo o ângulo de 90° entre os fatores. Portanto, aplicou-

se a rotação ortogonal VARIMAX para a manutenção da ortogonalidade entre os eixos. Esta abordagem maximiza as variâncias das cargas fatoriais de cada variável com a tendência para algumas cargas altas, ou seja, com valor absoluto próximo a unidade, e outras cargas com valores próximo a zero em cada coluna da matriz de cargas fatoriais (HAIR *et al.*, 2005). Diversos estudos utilizaram esta técnica e obtiveram resultados satisfatórios (HAAN; ALLEN, 1972; PRICE *et al.*, 2011; AHN; MERWADE, 2015; AHN; PALMER, 2016). Além disso, para obter melhores resultados é possível realizar a reespecificação da análise fatorial, que consiste na eliminação das variáveis pouco representativas e reaplicação do método (HAIR *et al.*, 2005).

Uma das opções para criar um conjunto menor de variáveis a partir dos fatores obtidos pela AF, para substituir o conjunto de dados original, é o cálculo dos escores fatoriais para cada uma das observações iniciais (HAIR *et al.*, 2005). Para isso, as cargas fatoriais são utilizadas em conjunto com os valores da variável original através da relação matricial  $M(M^T M)^{-1}$ , sendo  $M$  a matriz de cargas fatoriais. Estes escores assim obtidos podem ser usados para representar os fatores em análises subsequentes (HAIR *et al.*, 2005).

Dentre outros, a utilização da ACP é mais indicada quando o interesse é definir o número mínimo de CPs necessários para explicar a maior parte da variância apresentada pelo conjunto original de variáveis. Já a utilização da AF é sugerida quando objetiva-se identificar fatores (constructos latentes) representados nas variáveis originais (HAIR *et al.*, 2005). Com o objetivo de avaliar a aplicabilidade destas técnicas da estatística multivariada, no presente estudo, aplicou-se tanto a ACP quanto a AF. Complementarmente, realizou-se uma análise espacial dos resultados obtidos nas análises multivariadas.

## 2.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisadas 25 características geomorfológicas, apresentadas na TABELA 3, calculadas para 53 sub bacias hidrográficas localizadas nas BHs dos rios Iguaçu, Ivaí, Tibagi e Piquiri no Estado do Paraná (QUADROS I.1 a I.4 do **APÊNDICE I**). As características foram categorizadas em quatro tipos, sendo seis relacionadas à escala das bacias hidrográficas, cinco relacionadas à forma, onze relacionadas à topografia e três relacionadas à rede de drenagem.



As estatísticas descritivas das características geomorfológicas do conjunto de todas as bacias hidrográficas estão apresentadas no QUADRO I.5 do **APÊNDICE I**. Os mesmos resultados para as BH Iguaçu, Piquiri, Ivaí e Tibagi, separadamente, estão apresentados nos QUADROS I.6 a I.9 do **APÊNDICE I**.

As características relacionadas à escala, tais como área de drenagem ( $A$ ), perímetro ( $P$ ) e comprimento ( $C$ ), são os principais fatores que determinam a magnitude das cheias (ABDEL-FATTAH *et al.*, 2017). Neste estudo, foram consideradas bacias hidrográficas com áreas de drenagem que variam de 12,02 km<sup>2</sup> a 67.127,13 km<sup>2</sup>, estando os dois extremos localizados na bacia hidrográfica do rio Iguaçu.

As características geomorfológicas relacionadas à escala, à exceção da amplitude altimétrica ( $Hm$ ), apresentaram a maior variação entre as bacias selecionadas, conforme pode ser verificado pelos coeficientes de variação (QUADRO I.5 do **APÊNDICE I**). Essa variação é influenciada principalmente pelas características da bacia hidrográfica definida pela estação fluviométrica Salto Cataratas (65933000), localizada no rio Iguaçu, cuja área de drenagem (67.127,13 km<sup>2</sup>) é consideravelmente superior às demais, conforme comparação com o valor da mediana e da média das áreas de drenagem das bacias em estudo.

A densidade de drenagem ( $Dd$ ) e o coeficiente de manutenção ( $Cm$ ) foram obtidos através da rede de drenagem gerada a partir do MDE, que considera uma área mínima para a formação do escoamento, sendo uniforme. Portanto, devido ao método utilizado para a sua determinação, estas características apresentaram as menores variações.

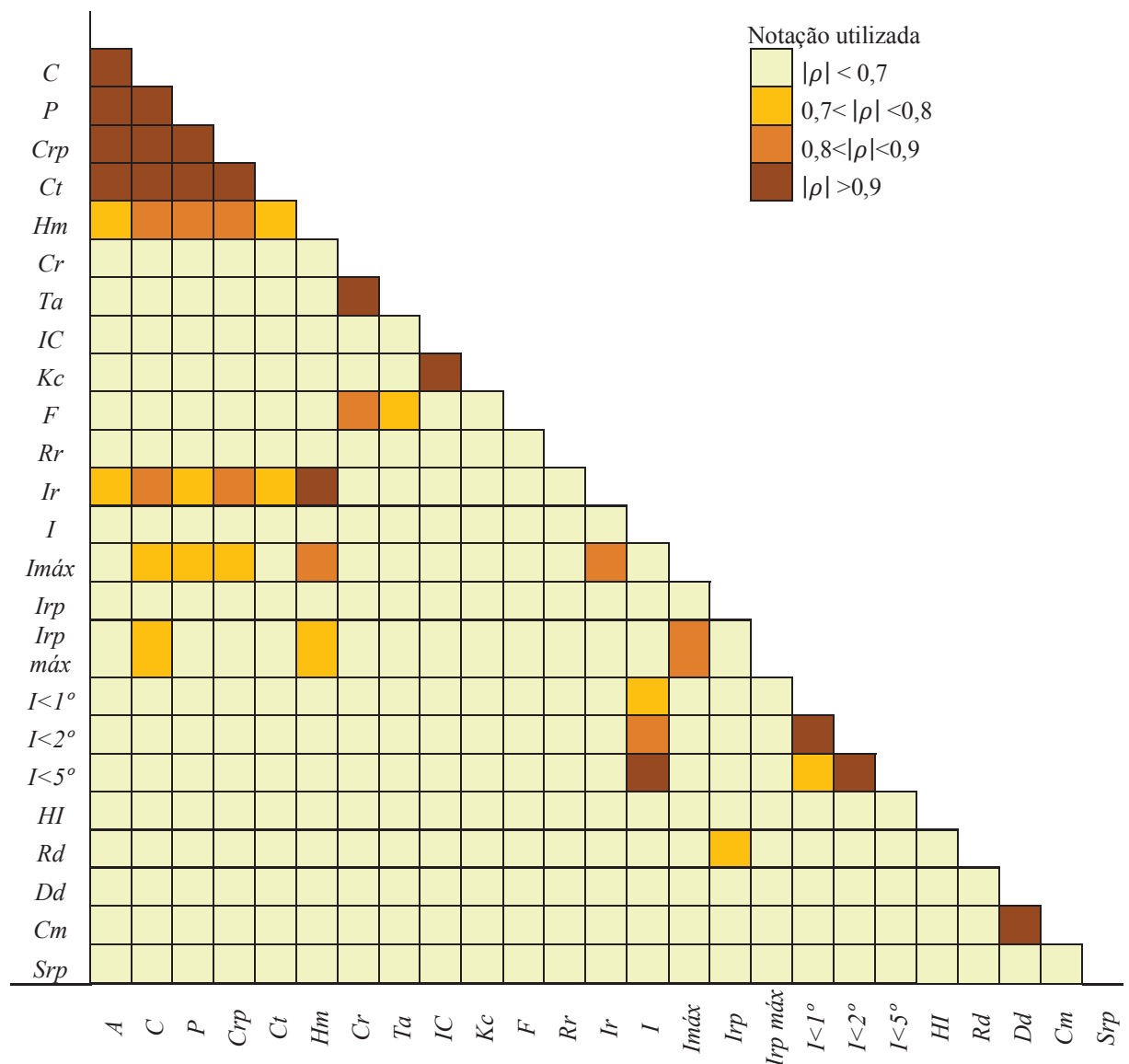
### 2.2.1 Análise de Correlação (AC)

A FIGURA 8 apresenta a matriz de correlação conjunta entre as variáveis (características geomorfológicas) do estudo, conforme definidas na TABELA 3, com base no coeficiente de correlação de Pearson ( $\rho$ ). Os valores dos coeficientes de correlação obtidos estão apresentados no QUADRO I.10 do **APÊNDICE I**.

Considerando-se os resultados apresentados na FIGURA 8 e o critério de  $|\rho|$  maior ou igual a 0,8 para considerar que uma variável é adequadamente representada por outra, o conjunto inicial de 25 características geomorfológicas poderia ser reduzido, em uma primeira análise, para 13 variáveis com a exclusão das seguintes

variáveis (em número de 12): comprimento (*C*), perímetro (*P*), comprimento do rio principal (*Crp*), comprimento total dos rios (*Ct*), comprimento relativo (*Cr*), taxa de alongamento (*Ta*), coeficiente de compacidade (*Kc*), índice de rugosidade (*Ir*), declividade máxima (*Imáx*), fração de pixels inferior a 2° (*I<2°*), fração de pixels inferior a 5° (*I<5°*) e coeficiente de manutenção (*Cm*).

FIGURA 8 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO CONJUNTA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS



Avaliando-se o critério de  $|\rho| \geq 0,7$  para considerar que uma variável é adequadamente representada por outra, ocorreria a exclusão de mais três variáveis além das apresentadas anteriormente (critério de  $|\rho| \geq 0,8$ ), sendo elas: amplitude

máxima ( $Hm$ ), fração de pixels inferior a  $1^\circ$  ( $I < 1^\circ$ ) e relação de declividade ( $Rd$ ), o que totalizaria em 15 variáveis excluídas. Já para o critério de  $|\rho| \geq 0,9$ , excluir-se-iam 10 variáveis, sendo: comprimento ( $C$ ), perímetro ( $P$ ), comprimento do rio principal ( $Crp$ ), comprimento total dos rios ( $Ct$ ), comprimento relativo ( $Cr$ ), coeficiente de compacidade ( $Kc$ ), índice de rugosidade ( $Ir$ ), fração de pixels inferior a  $2^\circ$  ( $I < 2^\circ$ ), fração de pixels inferior a  $5^\circ$  ( $I < 5^\circ$ ) e coeficiente de manutenção ( $Cm$ ).

Das variáveis a serem excluídas ( $|\rho| \geq 0,8$ ), para validação dos resultados, foi realizada análise de correlação de Pearson considerando cada uma das grandes bacias hidrográficas separadamente (Iguaçu, Piquiri, Ivaí e Tibagi) sob a hipótese de que a análise isolada de cada bacia pudesse produzir alguma correlação inferior ao critério adotado. A TABELA 4 apresenta a correlação para cada grande bacia hidrográfica, considerando-se somente o par de variáveis cujo  $|\rho|$  resultou maior ou igual a 0,8 na análise conjunta. As matrizes com os coeficientes de correlação para cada uma das bacias estão apresentadas nos QUADROS I.11 a I.14, do **APÊNDICE I**.

TABELA 4 - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ISOLADA PARA CADA BACIA HIDROGRÁFICA

Variável analisada	Variável correlacionada	$\rho$ (análise conjunta)	$\rho$ (análise isolada)			
			Iguaçu	Ivaí	Tibagi	Piquiri
$Ct$	$A$	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999
$Ir$	$Hm$	0,996	0,998	0,997	1,000	0,984
$Cm$	$Dd$	-0,990	-0,990	-0,999	-1,000	-0,997
$Kc$	$IC$	-0,979	-0,983	-0,993	-0,997	-0,978
$C$	$A$	0,965	0,965	0,993	0,999	0,975
$P$	$A$	0,965	0,958	0,993	0,998	0,980
$Crp$	$A$	0,923	0,961	0,990	0,999	0,948
$I < 5^\circ$	$I$	-0,928	-0,923	-0,938	-0,938	-0,997
$Ta$	$Cr$	-0,933	-0,927	-0,990	-0,995	-0,998
$I < 2^\circ$	$I$	-0,880	-0,835	-0,951	-0,763	-0,958
$lmax$	$Hm$	0,844	0,773	0,948	0,989	0,961
$Cr$	$F$	-0,810	-0,857	-0,839	-0,962	-0,595

Verifica-se, portanto, que, em ambas as análises, conjunta e separadamente por bacia, as variáveis comprimento ( $C$ ), perímetro ( $P$ ), comprimento total dos rios ( $Ct$ ), comprimento do rio principal ( $Crp$ ), coeficiente de compacidade ( $Kc$ ), taxa de alongamento ( $Ta$ ), fração de pixels inferior a  $5^\circ$  ( $I < 5^\circ$ ), índice de rugosidade ( $Ir$ ) e coeficiente de manutenção ( $Cm$ ) apresentaram o coeficiente de correlação  $|\rho| \geq 0,8$

com alguma outra variável. À exceção do par de variáveis *Ir* e *Hm*, os demais pares de variáveis são enquadrados na mesma categoria de características geomorfológicas (ver TABELA 3) e, logo, a alta correlação entre elas é esperada devido à sua natureza. Já o índice de rugosidade (*Ir*) é calculado em função da amplitude altimétrica (*Hm*) e da densidade de drenagem (*Dd*), justificando sua alta correlação com essas variáveis.

As variáveis fração de pixels inferior a 2° ( $I < 2^\circ$ ), declividade máxima (*Imáx*) e comprimento relativo (*Cr*) apresentaram  $|\rho| < 0,8$  em pelo menos uma das grandes bacias hidrográficas, embora tenham apresentado  $|\rho| > 0,8$  na análise conjunta.

Em termos gerais, quando da comparação dos coeficientes de correlação calculados separadamente para cada bacia hidrográfica (Iguaçu, Piquiri, Ivaí e Tibagi), é importante destacar alguns aspectos.

Na BH do rio Tibagi, a correlação entre a declividade média (*I*) e fração de pixel inferior a 2° ( $I < 2^\circ$ ), que está relacionada a relevos planos, foi inferior ( $|\rho| = 0,763$ ) em comparação às demais BHs. Nesta BH, a declividade média (*I*) apresenta maior correlação ( $|\rho| = 0,91$ ) com a variável relacionada à declividade máxima (*Imáx*). Nas demais BHs, esta correlação é menos significativa, com  $|\rho| = 0,03$  para a BH do rio Iguaçu,  $|\rho| = 0,69$  para BH do rio Piquiri e  $|\rho| = 0,82$  para BH do rio Ivaí. Na BH Iguaçu, diferentemente das demais, a baixa correlação entre *I* e *Imáx* ( $|\rho| = 0,03$ ) possivelmente é devido a minoria das sub-bacias hidrográficas consideradas serem embutidas entre si, acarretando maior variabilidade entre os valores das declividades médias e máximas.

O fato da BH Iguaçu apresentar menor quantidade de bacias embutidas possivelmente também justifica a maior variabilidade entre as características amplitude altimétrica máxima (*Hm*) e declividade máxima (*Imáx*) e, logo o menor grau de correlação entre estas variáveis nesta bacia ( $|\rho| = 0,773$ ) em comparação com as demais ( $|\rho| > 0,9$ ). Nas BHs Ivaí, Piquiri e Tibagi, a maior parte das sub-bacias hidrográficas nelas contidas estão embutidas entre si e, conseqüentemente, as regiões com maiores altitudes e declividades também, acarretando em uma maior tendência à variação conjunta entre estas características.

O grau de correlação entre as variáveis fator de forma (*F*) e comprimento relativo (*Cr*) na BH do rio Piquiri foi inferior em comparação às demais, possivelmente devido às suas características morfométricas. O índice de circularidade (*IC*) e o fator de forma (*F*) das sub-bacias hidrográficas nela contidas sugerem tendências mais

circulares e menos alongadas em comparação às demais, resultando em uma variação diferenciada entre as características relacionadas à escala. Nestas sub-bacias é observado que a área drenada aumenta em maior proporção que o comprimento e isso acarreta em uma menor correlação entre índice de circularidade ( $IC$ ) e fator de forma ( $F$ ), que utilizam estas características para seu cálculo. Além disso, distintamente das demais BHs, verificou-se comportamento inversamente proporcional ( $\rho < 0$ ) entre comprimento relativo ( $Cr$ ) e as variáveis área de drenagem ( $A$ ), comprimento da bacia ( $C$ ) e perímetro ( $P$ ), confirmando a peculiaridade da correlação entre as características morfométricas das bacias contidas dentro da bacia hidrográfica do rio Piquiri.

Os resultados da análise de correlação são influenciados pelo número de bacias consideradas e pela localização das mesmas. Neste estudo, foram avaliadas 25 características geomorfológicas de 53 bacias hidrográficas contidas nas 4 principais bacias hidrográficas do Estado do Paraná: 25 na BH do rio Iguaçu, sendo 5 no rio principal; 12 na BH do rio Piquiri, sendo 8 no rio principal; 11 na BH do rio Ivaí, sendo 5 localizadas no rio principal e; 5 na BH do rio Tibagi, sendo 4 no rio principal.

Com base nos resultados obtidos, as variáveis comprimento ( $C$ ), perímetro ( $P$ ), comprimento total dos rios ( $Ct$ ), comprimento do rio principal ( $Crp$ ), coeficiente de compacidade ( $Kc$ ), taxa de alongamento ( $Ta$ ), fração de pixels inferior a  $5^\circ$  ( $I < 5^\circ$ ), índice de rugosidade ( $Ir$ ) e coeficiente de manutenção ( $Cm$ ) não foram analisadas no estudo por serem bem representadas (correlacionadas) com outras características geomorfológicas. Já as variáveis fração de pixels inferior a  $2^\circ$  ( $I < 2^\circ$ ), declividade máxima ( $Imáx$ ) e comprimento relativo ( $Cr$ ) foram mantidas na análise para abranger as particularidades das BHs dos rios Tibagi, Iguaçu e Piquiri, respectivamente.

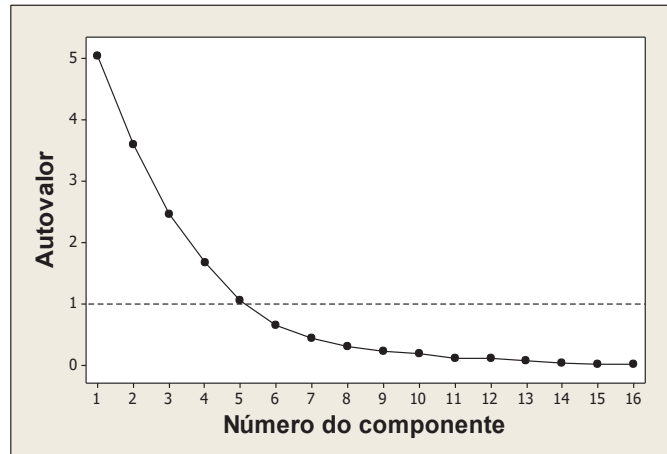
Em resumo, a análise de correlação (AC) permitiu que o conjunto inicial de 25 características geomorfológicas fosse reduzido para um conjunto de 16 características que foram então utilizadas na Análise dos Componentes Principais (ACP) e na Análise Fatorial (AF), cujos resultados são apresentados a seguir.

### 2.2.2 Análise dos Componentes Principais (ACP)

Realizou-se a análise dos componentes principais (ACP) entre as 16 características geomorfológicas mantidas no estudo após a análise de correlação (AC). A FIGURA 9 exibe a relação dos autovalores de cada componente principal

(CP), e a linha pontilhada ilustra o limite do critério de Kaiser. Não se observou um ponto de inflexão, indicando que os autovalores não apresentam mudanças abruptas entre os componentes principais. Utilizou-se então o critério de Kaiser para selecionar os CPs que representam adequadamente a variação conjunta dos dados.

FIGURA 9 - AUTOVALORES (SCREE PLOT) DOS COMPONENTES PRINCIPAIS



A partir da FIGURA 9, verifica-se que os cinco primeiros componentes principais apresentaram autovalores superiores a um e, logo, foram selecionadas para a análise. A TABELA 5 apresenta os componentes principais selecionados, bem como, seus autovalores, variância proporcional explicada e a variância acumulada. Juntas, estes CPs explicam 86,3% da variância total do conjunto de dados. Os demais componentes, cuja explicação é de 13,7% dos dados, foram desconsiderados. O primeiro CP (CP1) e o segundo (CP2) são os componentes mais significativos na explicação da variância dos dados, uma vez que explicam 54% da variação total do conjunto de dados originais. Considerando significativas as características que apresentaram coeficiente do autovetor com valor absoluto maior ou igual a 0,4 (NEISSE; HONGYU, 2000), destacam-se a variável índice de circularidade (*IC*) no CP2, as variáveis comprimento relativo (*Cr*) e relação de declividade (*Rd*) no CP3 e a variável fator de forma (*F*) no CP4. Na CP1 e CP5 não foram identificadas variáveis consideradas significativas. Três variáveis da mesma categoria (forma), sendo elas, comprimento relativo (*Cr*), índice de circularidade (*IC*) e fator de forma (*F*), apresentaram coeficientes relativamente próximos em 3 componentes diferentes, o que dificulta a interpretação física dos mesmos.

TABELA 5 - COMPONENTES PRINCIPAIS SELECIONADOS PELO CRITÉRIO DE KAISER NA ACP

<b>Categoria</b>	<b>Variável</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>	<b>CP3</b>	<b>CP4</b>	<b>CP5</b>
Escala	<i>A</i>	0,262	0,292	-0,071	0,261	0,008
	<i>Hm</i>	0,383	0,202	0,115	0,034	-0,005
Forma	<i>Cr</i>	0,048	0,140	-0,427	-0,394	0,320
	<i>IC</i>	-0,016	-0,436	0,084	-0,005	-0,315
	<i>F</i>	-0,142	-0,228	0,336	0,424	-0,197
Topografia	<i>Rr</i>	-0,159	-0,376	-0,167	0,111	0,310
	<i>I</i>	0,309	-0,303	0,100	0,015	0,309
	<i>Imáx</i>	0,349	0,179	0,171	0,235	0,122
	<i>Irp</i>	0,220	-0,215	-0,369	0,326	-0,098
	<i>Irp máx</i>	0,327	0,192	-0,076	0,277	0,047
	<i>I&lt;1°</i>	-0,274	0,320	0,012	0,053	-0,179
	<i>I&lt;2°</i>	-0,279	0,354	-0,037	0,001	-0,279
	<i>HI</i>	0,197	-0,164	-0,321	-0,232	-0,344
Rede de drenagem	<i>Rd</i>	0,039	-0,006	-0,520	0,285	-0,364
	<i>Dd</i>	0,280	0,014	0,298	-0,239	-0,276
	<i>Srp</i>	0,305	-0,097	0,085	-0,387	-0,323
<b>Autovalor</b>		5,045	3,597	2,451	1,668	1,063
<b>Proporção da variância (%)</b>		31,5	22,5	15,3	10,4	6,6
<b>Proporção acum. da variância (%)</b>		31,5	54,0	69,3	79,8	86,4

A alteração do critério para o corte dos coeficientes do autovetor não implica em melhoria na interpretação dos resultados. Percebe-se, portanto, que a definição de quais variáveis apresentam maiores contribuições em cada um dos componentes não é claramente perceptível, conforme o esperado, podendo acarretar em interpretações errôneas.

MORRIS *et al.* (2009) aplicaram ACP através da abordagem tradicional e, após múltiplas iterações, considerando diferentes conjuntos de variáveis, a interpretação física dos CPs foi viabilizada e cada componente foi rotulado com base no conjunto de variáveis que apresentavam maiores cargas. Os diferentes conjuntos de dados avaliados foram formados com a exclusão das variáveis que apresentavam pesos semelhantes nas diferentes componentes. Embora os autores tenham obtido sucesso na interpretação física dos resultados, a subjetividade na escolha do conjunto de dados torna o método difícil de ser replicado.

### 2.2.3 Análise Fatorial (AF)

Realizou-se análise das cargas fatoriais dos componentes principais. Uma vez que o autovalor dos componentes principais e dos fatores são iguais, utilizou-se novamente o critério de Kaiser para selecionar os 5 primeiros fatores, cujos resultados estão apresentados TABELA 6.

As comunalidades de todas as variáveis foram superiores a 0,6, portanto estes resultados podem ser considerados essencialmente idênticos aos da ACP (HAIR *et al.*, 2005). Além disso, todas as comunalidades são superiores a 0,75, o que significa que todas as variáveis possuem, pelo menos, 75% da sua variância compartilhada explicada pelos fatores.

TABELA 6 - CARGAS FATORIAIS E FATORES DOS COMPONENTES PRINCIPAIS SEM ROTAÇÃO SELECIONADOS NA AF

Categoria	Variável	Cargas fatoriais					Comunalidades
		Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	
Escala	A	0,588	0,555	-0,112	0,337	0,008	0,779
	Hm	0,860	0,383	0,180	0,044	-0,006	0,921
Forma	Cr	0,107	0,266	-0,668	-0,509	0,330	0,897
	IC	-0,036	-0,826	0,131	-0,007	-0,325	0,807
	F	-0,318	-0,432	0,526	0,548	-0,203	0,906
Topografia	Rr	-0,357	-0,714	-0,261	0,143	0,320	0,828
	I	0,695	-0,574	0,157	0,020	0,318	0,939
	Imáx	0,785	0,340	0,267	0,303	0,126	0,910
	Irp	0,494	-0,408	-0,578	0,421	-0,101	0,932
	Irp máx	0,734	0,364	-0,119	0,358	0,048	0,816
	I<1°	-0,614	0,606	0,019	0,068	-0,185	0,784
	I<2°	-0,626	0,671	-0,059	0,002	-0,288	0,928
	HI	0,442	-0,312	-0,503	-0,299	-0,355	0,761
Rd	0,088	-0,012	-0,813	0,368	-0,375	0,945	
Rede de drenagem	Dd	0,629	0,027	0,466	-0,309	-0,284	0,790
	Srp	0,684	-0,184	0,134	-0,500	-0,333	0,881
<b>Autovalor</b>		5,045	3,597	2,451	1,668	1,063	13,825
<b>Variância (%)</b>		31,5	22,5	15,3	10,4	6,6	86,4

Os critérios para definir a significância das cargas fatoriais apresentam variação para os diferentes estudos. Singh *et al.* (2008) consideram carga fatorial alta, quando valor absoluto é superior a 0,8, e moderado, quando é superior a 0,6. Haan e Allen (1972), Elesbon *et al.* (2015) e Neisse e Hongyu (2016) avaliaram a significância das cargas através da comparação, sendo, por fim consideradas significativas as cargas com valores absolutos superiores a 0,80, 0,75 e 0,68 respectivamente. Hair *et al.* (2005) apresentam uma orientação baseada no tamanho da amostra, considerando o tamanho mínimo para um nível de significância ( $\alpha$ ) de 0,05, um nível de poder (probabilidade de rejeitar corretamente a hipótese nula quando esta deve ser rejeitada) de 80% e erros padrão com o pressuposto de que sejam o dobro dos coeficientes de correlação convencionais. Para o presente trabalho, cujo tamanho da amostra é de 53 bacias hidrográficas, sugere-se que sejam consideradas significantes as cargas fatoriais superiores a 0,71 (HAIR *et al.*, 2005),



sendo esse o critério para a análise dos resultados. As cargas fatoriais que satisfazem a este critério estão destacadas na TABELA 6.

Conforme o critério estabelecido, o Fator 1 apresenta a amplitude altimétrica (*Hm*), declividade máxima (*Imáx*) e declividade máxima do rio principal (*Irp máx*) como variáveis significativas, sendo variáveis relacionadas à escala e topografia. O Fator 2 apresenta o índice de circularidade (*IC*) e relação de relevo (*Rr*) como significativas, sendo relacionadas à forma e à topografia, respectivamente. O Fator 3 apresenta somente a relação de declividade (*Rd*), que também está relacionada à topografia. Os Fatores 4 e 5 não apresentaram variáveis com cargas consideradas significativas. As demais variáveis apresentaram carga fatorial inferior a 0,71 em todos os fatores.

Na análise das cargas fatoriais, Singh *et al.* (2008) identificaram que os três primeiros CPs apresentavam boas correlações com variáveis relacionadas à declividade da bacia, forma e rede de drenagem, respectivamente, e eram responsáveis pela explicação de 77,3% da variância total dos dados. Com a remoção sucessiva dos parâmetros que apresentaram menor significância na explicação da variação destas componentes, a AF foi aplicada novamente de forma iterativa e os três primeiros componentes principais passaram a apresentar explicação de 87,0% da variância total dos parâmetros. Na pesquisa de Elesbon *et al.* (2015), foram selecionados os dois primeiros fatores (autovalores superiores à unidade) e estes apresentaram explicação de 77,9% da variância total dos dados e representaram as variáveis morfométricas e a precipitação média, respectivamente.

A tentativa de interpretar o significado físico de cada fator é dificultada, posto que há variáveis com cargas fatoriais semelhantes em diferentes fatores, assim como há variáveis da mesma categoria com cargas significativas em diferentes fatores. Uma alternativa para auxiliar na interpretação dos resultados é a exclusão das variáveis que apresentaram cargas fatoriais com correlações fracas e a aplicação da AF nos novos conjuntos de dados de forma iterativa até que se chegue em resultados mais facilmente interpretáveis (SINGH *et al.*, 2008; MORRIS; DONOVAN; STRAGER, 2009). Entretanto, esta alternativa acarretaria em maiores manipulações dos dados e subjetividades no estudo. Portanto, para auxiliar na interpretação física dos resultados, optou-se por aplicar a rotação ortogonal VARIMAX (HAAN; ALLEN, 1972; HAIR *et al.*, 2005; VICINI, 2005; AHN; MERWADE, 2015; AHN; PALMER, 2016;).

A TABELA 7 apresenta as cargas fatoriais rotacionadas e seus fatores juntamente com as comunalidades de todas as variáveis. Como resultado da

redistribuição da variância, provocada pela rotação, os dois primeiros fatores passaram a explicar 46% da variação total dos dados. As cargas foram consideradas significativas novamente quando superiores a 0,71, apresentadas com destaque na TABELA 7. Verifica-se que a maioria das variáveis apresentou cargas significativas em somente um dos fatores rotacionados e que não houve mudanças nas comunalidades. Verifica-se também que, à exceção do Fator1<sub>r</sub>, os demais fatores rotacionados apresentaram variáveis com cargas significativas pertencentes a uma mesma categoria.

TABELA 7 - CARGAS FATORIAIS E FATORES DOS COMPONENTES PRINCIPAIS ROTACIONADOS

Categoria	Variável	Cargas fatoriais					Comunalidades
		Fator 1 <sub>r</sub>	Fator 2 <sub>r</sub>	Fator 3 <sub>r</sub>	Fator 4 <sub>r</sub>	Fator 5 <sub>r</sub>	
Escala	<i>A</i>	0,853	0,074	-0,013	-0,180	-0,120	0,779
	<i>Hm</i>	0,844	-0,197	-0,397	0,049	-0,103	0,921
Forma	<i>Cr</i>	-0,024	0,007	0,049	-0,134	-0,936	0,897
	<i>IC</i>	-0,534	-0,422	-0,262	-0,227	0,472	0,807
	<i>F</i>	-0,203	-0,063	0,178	0,076	0,907	0,906
Topografia	<i>Rr</i>	-0,597	-0,450	0,480	-0,181	0,085	0,828
	<i>I</i>	0,189	-0,932	-0,172	0,022	0,071	0,939
	<i>Imáx</i>	0,899	-0,251	-0,156	0,095	0,079	0,910
	<i>Irp</i>	0,194	-0,491	0,088	-0,803	0,022	0,932
	<i>Irp máx</i>	0,851	-0,158	-0,048	-0,240	-0,085	0,816
	<i>I&lt;1°</i>	-0,046	0,844	0,226	0,140	0,012	0,784
	<i>I&lt;2°</i>	-0,063	0,945	0,152	0,069	-0,052	0,928
	<i>HI</i>	-0,104	-0,279	-0,479	-0,595	-0,298	0,761
Rede de drenagem	<i>Rd</i>	0,077	0,142	0,150	-0,940	-0,114	0,945
	<i>Dd</i>	0,332	-0,206	-0,761	0,215	0,106	0,790
	<i>Srp</i>	0,123	-0,350	-0,851	-0,051	-0,128	0,881
<b>Autovalor</b>		3,876	3,493	2,185	2,166	2,106	13,825
<b>Variância (%)</b>		24,2	21,8	13,7	13,5	13,2	86,4

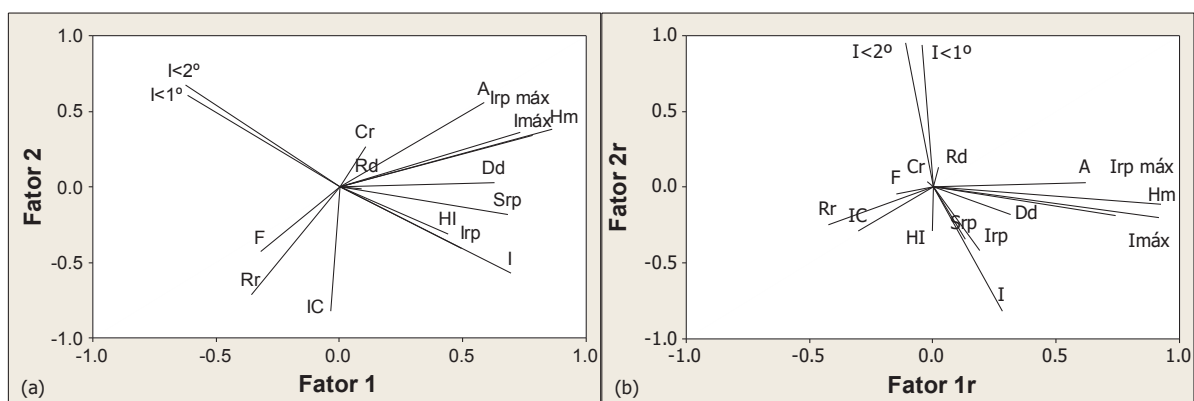
O Fator 1<sub>r</sub> explica 24,2% da variação total dos dados e apresenta as variáveis área de drenagem (*A*), amplitude altimétrica máxima (*Hm*), declividade máxima da bacia hidrográfica (*Imáx*) e declividade máxima do rio (*Irp máx*) com cargas fatoriais significativas. Todas as cargas são positivas, indicando que a correlação entre elas é diretamente proporcional. O Fator 2<sub>r</sub> explica 21,8% da variância total dos dados e apresenta as variáveis declividade média (*I*), porção da área com declividade inferior a 1° (*I<1°*) e porção da área com declividade inferior 2° (*I<2°*) com cargas fatoriais significativas. Enquanto *I<1°* e *I<2°* apresentaram cargas positivas, *I* apresentou carga negativa, indicando que esta variável é inversamente proporcional. O Fator 3<sub>r</sub> (13,7% da variância total) apresenta como variáveis significativas a sinuosidade do rio

principal (*Srp*) e a densidade de drenagem (*Dd*) com cargas negativas. O Fator 4<sub>r</sub> (13,5% da variância total) apresenta a declividade média do rio principal (*Irp*) e a relação de declividade (*Rd*) com cargas fatoriais significativas e com sinal negativo e o Fator 5<sub>r</sub>, que explica 13,2% da variância dos dados, possui o comprimento relativo (*Cr*) e fator de forma (*F*) com cargas fatoriais significativas com sinais negativo e positivo, respectivamente.

Uma vez que a rotação VARIMAX somente redistribui as variâncias e não altera a explicação do conjunto de fatores, os cinco primeiros Fatores juntos continuam explicando 86,4% do total da variância total dos dados. Da mesma forma, as comunalidades das variáveis permanecem com os mesmos valores previamente à rotação.

Para comparação, a FIGURA 10 apresenta a contribuição das características geomorfológicas nos dois primeiros fatores antes da rotação ortogonal (a) e após a rotação (b). É perceptível que a identificação da contribuição de cada variável nos dois primeiros fatores é facilitada após a rotação dos seus eixos. O Fator 1<sub>r</sub> apresenta contribuição considerável das variáveis *A*, *Hm*, *Irp máx* e *Imáx*, que analogamente contribuem pouco para o Fator 2<sub>r</sub>. Já as variáveis *I<1°*, *I<2°* e *I* apresentam contribuição considerável no Fator 2<sub>r</sub> e fraca no Fator 1<sub>r</sub>.

FIGURA 10 - BIPLLOT DOS DOIS PRIMEIROS FATORES SOBRE AS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS ANTES DA ROTAÇÃO (a) E APÓS A ROTAÇÃO DOS FATORES (b)



A partir dos resultados apresentados na TABELA 7, verifica-se que as variáveis relação de relevo (*Rr*), integral hipsométrica (*HI*) e índice de circularidade (*IC*) não apresentaram cargas significativas em nenhum dos fatores. Para as variáveis *Rr* e *HI*, a análise de correlação (FIGURA 8) havia indicado que estas apresentavam baixa

correlação ( $|\rho| < 0,7$ ) com as demais variáveis, portanto, a AF confirmou a baixa influência destas variáveis na variação total do conjunto de dados original. Similarmente, após a remoção da variável coeficiente de compacidade ( $Kc$ ) na análise de correlação, o índice de circularidade ( $IC$ ) também apresentou baixo grau de correlação ( $|\rho| < 0,7$ ) com as variáveis restantes. Entretanto, a variável sinuosidade do rio principal ( $Srp$ ), que, na AC também apresentou  $|\rho| < 0,7$  com todas as demais variáveis, apresentou carga fatorial significativa com o Fator 3<sub>re</sub>.

O modelo fatorial foi reespecificado com a eliminação das variáveis relação de relevo ( $Rr$ ), integral hipsométrica ( $HI$ ) e índice de circularidade ( $IC$ ), conforme recomendação da literatura (HAIR *et al.*, 2005). A TABELA 8 apresenta as cargas fatoriais e os fatores dos componentes principais rotacionadas reespecificados, considerando agora as 13 características geomorfológicas restantes.

TABELA 8 - CARGAS FATORIAIS E FATORES DOS COMPONENTES PRINCIPAIS ROTACIONADOS REESPECIFICADOS

<b>Categoria</b>	<b>Variável</b>	<b>Fator 1<sub>re</sub></b>	<b>Fator 2<sub>re</sub></b>	<b>Fator 3<sub>re</sub></b>	<b>Fator 4<sub>re</sub></b>	<b>Fator 5<sub>re</sub></b>	<b>Comunalidades</b>
Escala	A	0,853	0,092	-0,125	-0,038	-0,175	0,784
	Hm	0,822	-0,162	-0,110	-0,462	0,035	0,926
Forma	Cr	-0,001	0,018	-0,955	0,080	-0,090	0,926
	F	-0,188	-0,070	0,924	0,177	0,063	0,929
Topografia	I	0,211	-0,890	0,061	-0,235	0,020	0,897
	Imáx	0,902	-0,215	0,066	-0,205	0,087	0,914
	Irp	0,195	-0,474	-0,013	0,009	-0,832	0,956
	Irp máx	0,885	-0,152	-0,094	-0,013	-0,180	0,848
	I < 1°	-0,038	0,905	0,002	0,157	0,103	0,856
	I < 2°	-0,072	0,965	-0,057	0,138	0,048	0,960
Rede de drenagem	Rd	0,058	0,124	-0,146	0,117	-0,964	0,983
	Dd	0,314	-0,161	0,073	-0,819	0,207	0,843
	Srp	0,089	-0,340	-0,158	-0,876	-0,046	0,918
<b>Autovalor</b>		3,234	3,033	1,865	1,845	1,764	11,742
<b>Variância (%)</b>		24,90	23,30	14,30	14,20	13,60	90,30

Com a eliminação das variáveis  $Rr$ ,  $HI$  e  $IC$  e reespecificação do modelo fatorial, os 5 primeiros fatores passaram a explicar 90,3% da variância total dos dados considerados. Todas as variáveis apresentaram cargas significativas somente em um dos fatores, indicando que foi possível atingir uma estrutura fatorial simples.

As principais diferenças em relação aos resultados obtidos sem a exclusão das variáveis (TABELA 7) estão nos Fatores 3<sub>re</sub>, 4<sub>re</sub> e 5<sub>re</sub>. O Fator 3<sub>re</sub> passou a apresentar cargas significativas com o comprimento relativo ( $Cr$ ) e o fator de forma ( $F$ ), com variância total de 14,3%. O Fator 4<sub>re</sub> apresentou cargas significativas com a densidade de drenagem ( $Dd$ ) e a sinuosidade do rio principal ( $Srp$ ), representando

14,2% da variância total dos dados, e o Fator 5<sub>re</sub> passou a apresentar cargas significativas com a relação de declividade (*Rd*) e a declividade do rio principal (*Irp*), explicando 13,6% da variância dos dados. Para todas as variáveis, as variâncias compartilhadas explicadas pelos fatores, representadas pelas comunalidades, aumentaram após a reespecificação.

Com base nas cargas fatoriais rotacionadas de cada característica geomorfológica em relação aos fatores e aos critérios estabelecidos, apresentados na TABELA 8, pode-se dizer que o Fator 1<sub>re</sub> é o componente que representa a escala e as declividades máximas, o Fator 2<sub>re</sub> representa as declividades médias e baixas, o Fator 3<sub>re</sub> representa a forma das bacias, o Fator 4<sub>re</sub> a rede de drenagem e o Fator 5<sub>re</sub> representa a declividade do rio principal.

Peterson (2000) avaliou os níveis de variância explicadas de 803 análises fatoriais apresentadas em 568 artigos científicos e concluiu que 82% das análises utilizaram a rotação VARIMAX para reposicionamento dos fatores selecionados, sendo a média das variâncias explicadas encontrada igual a 56,6%. Os resultados obtidos, portanto, podem ser considerados satisfatórios.

Na pesquisa realizada por Haan e Allen (1972) foi possível interpretar os fatores somente após a aplicação da rotação VARIMAX. Os quatro primeiros fatores selecionados, cujos autovalores eram superiores à unidade, foram designados à escala, declividade média, forma e rede de drenagem, respectivamente, e apresentavam variância acumulada de 97%.

A TABELA 9 apresenta a variância total de cada variável explicada por cada fator e a porcentagem do autovalor do fator que é explicado pelas cargas significativas. Em destaque estão as maiores variâncias para cada variável. A densidade de drenagem (*Dd*) apresenta 67,0% da sua variância total explicada pelo Fator 4<sub>re</sub>, sendo o menor valor encontrado dentre as cargas significativas, seguida da amplitude altimétrica máxima (*Hm*), que possui 67,6% da sua variância explicada pelo Fator 1<sub>re</sub>.

Em relação a porcentagem do autovalor explicado pelas cargas significativas, os valores variaram de 77,9% a 94,6% para os Fatores 4<sub>re</sub> e 3<sub>re</sub>, respectivamente. Estes valores indicam a porcentagem da variância do fator que é explicada pelas características geomorfológicas que apresentaram cargas significativas.

TABELA 9 - VARIÂNCIA TOTAL (%) DE CADA VARIÁVEL EXPLICADA POR CADA FATOR E PORCENTAGEM DO AUTOVALOR EXPLICADO PELAS CARGAS SIGNIFICATIVAS

Variável	Fator 1 <sub>re</sub>	Fator 2 <sub>re</sub>	Fator 3 <sub>re</sub>	Fator 4 <sub>re</sub>	Fator 5 <sub>re</sub>
<i>A</i>	72,7	0,85	1,5	0,14	3,1
<i>Hm</i>	67,6	2,6	1,2	21,4	0,12
<i>Cr</i>	0,00	0,03	91,1	0,63	0,80
<i>F</i>	3,5	0,49	85,4	3,1	0,40
<i>I</i>	4,4	79,3	0,37	5,5	0,04
<i>Imáx</i>	81,3	4,6	0,43	4,2	0,76
<i>Irp</i>	3,8	22,5	0,01	0,01	69,2
<i>Irp máx</i>	78,3	2,3	0,88	0,09	3,2
<i>I&lt;1°</i>	0,15	81,9	0,00	2,5	1,0
<i>I&lt;2°</i>	0,51	93,1	0,32	1,9	0,23
<i>Rd</i>	0,33	1,5	2,1	1,4	92,9
<i>Dd</i>	9,8	2,6	0,53	67,0	4,3
<i>Srp</i>	0,79	11,6	2,5	76,7	0,21
% do autovalor explicado pelas cargas significativas	92,7	83,8	94,6	77,9	91,9

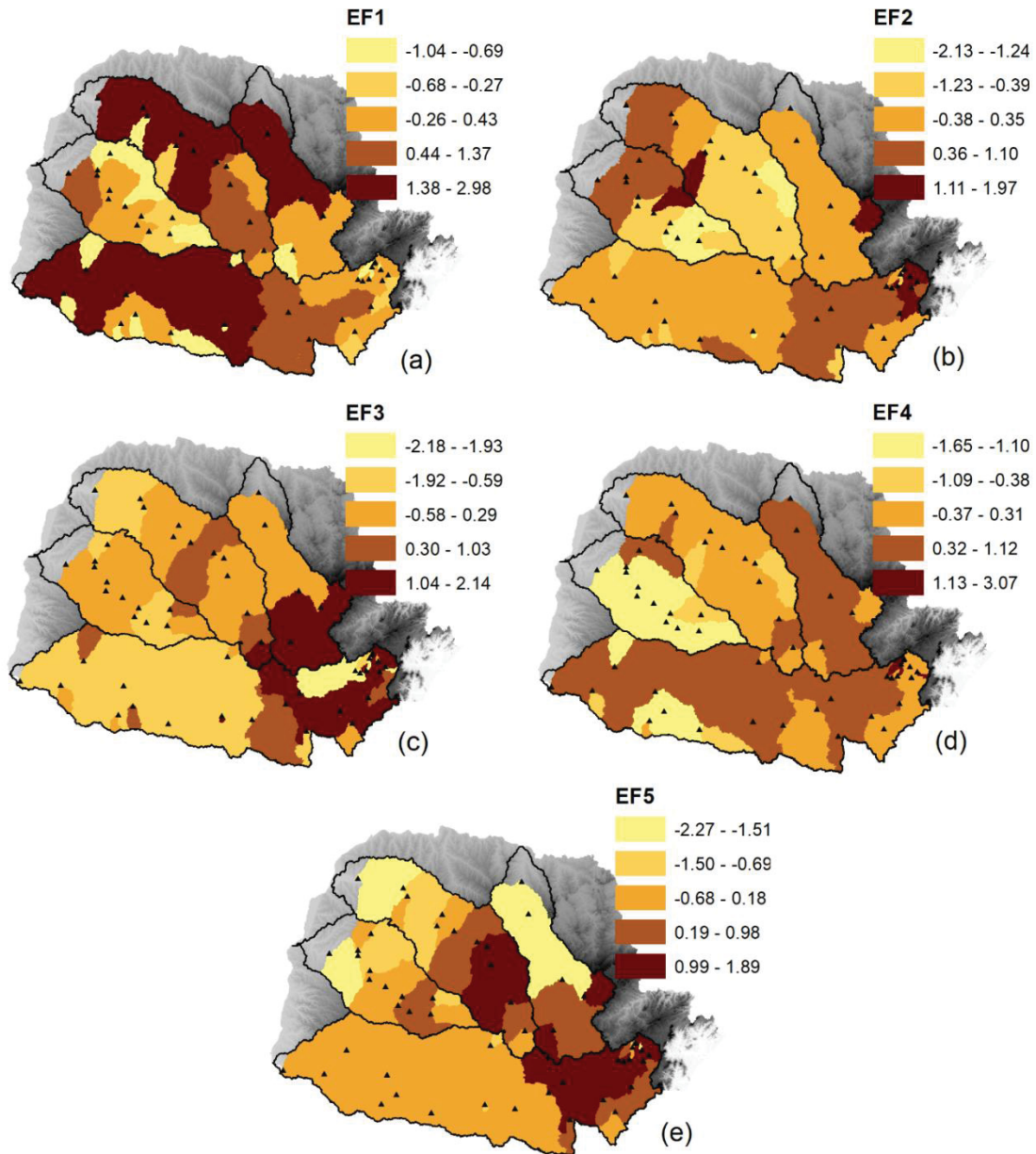
Diversas bacias hidrográficas selecionadas para o estudo são embutidas e conseqüentemente suas características geomorfológicas estão contidas umas nas outras, o que aumenta a tendência à variação conjunta destas variáveis e influencia os resultados obtidos a partir das análises multivariadas realizadas.

#### 2.2.4 Análise Espacial

A partir dos cinco Fatores obtidos pela análise fatorial com rotação dos eixos reespecificada, foram obtidos os escores fatoriais (*EF*) para cada bacia hidrográfica do estudo. Para isso, utilizou-se a relação matricial  $M(M^T M)^{-1}$ , sendo *M* a matriz de cargas fatoriais. Os 5 escores fatoriais, sendo eles *EF*<sub>1</sub>, *EF*<sub>2</sub>, *EF*<sub>3</sub>, *EF*<sub>4</sub> e *EF*<sub>5</sub>, representam os seus respectivos Fatores, sendo escala e as declividades máximas (Fator 1<sub>re</sub>), declividades médias e baixas (Fator 2<sub>re</sub>), forma das bacias (Fator 3<sub>re</sub>), rede de drenagem (Fator 4<sub>re</sub>) e a declividade do rio principal (Fator 5<sub>re</sub>).

Os valores dos escores fatoriais e as estatísticas descritivas para o conjunto das bacias hidrográficas estudadas estão apresentados no QUADRO I.15 do **APÊNDICE I**. Os mesmos resultados para as bacias hidrográficas dos rios Iguçu, Piquiri, Ivaí e Tibagi, separadamente, estão apresentados nos QUADRO I.16 a I.19, respectivamente. A FIGURA 11 apresenta os *EF* obtidos a partir dos 5 fatores rotacionados especificados, espacializados para cada uma das bacias hidrográficas.

FIGURA 11 - ESPACIALIZAÇÃO DOS ESCORES FATORIAIS DOS FATORES RESULTANTES (a) FATOR 1<sub>re</sub>; (b) FATOR 2<sub>re</sub>; (c) FATOR 3<sub>re</sub>; (d) FATOR 4<sub>re</sub>; (e) FATOR 5<sub>re</sub>.



O Fator 1<sub>re</sub> (FIGURA 11, a) representa as declividades máximas e escala das bacias hidrográficas. As bacias hidrográficas com as maiores áreas de drenagem apresentam as maiores declividades máximas, uma vez que há diversas sub-bacias hidrográficas embutidas. Estas possuem os maiores  $EF_1$  (a relação com as variáveis é positiva). A BH do rio Piquiri apresenta os menores  $EF_1$ , indicando, sobretudo, que as bacias hidrográficas estudadas apresentam declividades máximas e áreas de drenagem inferiores às demais.

O Fator 2<sub>re</sub> (FIGURA 11, b) representa as declividades médias e baixas das bacias e apresenta relação positiva com as variáveis  $I < 1^\circ$  e  $I < 2^\circ$  e negativa com  $I$ .

Portanto, quanto maiores os  $EF_2$ , menor a declividade média da bacia e mais plano é o relevo. Os  $EF_2$  nas BHs dos rios Tibagi e Iguaçu, diferentemente da BHs dos rios Piquiri e Ivaí, tendem a diminuir de montante para a jusante nas bacias hidrográficas localizadas nos respectivos rios principais. Isto indica, portanto, que as declividades médias da bacia aumentam na direção de jusante. Isto possivelmente porque o relevo apresenta mudanças abruptas de declividade nesta direção, conforme pode ser visto na FIGURA 6.

O Fator  $3_{re}$  (FIGURA 11, c) é relacionado à forma das bacias hidrográficas, sendo que quanto maior o  $EF_3$ , menos alongadas tendem a ser as bacias. Os maiores valores foram observados nas bacias de cabeceira, tendendo a diminuir em direção a jusante das grandes bacias hidrográficas.

O Fator  $4_{re}$  (FIGURA 11, d) é relacionado com a rede de drenagem, sendo que valores menores de  $EF_4$  indicam que a densidade de drenagem ( $Dd$ ) e a sinuosidade do rio principal ( $Srp$ ) são maiores. Os menores valores são identificados na BH do rio Piquiri, sugerindo uma rede de drenagem mais densa e sinuosa. Esta bacia apresenta também as menores declividades máximas e relevo mais plano, conforme resultados do  $EF_1$  e  $EF_2$ , o que auxilia na formação de cursos d'água mais sinuosos.

O Fator  $5_{re}$  (FIGURA 11, e) é relacionado às declividades do rio principal, sendo que quanto menor o  $EF_5$ , maiores as declividades. Para as 4 bacias hidrográficas, as declividades médias dos rios aumentam das sub-bacias da montante para a jusante. Na BH do rio Tibagi é possível identificar que a mudança nas declividades do rio principal é menos constante, indicando um aumento abrupto na direção de jusante.

## 2.3 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo, 25 características geomorfológicas que potencialmente afetam as vazões máximas em 53 bacias hidrográficas localizadas no Estado do Paraná foram extraídas e analisadas. Com base no que cada característica representa, estas foram classificadas nas seguintes categorias: escala, forma, topografia e rede de drenagem.

Para remoção das variáveis que apresentavam redundância de informações foi realizada Análise de Correlação de Pearson (AC), na qual foram removidas 9 características geomorfológicas, sendo elas: comprimento da bacia hidrográfica (C),



perímetro ( $P$ ), coeficiente de compacidade ( $Kc$ ), taxa de alongamento ( $Ta$ ), comprimento do rio principal ( $Crp$ ), comprimento total dos rios ( $Ct$ ), índice de rugosidade ( $Ir$ ), coeficiente de manutenção ( $Cm$ ) e fração de pixels com declividade inferior a  $5^\circ$  ( $I < 5^\circ$ ). As 16 características restantes foram submetidas a análise dos componentes principais (ACP) e análise fatorial (AF).

Com a aplicação da Análise dos Componentes Principais (ACP) foi possível reduzir as 16 características geomorfológicas em 5 componentes principais que representam 86,4% da variância total dos dados originais. Embora a técnica tenha permitido a transformação das variáveis originais em um conjunto de componentes independentes, a interpretação física destes componentes não foi possível, o que limita a sua utilização. O mesmo ocorreu na Análise Fatorial (AF) sem rotação dos eixos.

A Análise Fatorial (AF) com rotação dos eixos pela técnica VARIMAX possibilitou a obtenção de uma estrutura fatorial simples, na qual cada variável apresentou cargas significativas em somente um fator, à exceção das variáveis  $Rr$ ,  $HI$  e  $IC$  (relação de relevo, integral hipsométrica e índice de circularidade, respectivamente), que não apresentaram cargas significativas em nenhum dos fatores. Os cinco primeiros fatores rotacionados continuaram explicando 86,4% da variância total explicada pelos dados, uma vez que a técnica de rotação somente redistribuiu as variâncias, não as alterando.

As variáveis  $Rr$ ,  $HI$  e  $IC$  foram então desconsideradas da análise e o modelo fatorial rotacionado foi reespecificado com as 13 variáveis restantes, sendo elas: área de drenagem ( $A$ ); amplitude altimétrica ( $Hm$ ); comprimento relativo ( $Cr$ ); fator de forma ( $F$ ); declividade média ( $I$ ); declividade máxima ( $Imáx$ ); declividade do rio principal ( $Irp$ ); declividade máxima do rio principal ( $Irp máx$ ); fração de pixels com declividade inferior a  $1^\circ$  ( $I < 1^\circ$ ) e  $2^\circ$  ( $I < 2^\circ$ ); relação de declividade ( $Rd$ ); densidade de drenagem ( $Dd$ ) e; sinuosidade do rio principal ( $Srp$ ). Os cinco fatores rotacionados reespecificados passaram a explicar 90,3% da variância total dos dados e foi possível obter uma estrutura fatorial simples na qual todas as variáveis apresentaram cargas significativas em somente um dos fatores.

Com base nos critérios pré-estabelecidos, a análise das cargas significativas de cada fator possibilitou a sua interpretação física. O Fator 1<sub>re</sub> é o componente que representa a escala e as declividades máximas, o Fator 2<sub>re</sub> representa as declividades

médias e baixas, o Fator 3<sub>re</sub> representa a forma das bacias, o Fator 4<sub>re</sub> a rede de drenagem e o Fator 5<sub>re</sub> representa a declividade do rio principal.

Estes resultados são influenciados pela localização das bacias hidrográficas selecionadas para o estudo e pelas características locais.

A partir dos cinco Fatores obtidos pela análise fatorial com rotação dos eixos reespecificada, foram obtidos os escores fatoriais para cada bacia hidrográfica do estudo. Estes escores são utilizados no Capítulo 4 como variáveis independentes para a avaliação da influência das características geomorfológicas das bacias hidrográficas nas vazões máximas.

### 3 ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE CHEIAS

Os eventos extremos de chuvas e secas têm se tornado cada vez mais intensos, provocando impactos ambientais, sociais e econômicos. Na região Sul do Brasil, as projeções das mudanças climáticas indicam o aumento dos eventos extremos de chuvas até o final do século XXI (IPCC, 2007). Esta condição alerta para a necessidade de estudos e intervenções estruturais que minimizem os impactos destas mudanças. Os projetos de estruturas hidráulicas para o gerenciamento das cheias dependem da estimativa adequada das vazões máximas e da sua probabilidade de ocorrência, expressa por meio do tempo de recorrência. A superestimativa das vazões máximas implica em estruturas menos econômicas, enquanto a subestimativa implica em maiores riscos (AYDOĞAN; KANKAL; ÖNSOY, 2016).

As vazões máximas e os respectivos tempos de recorrência são comumente estimados através da análise de frequência de cheias (AFC) local ou regional. O primeiro caso é aplicado quando há disponibilidade de séries históricas no local de interesse. Entretanto, é comum que estes locais não possuam monitoramento de vazões ou que os registros não possuam comprimento temporal suficiente para fornecer estatísticas confiáveis (AHN; PALMER, 2016). Nestas situações, tem-se a abordagem regional, na qual a estimativa das vazões máximas é obtida a partir das informações de monitoramento agrupadas de um conjunto de bacias hidrográficas, cujos mecanismos que influenciam as vazões máximas são semelhantes ao local de interesse (BASU; SRINIVAS, 2016). Em ambas as abordagens, o objetivo da AFC é relacionar as vazões máximas com a sua frequência de ocorrência por meio de uma distribuição de probabilidade (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Existem diversos estudos que buscam determinar a função de distribuição de probabilidades mais adequada para a estimativa de vazões máximas anuais no Brasil (SANTOS, 2012; COSTA; FERNANDES, 2015; AHN; PALMER, 2016; CASSALHO *et al.*, 2017). Dentre as distribuições de 2 parâmetros mais avaliadas na literatura, destacam-se a log-Normal a 2 parâmetros (LN2), exponencial e Gumbel. Em relação às distribuições de 3 parâmetros, destacam-se log-Normal a 3 parâmetros (LN3), generalizada de valores extremos (GEV), log-Pearson tipo III (LP3) e generalizada de Pareto (GPA).

Costa e Fernandes (2015) avaliaram o ajuste de nove distribuições de probabilidade de vazões máximas diárias anuais em 1.253 estações fluviométricas distribuídas no Brasil com o objetivo de indicar as que melhor se adaptam aos dados fluviométricos brasileiros. Os resultados obtidos pelos autores sugeriram que, de maneira geral, as distribuições LN2 e LN3 são as mais adequadas, mas não é possível padronizar qual a melhor distribuição para os dados brasileiros devido à extensão do território e à variabilidade das características climáticas e hidrológicas. Nesse contexto, sugere-se que os estudos para a definição das distribuições de probabilidade mais adequadas sejam feitos localmente.

Cassalho *et al.* (2017) avaliaram a aplicabilidade das funções de distribuição de probabilidade multiparâmetros GEV, LN3, LP3, generalizada logística (GLO), GPA, Kappa (KAP) e Wakeby (WAK) em comparação às de 2 parâmetros valores extremos tipo 1 (EV1), LN2 e Gamma, considerando 106 séries de vazões máximas anuais no Rio Grande do Sul. O melhor ajuste foi obtido pelas distribuições KAP e WAK, entretanto a distribuição GEV apresentou aderência a uma quantidade maior de estações. Além disso, esta distribuição apresentou o melhor ajuste para séries históricas com comprimento médio de 24 anos.

Santos (2012) testou as funções de distribuição de probabilidade Gumbel, Exponencial, Lognormal e GEV nas vazões máximas anuais e sazonais de 77 estações fluviométricas distribuídas na região Sul do Brasil. Com base em um critério de ajuste, o autor observou que as distribuições Gumbel e GEV apresentaram praticamente o mesmo desempenho. Isso porque a GEV se reduz a Gumbel quando o parâmetro de forma ( $\kappa$ ) é próximo a zero. Com a aplicação de um critério de robustez, o autor concluiu que, para as cheias anuais e de verão, a distribuição GEV conduziu aos estimadores mais precisos.

A região de estudo desta dissertação é o estado do Paraná, contido na região Sul do Brasil, e as séries históricas selecionadas possuem período base de 30 anos. Portanto, com base nos resultados obtidos pelos estudos de Cassalho *et al.* (2017) e Santos (2012), utilizou-se prioritariamente a distribuição de probabilidade generalizada de valores extremos (GEV) para a estimativa das vazões máximas.

Os momentos estatísticos são responsáveis por descrever a forma das distribuições de probabilidade (CASSALHO *et al.*, 2017) e são utilizados para estimar os seus parâmetros. Os métodos de inferência estatística mais comuns para estimativas dos parâmetros de uma distribuição de probabilidade são o método dos

momentos, da máxima verossimilhança e dos momentos-L, sendo este último o mais aplicado nos estudos publicados recentemente (BASU; SRINIVAS, 2014, 2016; COSTA; FERNANDES, 2015; AHN; PALMER, 2016; CASSALHO *et al.*, 2017). Este método tem sido aplicado com sucesso em diversos países (AYDOĞAN; KANKAL; ÖNSOY, 2016) e deve ser utilizado para a estimativa dos parâmetros das distribuições de probabilidade (VALVERDE *et al.*, 2004). Seguindo estas recomendações, utilizou-se o método dos momentos-L para a estimativa dos parâmetros da distribuição GEV.

Na análise de frequência local de variáveis hidrológicas, pressupõe-se que as séries históricas apresentem as condições de independência, estacionariedade, aleatoriedade e homogeneidade (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Ao se trabalhar com séries de vazões médias diárias máximas anuais (SMAs), não é razoável presumir que o máximo diário anual guarde relação com o máximo do ano anterior, sendo, portanto, a independência parcialmente garantida pela maneira como a série é amostrada. Em relação à aleatoriedade, esta é parcialmente garantida pela natureza estocástica da formação das vazões (COSTA; FERNANDES, 2015). As séries são ditas não estacionárias quando apresentam uma tendência, salto ou periodicidade ao longo do tempo e, sob a perspectiva da análise de frequência, estes dados devem ser ajustados para corrigir as não estacionariedades encontradas (NAGHETTINI; PINTO, 2007) ou excluídos da análise. Já a homogeneidade é verificada quando o padrão da variabilidade em torno da média não varia ao longo do tempo (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

O objetivo geral deste capítulo é obter as vazões máximas para diferentes tempos de recorrência nas bacias hidrográficas dos rios Iguaçu, Piquiri, Ivaí e Tibagi para posterior utilização como variáveis dependentes no Capítulo 4, que trata da análise da influência das características geomorfológicas das bacias hidrográficas sobre as vazões máximas. Como objetivo específico, têm-se a realização da caracterização hidrológica das cheias na área em estudo, e a análise preliminar dos dados obtidos.

### **3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Neste Capítulo, utilizou-se as séries históricas das 53 estações fluviométricas elencadas no Capítulo 2, cuja descrição e localização estão apresentadas na FIGURA 3 e na TABELA 2.

Os dados das estações fluviométricas foram obtidos junto ao banco de dados hidrometeorológicos da Agência Nacional de Águas (ANA), em solicitação para a Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica, que envia para todos os interessados os dados no formato *mdb*. Foram solicitadas séries históricas de cotas médias diárias, vazões médias diárias, medições de descarga líquida e curvas de descarga das estações de interesse. Estes dados apresentam consistência até o ano de 2014, entretanto optou-se por realizar a sua verificação.

A partir das séries hidrológicas de vazões médias diárias consistidas, foram definidas as séries de vazões médias diárias máximas anuais (SMAs), também denominadas de séries de vazões máximas anuais.

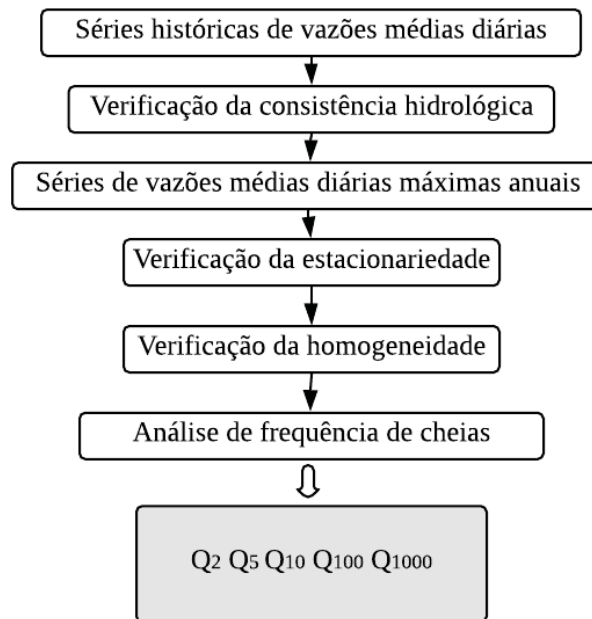
A premissa da independência é assegurada pela natureza dos dados em estudo, assim como a hipótese da aleatoriedade, uma vez que a maioria das estações fluviométricas não apresenta influência dos reservatórios, conforme apresentado na FIGURA 3. Portanto, foram avaliadas as premissas de estacionariedade e homogeneidade (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Dado que a tendência é a forma mais comum da manifestação do comportamento não estacionário, aplicou-se o teste de tendência não paramétrico Mann-Kendall nas séries de dados (MANN, 1945; KENDALL, 1975). Para a verificação da homogeneidade, foi utilizado o teste não paramétrico Mann-Whitney (MANN; WHITNEY, 1947). As estações que apresentaram tendência ou não homogeneidade com base nos critérios estabelecidos foram então excluídas da análise.

Após a análise preliminar dos dados, a função distribuição de probabilidade generalizada de valores extremos (GEV) foi ajustada às SMAs e foi aplicado o teste de aderência de Filliben (FILLIBEN, 1975) para verificar o ajuste. Na situação em que a série original não apresentou aderência à distribuição GEV, ajustou-se a distribuição GUMBEL e aplicou-se o teste de aderência novamente. Utilizou-se o método dos momentos-L para a estimativa dos parâmetros da distribuição. Assim, foram estimadas as vazões de cheia com tempos de recorrência ( $Q_{TR}$ ) de 2, 5, 10, 100 e 1000 anos ( $Q_2$ ,  $Q_5$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_{100}$ , e  $Q_{1000}$ , respectivamente).

A FIGURA 12 apresenta de forma resumida os procedimentos metodológicos empregados neste capítulo.

FIGURA 12 - ABORDAGEM METODOLÓGICA DA ETAPA DE ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE CHEIAS



### 3.1.1 Verificação da consistência hidrológica

A ANA disponibilizou as curvas de descarga consistidas até dezembro de 2014 na forma de equação potencial. As equações são divididas em períodos temporais de validade e em intervalos de cotas. Para um mesmo período temporal, a curva de descarga é ajustada com base nos intervalos de cotas, podendo apresentar de uma a quatro equações (tramos).

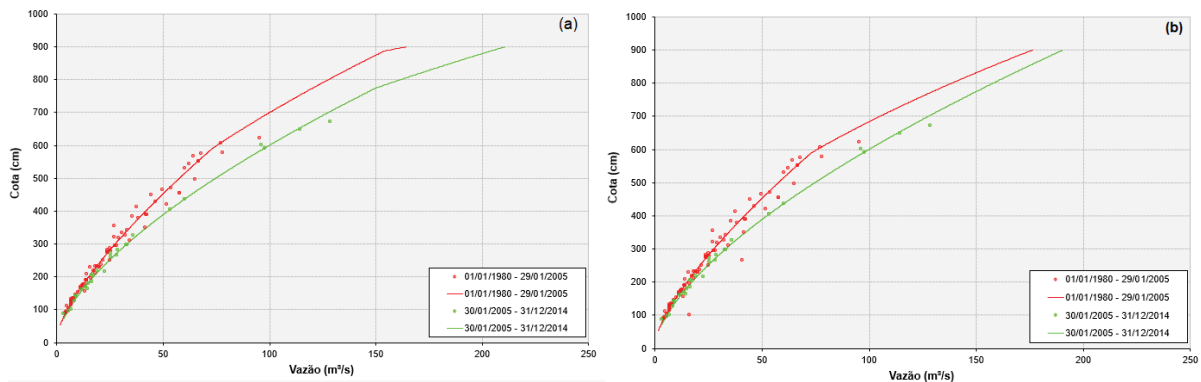
O traçado das curvas e a sua compatibilidade com as medições de descarga foram verificados. Os ajustes foram julgados necessários, quando as curvas de descarga não apresentavam os seguintes requisitos (LOPES *et al.*, 2013):

- Distribuição uniforme dos desvios das medições de descarga em relação às cotas e ao tempo;
- Compatibilidade visual entre as curvas traçadas.

A FIGURA 13 (a) apresenta um exemplo da curva de descarga disponibilizada pela ANA para a estação fluviométrica Lajeado (64442800) e a FIGURA 13 (b) apresenta a curva de descarga ajustada por esta autora para a mesma estação. Neste caso, os tramos das cotas máximas das curvas disponibilizadas pela ANA não apresentam compatibilidade e optou-se por ajustá-la, conforme a curva apresentada

na FIGURA 13 (b). Este ajuste foi realizado alterando-se manualmente os coeficientes da curva de descarga disponibilizada, juntamente com a análise visual para verificação da compatibilidade dos resultados.

FIGURA 13 - EXEMPLO DE TRAÇADOS DE CURVA DE DESCARGA DISPONIBILIZADA PELA ANA (a) E AJUSTADO PELA AUTORA (b)



As séries de cotas médias diárias brutas foram analisadas individualmente para a eliminação de erros grosseiros. As falhas não foram preenchidas devido às incertezas do preenchimento em escala diária. Após a consistência das cotas médias diárias brutas, as vazões médias diárias foram obtidas a partir das curvas de descarga verificadas.

Definiu-se o limite de 10% de falhas anuais para a extração da vazão média diária máxima anual ( $Q_{MÁXANUAL}$ ). Quando as falhas excediam esse limite, verificou-se se estavam localizadas no período de recessão ou de cheias com base em estações auxiliares localizadas no mesmo rio ou na mesma bacia hidrográfica e com o período de dados completo no ano de referência. Na situação em que a falha estava localizada em período de recessão, assegurado pela observação da série histórica das estações auxiliares, as falhas foram desconsideradas e foi extraída a  $Q_{MÁXANUAL}$  para o ano de referência. Na situação em que a falha se localizava no período de cheia, foi realizada a transferência da informação hidrológica da estação auxiliar por meio da vazão específica. Assim, foram obtidas as séries de SMAs consistidas e sem falhas.

### 3.1.2 Caracterização hidrológica

As séries históricas de vazões máximas anuais de 1985 a 2014 foram analisadas, avaliando-se seus dados mínimos e máximos para identificação das cheias extremas. Analisou-se também os fluviogramas das vazões máximas anuais



normalizadas pelas médias de longo termo das SMAs ( $Q_{MÁXANUAL}/Q_{MÁXMLT}$ ) para verificar a variabilidade das cheias.

Para analisar o comportamento das SMAs com o aumento da escala, verificou-se as médias de longo termo e os coeficientes de variação das SMAs em relação às áreas de drenagem das estações fluviométricas consideradas no estudo.

As vazões com diferentes tempos de recorrência foram normalizadas pela vazão máxima média de longo termo ( $Q_{MÁXMLT}$ ) das estações, e também foram analisadas em função da área de drenagem.

### 3.1.3 Teste de tendência Mann-Kendall

Este é o teste mais difundido na literatura para verificação de tendências em séries temporais (ZHANG *et al.*, 2011) e apresenta dois passos que devem ser cumpridos (KENDALL, 1975; MANN, 1945). O primeiro deles é a definição das hipóteses a serem testadas previamente à análise da série para garantir que o analista não sofra influência do comportamento da mesma. A segunda premissa é a necessidade dos elementos serem independentes entre si, dado que o teste é influenciado pela correlação temporal da série (ZHANG *et al.*, 2011). Assim, a hipótese nula ( $H_0$ ) a ser testada é se as séries históricas não apresentam tendência, concluindo-se que todos os elementos amostrais são variáveis aleatórias da mesma população. A independência é assumida devido à natureza dos dados utilizados. A estatística do teste é obtida pela Equação 4 (YUE *et al.*, 2002).

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k) \quad (4)$$

onde  $n$  é o número de observações,  $x_j$  é o valor das variáveis sequenciais e  $\text{sign}(x)$  é uma relação definida pela Equação 5.

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x > 0 \\ 0, & \text{se } x = 0 \\ -1, & \text{se } x < 0 \end{cases} \quad (5)$$

É possível mostrar que  $S$  é normalmente distribuída, ou seja,  $S \sim N(\mu, \sigma^2)$ , com média ( $\mu$ ) igual a 0 (zero) e variância ( $\sigma^2$ ) dada pela Equação 6 (YUE *et al.*, 2002):

$$\sigma^2 = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^P t_j(t_j-1)(2t_j+5)}{18} \quad (6)$$

onde  $n$  é o número de observações,  $P$  é o número de grupos com observações iguais e  $t_j$  é o número de observações iguais no grupo  $j$ . A estatística do teste é calculada pela Equação 7 (YUE *et al.*, 2002):

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sigma}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sigma}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (7)$$

A decisão de rejeitar a hipótese nula  $H_0$  é dada pela Equação 8.

$$|Z| > Z_{(1-\frac{\alpha_{crítico}}{2})} \quad (8)$$

onde  $\alpha_{crítico}$  é o nível de significância, adotado nesta dissertação como 5% ( $p < 0,05$ ).

### 3.1.4 Teste da homogeneidade Mann-Whitney

O teste de Mann-Whitney (MANN; WHITNEY, 1947) implica que todos elementos de uma certa amostra provêm de uma única e idêntica população. A hipótese nula  $H_0$  considera que a série é homogênea (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

O procedimento do teste requer os seguintes passos: atribuir índices às amostras; realizar a divisão dos dados originais em 2 sub-amostras de tamanhos aproximadamente iguais; ordenar os valores das sub-amostras; somar os índices de cada amostra para obter  $m_1$  e  $m_2$ ; determinar  $V = \min(m_1, m_2)$ . A estatística T do teste é dada pela Equação 9 (NAGHETTINI; PINTO, 2007):

$$T = \frac{V \cdot \frac{N_1(N_1+N_2+1)}{2}}{\sqrt{\frac{N_1 N_2 (N_1+N_2+1)}{12}}} \quad (9)$$

onde  $N_1$  e  $N_2$  são os tamanhos da primeira e segunda sub-amostras, respectivamente. A decisão de rejeitar a hipótese nula  $H_0$  é dada pela Equação 10.

$$|T| > Z_{(1-\frac{\alpha_{crítico}}{2})} \quad (10)$$

Foi considerado um nível de significância ( $\alpha_{crítico}$ ) de 5% ( $p < 0,05$ ) para a rejeição da hipótese nula ( $H_0$ ).

### 3.1.5 Distribuição de probabilidade Generalizada de Valores Extremos (GEV)

A distribuição GEV reúne três formas assintóticas de máximos em uma única expressão e sua função de densidade de probabilidade (fdp) é dada pela Equação 11 (NAGHETTINI; PINTO, 2007):

$$f_y(y) = \frac{1}{\alpha} \left[ 1 - \kappa \left( \frac{y-\beta}{\alpha} \right) \right]^{1/\kappa-1} \exp \left\{ - \left[ 1 - \kappa \left( \frac{y-\beta}{\alpha} \right) \right]^{1/\kappa} \right\} \text{ se } \kappa \neq 0 \quad (11)$$

$$f_y(y) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[ - \frac{y-\beta}{\alpha} - \exp \left( - \frac{y-\beta}{\alpha} \right) \right] \text{ se } \kappa = 0$$

onde  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\kappa$  são os parâmetros de escala, posição e forma, respectivamente e  $y$  é o valor da variável. Os estimadores dos parâmetros  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\kappa$  ( $\hat{\alpha}$ ,  $\hat{\beta}$  e  $\hat{\kappa}$ , respectivamente) podem ser obtidos pelo método dos momentos-L, conforme as Equações 12, 13 e 14 (NAGHETTINI; PINTO, 2007):

$$\hat{\alpha} = \frac{\lambda_2 \hat{\kappa}}{\Gamma(1+\hat{\kappa})(1-2^{-\hat{\kappa}})} \quad (12)$$

$$\hat{\beta} = \lambda_1 - \frac{\hat{\alpha}}{\hat{\kappa}} [1 - \Gamma(1 + \hat{\kappa})] \quad (13)$$

$$\hat{\kappa} = 7.8590c + 2.9554c^2, \text{ onde } c = \frac{\lambda_2}{\lambda_3+3} - \frac{\ln(2)}{\ln(3)} \quad (14)$$

onde os parâmetros  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  e  $\lambda_3$  são os momentos-L de primeira, segunda e terceira ordens, respectivamente, e  $\Gamma(z)$  é a função gama definida por  $\Gamma(z) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{z-1} dt$ .

O parâmetro  $\kappa$  é quem determina a natureza das caudas da distribuição GEV. Quando  $\kappa > 0$ , a GEV representa a distribuição do Tipo III, que corresponde a

distribuição de Weibull de máximos. Quando  $\kappa < 0$ , do Tipo II, ou seja, distribuição de Fréchet de máximos. Se  $\kappa = 0$ , a GEV corresponde à distribuição de Gumbel (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Os momentos-L são combinações lineares dos Momentos Ponderados por probabilidade (MPP). Os MPP são momentos utilizados para a caracterização de distribuições de probabilidade, descritos conforme a Equação 15 (NAGHETTINI; PINTO, 2007):

$$M_{p,r,s} = \int_0^1 [x(F)]^p F^r (1-F)^s dF \quad (15)$$

onde  $x(F)$  denota a função dos quantis;  $p$ ,  $r$  e  $s$  representam números reais.

Hosking (1986) demonstrou que os MPPs  $M_{1,0,s}$  e  $M_{1,r,0}$ , como funções lineares de  $x$ , são mais robustos do que os momentos convencionais para a estimação de parâmetros de distribuições de probabilidade. Para uma amostra ordenada de modo crescente, as estimativas não tendenciosas de  $M_{1,0,s}$  e  $M_{1,r,0}$ , sendo iguais, respectivamente, a  $\alpha_s$  e  $\beta_r$ , podem ser calculadas pelas Equações 16 e 17 (NAGHETTINI; PINTO, 2007):

$$a_s = \hat{\alpha}_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\binom{N-i}{s}}{\binom{N-1}{s}} x_i \quad (16)$$

$$b_r = \hat{\beta}_r = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\binom{i-1}{r}}{\binom{N-1}{r}} x_i \quad (17)$$

Hosking (1990) introduziu o conceito de momentos-L de ordem  $r$  ( $\lambda_r$ ) como combinações lineares dos MPPs  $\alpha_s$  e  $\beta_r$  e definidos conforme as Equações 18 e 19 (NAGHETTINI; PINTO, 2007):

$$\lambda_r = (-1)^{r-1} \sum_{k=0}^{r-1} p_{r-1,k} \alpha_k = \sum_{k=0}^{r-1} p_{r-1,k} \beta_k \quad (18)$$

$$p_{r-1,k} = (-1)^{r-k-1} \binom{r-1}{k} \binom{r+k-1}{k} \quad (19)$$

Portanto, os momentos-L de ordem 1, 2 e 3 resultam nas Equações 20, 21 e 22 (NAGHETTINI; PINTO, 2007):

$$\lambda_1 = \alpha_0 = \beta_0 \quad (20)$$

$$\lambda_2 = \alpha_0 - 2\alpha_1 = 2\beta_1 - \beta_0 \quad (21)$$

$$\lambda_3 = \alpha_0 - 6\alpha_1 + 6\alpha_2 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \quad (22)$$

Os momentos-L amostrais são calculados pela substituição de  $\alpha_s$  e  $\beta_r$  nas equações 20, 21 e 22, pelas suas estimativas  $a_s$  e  $b_r$ , obtidas pelas equações 16 e 17.

### 3.1.6 Teste de aderência de Filliben

A verificação do ajuste da distribuição de probabilidade foi realizada com o teste de aderência de Filliben (FILLIBEN, 1975). A estatística do teste é dada conforme a Equação 23 e é construída com base no coeficiente de correlação linear  $r$  entre as observações ( $x_i$ ) ordenadas em modo crescente, e os quantis teóricos ( $w_i$ ) (NAGHETTINI; PINTO, 2007):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(w_i - \bar{w})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (w_i - \bar{w})^2}} \quad (23)$$

onde  $r$  é a estatística do teste,  $\bar{x}$  e  $\bar{w}$  são a média das observações e a média dos quantis teóricos, respectivamente, e  $N$  é o número de observações.

Os quantis teóricos são obtidos conforme  $w_i = F_X^{-1}(1 - q_i)$ , onde  $q_i$  representa a probabilidade empírica correspondente à ordem  $i$  e  $F_X^{-1}$  a inversa da função de distribuição acumulada (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Para a distribuição GEV,  $q_i$  foi calculada pela equação de Cunnane ( $q_i = i - 0,4/N + 0,2$ ), uma vez que Naghettini e Pinto (2007) apresentam valores de  $r_{\text{crítico}}$  nestas condições.

A Hipótese nula ( $H_0$ ) é  $r = 1$  e a Hipótese alternativa ( $H_1$ ) é  $r < 1$ , sendo que a hipótese nula deve ser rejeitada quando  $r < r_{\text{crítico}}$  para um determinado nível de significância ( $\alpha$ ).

Neste estudo, adotou-se o nível de significância ( $\alpha$ ) de 1%. Os valores do  $r_{\text{crítico}}$  para a GEV com  $q_i$  calculada de acordo com Cunnane, conforme o parâmetro

de forma ( $\kappa$ ), são apresentados em Naghettini e Pinto (2007), obtidos por Chowdhury *et al.* (1991), e estão apresentados na TABELA 10 para  $N=30$  e  $\alpha=0,01$ .

TABELA 10 - VALOR DO R CRÍTICO ( $r_{\text{crítico}}$ ) PARA A DISTRIBUIÇÃO GEV COM PROBABILIDADE EMPÍRICA CALCULADA CONFORME CUNNANE,  $N=30$  E  $\alpha=0,01$

Parâmetro de forma ( $\kappa$ )	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,1	0,2
$r_{\text{crítico}}$	0,834	0,858	0,89	0,82	0,942	0,953

Fonte: adaptado de Naghettini e Pinto (2007)

Na situação em que a estação fluviométrica apresentou rejeição da hipótese nula, ou seja, na qual a série histórica observada não apresentou aderência à distribuição de probabilidade GEV, utilizou-se a distribuição de probabilidade de GUMBEL para obtenção das vazões máximas. Os parâmetros de escala ( $\alpha$ ) e posição ( $\beta$ ) foram determinados através do método dos momentos-L e realizou-se novamente o teste de Filliben.

Para o cálculo da probabilidade empírica ( $q_i$ ), neste caso, usou-se a equação de Gringorten ( $q_i = i - 0,44/N + 0,12$ ), uma vez que, a partir desta equação, Naghettini e Pinto (2007) apresentam os valores de  $r_{\text{crítico}}$  para a distribuição de Gumbel. Para o nível de significância  $\alpha=0,01$  e  $N = 30$ , têm-se  $r_{\text{crítico}} = 0,9191$ .

## 3.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

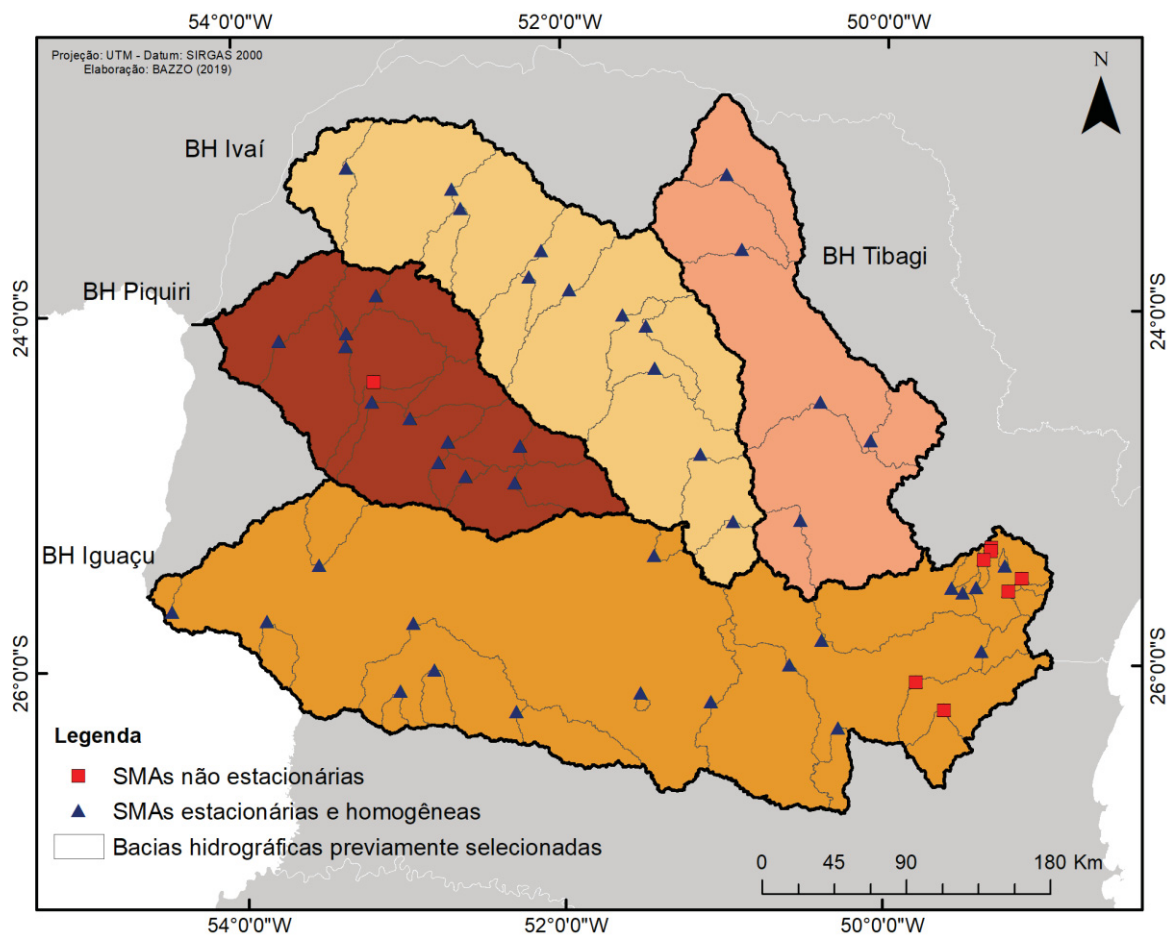
### 3.2.1 Análise preliminar dos dados

Em relação a verificação da consistência hidrológica, um total de 14 estações tiveram suas curvas de descargas alteradas para compatibilização com os critérios estabelecidos por Lopes *et al.* (2013). As equações resultantes de todas as estações são apresentadas no QUADRO II.1 do **APÊNDICE II**. Do total de 1590 anos analisados, 64 apresentavam falhas superiores a 10% e, destes, 30 anos foram preenchidos. Assim, foram obtidas as SMAs consistidas para as 53 estações fluviométricas da área de estudo.

Aplicou-se o teste de tendência Mann-Kendall em todas as SMAs para avaliar a estacionariedade das séries históricas. Das 53 estações analisadas, 8 tiveram a hipótese nula rejeitada, indicando que, para o nível de significância de 5%, as séries apresentam não estacionariedade. Estes resultados especializados são mostrados na FIGURA 14. Do total de estações com SMAs não estacionárias, 7 estão localizadas

na BH Iguaçu, especificamente na região do Alto Iguaçu (65020995 – Montante aterro sanitário; 65021770 – Colônia Dom Pedro; 65021000 – Jusante aterro sanitário; 65010000 – Fazendinha; 65015400 – Cachoeira; 65094500 – Avençal e; 65010000 – Rio Negro) e 1 está localizada na BH Piquiri (647995000 – Novo Porto 2).

FIGURA 14 - TESTE DE TENDÊNCIA DAS SÉRIES HISTÓRICAS DE VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS MÁXIMAS ANUAIS PARA VERIFICAÇÃO DA ESTACIONARIEDADE



As possíveis causas da não estacionariedade destas estações são mudanças na cobertura do solo, o que ocasiona alterações nos hidrogramas, mudanças nos regimes de chuvas, alterações nos cursos d'água provocadas por obras hidráulicas (BARTIKO; CHAFFE; BONUMÁ, 2017), assim como, inconsistências nas curvas de descarga utilizadas para gerar as séries históricas. À exceção das estações 65100000 e 64799500, as demais apresentam áreas de drenagem inferiores a 1.000 km<sup>2</sup>, o que implica em maiores incertezas nas medições de descarga líquida e, conseqüentemente, nas curvas de descarga. Devido à não estacionariedade, portanto, estas 8 estações foram desconsideradas para o restante do estudo.

BARTIKO, CHAFFE e BONUMÁ (2017) avaliaram a não estacionariedade e a presença de mudanças abruptas em 157 séries históricas de vazões máximas anuais de estações fluviométricas localizadas na região sul do Brasil. Os resultados indicaram que 75 das 157 séries podem ser consideradas não estacionárias. Das séries não estacionárias, 72% (54 estações) apresentaram mudanças abruptas nas séries, sendo essas concentradas principalmente na década de 70.

No presente estudo foram utilizadas as séries históricas de vazões máximas anuais do período de 1985 a 2014, portanto posteriormente ao período em que se concentram as mudanças abruptas nas séries históricas não estacionárias identificadas no estudo de BARTIKO, CHAFFE e BONUMÁ (2017), o que possivelmente justifica as diferenças obtidas entre os resultados.

Para as 45 SMAs restantes, aplicou-se o teste da homogeneidade Mann-Whitney. A hipótese nula não foi rejeitada para todas as estações para um nível de significância ( $\alpha$ ) de 5%, concluindo-se que as séries são homogêneas.

### 3.2.2 Caracterização hidrológica das séries de vazões máximas anuais

A FIGURA II.1 do APÊNDICE II apresenta os fluviogramas das vazões máximas anuais normalizadas pelas médias de longo termo das SMAs ( $Q_{MÁXANUAL}/Q_{MÁXMLT}$ ) das bacias hidrográficas dos rios (a) Iguaçu, (b) Piquiri, (c) Ivaí e (d) Tibagi. O QUADRO II.2 do APÊNDICE II apresenta as estatísticas descritivas das vazões máximas anuais analisadas no estudo para cada uma das estações fluviométricas.

Na BH Iguaçu, as vazões máximas anuais ( $Q_{MÁXANUAL}$ ) chegaram a apresentar valores cerca de até 3 vezes maiores que a  $Q_{MÁXMLT}$  em algumas sub-bacias nos anos de 1992 e 2014, indicando anos de cheias mais extremas. Na BH Piquiri e BH Ivaí, a relação  $Q_{MÁXANUAL}/Q_{MÁXMLT}$  atingiu valores máximos próximos a 3 para algumas estações somente no ano de 2014, enquanto na BH Tibagi o ano de 1997 apresentou as maiores relações  $Q_{MÁXANUAL}/Q_{MÁXMLT}$ , na qual  $Q_{MÁXANUAL}$  atingiu valores aproximadamente 2,5 maiores que a  $Q_{MÁXMLT}$ .

As menores vazões máximas anuais na BH Iguaçu foram observadas nos anos de 1985 e 2006 para a maioria das estações (76%) e as maiores vazões nos anos de 1992 e 2014 (53% das estações). Para a estação 65993000 (Salto Cataratas), localizada mais a jusante da bacia, os anos de 1992 e 2014 apresentaram vazões



máximas anuais de 24.344 m<sup>3</sup>/s e 23.760 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. No ano de 2006, a vazão máxima anual foi de 2.195 m<sup>3</sup>/s.

As médias das vazões máximas na BH Iguaçu variaram de 3 m<sup>3</sup>/s a 11.154 m<sup>3</sup>/s para as estações 65020995 (Montante Aterro Sanitário) e 65993000 (Salto Cataratas), respectivamente. Esta última estação apresenta vazões máximas significativamente superiores às demais consideradas no estudo. Para comparação, na BH Iguaçu, a segunda maior média refere-se à estação 65310000 (União da Vitória) com valor de 1.981 m<sup>3</sup>/s.

Na BH Piquiri, as menores vazões máximas anuais foram observadas nos anos de 1985 e 1999 para a maioria das estações (58%), e as maiores nos anos de 1992 e 2014 (75% das estações). Para a estação 64830000 (Balsa Santa Maria), localizada mais a jusante da bacia, o ano de 2014 apresentou a maior vazão, 5.881 m<sup>3</sup>/s. O ano de 1985 apresentou a menor vazão, 2.035 m<sup>3</sup>/s. As  $Q_{MÁXMLT}$  variaram de 119 m<sup>3</sup>/s a 3.758 m<sup>3</sup>/s para as estações 64785000 (Ponte do Goio – Bang) e 64830000 (Balsa Santa Maria), respectivamente.

Na BH Ivaí, as menores vazões foram observadas nos anos de 1991 e 2006 para 91% e as maiores nos anos de 2013 e 2014 para 72% das estações. Na BH Ivaí, as  $Q_{MÁXMLT}$  variaram de 46 m<sup>3</sup>/s à 5.006 m<sup>3</sup>/s para as estações 64682000 (Japurá - Rio dos Índios) e 64660500 (Vila Rica), respectivamente.

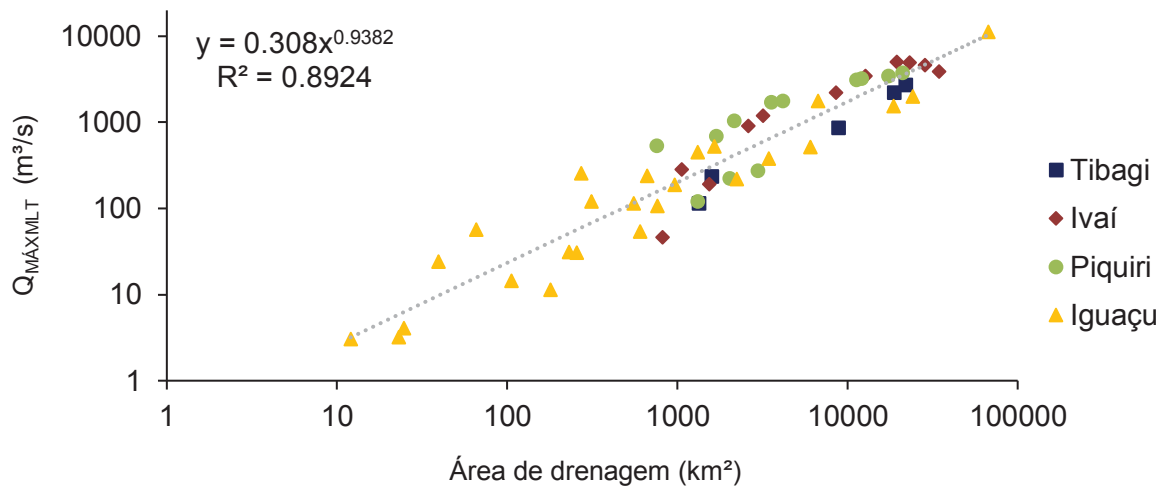
Na BH Tibagi, as menores vazões máximas foram observadas nos anos de 2006 para a maioria das estações (80%) e as maiores nos anos de 1997 e 2014, para 80% das estações. Para a estação 64507000 (Jataizinho ANA/CESP), localizada mais a jusante da bacia, o ano de 2013 apresentou a maior vazão, 5.523 m<sup>3</sup>/s. O ano de 2006 apresentou a menor vazão, sendo de 710 m<sup>3</sup>/s. A média das vazões máximas variaram de 113 m<sup>3</sup>/s à 5.006 m<sup>3</sup>/s para as estações 64442800 (Lajeado) e 64507000 (Jataizinho Ana/Cesp), respectivamente.

Os anos cujas cheias extremas foram identificadas na área de estudo foram marcados pela influência do fenômeno *El Niño*, que altera o regime de chuvas da região Sul do Brasil, através do aumento das precipitações (MARENGO, 2007). Segundo FERREIRA *et al.* (2016), este fenômeno foi classificado como muito forte nos anos de 1982-1983, 1997-1998 e 2015-2016 e como moderado no ano de 1991-1992.

A FIGURA 15 apresenta a relação entre as médias de longo termo das SMAs ( $Q_{MÁXMLT}$ ) e as áreas de drenagem de todas as estações fluviométricas consideradas

no estudo. Comentários em relação ao coeficiente de determinação ajustado, apresentado na figura, são realizados posteriormente no texto.

FIGURA 15 - RELAÇÃO ENTRE MÉDIAS DE LONGO TERMO DAS SMAs ( $Q_{MÁXMLT}$ ) E AS ÁREAS DE DRENAGEM DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS CONSIDERADAS NO ESTUDO, CONFORME AS BACIAS HIDROGRÁFICAS



Verifica-se, a partir da FIGURA 15, que as sub-bacias hidrográficas da BH Iguaçu apresentam as menores áreas de drenagem e  $Q_{MÁXMLT}$  consideradas no estudo. As sub-bacias da BH Tibagi, considerando áreas de drenagem semelhantes, apresentam menores  $Q_{MÁXMLT}$  em comparação às sub-bacias da BH Ivaí e Piquiri para as estações com maiores áreas de drenagem.

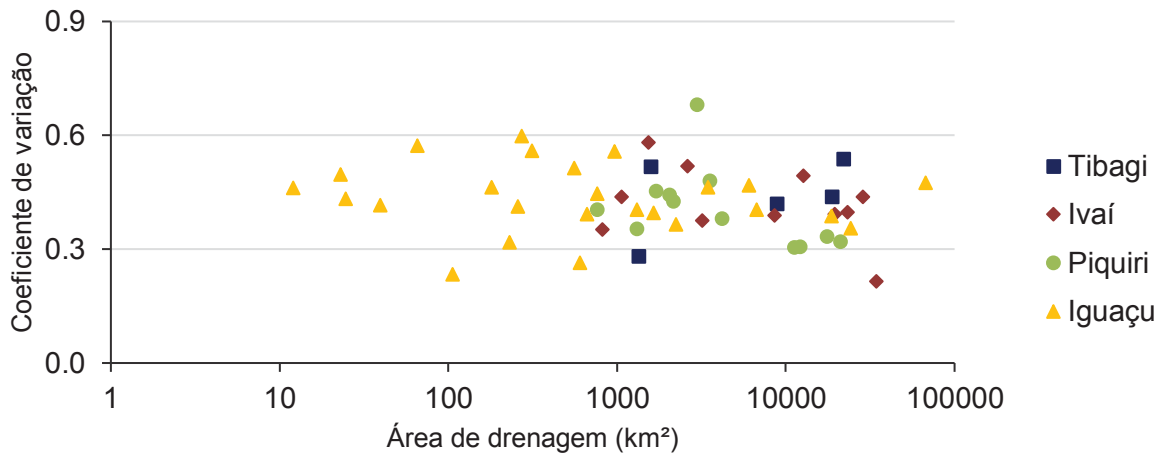
Para as sub-bacias hidrográficas com maiores áreas de drenagem da BH Ivaí, a  $Q_{MÁXMLT}$  diminui com o aumento da área. A estação localizada mais a jusante da bacia, 64693000 (Novo Porto Taquara), embora apresente a maior área de drenagem, apresenta  $Q_{MÁXMLT}$  inferiores às estações 64660500 (Vila Rica), 64675002 (Porto Bananeira) e 64685000 (Porto Paraíso Norte), conforme pode ser observado também na FIGURA II.1. (c) do **APÊNDICE II**, demonstrando que ocorre um amortecimento das vazões máximas ao chegar na estação 64693000. Este amortecimento pode ser devido à localização da estação 64693000 em uma região de relevo plano, conforme o mapa de declividade da área de estudo (FIGURA 6), na qual em situações de cheia pode ocorrer transbordamento das vazões máximas e maior armazenamento nas planícies de inundação. Outro aspecto a ser considerado é a proximidade com o reservatório da UHE Itaipu, localizada no rio Paraná.

Destefani (2005) avaliou o regime hidrológico do rio Ivaí e, após análise das cotas e dos perfis transversais das estações, concluiu que o amortecimento é

ocasionado pelo aumento da largura do canal, mudança de um patamar para outro da margem, transposição das águas sobre diques e transbordamentos.

A FIGURA 16 apresenta a relação entre os coeficientes de variação das SMAs e as áreas de drenagem das estações fluviométricas. A maioria das estações apresentam coeficientes que variam entre 0,2 e 0,6 e, a partir da análise visual, não foram identificadas mudanças significativas nos valores com o aumento da área de drenagem.

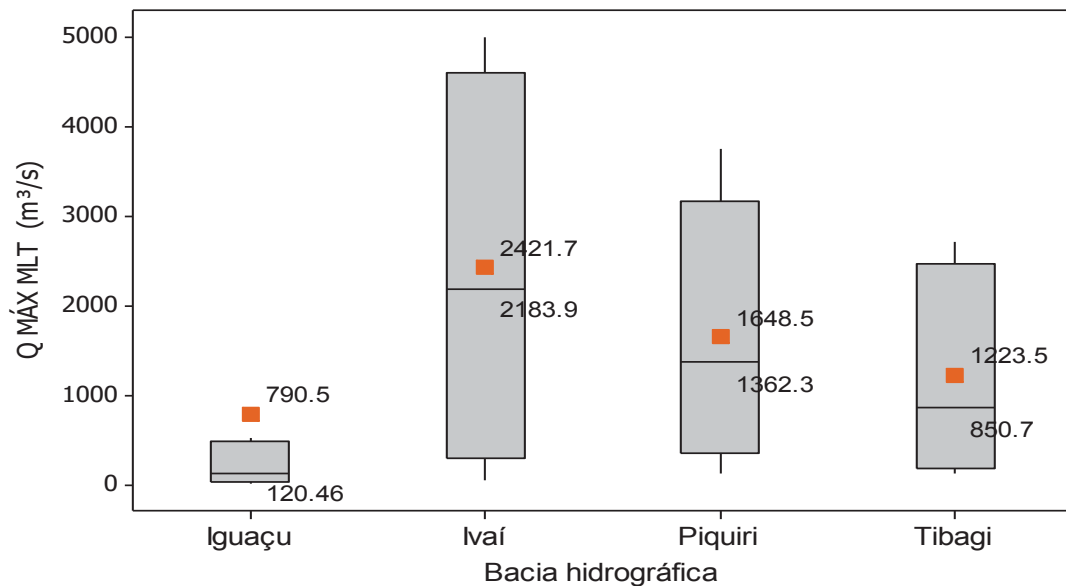
FIGURA 16 - RELAÇÃO ENTRE OS COEFICIENTES DE VARIAÇÃO DAS SMAs ( $Q_{MÁXMLT}$ ) E AS ÁREAS DE DRENAGEM DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS



A FIGURA 17 apresenta os *box plots* das médias de longo termo das SMAs ( $Q_{MÁXMLT}$ ) das bacias hidrográficas dos rios Iguaçu, Ivaí, Piquiri e Tibagi. A assimetria das  $Q_{MÁXMLT}$  da BH Iguaçu indica a influência da estação fluviométrica 65993000 (Salto Cataratas), cuja  $Q_{MÁXMLT}$  é significativamente superior às demais (11.154 m<sup>3</sup>/s), uma vez que o valor da mediana é 120,5 m<sup>3</sup>/s, enquanto a média é 790,5 m<sup>3</sup>/s. Sem esta estação, a  $Q_{MÁXMLT}$  das estações analisadas na BH Iguaçu seria de 116 m<sup>3</sup>/s. A amplitude interquartil da BH Iguaçu é consideravelmente inferior às demais, indicando que a maior parte das sub-bacias hidrográficas analisadas apresentam  $Q_{MÁXMLT}$  com valores baixos em relação às demais.

Na BH Ivaí, a média das SMAs é de 2.241 m<sup>3</sup>/s e mediana de 2.183 m<sup>3</sup>/s, indicando que os valores das  $Q_{MÁXMLT}$  apresentam dispersão mais simétrica, o que é percebido também pela sua amplitude interquartil. De forma similar ocorre nas BH Piquiri, na qual a média é 1.648 m<sup>3</sup>/s e a mediana é 1.362 m<sup>3</sup>/s e na BH Tibagi, cuja média é 1.223 m<sup>3</sup>/s e mediana é 850 m<sup>3</sup>/s.

FIGURA 17 - BOX PLOTS DAS MÉDIAS DE LONGO TERMO DAS SÉRIES DE VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS MÁXIMAS ANUAIS ( $Q_{MÁXMLT}$ ) DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS



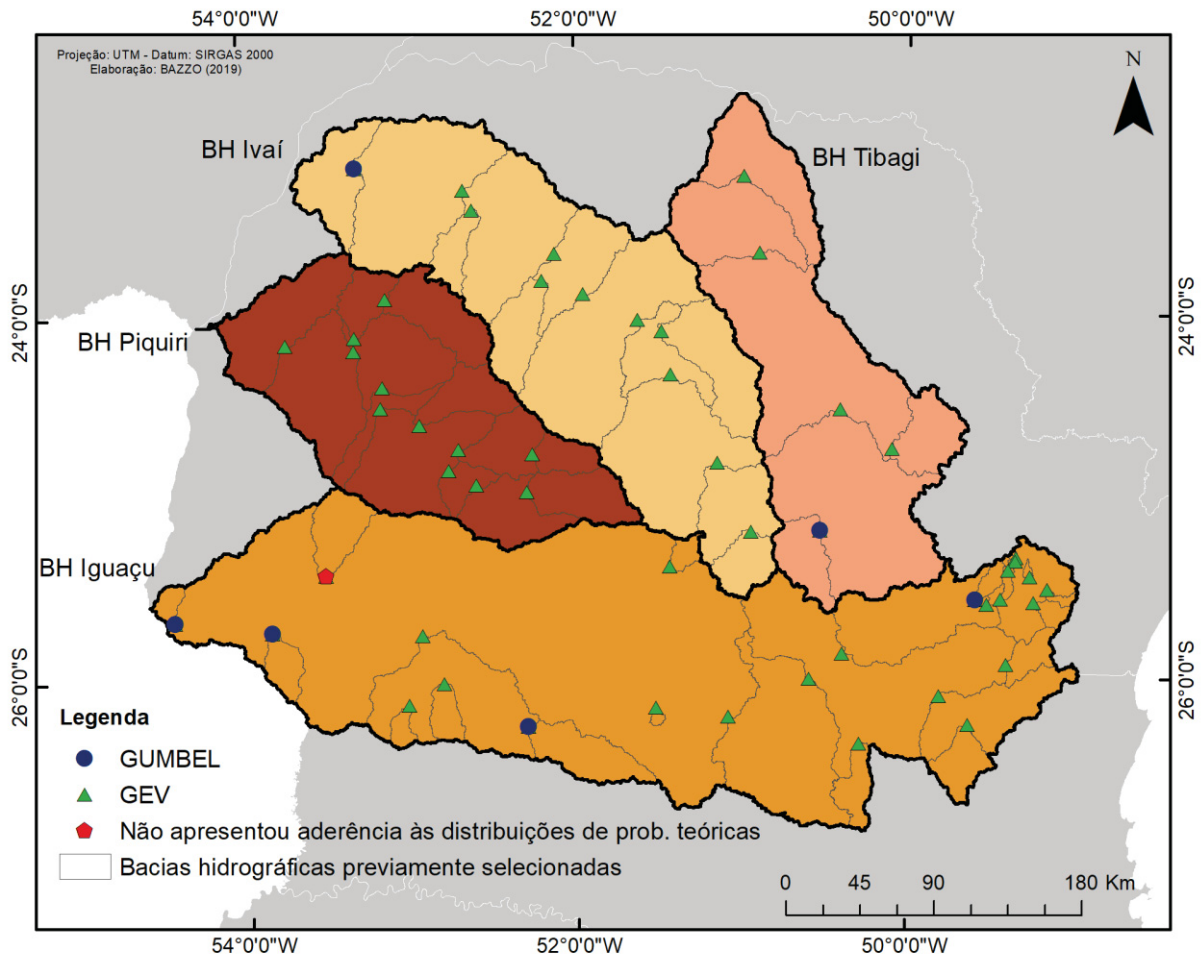
Obs: em laranja apresentam-se as médias das SMAs

### 3.2.3 Teste de aderência e distribuição de probabilidade

As SMAs foram ajustadas à distribuição GEV e aplicou-se o teste de aderência de Filliben para verificação do ajuste.

Um total de 7 estações das 45 tiveram a hipótese nula rejeitada para um nível de significância de 1%, demonstrando que os dados observados não são adequadamente ajustados à distribuição de probabilidade GEV. Para estas estações, foram obtidas as vazões máximas a partir da distribuição de probabilidade de Gumbel e realizado novamente o teste. Destas, para 6 estações (64442800 - Lajeado, 64693000 - Novo Porto Taquara, 65027000 - Rodéio, 65925000 - Salto Claudelino, 65990550 - Muniz, 65993000 - Salto Cataratas), a hipótese nula foi rejeitada, indicando que os dados observados apresentam aderência à distribuição de probabilidade teórica de Gumbel. A estação 65979000 (São Sebastião) teve  $H_0$  rejeitada também para Gumbel, sendo desconsiderada do estudo. A FIGURA 18 apresenta estes resultados espacializados das distribuições teóricas de probabilidade utilizadas para o ajuste das SMAs.

FIGURA 18 - DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE TEÓRICAS DAS SÉRIES DE VAZÕES MÁXIMAS ANUAIS, CONFORME TESTE DE ADERÊNCIA DE FILLIBEN



O QUADRO III.1 do **APÊNDICE III** apresenta os momentos-L, as distribuições de probabilidade utilizadas e os seus respectivos parâmetros para as 44 estações fluviométricas restantes no estudo, obtidos a partir das SMAs consistidas, estacionárias e homogêneas.

### 3.2.4 Caracterização hidrológica das cheias

O QUADRO III.2 do **APÊNDICE III** apresenta as vazões máximas para os diferentes tempos de recorrência ( $Q_{TR}$ ) para as estações fluviométricas do estudo, obtidas a partir do ajuste das distribuições teóricas de probabilidade.

A FIGURA 19 à FIGURA 23 apresentam as  $Q_{TR}$  normalizadas pela vazão máxima média de longo termo ( $Q_{MÁXMLT}$ ) em função da área de drenagem, para os Tr de 2, 5, 10, 100 e 1000 anos, respectivamente.

FIGURA 19 - VAZÕES MÁXIMAS COM TEMPO DE RECORRÊNCIA ( $Q_{TR}$ ) DE 2 ANOS NORMALIZADAS PELA VAZÃO MÁXIMA MÉDIA DE LONGO TERMO ( $Q_{MÁXMLT}$ ) EM FUNÇÃO DA ÁREA DE DRENAGEM

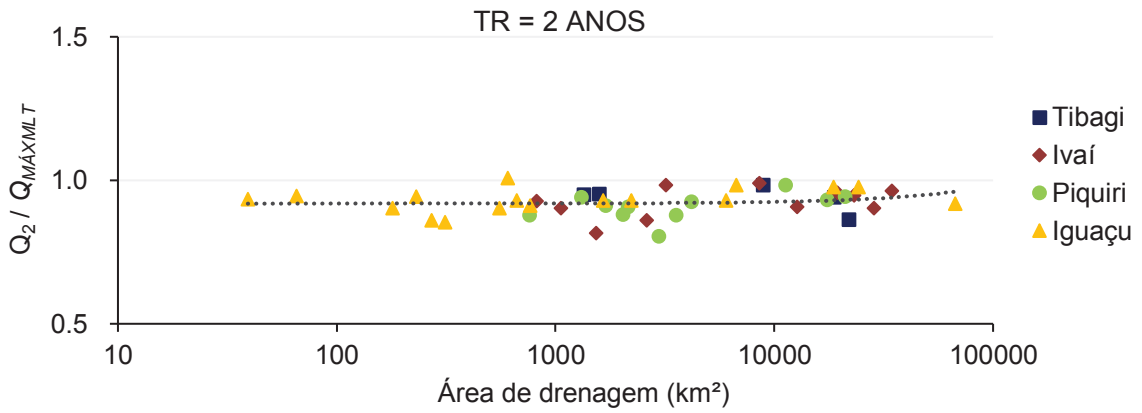


FIGURA 20 - VAZÕES MÁXIMAS COM TEMPO DE RECORRÊNCIA ( $Q_{TR}$ ) DE 5 ANOS NORMALIZADAS PELA VAZÃO MÁXIMA MÉDIA DE LONGO TERMO ( $Q_{MÁXMLT}$ ) EM FUNÇÃO DA ÁREA DE DRENAGEM

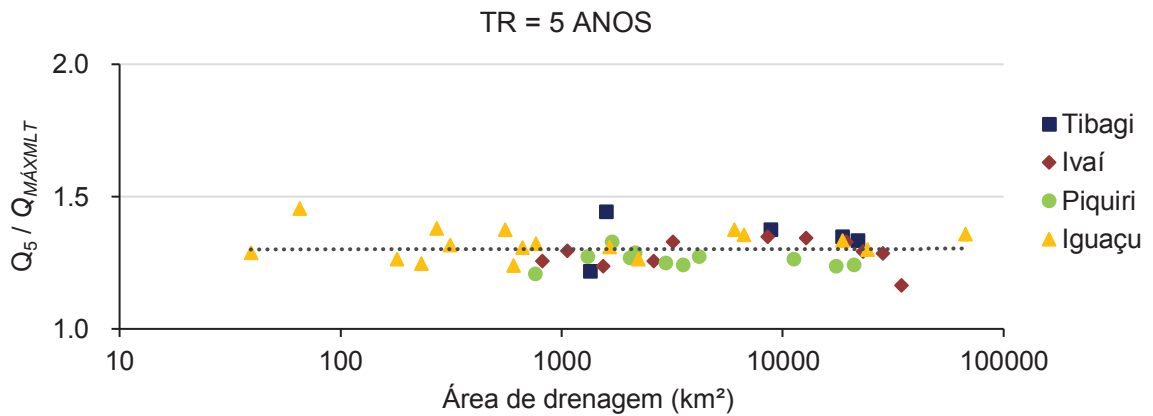


FIGURA 21 - VAZÕES MÁXIMAS COM TEMPO DE RECORRÊNCIA ( $Q_{TR}$ ) DE 10 ANOS NORMALIZADAS PELA VAZÃO MÁXIMA MÉDIA DE LONGO TERMO ( $Q_{MÁXMLT}$ ) EM FUNÇÃO DA ÁREA DE DRENAGEM

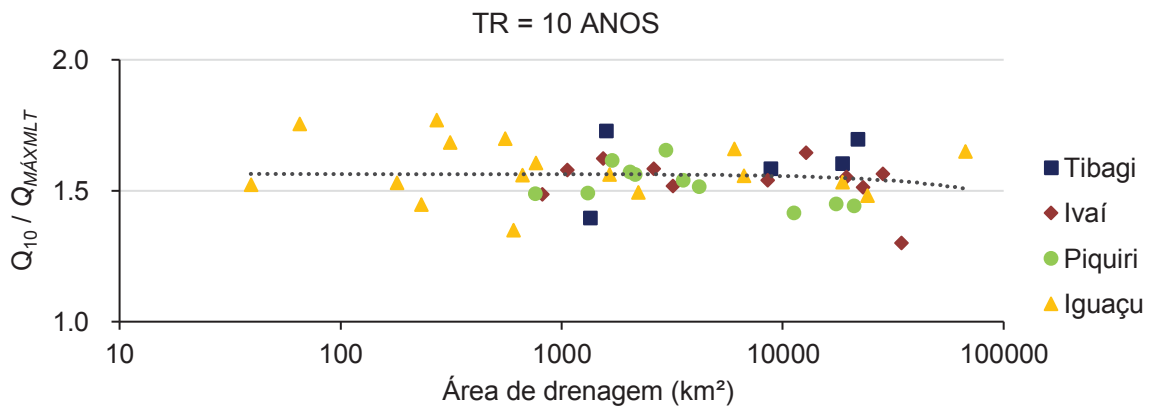


FIGURA 22 - VAZÕES MÁXIMAS COM TEMPO DE RECORRÊNCIA ( $Q_{TR}$ ) DE 100 ANOS NORMALIZADAS PELA VAZÃO MÁXIMA MÉDIA DE LONGO TERMO ( $Q_{MÁXMLT}$ ) EM FUNÇÃO DA ÁREA DE DRENAGEM

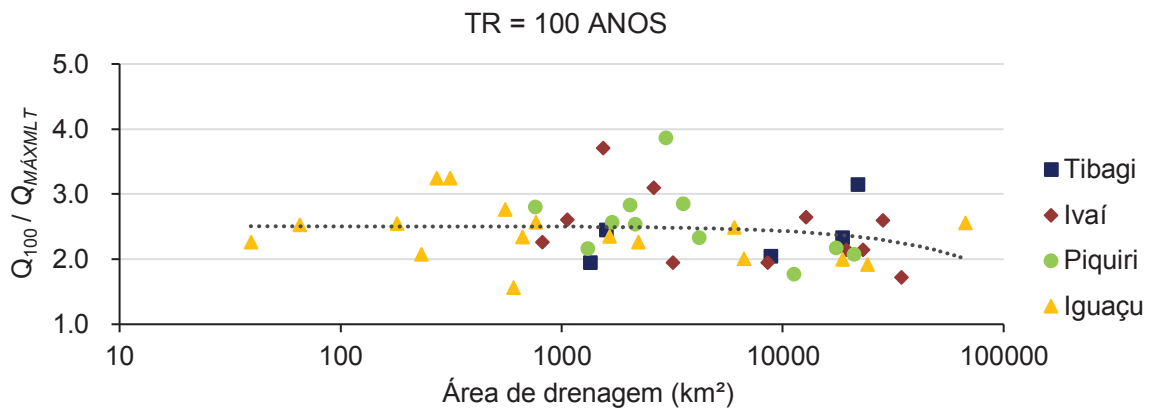
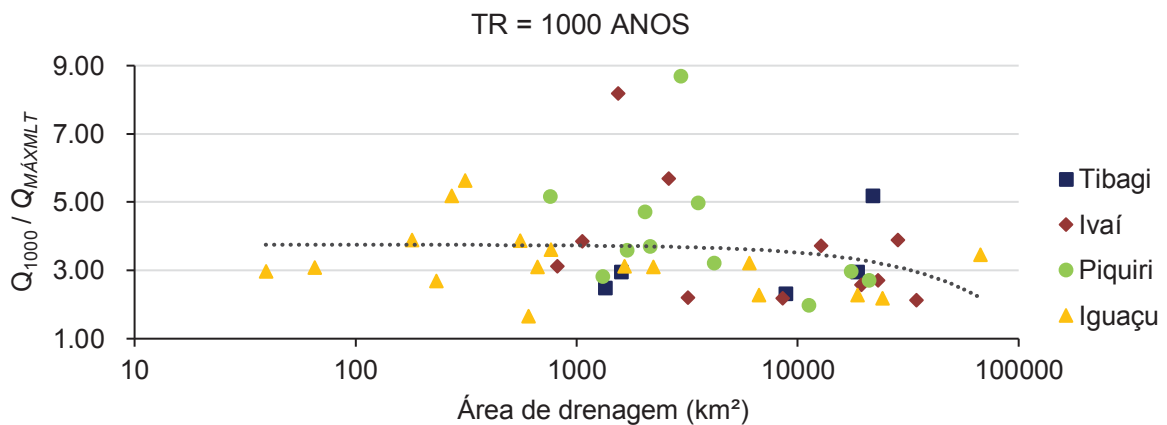


FIGURA 23 - VAZÕES MÁXIMAS COM TEMPO DE RECORRÊNCIA ( $Q_{TR}$ ) DE 1000 ANOS NORMALIZADAS PELA VAZÃO MÁXIMA MÉDIA DE LONGO TERMO ( $Q_{MÁXMLT}$ ) EM FUNÇÃO DA ÁREA DE DRENAGEM



Conforme a FIGURA 19, as vazões com tempos de recorrência de 2 anos são inferiores às vazões máximas médias de longo termo ( $Q_{MÁXMLT}$ ) para a maioria das estações ( $Q_{TR}/Q_{MÁXMLT} < 1$ ). A relação  $Q_{TR}/Q_{MÁXMLT}$  variou de 0,8 a aproximadamente 1. Considerando todas as estações analisadas no estudo, com o aumento da área de drenagem, a relação  $Q_2/Q_{MÁXMLT}$  tende a aumentar, sugerindo que  $Q_2$  aumenta com maior intensidade em comparação à  $Q_{MÁXMLT}$ .

Para as vazões com tempos de recorrência de 5 anos a relação  $Q_5/Q_{MÁXMLT}$  não apresenta grandes variações com o aumento da área de drenagem (FIGURA 20). Isto indica que, independentemente das áreas de drenagem, estas vazões máximas tendem a aumentar à mesma proporção que a média de longo termo das SMAs

( $Q_{MÁXMLT}$ ) das respectivas estações fluviométricas. As vazões  $Q_5$ , no geral, são aproximadamente de 1,1 a 1,45 vezes a  $Q_{MÁXMLT}$ .

As vazões com tempos de recorrência de  $Q_{10}$ ,  $Q_{100}$  e  $Q_{1000}$  apresentam relação  $Q_{TR}/Q_{MÁXMLT}$  decrescente com o aumento da área de drenagem. Considerando as BH separadamente, para as BHs Iguaçu, Ivaí e Piquiri, a relação  $Q_{TR}/Q_{MÁXMLT}$  diminui, enquanto que, na BH Tibagi, esta relação aumentou. Deve-se considerar que, na BH Tibagi, somente 5 estações foram selecionadas a partir dos critérios pré-estabelecidos e consideradas no estudo. Assim, mudanças de padrões em poucas estações causam maiores influências na análise geral em relação às demais BHs.

As vazões  $Q_{10}$  tendem a ser cerca de 1,5 vezes superiores a  $Q_{MÁXMLT}$ . As vazões  $Q_{100}$ , no geral, tendem a ser de 2 a 3 vezes superiores a  $Q_{MÁXMLT}$  e as vazões  $Q_{1000}$  tendem a ser de 3 a 5 vezes superiores que a  $Q_{MÁXMLT}$ .

A amplitude da relação  $Q_{TR}/Q_{MÁXMLT}$  foi maior para os maiores tempos de recorrência, passando de 0,2 para  $Q_2$  para 7,04 para  $Q_{1000}$ .

O ajuste da linha de tendência da relação entre as médias de longo termo das SMAs e as áreas de drenagem, apresentadas na FIGURA 15, demonstrou que as  $Q_{MÁXMLT}$  tendem a aumentar com menor intensidade à medida em que as áreas de drenagem aumentam, uma vez que a função potência ajustada apresenta expoente inferior a 1. Considerando somente este critério, poder-se-ia esperar que a relação  $Q_{TR}/Q_{MÁXMLT}$  aumente com o aumento da área de drenagem das estações.

Entretanto, para os diferentes tempos de recorrência, a relação  $Q_{TR}/Q_{MÁXMLT}$  variou de modo distinto com o aumento da área de drenagem, passando de crescente para  $Tr = 2$  anos, constante para  $Tr = 5$  anos e decrescente para  $Tr = 10, 100$  e  $1000$  anos. Isto sugere que a estimativa das vazões com tempos de recorrência elevados, isto é,  $Q_{10}$ ,  $Q_{100}$  e  $Q_{1000}$ , tendem a ficar proporcionalmente menores para áreas de drenagem maiores.

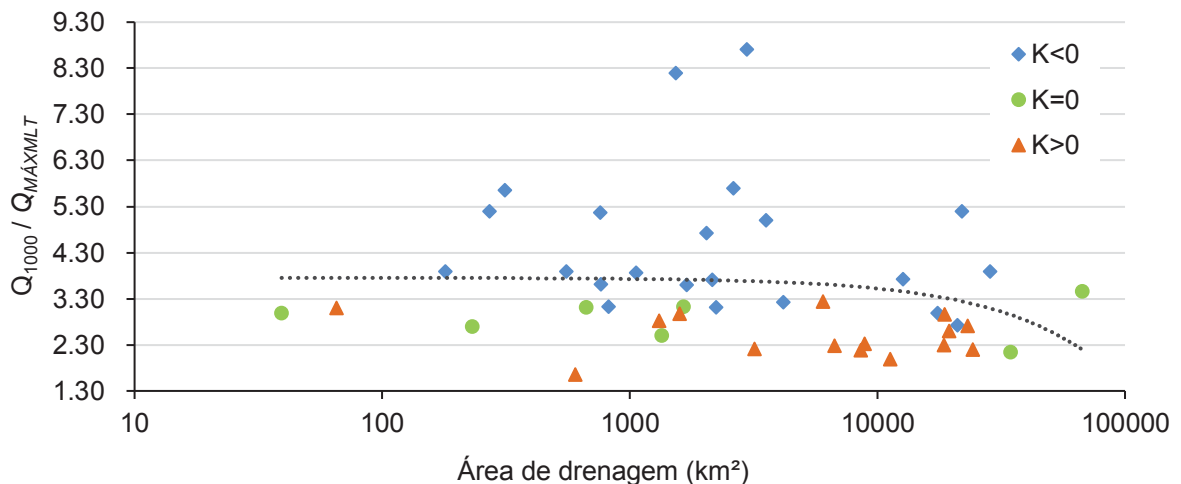
Para avaliar porque a relação  $Q_{TR}/Q_{MÁXMLT}$  diminuiu com o aumento das áreas de drenagem para os  $Tr$  mais altos, a FIGURA 24 apresenta a relação  $Q_{1000}/Q_{MÁXMLT}$  em função da área, conforme o sinal do parâmetro  $\kappa$  da distribuição de probabilidade GEV. Isto porque o peso das caudas extremas das famílias da distribuição GEV varia conforme o valor e o sinal do parâmetro de forma  $\kappa$ , uma vez que a distribuição GEV une três formas assintóticas de máximos. A cauda da distribuição é polinomial quando  $\kappa < 0$ , dupla exponencial quando  $\kappa = 0$  e exponencial quando  $\kappa > 0$  (NAGHETTINI;



PINTO, 2007). Dada esta relação, quanto maior o parâmetro  $\kappa$ , menor é o quantil estimado para um mesmo tempo de recorrência.

A FIGURA 24 demonstra que, para as estações com parâmetro  $\kappa < 0$ , a relação  $Q_{1000}/Q_{MÁXMLT}$  é maior, indicando que os quantis extremos estimados são proporcionalmente maiores. Para as maiores áreas de drenagem, a maioria das estações apresentou  $\kappa > 0$  e, logo, o quantil estimado é proporcionalmente menor em comparação às estações com  $\kappa < 0$ . Uma vez que  $Q_{1000}$  é proporcionalmente menor, a relação  $Q_{1000}/Q_{MÁXMLT}$  diminui, conforme observado anteriormente na FIGURA 23.

FIGURA 24 - VAZÕES MÁXIMAS COM TEMPO DE RECORRÊNCIA DE 1000 ANOS ( $Q_{1000}$ ) NORMALIZADAS PELA VAZÃO MÁXIMA MÉDIA DE LONGO TERMO ( $Q_{MÁXMLT}$ ) EM FUNÇÃO DA ÁREA DE DRENAGEM E DO PARÂMETRO DE FORMA  $\kappa$  DA DISTRIBUIÇÃO GEV



Portanto, para os tempos de recorrência de 10, 100 e 1000 anos, a relação  $Q_T/Q_{MÁXMLT}$  diminuiu com o aumento da área de drenagem devido à forma assintótica das caudas extremas da família de distribuições de probabilidade consideradas na distribuição GEV.

Nas bacias hidrográficas com áreas de drenagem menores, as cheias instantâneas menos extremas, ou seja, com tempos de recorrência menores, podem alcançar o pico e decrescer num intervalo de tempo inferior à frequência com que ocorre o monitoramento das réguas limnimétricas. Como consequência disso, as vazões instantâneas em bacias hidrográficas menores e, logo, as vazões com tempos de recorrência inferiores, podem apresentar valores proporcionalmente menores em comparação com bacias com áreas de drenagem grandes, cujo tempo de formação da vazão de pico é maior.

O tamanho das séries históricas utilizadas na análise de frequência de cheias é importante para avaliar qualitativamente os estimadores amostrais e os quantis obtidos, de modo que se encontra com frequência na literatura referências que consideram que as séries anuais podem estimar com confiabilidade vazões extremas com até 2 vezes o seu comprimento (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Logo, uma vez que o comprimento das SMAs deste estudo é de 30 anos, as vazões máximas com tempos de recorrência de 100 e 1000 tendem a apresentar valores menos próximos à realidade. Além disso, estes resultados foram influenciados pelas incertezas inerentes às extrapolações das curvas de descarga.

### **3.3 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Das 53 estações fluviométricas previamente selecionadas no estudo, um total de 8 tiveram a hipótese nula de estacionariedade rejeitada a um nível de significância de 5% no Teste de Tendência Mann-Kendall, e foram desconsideradas da análise. As 45 estações restantes foram submetidas ao teste de homogeneidade Mann-Whitney e apresentaram falha na rejeição da hipótese nula, sendo consideradas, portanto, homogêneas.

Na bacia hidrográfica dos rios Iguaçu e Piquiri, nos anos de 1992 e 2014, foram identificadas as maiores vazões diárias máximas anuais. Na BH Ivaí, as maiores vazões foram nos anos de 2013 e 2014 e na BH Tibagi foram nos anos de 1997 e 2014.

Verificou-se que ocorre um amortecimento das cheias próximo à foz do rio Ivaí, uma vez que as vazões da estação localizada mais a jusante 64693000 (Novo Porto Taquara) apresenta vazões máximas inferiores às estações localizadas a montante (64660500 - Vila Rica, 64675002 - Porto Bananeira e 64685000 - Porto Paraíso Norte), possivelmente ocasionado por transbordamentos das cheias devido ao relevo plano da região.

Uma vez que o critério de seleção das estações fluviométricas foi padronizado para toda a área de estudo, as bacias hidrográficas dos rios Iguaçu, Piquiri, Ivaí e Tibagi apresentaram quantidades diferentes de estações fluviométricas e cujas características hidrológicas variam entre si. As sub-bacias hidrográficas contidas na BH Iguaçu consideradas neste estudo apresentam dispersão assimétrica em torno da média devido à estação fluviométrica 65993000 (Salto Cataratas), que possui área de

drenagem e vazões significativamente superiores às demais. Para as BHs Ivaí, Piquiri e Tibagi, as SMAs consideradas apresentam maior simetria em torno da média.

Com base no teste de aderência de Filliben, 38 das 45 estações fluviométricas foram adequadamente ajustadas pela distribuição de probabilidade GEV a um nível de significância de 1%. Dentre as 7 estações cuja hipótese nula foi rejeitada para a distribuição GEV, 6 apresentaram adequação do ajuste pelo teste de Filliben com a distribuição de probabilidade de Gumbel e uma teve novamente a hipótese nula rejeitada. Esta estação fluviométrica foi desconsiderada do estudo, resultando em um conjunto final de 44 estações para a definição das vazões máximas para diferentes tempos de recorrência.

A relação das vazões máximas com diferentes tempos de recorrência normalizadas pela média de longo termo das séries de máximos anuais ( $Q_{TR}/Q_{MÁXMLT}$ ) em função da área de drenagem, apresentou variação conforme os tempos de recorrência. Para  $Tr$  de 2 anos, o aumento da área de drenagem implicou no crescimento da relação  $Q_{TR}/Q_{MÁXMLT}$ . Para  $Tr$  de 5 anos, esta relação tendeu a permanecer constante, enquanto que, para os  $Trs$  de 10, 100 e 1000 anos, a relação  $Q_{TR}/Q_{MÁXMLT}$  diminuiu com o aumento da área de drenagem.

Além disso, a amplitude da relação  $Q_{TR}/Q_{MÁXMLT}$  aumentou com o tempo de recorrência, indicando maior variabilidade na estimativa das vazões máximas para valores de  $Tr$  mais altos.

Estes resultados foram influenciados pela forma assintótica das caudas extremas da distribuição de probabilidade considerada na família de distribuições da GEV, assim como pelas incertezas envolvidas na extrapolação das curvas de descarga utilizadas para obtenção das vazões máximas anuais.

#### **4 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS SOBRE AS VAZÕES MÁXIMAS**

As inundações geralmente ocorrem de maneira rápida e com intervalo de tempo limitado para as ações. Ao invés de se basear somente na previsão das vazões, a compreensão do comportamento das inundações através de uma abordagem integrada pode melhorar a sua gestão (AHN; MERWADE, 2015).

Devido à natureza estocástica dos fenômenos naturais e às diferenças espaciais, temporais e de escala das bacias hidrográficas, a análise integrada do comportamento das inundações é bastante complexa e dependente das características locais. Esta análise inclui o conhecimento dos processos que ocorrem entre a precipitação e a formação das cheias.

Na maioria das aplicações práticas em hidrologia, o entendimento dos processos hidrológicos subjacentes à formação dos rios é importante, uma vez que esses inevitavelmente afetam as vazões de saída, mesmo que não explicitamente abordados nos modelos matemáticos (SIDLE, 2006).

As respostas hidrológicas refletem diversas fontes de heterogeneidade espacial que levam a padrões complexos a essas respostas hidrológicas (BEVEN; WOOD; SIVAPALAN, 1988). O escoamento superficial, que atua diretamente na formação das cheias, é gerado por dois mecanismos diferentes que dependem das condições locais: escoamento por exceder a capacidade de infiltração e; escoamento por saturação (SANTOS, 2009). Segundo o mesmo autor, o primeiro mecanismo é dominante nas bacias hidrográficas nas quais o uso do solo foi radicalmente alterado, onde a densidade de vegetação é baixa, e em áreas urbanas onde a superfície do solo é pouco permeável. O segundo mecanismo é mais significativo em bacias cuja vegetação é mais densa e apresenta determinadas condições topográficas, como declives côncavos e com fundos de vale planos, fazendo com que a superfície freática coincida com a superfície do terreno, atingindo a saturação na extensão vertical (SANTOS, 2009). A variação das respostas do escoamento será em função das variações espaciais das propriedades dos solos e os padrões de saturação do solo próximo aos canais serão governados pela morfologia e características hidráulicas e de profundidade do solo (BEVEN; WOOD; SIVAPALAN, 1988).

Complementarmente, o aumento da escala das bacias hidrográficas deve levar a uma diminuição na diferença entre as respostas hidrológicas das diferentes bacias (BEVEN; WOOD; SIVAPALAN, 1988). O ponto em que a variabilidade das características das bacias hidrográficas se torna menos heterogênea é denominado “Área Elementar Representativa” e foi introduzido por Wood *et al.* (1988). Souza (2015) verificou que a heterogeneidade do escoamento de base e dos parâmetros de bacias hidrográficas na bacia hidrográfica do Alto Iguaçu, estado do Paraná, é mais acentuada para áreas de drenagem próximas a 5.000 km<sup>2</sup>, sendo que os parâmetros se apresentam mais homogêneos acima desse valor de área.

Em síntese, devido à heterogeneidade espacial, temporal e multiescala das bacias hidrográficas e das características climatológicas, há pouca compreensão do conjunto de processos físicos que influenciam nas vazões. Dentre todos estes aspectos, a morfologia muitas vezes atua como um controle dominante nos caminhos do fluxo da água e pode ser utilizada como uma indicação para as respostas hidrológicas (BEVEN; WOOD; SIVAPALAN, 1988). Além da área de drenagem, que está diretamente relacionada à magnitude das vazões máximas, de uma forma geral, bacias hidrográficas com declividades maiores e solos menos profundos tendem a armazenar menor quantidade de água e a produzir maiores escoamentos. Diferentemente, as bacias com relevos mais planos possuem maiores capacidades de armazenar água. Em relação à rede de drenagem, quanto mais retilíneo for o traçado e maior o declive do curso d'água, as variações das vazões instantâneas serão maiores (PINTO *et al.*, 1976).

A análise das bacias hidrográficas ganhou visibilidade a partir de 1945 com o estudo de Horton (1945) que definiu um sistema de ordenação dos rios baseado na estrutura da rede de drenagem (BEVEN; WOOD; SIVAPALAN, 1988; CRISTOFOLETTI, 1980). O estudo de Horton mostrou que os valores esperados da quantidade, comprimento e declividade dos rios são diferentes para cada ordem, sugerindo que a estrutura da rede de drenagem individual poderia ser representada por uma pequena quantidade de parâmetros descritivos (BEVEN; WOOD; SIVAPALAN, 1988). Neste estudo, Horton (1945) afirma que a composição do sistema de drenagem de uma bacia hidrográfica pode ser expressa quantitativamente em termos da ordem dos rios, densidade de drenagem, taxa de bifurcação e taxa de comprimento dos rios.

Alguns anos depois, considerando as subjetividades envolvidas na proposição de Horton, Strahler (1952) introduziu um novo critério para a determinação da ordem dos canais e cuja utilização passou a ser mais comum (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Strahler (1957) publicou um estudo na qual analisa o progresso realizado desde a publicação de Horton (1945) em relação à análise quantitativa do relevo e sua aplicação nas bacias hidrográficas. Dentre as características descritas, tem-se: ordenação da rede de drenagem e taxa de bifurcação (HORTON, 1945); distribuição de frequência do comprimento dos canais (SCHUMM, 1956); relação entre o comprimento e a ordem dos rios; a área de drenagem; densidade de drenagem e taxa de textura (HORTON, 1945); coeficiente de manutenção (SCHUMM, 1956); declividades máximas; curva de declividade média (STRAHLER, 1952); mapas de declividade; relação de relevo (SCHUMM, 1956); análise hipsométrica (LANGBEIN *et al.*, 1947).

Melton (1958) analisou a relação do escoamento dos rios com a densidade de drenagem e a frequência dos rios. RODRIGUEZ-ITURBE e VALDES (1979), por meio das relações definidas por Horton (1945), demonstraram que as características da rede de drenagem apresentam relação linear direta com o escoamento superficial e introduziu o conceito de Hidrograma Unitário Instantâneo Geomorfológico, adaptada posteriormente por Gupta *et al.* (1980).

Uma vez conhecida a relação entre as características geomorfológicas das bacias hidrográficas e as respostas hidrológicas, os pesquisadores passaram a utilizá-la em modelos para a previsão de vazões de cheia em locais sem monitoramento. A abordagem tradicional para a transferência de informação hidrológica para locais sem monitoramento é desenvolver relações de regressão entre as características das bacias hidrográficas e os parâmetros de frequência de inundações (BEVEN; WOOD; SIVAPALAN, 1988). Estes princípios descrevem a análise regional de frequência de cheias, introduzida por Dalrymple (1960). Diversos estudos tentam estimar as vazões máximas utilizando as características geomorfológicas e climáticas como variáveis explicativas (BASU; SRINIVAS, 2014, 2016; AHN; PALMER, 2016)

Basu e Srinivas (2014) selecionaram 21 atributos relacionados às bacias hidrográficas de Ohio – EUA e, destes, 13 apresentaram boa correlação com as cheias médias anuais e foram selecionados para a identificação de áreas homogêneas para a análise regional de frequências de cheias (ARFC). Estes atributos foram categorizados em: características fisiográficas (área de drenagem, inclinação do canal

principal e fator de forma); características associadas ao uso do solo; atributos meteorológicos (precipitação anual média no centroide da bacia, fatores climáticos de 2 e 100 anos de tempos de recorrência); e atributos de localização geográfica (elevação média da bacia, latitude e longitude das estações).

Em outro trabalho, estes mesmos autores, utilizaram satisfatoriamente os atributos: área de drenagem, precipitação anual média, índice de escoamento de base, elevação média, latitude e longitude para o agrupamento das bacias (BASU; SRINIVAS, 2016). Em contraste a estes estudos, esta pesquisa objetiva definir a contribuição relativa das características geomorfológicas na ocorrência das vazões máximas.

Ahn e Palmer (2016) investigaram em bacias hidrográficas no nordeste dos Estados Unidos a utilização de modelos de regressão que consideram a dependência espacial entre as variáveis independentes, que foram as características geomorfológicas e climatológicas das bacias hidrográficas. Como variáveis dependentes, foram utilizados os parâmetros da distribuição de probabilidade GEV e os quantis extremos. Os resultados indicaram que “Área de Drenagem”, a “Ordem Máxima de Strahler” dos rios e a “Precipitação Sazonal” das bacias foram as características mais utilizadas nos modelos de regressão por apresentarem maior correlação com as variáveis dependentes.

Diversos estudos investigaram a influência das características geomorfológicas, climáticas e do uso do solo das bacias hidrográficas nas vazões mínimas ou escoamento de base (PRICE *et al.*, 2011; ELESBON *et al.*, 2015; SOUZA, 2015), nas vazões máximas (BLACK, 1972; AHN; MERWADE, 2015; ABDEL-FATTAH *et al.*, 2017; SAHARIA; KIRSTETTER; VERGARA, 2017) na produção de sedimentos (TAMENE *et al.*, 2006), dentre outros. Ao se tratar de vazões máximas, objeto de estudo desta dissertação, estas características influenciam no tempo de resposta e na sua magnitude (SAHARIA; KIRSTETTER; VERGARA, 2017), e permite que o tempo de concentração, tempo de pico das vazões, dentre outros, sejam previstos com maior precisão (BEVEN; WOOD; SIVAPALAN, 1988; ALTAF; MERAJ; ROMSHOO, 2013).

Saharia, Kirstetter e Vergara (2017) exploraram a influência da geomorfologia e climatologia nas vazões máximas, tempo de pico e tempo de recessão do hidrograma de escoamento de diferentes bacias hidrográficas dos Estados Unidos, concluindo que, para regiões montanhosas, o impacto da declividade nas vazões

máximas e tempo de pico é maior em comparação à área de drenagem. Os autores propuseram que, na continuação dos estudos, fossem avaliadas outras características, tais como fator de forma.

Abdel-Fattah *et al.* (2017) consideraram parâmetros geomorfométricos que representam topografia, escala, forma e rede de drenagem para investigar suas relações com eventos de cheias instantâneas em bacias hidrográficas no Egito, cuja principal característica é a predominância de clima seco durante o ano, com baixa frequência de chuvas. Esta influência foi avaliada através da análise de correlação entre as características e os valores de vazão de pico, tempo de pico e vazão de pico específica. Com exceção dos parâmetros topográficos, demonstrou-se maior influência da geomorfologia nas respostas hidrológicas com o aumento da intensidade das chuvas na região em estudo. Além disso, os pesquisadores concluíram que os parâmetros de escala e topográficos apresentaram maior correlação com os índices hidrológicos vazão e tempo de pico, em comparação aos parâmetros de forma e da rede de drenagem. Similarmente, Black (1972) concluiu que a forma da bacia não apresenta um grande efeito nas vazões máximas.

Ahn e Merwade (2015) investigaram a relação entre as características geomórficas de bacias hidrográficas em Indiana, nos Estados Unidos, e índices de cheias instantâneas de diferentes intensidades. Foram selecionadas características relacionadas à topografia, morfometria, declividade, uso do solo, fração de ocupação do solo, rede de drenagem e aspectos das bacias hidrográficas. Em consonância com os resultados obtidos por Abdel-Fattah *et al.* (2017), os pesquisadores concluíram que, quanto maior a severidade dos eventos de cheia, maior a sua relação com as características geomórficas. Além disso, concluiu-se também que os eventos mais extremos são predominantemente afetados pelas características morfométricas, em especial, o comprimento da bacia, enquanto os eventos menos extremos são melhor explicados pelas variáveis relacionadas à declividade e ao uso do solo.

Zhang *et al.* (2015) utilizaram a geometria fractal para representar a complexidade e a irregularidade da geomorfologia da rede de drenagem e investigar a sua correlação com a frequência de cheias em bacias hidrográficas e encontraram boas correlações.

Morris, Donovan e Strager (2009) utilizaram os componentes principais que representavam as características geomorfológicas e climatológicas das bacias hidrográficas para avaliar a sua influência na predição de vazões em diferentes



regiões. Os autores identificaram duas categorias de bacias hidrográficas, sendo que uma delas apresentava vazões específicas fortemente correlacionadas com as variáveis climatológicas e a outra com as variáveis geomorfológicas.

O objetivo deste capítulo é investigar a relação entre as características geomorfológicas e as vazões máximas para diferentes tempos de recorrência em 44 bacias hidrográficas localizadas nas BHs dos rios Iguaçu, Piquiri, Ivaí e Tibagi, no Estado do Paraná.

#### 4.1 REGRESSÃO MÚLTIPLA

A regressão e a correlação são métodos estatísticos que ganham destaque por serem os mais difundidos para estudar a associação entre variáveis aleatórias (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Conforme Hair *et al.* (2005, p. 136):

A regressão múltipla é uma técnica estatística que pode ser usada para analisar a relação entre uma única variável dependente e várias variáveis independentes. (...) Cada variável independente é ponderada pelo procedimento da análise de regressão para garantir máxima previsão a partir do conjunto de variáveis independentes. Os pesos denotam a contribuição relativa das variáveis independentes para a previsão geral e facilitam a interpretação sobre a influência de cada variável em fazer a previsão, apesar de a correlação entre as variáveis independentes complicar o processo interpretativo.

A regressão múltipla pode ser utilizada com o objetivo de previsão da variável dependente ou de explicação. No segundo caso, é fornecido um meio de avaliar o grau e caráter da relação entre as variáveis dependentes e independentes (HAIR *et al.*, 2005). O propósito da regressão exploratória, como também é denominada, é fornecer informações que possam ser utilizadas para entender a relação entre as variáveis e permitir que uma hipótese ou teoria específica seja utilizada (THAYER, 2002).

Existem alguns procedimentos que facilitam a elaboração dos modelos de regressão múltipla sob a perspectiva da seleção das variáveis independentes, podendo-se destacar a regressão passo a passo (*stepwise*) (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Com este método de busca sequencial, é possível selecionar as variáveis que maximizam a previsão e, ao mesmo tempo, o modelo que emprega o menor número de variáveis (HAIR *et al.*, 2005).

Na regressão passo a passo, as variáveis são acrescentadas separadamente ao modelo com o objetivo de explicar a maior parte da variância que ainda não foi explicada. O *valor parcial F* é calculado simulando cada variável como a última a entrar na equação de regressão, fornecendo a contribuição de cada variável acima de todas as outras (HAIR *et al.*, 2005). Sua estatística é dada pela relação entre a contribuição da variável à soma dos quadrados devido a regressão e a variância dos resíduos considerando o modelo com todas as variáveis (NAGHETTINI; PINTO, 2007). O valor *t* pode ser calculado ao invés do *valor parcial F*, sendo o valor *t* aproximadamente a raiz quadrada do valor F (HAIR *et al.*, 2005).

Segundo Thayer (2002), o método de regressão passo a passo possui suporte na literatura para avaliação de variáveis, uma vez que fornece modelos reduzidos nos quais as características da variável podem ser examinadas. Contudo, o autor destaca que o seu uso deve ser reservado para situações em que a pesquisa é inteiramente exploratória, não sendo adequado para a construção de modelos matemáticos.

Outros dois métodos de busca sequencial utilizados para relacionar variáveis é o método de adição *forward* e de eliminação *backward*, entretanto uma desvantagem destes métodos é que uma vez que a variável é acrescentada ou excluída, a ação não pode ser revertida em um estágio posterior (HAIR *et al.*, 2005).

A regressão passo a passo foi utilizada por Ahn e Merwade (2015) para avaliar o papel das características geomorfológicas nas cheias nos Estados Unidos. Souza (2015) utilizou análise de correlação e modelo de regressão *forward* para relacionar os parâmetros do escoamento de base com parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas no Alto Iguaçu, juntamente com a análise da colinearidade e dos resíduos dos modelos.

O coeficiente de regressão (peso) representa a quantidade de variância única explicada por conta de cada variável independente, que maximiza a variância explicada da variável dependente. Uma variável independente adicional pode melhorar a previsão da variável dependente, e essa melhoria está relacionada tanto à correlação existente com a variável dependente, quanto à correlação desta variável com as demais independentes existentes no modelo. Se as variáveis independentes são correlacionadas, portanto, elas compartilham algo de seu poder preditivo e a variância compartilhada não deve ser contada duas vezes (HAIR *et al.*, 2005).

Embora existam diversos estudos que relacionam as características das bacias hidrográficas às inundações, há pouca compreensão dos seus efeitos

integrados, sendo necessários estudos que investiguem essa relação (AHN; MERWADE, 2015). Ao adotar abordagens comparativas, os dados adquiridos são valiosos para estabelecer vínculos mais fortes entre a função hidrológica de bacias individuais, suas propriedades físicas e o clima (HRACHOWITZ *et al.*, 2013).

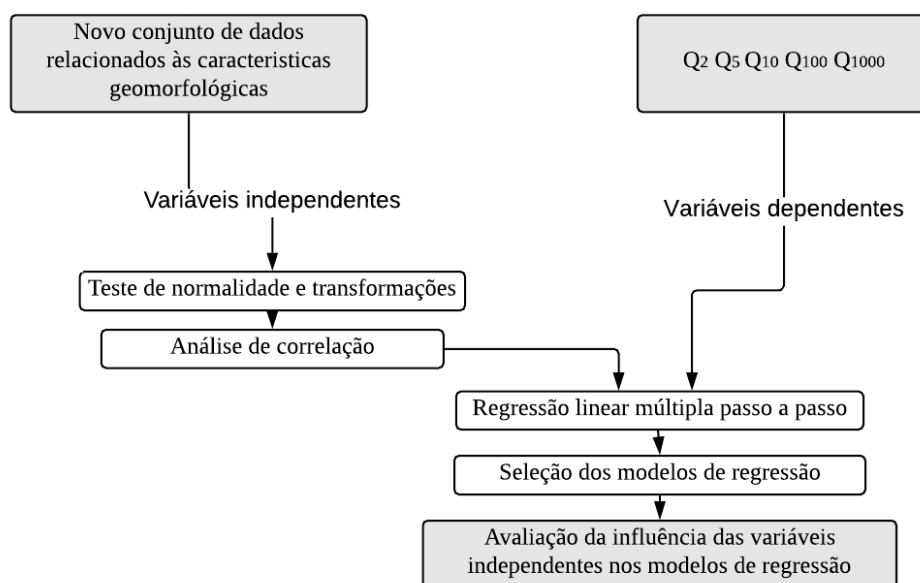
## 4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para avaliar a influência das características geomorfológicas nas vazões máximas, realizaram-se regressões múltiplas nas quais foram utilizadas como variáveis dependentes as vazões máximas com tempos de recorrência de 2, 5, 10, 100 e 1000 anos ( $Q_2$ ,  $Q_5$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_{100}$ , e  $Q_{1000}$ ), obtidas no Capítulo 3. Como variáveis independentes, foram utilizados os escores fatoriais ( $EF$ ), obtidos através dos cinco fatores resultantes do Capítulo 2. Os fatores  $F_{1re}$  a  $F_{5re}$  e, logo, os  $EF_1$  a  $EF_5$ , representam, respectivamente: escala e declividades máximas, declividades médias e baixas, forma das bacias, rede de drenagem e declividade do rio principal.

As regressões foram realizadas para cada uma das quatro bacias hidrográficas: Iguaçu, Piquiri, Ivaí e Tibagi, assim como para toda a área de estudo, considerando as quatro bacias hidrográficas conjuntamente.

A FIGURA 25 apresenta de forma resumida os procedimentos metodológicos empregados neste capítulo.

FIGURA 25 - ABORDAGEM METODOLÓGICA DA ETAPA DE ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS SOBRE AS VAZÕES MÁXIMAS



## 4.2.1 Análise preliminar dos dados

### 4.2.1.1 Teste de normalidade

Helsel e Hirsch (2002) apontam que, para regressão linear simples, não é exigido que as variáveis explicativas e dependentes sejam normalmente distribuídas. Entretanto, nos trabalhos realizados por Ahn e Merwade, (2015) e Ahn e Palmer, (2016), que utilizaram a regressão linear múltipla, a normalidade das variáveis independentes foi avaliada e foram realizadas transformações, quando necessário, para obter distribuição normal. Portanto, nessa dissertação, uma vez que se utilizou a regressão múltipla, optou-se por avaliar a normalidade das variáveis independentes.

A normalidade dos escores fatoriais (variáveis explicativas) foi avaliada através da aplicação do teste Anderson-Darling (ANDERSON; DARLING, 1952), com a hipótese nula que os dados seguem uma distribuição normal com o nível de significância de 5%.

Para as variáveis que tiveram a hipótese nula rejeitada, utilizou-se a transformação de Johnson (JOHNSON, 1949; apud CHOU; POLANSKY; MASON, 1998) para alcançar a distribuição normal, com estimativa dos parâmetros através do método dos percentis (CHOU; POLANSKY; MASON, 1998).

Na transformação de Johnson são testadas três famílias de distribuições com variável delimitada ( $S_B$ ), lognormal ( $S_L$ ) e não delimitada ( $S_U$ ), conforme TABELA 11, extraída e adaptada de Chou, Polansky e Mason (1998).

TABELA 11 - TRANSFORMAÇÕES ASSOCIADAS À FAMÍLIA DE TRANSFORMAÇÕES JOHNSON (ADAPTADO DE CHOU; POLANSKY; MASON, 1998)

Família Johnson	Transformação	Condição dos parâmetros	Condição do X
$S_B$	$Z = \gamma + \eta \ln\left(\frac{X - \epsilon}{\lambda + \epsilon - X}\right)$	$\eta, \lambda > 0, -\infty < \gamma < \infty, -\infty < \epsilon < \infty,$	$\epsilon < X < \epsilon + \lambda$
$S_L$	$Z = \gamma + \eta \ln(X - \epsilon)$	$\eta > 0, -\infty < \gamma < \infty, -\infty < \epsilon < \infty,$	$X > \epsilon$
$S_U$	$Z = \gamma + \eta \sin^{-1}\left(\frac{X - \epsilon}{\lambda}\right)$	$\eta, \lambda > 0, -\infty < \gamma < \infty, -\infty < \epsilon < \infty$	$-\infty < X < \infty$

$X$  é a variável a ser transformada,  $Z$  é a variável transformada,  $\gamma, \eta, \epsilon$  e  $\lambda$  são parâmetros das famílias

A partir destas três famílias, é calculada a estatística e o correspondente *p*-valor para avaliar a normalidade dos dados, sendo escolhida a distribuição que apresenta o maior *p*-valor acima do valor crítico estabelecido (JOHNSON, 1949; apud CHOU; POLANSKY; MASON, 1998). A estatística utilizada neste trabalho foi o teste

de Anderson-Darling, com um nível de significância de 5%, no software *Minitab 16 Statistical Software*.

#### 4.2.1.2 Análise de correlação

Os *EFs* foram obtidos através da Análise Fatorial, conforme apresentado no Capítulo 2, cuja premissa é de independência dos fatores resultantes. Com o objetivo de avaliar a sua independência, reduzir as possíveis redundâncias de informações e produzir melhores modelos de regressão com o menor número de parâmetros, realizou-se uma análise de correlação. Para avaliar a significância dos coeficientes de correlação ( $\rho$ ), foram estabelecidas a hipótese nula ( $H_0$ ) de que  $\rho = 0$ , e a hipótese alternativa ( $H_1$ ) de que  $\rho \neq 0$ .

A rejeição da hipótese  $H_0$  foi avaliada a partir do teste T de *Student*, cuja estatística é apresentada na Equação 24.

$$t = \frac{\rho\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-\rho^2}} \quad (24)$$

onde  $\rho$  é o coeficiente de correlação de Pearson,  $n$  é o número de observações e,  $t$  é a estatística do teste.

O valor crítico ( $t_c$ ) foi extraído da tabela de distribuição do teste T, com  $n - 2$  graus de liberdade. O nível de significância ( $\alpha$ ) adotado foi de 5%, sendo a hipótese nula rejeitada na situação em que  $|t|$  for superior ao valor crítico ( $t_c$ ), indicando que há dependência significativa entre as variáveis.

No primeiro momento, os escores fatoriais (*EFs*) cuja hipótese nula foi rejeitada foram excluídos da análise por serem adequadamente representados por outras variáveis, mantidas no estudo.

#### 4.2.2 Regressão Múltipla

A regressão múltipla passo a passo foi realizada com a ferramenta de mineração de dados denominada *Regressão Exploratória* do ArcGIS 10.3. A regressão exploratória constrói modelos através do método dos mínimos quadrados ordinários, utilizando todas as possíveis combinações de variáveis independentes

(FENG, 2017) e atendendo aos critérios tanto da regressão passo a passo, quanto do método dos mínimos quadrados (ESRI, 2013).

A avaliação dos modelos é realizada pelos seguintes critérios estabelecidos (FENG, 2017; KAUHL *et al.*, 2015):

1. Significância dos coeficientes do modelo;
2. Ausência da multicolinearidade das variáveis independentes;
3. Distribuição normal dos resíduos;
4. Ausência de autocorrelação espacial dos resíduos;

#### 4.2.2.1 Seleção dos modelos de regressão

Para selecionar os melhores modelos de regressão para cada bacia hidrográfica e cada variável dependente, utilizou-se o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2a$ ), o critério de informação de Akaike corrigido ( $AICc$ ) e avaliou-se o nível de significância das variáveis independentes.

O coeficiente de determinação ajustado ( $R^2a$ ) representa a proporção da variância total da variável dependente que é explicada pelo modelo de regressão (NAGHETTINI; PINTO, 2007), envolvendo um ajuste com base no número de variáveis independentes relativas ao tamanho da amostra. Este coeficiente é útil quando o objetivo é comparar equações de regressão que envolvem diferentes números de variáveis independentes (HAIR *et al.*, 2005). O seu equacionamento é apresentado na Equação 25:

$$R^2a = \frac{(n-1)R^2 - p}{n-p-1} \quad (25)$$

onde  $p$  é o número de parâmetros,  $n$  é o número de observações,  $R^2$  é o coeficiente de determinação e  $R^2a$  é o coeficiente de determinação ajustado.

A interpretação do  $R^2a$  ocorre da mesma forma que o coeficiente de determinação não ajustado ( $R^2$ ) (HAIR *et al.*, 2005), que varia de 0 a 1 e cujo valor mais próximo da unidade sugere melhores ajustes.

O Critério de Informação de Akaike corrigido ( $AICc$ , do inglês *Akaike Information Criterion*) mede a qualidade relativa dos modelos, onde menores valores

indicam melhor qualidade. Recomenda-se que este método seja utilizado no lugar do Critério de Informação de Akaike (*AIC*), quando o número de observações é menor que 40 vezes o número de parâmetros do modelo, uma vez que o viés é ajustado considerando pequenas amostras (BURNHAM; ANDERSON, 2002). À medida que o número de observações aumenta, o valor de *AICc* converge para *AIC*. A Equação 26 define o *AICc* (BURNHAM; ANDERSON, 2002):

$$AIC_{Cj} = -2\ln(L_j(\hat{\vartheta})) + 2p_j \left( \frac{n}{n-p_j-1} \right) \quad (26)$$

onde  $L_j(\hat{\vartheta})$  é a função de verossimilhança no ponto  $\vartheta = \hat{\vartheta}$ ,  $p_j$  é o número de parâmetros estimados do  $j$ -ésimo modelo probabilístico testado e  $n$  é o número de observações.

Este critério foi desenvolvido a partir da proposta de Akaike (1973) de utilizar a informação de Kullback-Leibler, que representa a distância relativa entre um modelo ajustado e o modelo real, como base para a seleção de modelos. O pesquisador concluiu que a máxima log-verossimilhança é um estimador tendencioso da informação de Kullback-Leibler, sendo o viés aproximadamente igual ao número de parâmetros estimados do modelo ajustado (COSTA; FERNANDES, 2015).

O nível de significância de cada nova variável independente adicionada ao modelo de regressão passo a passo, foi avaliado através do teste T de Student, já descrito anteriormente. A hipótese nula ( $H_0$ ) do teste é que a introdução da variável  $X_k$  não melhora significativamente o modelo. Sua rejeição deve ocorrer se  $t$  for superior ao valor crítico de  $t_c$ , extraído da tabela de distribuição do teste T, com  $(n - 2)$  graus de liberdade.

Ahn e Merwade (2015), selecionaram em seu estudo os modelos de regressão com variáveis independentes com *p-valor* de até 0,160, ou seja, nível de significância ( $\alpha$ ) superior a 15%. Com o objetivo de garantir que sejam selecionados os modelos de regressão com melhor qualidade de ajuste, ou seja, menores *AICc* e maiores  $R^2$ , optou-se por avaliar a significância das variáveis independentes na melhoria dos modelos para os níveis de significância ( $\alpha$ ) de 5% e 10%.

Para verificar se a influência da multicolinearidade provocaria mudanças nos modelos, complementarmente, foi realizada a validação da análise de regressão. Para

isso, os cinco *EFs*, independentes da correlação identificada, foram utilizados como variáveis independentes novamente nos modelos de regressão.

#### 4.2.2.2 Avaliação da influência das variáveis independentes

A avaliação da influência das características geomorfológicas sobre as vazões máximas dos diferentes tempos de recorrência foi realizada através da análise da contribuição relativa de cada variável independente no coeficiente de determinação  $R^2$  dos modelos de regressão e através do coeficiente de correlação semiparcial.

O coeficiente de correlação semiparcial descreve a correlação da variável independente  $X_1$  e da respectiva variável dependente quando os efeitos das demais variáveis independentes são removidos somente de  $X_1$  (HAIR *et al.*, 2005). Portanto, segundo o mesmo autor, este coeficiente representa a relação única prevista por uma variável independente, depois que as previsões compartilhadas com todas as outras variáveis independentes são removidas da variável independente considerada, porém mantendo-se na variável dependente. O coeficiente de correlação semiparcial para duas variáveis é dado conforme a Equação 27 (HAIR *et al.*, 2005):

$$\text{Correlação semiparcial} = \frac{\rho_{Y,X_1} - (\rho_{Y,X_2} \times \rho_{X_1,X_2})}{\sqrt{1 - (\rho_{X_1,X_2})^2}} \quad (27)$$

onde  $X_1$  e  $X_2$  são as variáveis independentes,  $Y$  é a variável dependente, e  $\rho$  é o coeficiente de correlação de Pearson.

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do teste de Anderson-Darling, utilizado para avaliar a normalidade das variáveis independentes, a hipótese nula de que os escores fatoriais seguem uma distribuição normal foi rejeitada a um nível de significância de 5% para as variáveis  $EF_1$  e  $EF_4$ . A distribuição normal dos dados foi alcançada através da transformação de Johnson, onde para o  $EF_1$ , a melhor transformação foi a  $S_B$  (variável delimitada) com *p-valor* de 0,377 e, para o  $EF_4$ , foi a  $S_U$  (variável não delimitada) com *p-valor* igual a 0,098.



#### 4.3.1 Análise de correlação

Os QUADROS IV.1 a IV.5 do **APÊNDICE IV** apresentam as matrizes dos coeficientes de correlação ( $\rho$ ) das variáveis independentes das BHs Iguaçu, Piquiri, Ivaí, Tibagi e do conjunto de bacias hidrográficas, respectivamente. Considerando-se o nível de significância ( $\alpha$ ) de 5%, a TABELA 12 apresenta os valores de  $r_{\text{crítico}}$  do teste de T de student para cada BH, na qual rejeita-se a hipótese nula ( $\rho=0$ ) quando  $-r_{\text{crítico}} > \rho > +r_{\text{crítico}}$ .

Os valores de  $r_{\text{crítico}}$  variam conforme o número de graus de liberdade e, logo, conforme a quantidade de sub-bacias hidrográficas consideradas. Para o conjunto de BHs, que apresenta 44 sub-bacias ( $n = 44$ ) e grau de liberdade de 42, consideram-se independentes as variáveis cujo  $|\rho| < 0,297$ . Já para a BH Tibagi, uma vez que o número de bacias é reduzido ( $n = 5$ ), foram consideradas independentes as variáveis que apresentam  $|\rho| < 0,878$ .

TABELA 12 – VALORES CRÍTICOS DO TESTE DE HIPÓTESE DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO  $\rho$  DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES COM NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA DE 5%

Bacia hidrográfica	n	Graus de liberdade (n - 2)	$t_{\alpha=5\%/2}$	$r_{\text{crítico}}$
Iguaçu	17	15	$\pm 2,131$	$\pm 0,482$
Piquiri	11	9	$\pm 2,262$	$\pm 0,602$
Ivaí	11	9	$\pm 2,262$	$\pm 0,602$
Tibagi	5	3	$\pm 3,180$	$\pm 0,878$
Conjunto	44	42	$\pm 2,017$	$\pm 0,297$

A partir dos resultados apresentados no **APÊNDICE IV**, verifica-se que a variável  $EF_5$  apresentou  $\rho \neq 0$  com as variáveis:  $EF_1$  na BH Iguaçu ( $\rho = 0,496$ );  $EF_3$  na BH Piquiri ( $\rho = -0,699$ );  $EF_2$  na BH Ivaí ( $\rho = -0,752$ ) e; com as variáveis  $EF_1$  ( $\rho = -0,944$ ) e  $EF_3$  ( $\rho = -0,958$ ) a BH Tibagi.

Portanto, as características relacionadas à declividade do rio principal ( $EF_5$ ) são adequadamente representadas pelas características relacionadas à escala e declividades máximas ( $EF_1$ ) na BH Iguaçu; à forma das bacias ( $EF_3$ ) na BH Piquiri e; às declividades médias e baixas das bacias ( $EF_2$ ) na BH Ivaí. Na BH Tibagi,  $EF_5$  é adequadamente representada pelas características relacionadas à escala e declividades máximas ( $EF_1$ ) e à forma das bacias ( $EF_3$ ).

Com base nestes resultados, nas BHs Iguaçu, Piquiri e Ivaí, a variável  $EF_5$  foi desconsiderada na análise de regressão. Na BH Tibagi, mesmo contra o princípio da

parcimônia, optou-se também por excluir a variável  $EF_5$ , mantendo-se  $EF_1$  e  $EF_3$ , em função da mesma decisão para as outras bacias hidrográficas.

Para o conjunto de BHs, todas as variáveis foram consideradas independentes com base nos critérios estabelecidos.

#### 4.3.2 Seleção dos modelos de regressão

Do QUADRO V.1 ao QUADRO V.4 do **APÊNDICE V**, são apresentados os níveis de significância das variáveis independentes para os modelos de regressão múltipla das bacias hidrográficas dos rios Iguaçu, Piquiri, Ivaí e Tibagi, respectivamente, para todos os tempos de recorrência analisados. São apresentados também os valores dos coeficientes de determinação ajustados ( $R^2a$ ), e do Critério de Akaike corrigido ( $AICc$ ). O QUADRO V.5 do **APÊNDICE V** apresenta estes resultados para o conjunto de bacias hidrográficas.

Na BH Iguaçu (QUADRO V.1 do **APÊNDICE V**), para todos os tempos de recorrência, os modelos com apenas uma variável apresentaram menores valores de  $AICc$ . Os maiores valores de  $R^2a$  para as vazões  $Q_2$  e  $Q_5$  foram também obtidos nos modelos considerando uma variável, enquanto para as vazões  $Q_{10}$ ,  $Q_{100}$  e  $Q_{1000}$  foram obtidos valores de  $R^2a$  maiores para os modelos com duas variáveis. Contudo, o teste de significância da segunda variável adicionada ( $EF_3$ ) indicou que ela não melhora os modelos considerando-se os níveis de significância ( $\alpha$ ) de 5% e de 10%. Portanto, para todos os TRs analisados, os modelos com uma variável independente, sendo ela o  $EF_1$ , tiveram a hipótese nula rejeitada para  $\alpha=5\%$  e  $\alpha=10\%$ , indicando que a sua inclusão melhora significativamente os modelos de regressão.

Em relação aos modelos de regressão da BH Piquiri (QUADRO V.2 do **APÊNDICE V**), para os níveis de significância de 5% e 10% no teste T para considerar que as variáveis independentes melhoram significativamente os modelos, as vazões  $Q_2$ ,  $Q_5$ ,  $Q_{10}$  e  $Q_{100}$  são melhor representadas pelos modelos considerando 3 variáveis ( $EF_1$ ,  $EF_2$  e  $EF_4$ ). Já a vazão  $Q_{1000}$ , ao considerar o  $\alpha=5\%$ , é melhor representada pelo modelo considerando 2 variáveis ( $EF_1$  e  $EF_2$ ), e, ao considerar  $\alpha=10\%$ , passa a ser melhor representada pelo modelo com 3 variáveis independentes ( $EF_1$ ,  $EF_2$  e  $EF_4$ ). Nesse caso, embora o  $AICc$  apresente menor valor no modelo com 2 variáveis (202,11) em comparação com o modelo com 3 variáveis (204,25), o valor de  $R^2a$  aumenta de 0,837 para 0,884 ao se incluir a terceira variável ( $EF_4$ ) no modelo. Nesta

bacia, à exceção do modelo da  $Q_2$ , os maiores valores de  $R^2a$  estão nos modelos com 3 variáveis. Quanto aos valores de AICc, à exceção da  $Q_{1000}$ , os menores valores também foram obtidos nos modelos com 3 variáveis.

Na BH Ivaí (QUADRO V.3 do **APÊNDICE V**), a única variável que apresentou adequação na melhoria do ajuste do modelo foi a  $EF_1$  para todos os tempos de recorrência e para os níveis de significância de 5% e de 10%. Estes modelos também apresentaram os menores valores de AICc. Os modelos com 2 variáveis apresentaram maior  $R^2a$ , entretanto a adição da segunda variável ( $EF_3$ ) não melhorou significativamente os modelos com  $\alpha=5$  e  $\alpha=10\%$  no teste T.

Na BH Tibagi (QUADRO V.4 do **APÊNDICE V**), considerando os níveis de significância de 5% e 10% no teste T, os resultados da seleção dos modelos mais adequados são os mesmos. O número de variáveis que melhora significativamente os modelos apresentou variação conforme o tempo de recorrência. Para a vazão  $Q_2$ , considera-se os modelos com 3 variáveis ( $EF_1$ ,  $EF_2$  e  $EF_3$ ), enquanto para as vazões  $Q_5$  e  $Q_{10}$ , a inclusão da terceira variável ( $EF_2$ ), não melhorou significativamente os ajustes, sendo, portanto, selecionado os modelos com 2 variáveis ( $EF_1$  e  $EF_3$ ). Para as vazões  $Q_{100}$  e  $Q_{1000}$ , selecionaram-se os modelos com 1 variável, sendo a  $EF_3$ . Para as vazões  $Q_5$ ,  $Q_{100}$  e  $Q_{1000}$ , os modelos selecionados não apresentaram os menores valores de AICc e  $R^2a$ , entretanto, estes consideram variáveis que não melhoram significativamente os ajustes com  $\alpha=5\%$  e  $\alpha=10\%$ .

O QUADRO V.5 do **APÊNDICE V** apresenta os resultados para o conjunto de BHs. Considerando o nível de significância de 5%, o número de variáveis que melhora significativamente os modelos variou conforme o tempo de recorrência. Para as vazões  $Q_2$  e  $Q_{1000}$ , o modelo com 3 variáveis ( $EF_1$ ,  $EF_3$  e  $EF_5$ ) apresentou melhoria significativa nos modelos para os níveis de significância de 5% e 10%. Para a vazão  $Q_5$ , o número de variáveis que melhora significativamente os modelos, para  $\alpha=5\%$ , é 1 variável ( $EF_1$ ), e para  $\alpha=10\%$  são 3 variáveis ( $EF_1$ ,  $EF_3$  e  $EF_5$ ). Entre estes dois modelos, os valores de  $R^2a$  aumentaram de 0,551 para 0,611, e os valores de AICc diminuíram de 792,35 a 788,86. Para as vazões  $Q_{10}$  e  $Q_{100}$ , para  $\alpha=5\%$ , considera-se os modelos com 2 variáveis ( $EF_1$  e  $EF_3$ ) e, para  $\alpha=10\%$ , 3 variáveis ( $EF_1$ ,  $EF_3$  e  $EF_5$ ), com aumento do valor de  $R^2a$  de 0,581 a 0,606 para  $Q_{10}$  e de 0,572 a 0,599 para  $Q_{100}$ . Considerando-se o nível de significância de 10% para rejeição da hipótese nula no teste T, para as vazões com todos os tempos de recorrência, os modelos com 3

variáveis apresentaram melhores ajustes. Estes modelos também apresentaram os menores valores de *AICc*.

Com base nos critérios estabelecidos, na BH Piquiri e no conjunto de BHs, a seleção dos modelos apresenta variações conforme os níveis de significância avaliados (5% e 10%) utilizado no teste T. No geral, foram obtidas melhorias consideráveis na qualidade dos ajustes com nível de significância de 10%, sobretudo para a vazão  $Q_{1000}$  da BH Piquiri e para a vazão  $Q_5$  do conjunto de BHs. Portanto, devido ao ganho de qualidade dos modelos, optou-se por selecionar os modelos de regressão que apresentaram maiores  $R^2a$  e menores *AICc* considerando-se variáveis que melhoram significativamente a qualidade dos modelos a um nível de significância de 10% a partir do teste T.

A TABELA 13 à TABELA 16 apresentam os níveis de significância das variáveis independentes nos modelos de regressão múltipla selecionados para todos os tempos de recorrência, para as BH Iguaçu, Piquiri, Ivaí e Tibagi respectivamente. A TABELA 17 apresenta os resultados para o conjunto de BHs. Os coeficientes dos modelos de regressão selecionados estão apresentados no QUADRO V.6 do **APÊNDICE V**.

Na BH Iguaçu (TABELA 13), considerou-se somente a variável  $EF_1$ , que representa a escala e declividades máximas, para todos os tempos de recorrência. A qualidade dos ajustes variou entre 0,540 a 0,488 para as vazões  $Q_2$  a  $Q_{1000}$ , respectivamente.

TABELA 13 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NOS MODELOS DE REGRESSÃO SELECIONADOS PARA A BH IGUAÇU PARA AS VAZÕES COM TEMPOS DE RECORRÊNCIA DE 2, 5, 10, 100 E 1000 ANOS

Tempo de recorrência	Nº de variáveis	$R^2a$	<i>AICc</i>	Nível de significância				
				$EF_1$	$EF_2$	$EF_3$	$EF_4$	$EF_5$
2	1	0,540	306,18	0,000	-	-	-	-
5	1	0,530	319,76	0,001	-	-	-	-
10	1	0,523	326,54	0,001	-	-	-	-
100	1	0,504	342,05	0,001	-	-	-	-
1000	1	0,488	352,73	0,001	-	-	-	-

Na BH Piquiri (TABELA 14), as variáveis consideradas em todos os tempos de recorrência foram  $EF_1$ ,  $EF_2$  e  $EF_4$ , que representam a escala e declividade máximas, as declividades médias e baixas e a rede de drenagem, respectivamente. Os valores

de  $R^2a$  aumentaram da vazão  $Q_2$  a  $Q_{100}$ , variando entre 0,953 e 0,983. Para a vazão  $Q_{1000}$ , o  $R^2a$  diminuiu, atingindo valor de 0,884.

TABELA 14 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NOS MODELOS DE REGRESSÃO SELECIONADOS PARA A BH PIQUIRI PARA AS VAZÕES COM TEMPOS DE RECORRÊNCIA DE 2, 5, 10, 100 E 1000 ANOS

Tempo de recorrência	Nº de variáveis	$R^2a$	AICc	Nível de significância				
				EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>	EF <sub>5</sub>
2	3	0,953	172,25	< 0,0001	0,000	-	0,003	-
5	3	0,966	174,4	< 0,0001	< 0,0001	-	0,001	-
10	3	0,978	172,86	< 0,0001	< 0,0001	-	0,000	-
100	3	0,983	177	< 0,0001	< 0,0001	-	0,000	-
1000	3	0,884	204,25	0,000	0,010	-	0,079	-

Na BH Ivaí (TABELA 15), somente a variável  $EF_1$ , que representa a escala e declividades máximas, foi considerada nos modelos de regressão. A qualidade dos ajustes diminuiu com o aumento do tempo de recorrência, com  $R^2a$  variando de 0,709 a 0,543 para as vazões  $Q_2$  e  $Q_{1000}$ , respectivamente.

TABELA 15 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NOS MODELOS DE REGRESSÃO SELECIONADOS PARA A BH IVAÍ PARA AS VAZÕES COM TEMPOS DE RECORRÊNCIA DE 2, 5, 10, 100 E 1000 ANOS

Tempo de recorrência	Nº de variáveis	$R^2a$	AICc	Nível de significância				
				EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>	EF <sub>5</sub>
2	1	0,709	190,730	0,001	-	-	-	-
5	1	0,688	198,490	0,001	-	-	-	-
10	1	0,673	202,590	0,001	-	-	-	-
100	1	0,621	212,830	0,002	-	-	-	-
1000	1	0,543	221,440	0,006	-	-	-	-

Na BH Tibagi (TABELA 16), para a vazão  $Q_2$ , foi selecionado o modelo com 3 variáveis, sendo  $EF_1$  (escala e declividades máximas),  $EF_2$  (declividades médias e baixas) e  $EF_3$  (forma das bacias). Para as vazões  $Q_5$  e  $Q_{10}$ , selecionaram-se os modelos com as variáveis  $EF_1$  e  $EF_3$ , e, para as vazões  $Q_{100}$  e  $Q_{1000}$ , somente com uma variável, sendo  $EF_3$  (forma das bacias). A qualidade dos ajustes variou entre 1 (arredondamento de 0,9998) para a vazão  $Q_2$  e 0,899 para a vazão  $Q_{1000}$ . Somente na BH Tibagi houve variação na quantidade de variáveis independentes consideradas conforme os diferentes tempos de recorrência.

TABELA 16 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NOS MODELOS DE REGRESSÃO SELECIONADOS PARA A BH TIBAGI PARA AS VAZÕES COM TEMPOS DE RECORRÊNCIA DE 2, 5, 10, 100 E 1000 ANOS

Tempo de recorrência	Nº de variáveis	R <sup>2a</sup>	AICc	Nível de significância				
				EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>	EF <sub>5</sub>
2	3	1	26,199	0,017	0,043	0,04	-	-
5	2	0,994	49,632	0,032	-	0,015	-	-
10	2	0,996	49,319	0,024	-	0,008	-	-
100	1	0,951	68,067	-	-	0,003	-	-
1000	1	0,899	76,664	-	-	0,009	-	-

Para o conjunto de bacias hidrográficas (TABELA 17), foram consideradas as variáveis independentes  $EF_1$ ,  $EF_3$  e  $EF_5$ , que representam, respectivamente, a escala e declividades máximas, a forma das bacias hidrográficas e a declividade do rio principal. A qualidade dos ajustes diminuiu com o aumento do tempo de recorrência, variando entre 0,623 e 0,590 para as vazões  $Q_2$  e  $Q_{1000}$ , respectivamente.

TABELA 17 – NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NOS MODELOS DE REGRESSÃO SELECIONADOS PARA O CONJUNTO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS PARA AS VAZÕES COM TEMPOS DE RECORRÊNCIA DE 2, 5, 10, 100 E 1000 ANOS

Tempo de recorrência	Nº de variáveis	R <sup>2a</sup>	AICc	Nível de significância				
				EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>	EF <sub>5</sub>
2	3	0,623	756,14	< 0,0001	-	0,049	-	0,035
5	3	0,611	788,86	< 0,0001	-	0,045	-	0,058
10	3	0,606	805,30	< 0,0001	-	0,042	-	0,064
100	3	0,599	843,38	< 0,0001	-	0,030	-	0,061
1000	3	0,590	871,33	< 0,0001	-	0,023	-	0,048

O critério de seleção das estações fluviométricas foi padronizado para toda a área de estudo e, portanto, as bacias hidrográficas dos rios Iguaçu, Piquiri, Ivaí e Tibagi apresentaram quantidades diferentes de sub-bacias consideradas nas análises de regressão. Posto que a análise de regressão é influenciada pelo tamanho da amostra, os resultados obtidos nesta dissertação são influenciados pela quantidade de sub-bacias consideradas em cada bacia hidrográfica.

#### 4.3.3 Avaliação da influência das variáveis independentes

Os modelos de regressão de cada bacia hidrográfica foram criados independentemente para as cheias com diferentes tempos de recorrência, e a contribuição das variáveis explicativas na variância total das vazões máximas é baseada nos resultados dos modelos de regressão.

A TABELA 18 apresenta a contribuição relativa de cada variável independente na explicação da variação das vazões máximas para todos os tempos de recorrência analisados e bacias hidrográficas. A TABELA 20 apresenta os coeficientes de determinação ajustados ( $R^2$ ) dos modelos de regressão.

TABELA 18 – CONTRIBUIÇÃO RELATIVA (%) DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS NA EXPLICAÇÃO DA VARIAÇÃO DAS VAZÕES MÁXIMAS PARA OS DIFERENTES TEMPOS DE RECORRÊNCIA

Bacia hidrográfica	Variável	Contribuição relativa (%) no $R^2$					Média (%)
		Q <sub>2</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>10</sub>	Q <sub>100</sub>	Q <sub>1000</sub>	
BH IGUAÇU	EF <sub>1</sub>	56,9	55,9	55,3	53,5	52,0	54,7
BH PIQUIRI	EF <sub>1</sub>	67,0	68,8	70,3	74,7	75,4	71,2
	EF <sub>2</sub>	20,9	19,9	19,3	16,4	11,5	17,6
	EF <sub>4</sub>	8,9	9,0	8,9	7,7	4,9	7,9
BH IVAÍ	EF <sub>1</sub>	73,8	71,9	70,6	65,9	58,9	68,2
BH TIBAGI	EF <sub>1</sub>	59,7	40,0	35,5	-	-	45,1
	EF <sub>2</sub>	8,3	-	-	-	-	8,3
	EF <sub>3</sub>	32,0	59,7	64,3	96,4	92,4	68,6
CONJUNTO DE BHs	EF <sub>1</sub>	56,7	56,1	55,6	54,1	52,1	54,9
	EF <sub>3</sub>	3,6	3,9	3,3	3,5	4,0	3,6
	EF <sub>5</sub>	4,6	3,8	4,4	5,1	5,8	4,7

TABELA 19 – COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO AJUSTADOS ( $R^2$ ) DOS MODELOS DE REGRESSÃO PARA OS DIFERENTES TEMPOS DE RECORRÊNCIA

Bacia hidrográfica	Coeficiente de determinação $R^2$				
	Q <sub>2</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>10</sub>	Q <sub>100</sub>	Q <sub>1000</sub>
BH IGUAÇU	0,569	0,559	0,553	0,535	0,520
BH PIQUIRI	0,967	0,976	0,984	0,988	0,919
BH IVAÍ	0,738	0,719	0,706	0,659	0,589
BH TIBAGI	1,000	0,997	0,998	0,964	0,924
CONJUNTO DE BHs	0,649	0,638	0,634	0,627	0,619

Os parâmetros relacionados à escala e declividades máximas ( $EF_1$ ) são os mais determinantes em todas as regiões estudadas, à exceção da BH Tibagi. Considerando as vazões máximas com os diferentes tempos de recorrência, a maior contribuição relativa média da variável  $EF_1$  foi na BH Piquiri (71,2%), seguido da BH Ivaí (68,2%) e BH Iguaçu (54,7%). Para o conjunto de BHs, a contribuição média foi de 54,9%. Na BH Tibagi, a variável  $EF_1$  foi significativa nos modelos das vazões com tempos de recorrência de 2, 5 e 10 anos, e apresentou maior contribuição somente para as vazões Q<sub>2</sub>. Para os demais tempos de recorrência, a variável  $EF_3$ , relacionada à forma das bacias, apresentou maior contribuição na explicação das vazões máximas.

Os parâmetros relacionados às declividades médias e baixas da bacia ( $EF_2$ ), foram significativos na BH Piquiri, com contribuição relativa média de 17,6% no ajuste

dos modelos, e, na BH Tibagi, somente no modelo de regressão da vazão  $Q_2$ , com contribuição relativa de 8,3%. As características relacionadas à forma das bacias ( $EF_3$ ) são as principais determinantes na explicação das vazões máximas da BH Tibagi, com contribuição relativa média de 68,6%. Esta variável também melhorou significativamente os modelos ao se considerar o conjunto de BHs, com contribuição média de 3,6%. Já os parâmetros relacionados à rede de drenagem ( $EF_4$ ) foram significativos somente na BH Piquiri, com contribuição média de 7,9%.

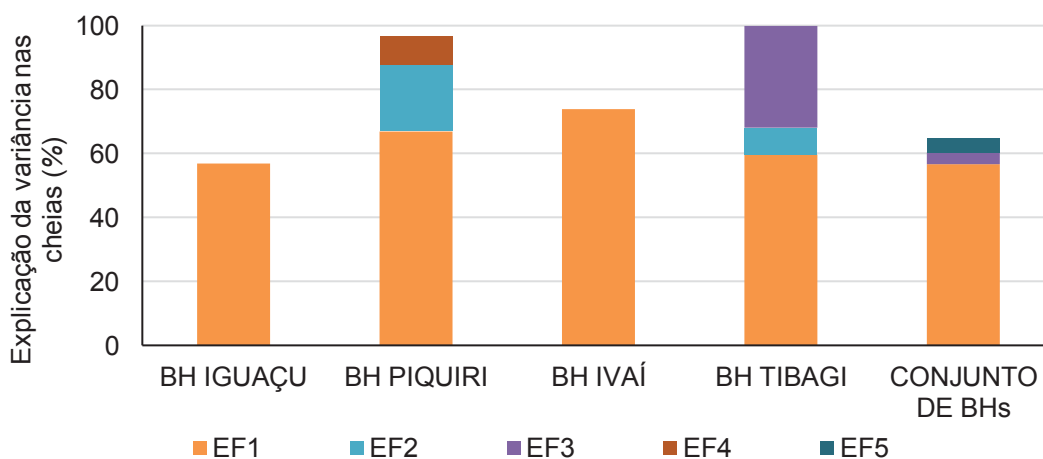
A variável  $EF_5$ , relacionada à declividade média do rio principal, foi considerada somente para o conjunto de BHs, na qual apresentou melhoria significativa na qualidade dos ajustes, com contribuição relativa média de 4,7%.

Nos próximos itens é realizada a análise dos resultados apresentados na TABELA 18 e na TABELA 19. Esta análise é realizada primeiramente por tempo de recorrência e, em seguida, por bacia hidrográfica.

#### 4.3.3.1 Análise por tempo de recorrência

A FIGURA 26 à FIGURA 29 apresentam a proporção da variância total da vazão máxima com tempos de recorrência de 2, 5, 10, 100 e 1000 anos, respectivamente, que é explicada pelos modelos de regressão, e a contribuição relativa da adição de cada variável independente no  $R^2$ , para cada uma das bacias hidrográficas analisadas.

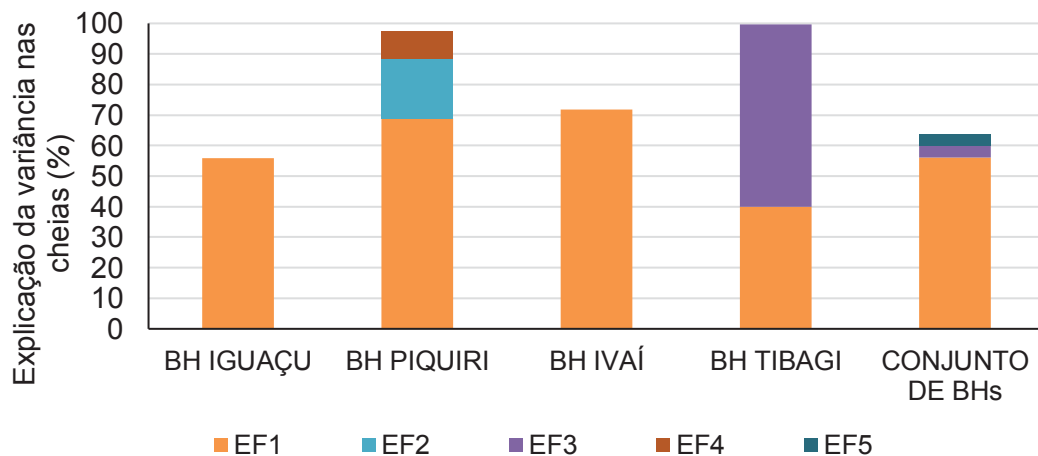
FIGURA 26 – CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS NA EXPLICAÇÃO DA VARIAÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA COM TEMPO DE RECORRÊNCIA DE 2 ANOS





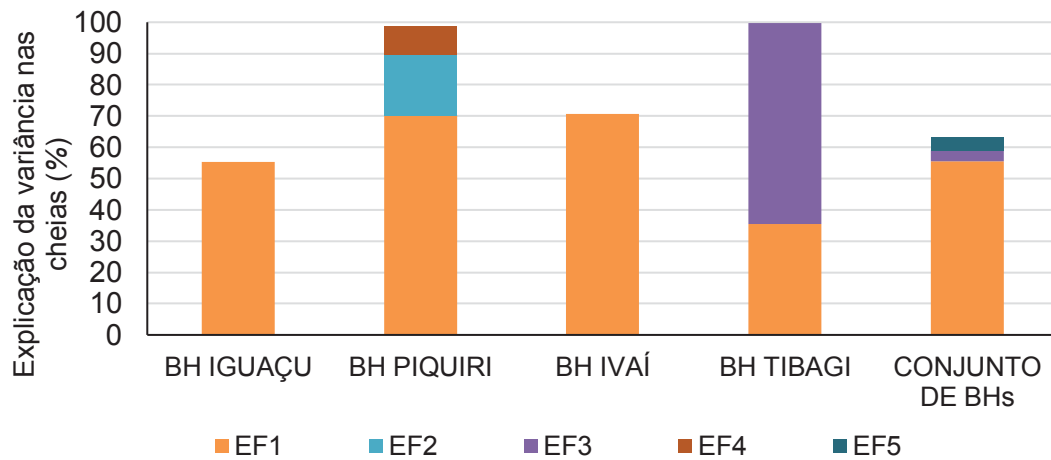
Para o tempo de recorrência de 2 anos, a variação das vazões máximas é explicada predominantemente pelas características relacionadas à escala e às declividades máximas ( $EF_1$ ) para todas as bacias hidrográficas. Diferentemente das BHs Iguaçu e Ivaí, na BH Piquiri, além desta variável, as características relacionadas às declividades médias e baixas ( $EF_2$ ) e à rede de drenagem ( $EF_4$ ) também apresentaram contribuição significativa. Já na BH Tibagi, além da escala e declividades máximas, destacam-se as características relacionadas às declividades médias e baixas ( $EF_2$ ) e à forma das bacias ( $EF_3$ ) na explicação das vazões máximas. Os maiores ajustes foram obtidos para a BH Tibagi ( $R^2=1$ ), seguido da BH Piquiri ( $R^2=0,967$ ), BH Ivaí ( $R^2=0,738$ ), e da BH Iguaçu ( $R^2=0,569$ ). Em relação ao conjunto de BHs, obteve-se  $R^2=0,649$ .

FIGURA 27 – CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS NA EXPLICAÇÃO DA VARIAÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA COM TEMPO DE RECORRÊNCIA DE 5 ANOS



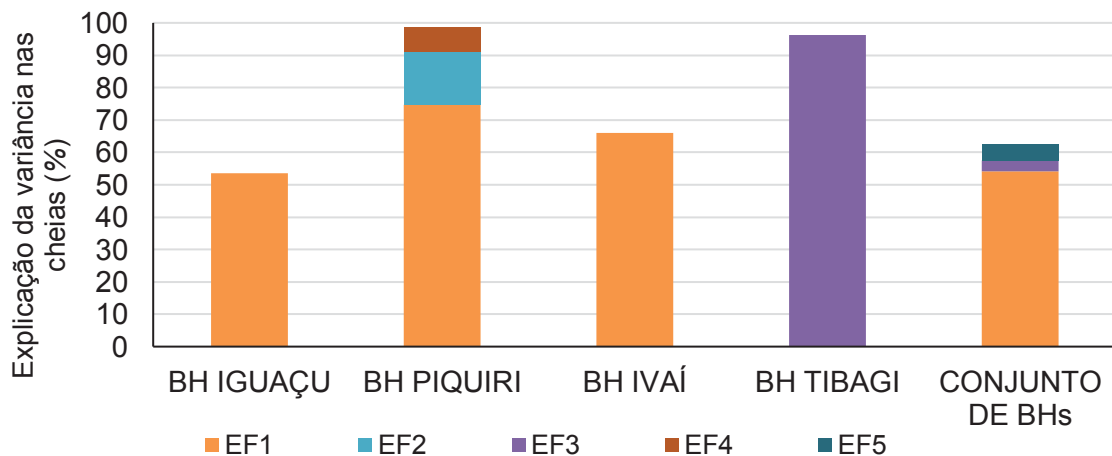
Para o tempo de recorrência de 5 anos, embora as características relacionadas à escala e às declividades máximas ( $EF_1$ ) apresentem contribuição significativa em todas as bacias hidrográficas, elas deixam de ser predominantes para a BH Tibagi, na qual a forma das bacias ( $EF_3$ ) apresenta a maior contribuição. As vazões máximas com TR de 5 anos são representadas pela escala e declividades máximas ( $EF_1$ ) nas BHs Iguaçu e Ivaí, enquanto na BH Piquiri, além desta variável, são significativas as características relacionadas às declividades médias e baixas ( $EF_2$ ) e à rede de drenagem ( $EF_4$ ).

FIGURA 28 – CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS NA EXPLICAÇÃO DA VARIAÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA COM TEMPO DE RECORRÊNCIA DE 10 ANOS



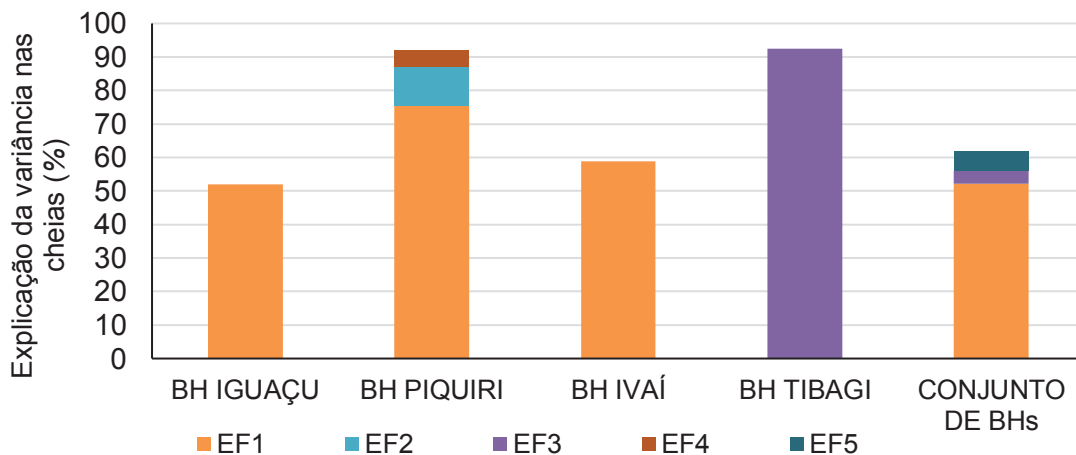
Para o tempo de recorrência de 10 anos, o comportamento se repete em relação ao  $TR$  de 5 anos, na qual as características relacionadas à escala e às declividades máximas ( $EF_1$ ) são predominantes nas BHs Iguaçu, Piquiri e Ivaí, enquanto na BH Tibagi a forma das bacias ( $EF_3$ ) apresenta a maior contribuição. Também, as vazões máximas com  $TR$  de 10 anos são representadas pela escala e declividades máximas ( $EF_1$ ) nas BHs Iguaçu e Ivaí, enquanto na BH Piquiri, além desta variável, são significativas as características relacionadas às declividades médias e baixas ( $EF_2$ ) e à rede de drenagem ( $EF_4$ ).

FIGURA 29 – CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS NA EXPLICAÇÃO DA VARIAÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA COM TEMPO DE RECORRÊNCIA DE 100 ANOS



Para o tempo de recorrência de 100 anos, as características relacionadas à escala e às declividades máximas ( $EF_1$ ) apresentam contribuição significativa e predominante nas BHs Iguaçu, Piquiri e Ivaí. Diferentemente das BHs Iguaçu e Ivaí, na BH Piquiri as características relacionadas às declividades médias e baixas ( $EF_2$ ) e à rede de drenagem ( $EF_4$ ) também são significativas na explicação das vazões máximas. Já as vazões máximas com TR de 100 anos na BH Tibagi são unicamente explicadas pelas características relacionadas à forma das bacias ( $EF_3$ ). Os melhores ajustes foram obtidos para a BH Piquiri, seguido das BHs Tibagi, Ivaí e Iguaçu.

FIGURA 30 – CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS NA EXPLICAÇÃO DA VARIAÇÃO DA VAZÃO MÁXIMA COM TEMPO DE RECORRÊNCIA DE 1000 ANOS



Para o tempo de recorrência de 1000 anos, a contribuição das características geomorfológicas sobre as vazões máximas apresentou padrão semelhante ao TR de 100 anos em todas as bacias hidrográficas. As características relacionadas à escala e às declividades máximas ( $EF_1$ ) apresentam contribuição significativa e predominante nas BHs Iguaçu, Piquiri e Ivaí, enquanto a BH Tibagi é unicamente explicada pelas características relacionadas à forma das bacias ( $EF_3$ ). Neste tempo de recorrência a BH Piquiri permanece tendo contribuição das variáveis relacionadas às declividades médias e baixas ( $EF_2$ ) e à rede de drenagem ( $EF_4$ ).

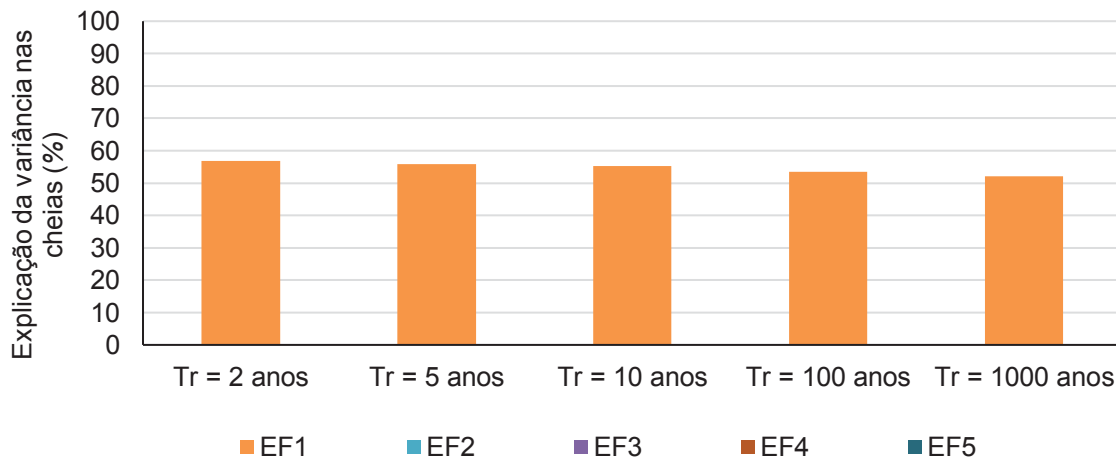
A exceção da BH Tibagi, para todos os tempos de recorrência é observado um comportamento padrão em relação à contribuição das características geomorfológicas sobre as vazões máximas. Para as vazões com tempos de recorrência de 5, 10 e 100 anos, os resultados permaneceram semelhantes, na qual os maiores valores de  $R^2$  foram obtidos nos modelos da BH Tibagi, seguido da BH

Piquiri, BH Ivaí, e por último a BH Iguaçu. Para os TRs de 100 os modelos da BH Piquiri apresentam maior qualidade no ajuste em comparação com a BH Tibagi.

#### 4.3.3.2 Análise por bacia hidrográfica

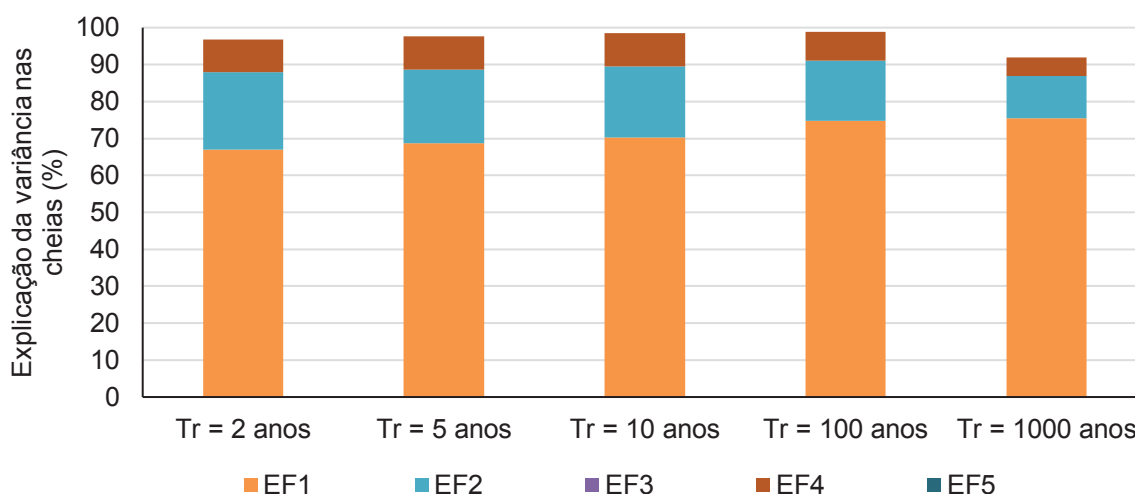
A FIGURA 31 até a FIGURA 34 apresentam a contribuição relativa das características geomorfológicas conforme o tempo de recorrência das vazões máximas das BHs Iguaçu, Piquiri, Ivaí e Tibagi, respectivamente, e a FIGURA 35 para o conjunto de BHs.

FIGURA 31 – CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS NA EXPLICAÇÃO DA VARIAÇÃO DAS VAZÕES MÁXIMAS NA BH IGUAÇU



Para a BH Iguaçu (FIGURA 31), cujas vazões são bem representadas pelas características relacionadas somente à escala e declividades máximas ( $EF_1$ ), a explicação da variância das cheias menos extremas ( $Q_2$ ) às mais extremas ( $Q_{1000}$ ) diminuiu, variando entre 56,9% e 52,0%, respectivamente. Estes resultados estão em consonância com os obtidos por Abdel-Fattah *et al.* (2017), que verificaram que com o aumento da intensidade das chuvas, o grau de correlação das vazões de pico e dos parâmetros de escala diminuem.

FIGURA 32 – CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS NA EXPLICAÇÃO DA VARIAÇÃO DAS VAZÕES MÁXIMAS NA BH PIQUIRI



Na BH Piquiri (FIGURA 32), as variáveis relacionadas à escala e declividades máximas ( $EF_1$ ), às declividades médias e baixas ( $EF_2$ ) e à rede de drenagem ( $EF_4$ ) apresentaram contribuição significativa nas vazões máximas. Até o tempo de recorrência de 100 anos, a qualidade dos modelos de regressão aumentou para os maiores TRs, na qual os valores de  $R^2$  variaram entre 0,967 e 0,988 para as vazões  $Q_2$  e  $Q_{100}$ , respectivamente. Estes resultados convergem com os obtidos por Ahn e Merwade (2015) e Abdel-Fattah *et al.* (2017), que concluíram que quanto maior a severidade dos eventos de cheia, maior a sua relação com as características geomórficas. Entretanto, para a vazão  $Q_{1000}$ , a qualidade dos ajustes decaiu, atingindo valor de  $R^2$  igual a 0,919.

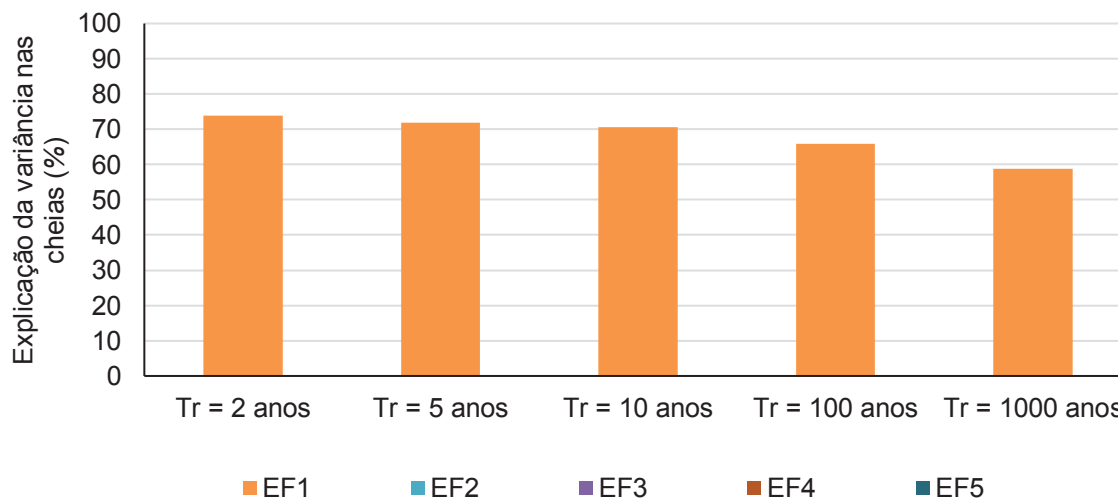
A parcela de contribuição das características relacionadas à escala e declividades máximas ( $EF_1$ ), variável que apresenta maior influência na qualidade dos modelos, é maior para as cheias mais extremas. Os valores da contribuição relativa variaram entre 67,0% para a vazão  $Q_2$  a 75,4% para a vazão  $Q_{1000}$ .

A segunda variável que apresentou maior contribuição na explicação das vazões máximas da BH Piquiri é a  $EF_2$ , que está relacionada às declividades médias e baixas das bacias, e a sua influência é mais significativa na explicação das cheias menos extremas. A sua adição aos modelos de regressão melhorou na explicação de 20,9% da variação da  $Q_2$  enquanto para a  $Q_{1000}$ , a sua adição melhorou 11,5% da variância dos modelos. Similarmente, os pesquisadores Ahn e Merwade (2015)

concluíram que os eventos menos extremos são mais bem explicados pelas variáveis relacionadas às declividades baixas.

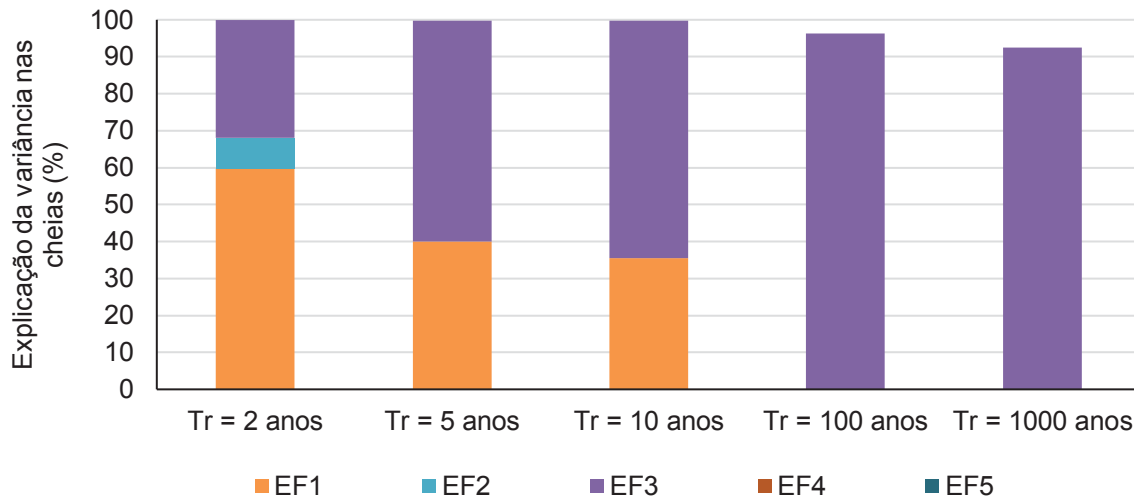
A influência das características relacionadas à rede de drenagem ( $EF_4$ ) variou conforme o tempo de recorrência. Das vazões  $Q_2$  a  $Q_5$ , a contribuição aumentou substancialmente de 8,9% a 9,0%. Com o aumento do TR, os valores diminuíram de 8,9% a 4,9% para as vazões  $Q_{10}$  e  $Q_{1000}$ , respectivamente. Estes resultados diferem dos obtidos por Abdel-Fattah *et al.* (2017), na qual as características relacionadas à rede de drenagem apresentaram maior influência na vazão de pico com o aumento da intensidade das chuvas. Entretanto, a região estudada por Abdel-Fattah *et al.* (2017), apresenta baixa frequência de chuvas e clima predominantemente seco e, portanto, a infiltração tende a ser maior, sendo necessárias chuvas mais extremas para que ocorra a saturação do solo, formação do escoamento superficial e influência das características geomorfológicas na variação das vazões.

FIGURA 33 – CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS NA EXPLICAÇÃO DA VARIAÇÃO DAS VAZÕES MÁXIMAS NA BH IVAÍ, EXPRESSAS EM TERMOS DOS VALORES PARCIAIS DE  $R^2$



Na BH Ivaí (FIGURA 33), a contribuição das características relacionadas à escala e declividades máximas ( $EF_1$ ) das bacias hidrográficas na explicação da variação das vazões máximas é menor para as cheias mais extremas, estando estes resultados em concordância com os obtidos por Abdel-Fattah *et al.* (2017). Os valores da contribuição relativa variaram entre 73,8% e 58,9% para as vazões  $Q_2$  a  $Q_{1000}$ , respectivamente. Além disso, esta foi a única variável representativa para explicar as vazões máximas.

FIGURA 34 – CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS NA EXPLICAÇÃO DA VARIAÇÃO DAS VAZÕES MÁXIMAS NA BH TIBAGI



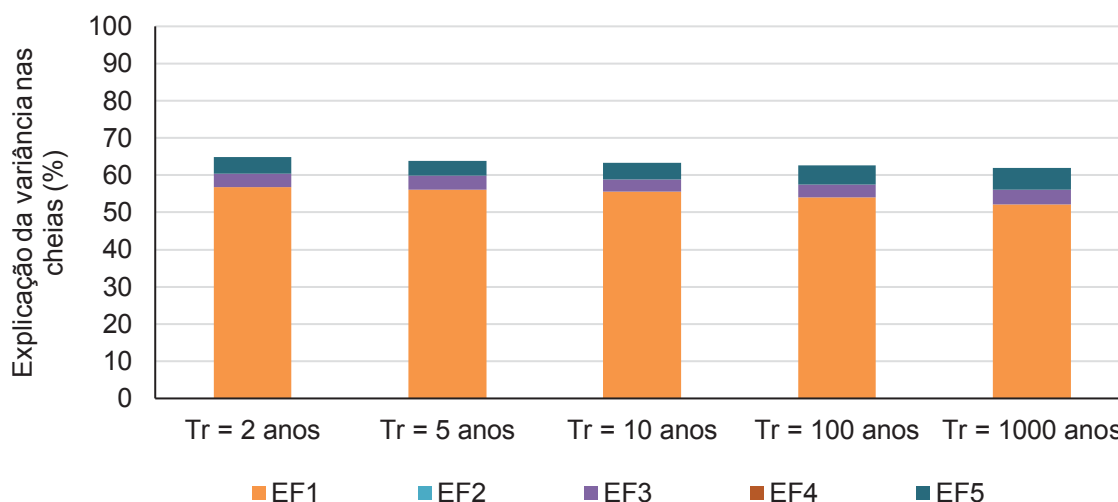
Na BH Tibagi (FIGURA 34) foram representativas as características relacionadas à escala e declividades máximas ( $EF_1$ ), às declividades médias e baixas ( $EF_2$ ) e à forma das bacias ( $EF_3$ ). A qualidade dos ajustes decaiu para os maiores tempos de recorrência, com valor de  $R^2$  variando de 1 a 0,924 para as vazões  $Q_2$  e  $Q_{1000}$ , respectivamente. Estes resultados divergem dos obtidos por Ahn e Merwade, (2015) e Abdel-Fattah *et al.* (2017).

As características relacionadas à escala e declividades máximas ( $EF_1$ ) apresentaram significância na explicação das vazões máximas somente para as cheias menos extremas, com tempos de recorrência de 2, 5 e 10 anos, na qual as contribuições relativas foram de 59,6%, 40,0% e 35,9%, respectivamente.

Para os TRs de 100 e 1000 anos, somente as características da forma das bacias ( $EF_3$ ) influenciam nas vazões máximas. Estes resultados divergem dos obtido por Black (1972) e Abdel-fattah *et al.*, (2017), que afirmam que os fatores de forma das bacias hidrográficas apresentam pouca influência nas vazões. A contribuição relativa da forma das bacias na explicação das vazões  $Q_2$  a  $Q_{1000}$  variou entre 32,0% e 92,4%. Similarmente, Abdel-Fattah *et al.* (2017) verificaram que o grau de correlação das métricas de forma das bacias está relacionado à intensidade das chuvas, na qual, à medida que o escoamento superficial aumenta, as métricas da forma apresentam maior contribuição nas vazões de pico.

Para as cheias com recorrência de 2 anos, além das variáveis  $EF_1$  e  $EF_3$ , as características relacionadas à declividade média e baixa das BHs ( $EF_2$ ) apresentam contribuição de 8,3%.

FIGURA 35 – CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS NA EXPLICAÇÃO DA VARIÇÃO DAS VAZÕES MÁXIMAS NO CONJUNTO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS



Considerando o conjunto de bacias hidrográficas (FIGURA 35), foram representativas as variáveis relacionadas à escala e declividades máximas ( $EF_1$ ), à forma das bacias ( $EF_3$ ) e à declividade média do rio principal ( $EF_5$ ). As características relacionadas à escala e declividades máximas ( $EF_1$ ) apresentaram maior contribuição na explicação da variação das cheias menos extremas, sendo que sua contribuição no  $R^2$  dos modelos das vazões  $Q_2$  a  $Q_{1000}$  variou de 56,7% a 52,1%. As características relacionadas à forma das bacias ( $EF_3$ ) apresentaram contribuição média de 3,6%, considerando todos os tempos de recorrência, sendo maior para a vazão  $Q_{1000}$ , com contribuição de 4,0%. Em relação às características da declividade média do rio principal ( $EF_5$ ), sua contribuição nas cheias mais extremas é maior em comparação às cheias menos extremas, com  $R^2$  variando de 4,6% a 5,8% das vazões  $Q_2$  a  $Q_{1000}$ .

Com base nos resultados obtidos, nas BHs Iguaçu, Piquiri e Ivaí, verificou-se que tanto as cheias mais extremas, quanto as menos extremas são explicadas pelas mesmas características geomorfológicas, havendo variação somente no grau de influência das mesmas. Na BH Tibagi, diferentes características influenciam as vazões máximas para tempos de recorrência distintos. Além disso, no geral, as vazões máximas das BHs Tibagi e Piquiri são mais bem explicadas pelas características geomorfológicas em comparação com as BHs Iguaçu e Ivaí.

A quantidade de sub-bacias consideradas nos modelos de regressão de cada BH variou, sendo 17 na BH Iguaçu, 11 nas BHs Piquiri e Ivaí e 5 na BH Tibagi. Uma vez que a amostragem da BH Iguaçu é maior, era esperado que a qualidade do ajuste dos modelos de regressão fosse inferior em comparação com as demais BHs.



Analogamente, uma vez que na BH Tibagi considerou-se um número inferior de sub-bacias, o ajuste do modelo de regressão tende a ser melhor. Além disso, para as BHs cujos ajustes dos modelos de regressão foram inferiores, pode-se inferir que outras variáveis, tais como uso e ocupação do solo, precipitação *etc.*, influenciam na variação das vazões.

Especificamente, na BH Ivaí, uma vez que a quantidade de sub-bacias embutidas é maior, na qual 8 das 11 estações fluviométricas estão localizadas no rio principal, poder-se-ia esperar melhor qualidade dos ajustes dos modelos de regressão das vazões máximas com as características relacionadas à escala e declividades máximas. Entretanto, as cheias desta BH sofrem amortecimento próximo à foz do rio principal, conforme verificou-se na FIGURA II.1. (c) do **APÊNDICE II**, possivelmente devido a extravasamento das vazões e armazenamento nas águas nas planícies de inundações. Este aspecto pode ter implicado em uma menor explicação das características relacionadas à escala e declividades nas vazões máximas da BH Ivaí.

As vazões máximas com diferentes tempos de recorrência consideradas nesta dissertação, diferentemente das pesquisas de Ahn e Merwade, (2015) e Abdel-Fattah *et al.* (2017), foram obtidas através do ajuste de modelos de distribuição de probabilidade às séries históricas de dados. A utilização de distribuições de probabilidade pode ter como consequência incertezas envolvidas nas estimativas dos quantis, especialmente para os maiores tempos de recorrência, na qual são necessárias extrapolações superiores. Além disso, a relação entre as vazões máximas com diferentes TRs e as vazões máximas médias de longo termo ( $Q_{TR}/Q_{MÁXMLT}$ ) apresentou maior variabilidade com o aumento dos TRs, conforme apresentado na FIGURA 19 a FIGURA 23 do Capítulo 2, o que pode justificar os menores ajustes dos modelos de regressão para as vazões máximas com maiores TRs.

#### 4.3.3.3 Análise dos coeficientes de correlação semiparcial

Os valores dos coeficientes de correlação semiparcial das variáveis independentes estão apresentados na TABELA 20. A correlação semiparcial representa a relação única prevista pela variável independente depois que são removidas, desta variável, as previsões compartilhadas pelas demais variáveis independentes.

TABELA 20 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO SEMIPARCIAL DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES

Bacia hidrográfica	Variável independente	Q <sub>2</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>10</sub>	Q <sub>100</sub>	Q <sub>1000</sub>
BH IGUAÇU	EF <sub>1</sub>	0,754	0,748	0,744	0,732	0,721
	EF <sub>1</sub>	0,814	0,819	0,825	0,842	0,838
BH PIQUIRI	EF <sub>2</sub>	0,507	0,497	0,489	0,452	0,377
	EF <sub>4</sub>	-0,297	-0,300	-0,299	-0,278	-0,221
	EF <sub>1</sub>	0,859	0,848	0,840	0,812	0,767
BH IVAÍ	EF <sub>1</sub>	0,243	0,216	0,193	-	-
	EF <sub>2</sub>	-0,098	-	-	-	-
	EF <sub>3</sub>	-0,106	-0,313	-0,336	-0,982	-0,961
	EF <sub>1</sub>	0,779	0,773	0,769	0,760	0,749
CONJUNTO DE BH	EF <sub>3</sub>	-0,190	-0,197	-0,202	-0,217	-0,231
	EF <sub>5</sub>	-0,205	-0,186	-0,182	-0,186	-0,199

Para analisar estes resultados é necessário verificar o sinal das relações entre os fatores e as respectivas características geomorfológicas, apresentados no Capítulo 2, TABELA 8. Em relação ao  $EF_1$ , quanto maior seu valor, maior a escala e declividades máximas das bacias; o  $EF_2$  apresenta relação inversamente proporcional às declividades médias da bacia e diretamente proporcional às características de relevo plano, portanto, quanto maior o escore, menor a declividade média. Para o  $EF_3$ , quanto maior o seu valor, a área de drenagem é proporcionalmente maior que o comprimento, logo, as bacias tendem a ser menos alongadas; o  $EF_4$  apresenta relação inversamente proporcional às características da rede de drenagem e o  $EF_5$ , inversamente proporcional as características da declividade média do rio principal.

As características relacionadas à escala e declividades máximas ( $EF_1$ ) apresentaram coeficiente de correlação semiparcial positivo, indicando que quanto maior seu valor, maiores as vazões. A relação entre a escala e as vazões máximas já é consolidada, e estes resultados convergem com os obtidos por Ahn e Merwade (2015) e Abdel-Fattah *et al.* (2017).

Na BH Iguaçu, os coeficientes variaram entre 0,754 e 0,721 para as vazões  $Q_2$  e  $Q_{1000}$ , respectivamente. Na BH Ivaí, para estas mesmas vazões, os valores variaram entre 0,859 e 0,767. Uma vez que nestas BHs foi considerado somente uma variável independente, os valores dos coeficientes de correlação semi parciais são iguais aos valores da correlação de pearson.

Na BH Piquiri, a fração única do  $EF_1$  que independe das demais variáveis e é correlacionada com as vazões máximas variou entre 0,814 e 0,838 para as vazões  $Q_2$  a  $Q_{1000}$ . Na BH Tibagi, na qual a variável  $EF_1$  foi considerada somente nas vazões  $Q_2$

a  $Q_{100}$ , os valores do coeficiente variaram entre 0,243 e 0,193, respectivamente. Considerando-se o conjunto de BHs, estes valores decresceram da  $Q_2$  a  $Q_{1000}$  de 0,779 a 0,749.

Na BH Piquiri, as características relacionadas às declividades médias e baixas da bacia ( $EF_2$ ) apresentaram correlação semiparcial positiva, indicando que, para esta bacia, quanto maior o escore, menores são as declividades e maiores são as vazões máximas. Estes resultados estão em consonância com os resultados obtidos por Ahn e Merwade (2015), que observaram em sua área de estudo que as vazões são maiores quanto maior a porção da área com declividade inferior a 1 grau. O coeficiente de correlação semiparcial variou de 0,507 para a vazão  $Q_2$  a 0,377 para a vazão  $Q_{1000}$ .

Já na BH Tibagi, a correlação semiparcial com a vazão  $Q_2$  apresentou sinal negativo (-0,098), indicando que, especificamente nesta bacia, para cheias menos extremas, quanto menores as declividades, menores são as vazões máximas.

As sub-bacias da BH Tibagi e Piquiri são responsáveis pelas menores e maiores declividades médias, respectivamente, dentre as BHs do estudo. Assim, pode-se inferir que, para até determinada declividade média, quanto menores as declividades, menores são as vazões máximas. Seguindo esta lógica, a partir de determinados valores de declividade média das bacias, as menores declividades sugerem maiores vazões máximas.

Os parâmetros relacionados à forma das bacias ( $EF_3$ ) apresentaram coeficiente com sinal negativo na BH Tibagi portanto, quanto maiores os valores, mais arredondadas tendem a ser as bacias e menores as vazões máximas. Estas características foram representativas para explicar as vazões máximas da BH Tibagi, e sua correlação semiparcial variou entre -0,106 e -0,961 para as vazões  $Q_2$  a  $Q_{1000}$ . Esta amplitude nos valores dos coeficientes é devido a vazão  $Q_2$  ser representada por 3 variáveis ( $EF_1$ ,  $EF_2$  e  $EF_3$ ), enquanto a vazão  $Q_{1000}$  é representada somente por  $EF_3$ .

Para o conjunto de BHs, a correlação semiparcial da variável  $EF_3$  variou entre -0,190 para a  $Q_2$  e -0,231 para a  $Q_{1000}$ .

Conforme Black (1972), uma bacia hidrográfica compacta é suscetível de produzir as maiores vazões de pico, e os resultados de Abdel-Fattah *et al.* (2017) vão de encontro a esta teoria, diferentemente dos obtidos neste estudo. O valor do Fator de Forma ( $F$ ), na qual o  $EF_3$  apresenta forte relação (TABELA 8), segundo Black (1972), pode ser o mesmo para bacias cujo formato é de elipsoide ou oval, além de que bacias extremamente longas ou largas produzirão vazões de pico mais baixos.

Dada essa divergência, sugere-se que sejam utilizadas características mais eficazes para representar a forma das bacias hidrográficas.

Para as características relacionadas à rede de drenagem ( $EF_4$ ), cujo coeficiente é negativo, quanto menor o seu valor, maior é a rede de drenagem e maiores são as vazões máximas. Bacias com redes de drenagem mais densas podem apresentar escoamento superficial mais rápido até a foz, com menores números de perdas, o que poderia se traduzir em maiores valores de vazão de pico (ABDEL-FATTAH *et al.*, 2017). Contudo, estes resultados divergiram dos obtidos por Ahn e Merwade (2015) e Abdel-Fattah *et al.* (2017). Para Abdel-Fattah *et al.* (2017), os parâmetros relacionados a rede de drenagem são muito complexos e podem ser mascarados por outros fatores, o que justifica as variações dos resultados obtidos. Estes parâmetros são significativos na explicação das vazões máximas da BH Piquiri, com correlação semiparcial variando entre -0,221 para a  $Q_{1000}$  e -0,300 para a  $Q_5$ .

As características relacionadas à declividade média do rio principal ( $EF_5$ ) apresentaram coeficiente de correlação semiparcial para o conjunto de bacias hidrográficas. Logo, quanto maior o escore, menores os parâmetros de declividade média do rio principal e menores as vazões máximas. A declividade do rio principal tem um efeito direto na velocidade da água do canal, o que é traduzido em maiores vazões de pico. Estes resultados estão em consonância com os obtidos por Abdel-Fattah *et al.* (2017). A fração única do  $EF_5$  que independe das demais variáveis e é correlacionada com as vazões máximas, considerando o conjunto de BH, apresentou variação foi entre -0,182 para a  $Q_{10}$  e -0,205 para a  $Q_2$ .

Na correlação semiparcial, na variável dependente, mantém-se a previsão compartilhada pelas demais variáveis independentes. Portanto, quando as variáveis independentes apresentam multicolinearidade, pode-se esperar menores valores do coeficiente de correlação semiparcial. Na BH Tibagi, os baixos valores obtidos para as variáveis  $EF_1$ ,  $EF_2$  e  $EF_3$  para o tempo de recorrência de 2, e, para  $EF_1$  e  $EF_3$  para os tempos de recorrência de 5 e 10 anos, indicam que a previsão compartilhada entre as variáveis é considerável e, logo, a correlação entre elas pode ser significativa.

#### 4.3.4 Validação dos modelos

Nas BH Iguazu, Piquiri, Ivaí e Tibagi, a variável  $EF_5$  foi desconsiderada da análise por apresentar colinearidade com outras variáveis explicativas. Para verificar se a influência da multicolinearidade provocaria mudanças nos modelos, foi realizada

análise de regressão considerando-se a totalidade das variáveis independentes nas BH Iguaçu, Piquiri e Ivaí. Na BH Tibagi não foi possível realizar a aferição devido à quantidade de BH consideradas no estudo (5 sub-bacias hidrográficas para 5 variáveis independentes).

A TABELA 21 a TABELA 23 apresentam os modelos selecionados para todos os tempos de recorrência para as BH Iguaçu, Piquiri e Ivaí, respectivamente, desconsiderando-se a análise da multicolinearidade dos escores fatoriais. Estes modelos foram selecionados conforme os maiores valores de  $R^2a$  e menores  $AICc$ , somente com variáveis que melhoram significativamente a qualidade dos modelos a um nível de significância de 10% a partir do teste T de student.

TABELA 21 – MODELOS DE REGRESSÃO SELECIONADOS PARA A BH IGUAÇU PARA AS VAZÕES COM TEMPOS DE RECORRÊNCIA DE 2, 5, 10, 100 E 1000 ANOS, DESCONSIDERANDO A MULTICOLINEARIDADE

Tempo de recorrência	Nº de variáveis	$R^2a$	$AICc$	Nível de significância				
				$EF_1$	$EF_2$	$EF_3$	$EF_4$	$EF_5$
2	2	0,680	302,32	< 0,0001	-	-	-	0,016
5	2	0,668	316,15	< 0,0001	-	-	-	0,017
10	2	0,661	323,08	< 0,0001	-	-	-	0,019
100	2	0,639	338,98	< 0,0001	-	-	-	0,022
1000	2	0,621	349,93	0	-	-	-	0,025

TABELA 22 – MODELOS DE REGRESSÃO SELECIONADOS PARA A BH PIQUIRI PARA AS VAZÕES COM TEMPOS DE RECORRÊNCIA DE 2, 5, 10, 100 E 1000 ANOS, DESCONSIDERANDO A MULTICOLINEARIDADE

Tempo de recorrência	Nº de variáveis	$R^2a$	$AICc$	Nível de significância				
				$EF_1$	$EF_2$	$EF_3$	$EF_4$	$EF_5$
2	3	0,953	172,25	< 0,0001	0,000	-	0,003	-
5	3	0,966	174,40	< 0,0001	< 0,0001	-	0,001	-
10	3	0,978	172,86	< 0,0001	< 0,0001	-	0,000	-
100	3	0,983	177,00	< 0,0001	< 0,0001	-	0,000	-
1000	3	0,884	204,25	0,000	0,010	-	0,079	-

TABELA 23 – MODELOS DE REGRESSÃO SELECIONADOS PARA A BH IVAÍ PARA AS VAZÕES COM TEMPOS DE RECORRÊNCIA DE 2, 5, 10, 100 E 1000 ANOS, DESCONSIDERANDO A MULTICOLINEARIDADE

Tempo de recorrência	Nº de variáveis	$R^2a$	$AICc$	Nível de significância				
				$EF_1$	$EF_2$	$EF_3$	$EF_4$	$EF_5$
2	1	0,709	190,73	0,001	-	-	-	-
5	1	0,688	198,49	0,001	-	-	-	-
10	1	0,673	202,59	0,001	-	-	-	-
100	1	0,621	212,83	0,002	-	-	-	-
1000	1	0,543	221,44	0,006	-	-	-	-

Ao desconsiderar a multicolinearidade das variáveis independentes, a única bacia hidrográfica que apresentou diferença na seleção dos modelos foi a BH Iguaçu (TABELA 21). Para todos os TRs analisados os modelos considerando as variáveis  $EF_1$  e  $EF_5$ , tiveram a hipótese nula rejeitada no Teste T com o nível de significância de 10%, indicando que ambas melhoram significativamente os modelos. Os valores de  $R^2a$  variaram de 0,68 para a  $Q_2$  à 0,621 para a  $Q_{1000}$ . Os modelos de regressão considerando-se as variáveis  $EF_1$  e  $EF_5$  apresentaram valores de  $R^2a$  superiores em comparação com os modelos considerando-se somente a variável  $EF_1$  (TABELA 13), cujos valores variaram de 0,54 para a  $Q_2$  à 0,488 para a  $Q_{1000}$ .

Estes resultados indicam que utilizar variáveis explicativas que apresentam multicolinearidade provoca alterações nos modelos de regressão e, como consequência, a interpretação de quais características geomorfológicas que são determinantes na explicação das vazões máximas é influenciada.

Salienta-se que a avaliação da multicolinearidade torna-se complexa na análise multivariada. Conforme apontado por HAIR *et al.* (2005), a ausência de quaisquer correlações elevadas não garante uma falta de colinearidade, uma vez que seu efeito pode ocorrer devido ao efeito combinado de duas ou mais variáveis independentes.

#### 4.4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A utilização dos escores fatoriais, provenientes da Análise fatorial, como variáveis independentes na construção de modelos de regressão, pode ser adequada quando o objetivo é avaliar a sua influência na variável dependente. Contudo, é necessário atentar-se ao fato de que os escores fatoriais podem apresentar multicolinearidade a partir do momento em que a série de dados originais é subdividida. A partir dos resultados da análise de correlação, a variável  $EF_5$  foi desconsiderada dos modelos de regressão das BHs Iguaçu, Piquiri, Ivaí e Tibagi por apresentar correlação com outras variáveis independentes, mantidas no estudo.

Após avaliação dos níveis de significância, critério de  $AICc$  e  $R^2a$  dos modelos de regressão de todas as bacias hidrográficas, optou-se por selecionar os modelos cujas variáveis independentes são consideradas significativas a um nível de significância de 10%. Para todos os tempos de recorrência, para as BH Iguaçu, Piquiri e Ivaí, selecionaram-se os modelos com uma, três e uma variável independente, respectivamente. Para a BH Tibagi, a quantidade de variáveis significativas variou

conforme o TR, sendo, 3 para a vazão  $Q_2$ , 2 para as vazões  $Q_5$  e  $Q_{10}$  e 1 para as vazões  $Q_{100}$  e  $Q_{1000}$ .

As características geomorfológicas que condicionam as vazões máximas variaram conforme a bacia hidrográfica. Nas BHs Iguaçu e Ivaí, para todos os tempos de recorrência, a variação das vazões máximas é explicada somente pelas características relacionadas à escala e declividades máximas ( $EF_1$ ). Na BH Piquiri, as características relacionadas à escala e declividades máximas ( $EF_1$ ) são as principais determinantes, seguido das características relacionadas às declividades médias e baixas ( $EF_2$ ) e, por último, da rede de drenagem ( $EF_4$ ).

Na BH Tibagi, para os tempos de recorrência de 2 anos, a maior contribuição na explicação das vazões máximas é devido a escala e declividades máximas ( $EF_1$ ), seguido da forma das bacias ( $EF_3$ ) e, por último, as declividades médias e baixas ( $EF_2$ ). Para os tempos de recorrência de 5 e 10 anos, características relacionadas à escala e declividades máximas ( $EF_1$ ) e à forma das bacias ( $EF_3$ ), sendo esta última com maior contribuição, influenciam nas vazões máximas. Para os TRs de 100 e 1000 anos de recorrência, somente a forma das bacias ( $EF_3$ ) é significativa.

A exceção do tempo de recorrência de 100 anos, as vazões máximas da BH Tibagi são mais bem explicadas pelas características geomorfológicas, seguida da BH Piquiri, Ivaí e, por último, a BH Iguaçu. Para o TR de 100 anos, as vazões da BH Piquiri apresentam maior explicação da geomorfologia.

Com base nos resultados obtidos, para as BHs Iguaçu, Ivaí e Tibagi, cheias menos extremas são mais bem explicadas pelas características geomorfológicas em comparação com as cheias mais extremas. Para a BH Piquiri, para os tempos de recorrência de 2 a 100 anos, a influência da geomorfologia aumentou. Para o TR de 1000 anos, a explicação da geomorfologia diminuiu.

A exceção da BH Tibagi, a escala e declividades máximas ( $EF_1$ ) são as principais determinantes na variação das vazões máximas nas BH analisadas. Na BH Tibagi, a maior contribuição, no geral, é devido as características da forma das bacias ( $EF_3$ ).

Estes resultados possivelmente foram influenciados pela quantidade de sub-bacias consideradas em cada BH, pelas respectivas características geomorfológicas e hidrológicas, pela localização das estações fluviométricas, variabilidade dos dados, assim como os demais processos subjacentes à formação das vazões máximas nos rios.

Os valores dos coeficientes de correlação semiparcial indicaram que as variáveis independentes apresentam previsão compartilhada na variância das variáveis dependentes. Isto sugere a existência de correlação entre as variáveis independentes, especialmente na BH Tibagi, cujos valores dos coeficientes foram baixos para os escores fatoriais considerados nos modelos dos TRs de 2 a 10 anos.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta dissertação demonstram os padrões complexos relacionados às respostas hidrológicas das bacias hidrográficas, justificados pela heterogeneidade espacial, temporal e as diferenças de escalas consideradas, e reafirmam a necessidade de estudos regionais para a compreensão dos processos subjacentes dominantes na explicação da variação das vazões máximas.

Estes resultados contribuem na compreensão da influência da geomorfologia no comportamento das vazões máximas. Além disso, podem trazer benefícios às técnicas de regionalização a partir da otimização temporal na seleção das variáveis explicativas que melhor explicam as vazões máximas em cada uma das bacias hidrográficas do Estado do Paraná, especialmente nas BHs Piquiri e Tibagi cuja qualidade dos ajustes dos modelos de regressão foi melhor em comparação com as BHs Iguaçu e Ivaí.

Neste estudo, foram avaliadas somente as características geomorfológicas das bacias hidrográficas. Recomenda-se que seja avaliada a influência de outras variáveis independentes nas vazões máximas, tais como o uso e ocupação do solo, precipitação, variáveis climáticas, dentre outras. Além disso, sugere-se que sejam utilizadas características mais eficazes na representação da forma das bacias hidrográficas, uma vez que as utilizadas nesta dissertação não necessariamente se aproximam da realidade física das bacias.

O conhecimento de que a área de drenagem das bacias hidrográficas influencia na magnitude das vazões máximas é evidente e consolidado. Para desconsiderar a sua influência, recomenda-se que sejam utilizadas vazões máximas específicas como variáveis dependentes para avaliar o comportamento das demais características geomorfológicas na variação das vazões máximas.

Embora a multicolinearidade das variáveis independentes tenha sido abordada, os resultados obtidos nesta dissertação podem ter sido influenciados pela sua presença. Sugere-se que na continuação dos estudos seja avaliado o impacto da multicolinearidade na identificação das variáveis independentes que mais influenciam os modelos de regressão.

Destaca-se que os resultados obtidos estão condicionados às análises lineares. Sugere-se, portanto, que na continuidade da pesquisa sejam avaliadas as relações não lineares entre as variáveis.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDEL-FATTAH, M.; SABER, M.; KANTOUSH, S. A.; KHALIL, M. F.; SUMI, T.; SAFELNASR, A. M. A hydrological and geomorphometric approach to understanding the generation of wadi flash floods. **Water (Switzerland)**, v. 9, n. 7, p. 1–27, 2017.
- AHN, K. H.; MERWADE, V. Role of watershed geomorphic characteristics on flooding in Indiana, United States. **Journal of hydrologic engineering**, v. 21, n. 2, p. 05015021-1-05015021-12, 2015.
- AHN, K. H.; PALMER, R. Regional flood frequency analysis using spatial proximity and basin characteristics: Quantile regression vs. Parameter regression technique. **Journal of Hydrology**, v. 540, p. 515–526, 2016.
- ALTAF, F.; MERAJ, G.; ROMSHOO, S. A. Morphometric analysis to infer hydrological behaviour of liddar watershed, Western Himalaya, India. **Geography Journal**, v. 2013, p. 14, 2013.
- ALVARES, C. A. STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.
- ANDERSON, T. W.; DARLING, D.A. Asymptotic theory of certain goodness-of-fit criteria based on stochastic processes. **Annals of Mathematical Statistics**, 23, 193–212, 1952.
- AYDOĞAN, D.; KANKAL, M.; ÖNSOY, H. Regional flood frequency analysis for Çoruh Basin of Turkey with L-moments approach. **Journal of Flood Risk Management**, v. 9, n. 1, p. 69–86, 2016.
- BARTIKO, D.; CHAFFE, P. L. B.; BONUMÁ, N. B. Nonstationarity in maximum 131irec daily streamflow series from Southern Brazil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 22, n. 48, 2017.
- BASU, B.; SRINIVAS, V. Regional flood frequency analysis using entropy-based clustering approach. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 21, n. 8, p. 1–12, 2016.
- BASU, B.; SRINIVAS, V. V. Regional flood frequency analysis using kernel-based fuzzy clustering approach. **Water Resources Research**, v. 50, n. 4, p. 3295–3316, 2014.
- BEVEN, K. J.; WOOD, E. F.; SIVAPALAN, M. On hydrological heterogeneity — Catchment morphology and catchment response. **Journal of Hydrology**, v. 100, p. 353–375, 1988.
- BLACK, P. E. Hydrograph responses to geomorphic model watershed characteristics and precipitation variables. **Journal of Hydrology**, v. 17, p. 309–329, 1972.
- BRASIL. Decreto no 5.334, de 06 de janeiro de 2005. Dá a nova redação ao art. 21 e revoga o art. 22 do Decreto no 89.817, de 20 de junho de 1984, que estabelece as

Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 07 jan. 2005. Seção 1, p. 1.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 09 jan. 1997. Seção 1, p. 470.

BURNHAM, K. P., e ANDERSON, D. R. **Model selection and multimodel inference**, 2nd ed. Springer, New York, 2002.

CASSALHO, F.; BESKOW, S.; MELLO, C. R.; MOURA, M. M.; KERSTNER, L. ÁVILA, L. F. At-Site Flood frequency analysis coupled with multiparameter probability distributions. **Water Resources Management**, v. 32, 2017.

CERH. Resolução nº. 49 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH/PR, de 20 de dezembro de 2006.

CHISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª ed. São Paulo; Edgar Blucger, 1980.

CHOU, Y.; POLANSKY, A. M.; MASON, R. Transforming non-normal data to normality in statistical process control transforming non-normal data to normality in statistical process control. **Journal of Quality Technology**, v. 30, n. 2, 1998.

CHOWDHURY J. U.; STEDINGER, J. R.; LU, L-H. Goodness direct tests for regional generalized extreme value flood distributions. **Water Resources Research**, 27(7), p. 1765-1776, 1991.

COSTA, K. T. DA; FERNANDES, W. DOS S. Avaliação do tipo de distribuição de probabilidades das vazões máximas diárias anuais no Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, p. 442–451, 2015.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo**: folha SG.22 e SF 22. Brasília: CPRM, 2004.

DALRYMPLE, T. Flood-frequency analyses. Manual of hydrology, part 3. Flood-flow techniques. **Geological Survey Water-Supply Paper**, v. 1543–A, p. 80, 1960.

DESTEFANI, E. V. **Regime hidrológico do rio Ivaí – PR**. Dissertação (mestrado) Programa de Pós-Graduação em Geografia – Universidade Estadual de Maringá, 94p., 2005.

ELESBON, A. A. A.; SILVA, D. D. DA; SEDIYAMA, G. C.; GUEDES, H. A. S.; RIBEIRO, C. A. A. S.; RIBEIRO, C.B.DE M. Multivariate statistical analysis to support the minimum streamflow regionalization. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 5, p. 838–851, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Serviço nacional de levantamento e conservação de solos**. In: Reunião Técnica de Levantamento de Solos, nº 10, Rio de Janeiro, RJ, 83p, 1979.

ESRI **How exploratory regression works**. [http://pro.arcgis.com/@/pro-app/tool-reference/spatial-statistics/how-exploratory-regression-works.htm\\_2013](http://pro.arcgis.com/@/pro-app/tool-reference/spatial-statistics/how-exploratory-regression-works.htm_2013).

FENG, Y. T. X. Using exploratory regression to identify optimal driving factors for cellular automaton modeling of land use change. **Environ Monit Assess**, v. 189: 515, 17 p., 2017.

FERREIRA, L. G. B. CARAMORI, P. H.; MORAIS, H.; NITSCHKE, R. COSTA, A. B. F. da. **O fenômeno El Niño de 2015/2016 e seus impactos nas chuvas do Paraná**. Instituto Agrônômico do Paraná – IAPAR, 2016.

FILLIBEN J. J. The probability plot correlation coefficient test for normality. **Technometrics**, 17(1), pp. 111-117, 1975.

GUPTA, V.K.; WAYMIRE, E.; WANG, C.T. A representation of an instantaneous unit hydrograph from geomorphology. **Water Resource Research**, v. 16, n. 5, p. 855-62, 1980

HAAN, C. T.; ALLEN, D. M. Comparison of multiple regression and principal component regression for predicting water yields in Kentucky. **Water Resources Research**, v. 8, n. 6, p. 1593–1596, 1972.

HAIR, J. P.; BLAC, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAN, R. L. **Análise Multivariada de Dados**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HAN, J.; KAMBER, M.; PEI, J. **Data Mining: concepts and techniques**. 3ed Elsevier, v. 3, 2012.

HELSEL, D. R.; HIRSCH, R. M. **Statistical methods in water resources: Hydrologic Analysis and Interpretation**. U.S. GEOLOGICAL SURVEY. 524 p, 2002.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V.; OLIVEIRA JUNIOR, G. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **Engineering and Science**, v. 1, n. 5, p. 83–90, 2016.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins, hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 37, n. 6, p. 257–262, 1945.

HOSKING J. R. M. L-Moments: analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. **Journal of the Royal Statistical Society**, B, 52(2), pp. 105-124, 1990.

HOSKING J. R. M. The theory of probability weighted moments. **Research Report RC 12210**. Yorktown Heights (NY): IBM Research, 1986.

HOTELLING, H. Analysis of a complex of statistical variables into principal component. **Journal of Educational Psychology**, v. 24, n. 6, p. 417–441, 1933.

HRACHOWITZ M.; SAVENIJE H.H.G.; BLÖSCHL G.; DONNELL J.J.; SIVAPALAN M.; POMEROY J.W.; ARHEIMER B.; T.; CLARK M.P.; EHRET U.; FENICIA F.; FREER J.E.; GELFAN A.; GUPTA H.V.; HUGHES D.A.; HUT R.W.; MONTANARI A.; PANDE

S.; TETZLAFF D.; TROCH P.A.; UHLENBROOK S.; WAGENER T.; WINSEMIUS H.C.; WOODS R.A.; ZEHE E. E; CUDENNEC C. A decade of Predictions in Ungauged Basins (PUB)-a review. **Hydrological Sciences Journal**, v. 58, n. 6, p. 1198–1255, 2013.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Climate Change 2007**. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2007.

JOHNSON, N. L. Systems of frequency curves generated by methods of translation. **Biometrika** 36, pp. 149- 176, 1949.

JOLLIFFE, I. T. **Principal component analysis**. 2 nd ed. (Springer series in statistics) ISBN 0-387-95442-2, 2002.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v. 23, n. 3.p. 187- 200, 1958.

KAUHL, B. HEIL, J. HOEBE, C. J. P. A.; SCHEIKART, J. KRAFFT, T.; DUKERS-MUIJRS, N. H. T. M. The spatial distribution of hepatitis C virus infections and associated determinants — an application of a geographically weighted poisson regression for evidence-based screening interventions in hotspots. **PloS ONE**, v. 10(9), p. 1–19, 2015.

KENDALL, M. G. **Rank correlation methods**. 4 ed. London: Charles Griffin, 1975.

LANGBEIN, W. B. et al., Topographic characteristics of drainage basins, **U. S. Geol. Surv. Water. Supply Paper** 968-C, 157 pp., 1947.

LOPES, W. T. A. Sistema para análise de dados hidrológicos – SIADH. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves. ABRH, 2013

MANN, H. B. Non-parametric test against trend. **Econometrica**, v.13, p.245-259, 1945.

MANN, H. B.; WHITNEY, D. R. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. **The Annals of Mathematical Statistics**, v. 18, n. 1, p. 50–60, 1947.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. 2ª edição ed. Brasília: MMA, 2007.

MELTON, M. A. An analysis of the relations among elements of climate, surface properties, and geomorphology. **Technical Report**. No. 11, Department of Geology, Columbia University, New York, N.Y, 1957.

MELTON, M.A. Correlations structure of morphometric properties of drainage systems and their controlling agents **J. Geol.** 66, 442–460, 1958.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre. ABRH, 536 p. 2001.

MORRIS, A. J.; DONOVAN, J. J.; STRAGER, M. Geospatial analysis of climatic and geomorphic interactions influencing stream discharge, Appalachian Mountains, USA. **Environ Model Assess**, v. 14, p. 73–84, 2009.

NAGHETTINI, M. PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

NEISSE, A. C.; HONGYU, K. Aplicação de componentes principais e análise fatorial a dados criminais de 26 estados dos EUA. **E&S Engineering and Science**, v. 5, n. 2, p. 105, 2000.

PEARSON, K. On lines and planes of closest fit to systems of points in space, **Philosophical Magazine**, Series 6, vol. 2, no. 11, pp. 559-572, 1901.

PETERSON, R. A. A meta-analysis of variance accounted for and factor loadings in exploratory factor analysis. **Marketing Letters**, v. 11, n. 3, p. 261–275, 2000.

PINTO, N. D. de S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgar Blücher, 1976.

PRICE, K.; JACKSON, C. R., PARKER, A. J.; REITAN, T. DOWD, J. CYTERSKI, M. Effects of watershed land use and geomorphology on stream low flows during severe drought conditions in the southern Blue Ridge Mountains, Georgia and North Carolina, United States. **Water Resources Research**, v. 47, 19 p., 2011.

RODRIGUEZ-ITURBE, I.; VALDÉS, J.B. The geomorphologic structure of hydrologic response. **Water Resource Research**, v. 15, n. 6, p. 1409-1420, 1979.

SAHARIA, M.; KIRSTETTER, P.; VERGARA, H. Characterization of floods in the United States. **Journal of Hydrology**, 2017.

SANTOS, I. dos. **Monitoramento e modelagem de processos hidrogeomorfológicos: mecanismos de geração de escoamento e conectividade hidrológica**. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

SANTOS, P. **Análise de frequência e regionalização de vazões máximas sazonais na região sul do Brasil**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey, **Bul. Geol. Soc. Amer.**, 67, 597-646, 1956.

SIDLE, R. C. Field observations and process understanding in hydrology: Essential components in scaling. **Hydrological Processes**, v. 20, n. 6, p. 1439–1445, 2006.

SINGH, P. K.; KUMAR, V.; PUROHIT, R. C.; KOTHARI, M. DASHORA, P.K. Application of principal component analysis in grouping geomorphic parameters for hydrologic modeling. **Water Resources Management**, v. 23, p. 325–339, 2008.

SOUZA, R. M. DE. **Heterogeneidade espacial e efeito de escala no escoamento de base em bacias embutidas no Alto Iguaçu/PR**. 2015. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology, **Transactions of the American Geophysical Union**. V. 33, n. 6, p. pp.913-920, 1957.

STRAHLER, A. N., Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography, **Bul. Geol. Soc. A.**, 63, 1117-1142, 1952.

TAMENE, L. et al., Analysis of factors determining sediment yield variability in the highlands of northern Ethiopia. **Geomorphology**, v. 76, p. 76–91, 2006.

THAYER, J. D. Stepwise regression as an exploratory data analysis procedure. **Annual Meeting of the American Educational Research Association**, p. 39 p, 2002.

THIESSEN, A. H. Precipitation averages for large areas. **Monthly Weather Review**, v.39, p. 1082-1089, 1911.

TUCCI, C. E. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre, Ed. Universidade/UFRGS, 256p., 2002.

USGS. Revised methods for characterizing stream habitat in the national water-quality assessment program U. S. Geological Survey. **Environmental Protection**, v. 98, p. 67, 1998.

VALVERDE, A. E. L.; LEITE, H. G.; SILVA, D. D. DA; PRUSKI, F. F. Momentos-L: teoria e aplicação em hidrologia. **Revista Árvore**, v. 28, p. 927–933, 2004.

VELICER, W. F.; JACKSON, D. N. Component analysis versus common factor analysis: some issues in selecting an appropriate procedure. **Multivariate Behavioral Research**, 25, (1), 1990.

VICINI, L.; SOUZA, A. M. **Análise multivariada da teoria à prática**. (especialização) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 215 p., 2005.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 245p. 1975.

WMO – WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to hydrological practices, data acquisition and processing analysis, forecasting and other applications**. 5th ed. Geneva, 259 p., 1994.

WOOD, E.F., SIVAPALAN, M., BEVEN, K.J. AND BAND, L. Effects of spatial variability and scale with implications to hydrological modelling. **Journal of Hydrology**, 1988.

YUE, R. PILON, P. PHINNEY, B. CAVADIAS, G. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. **Hydrological processes**. v. 16, p. 1807–1829, 2002.

ZHANG, H.; YAO, Z.; YANG, Q.; LI, S.; BAARTMAN, J. E. M.; GAI, L.; YAO, M.; YANG, X.; RITSEMA, C. J.; GEISSEN, V. An integrated algorithm to evaluate flow direction and flow accumulation in flat regions of hydrologically corrected DEMs. **Catena**, v. 151, p. 174–181, 2017.



ZHANG, S.; GUO, Y.; WANG, Z. Correlation between flood frequency and geomorphologic complexity of rivers network – A case study of hangzhou China. **Journal of Hydrology**, v. 527, p. 113–118, 2015.

ZHANG, Z.; CHEN, X.; XY, C.; YUAN, L. YONG, B. YAN, S. Evaluating the non-stationary relationship between precipitation and streamflow in nine major basins of China during the past 50 years. **Journal of Hydrology**, v. 409, n. 1–2, p. 81–93, 2011.

## APÊNDICES

**APÊNDICE I – CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DAS BACIAS  
HIDROGRÁFICAS**

QUADRO I.1 – CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS A ESCALA

BH	Código da estação	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	Comprimento (km)	Perímetro (km)	Comprimento do rio princ. (km)	Comprimento total dos rios (km)	Amplitude altimétrica máxima (m)
Iguaçu	65020995	12,02	5,11	26,09	4,10	4,10	163,00
	65021000	22,91	6,83	32,92	6,58	9,56	180,00
	65021770	24,56	9,87	39,83	10,72	10,72	174,00
	65011400	39,23	11,31	49,52	10,69	18,17	127,00
	65365000	65,41	10,95	55,48	10,59	30,78	392,00
	65010000	105,23	23,44	93,75	26,81	44,40	393,00
	65024000	179,81	31,63	131,68	35,90	78,48	243,00
	65027000	230,75	29,48	118,46	34,81	97,15	208,00
	65015400	256,45	23,27	118,52	27,88	126,30	443,00
	65948000	270,96	27,64	118,04	37,28	132,46	348,00
	65809000	312,73	28,95	139,00	43,37	147,06	367,00
	65945000	553,66	37,03	159,59	70,31	286,50	562,00
	65135000	602,83	36,96	209,25	53,16	274,70	474,00
	65990550	663,87	44,14	175,55	75,62	344,22	491,00
	65180000	763,54	53,27	242,99	63,79	376,92	576,00
	65094500	958,96	48,71	242,17	80,05	468,29	260,00
	65979000	1311,6	55,31	250,73	113,49	634,37	583,00
	65925000	1644,88	82,87	368,01	161,09	774,19	551,00
	65025000	2222,25	57,28	355,39	78,15	1053,70	584,00
	65100000	3449,15	46,24	557,79	144,83	1668,99	750,00
65060000	6023,22	180,57	764,00	216,43	2875,85	690,00	
65960000	6691,61	165,76	830,61	364,21	3403,19	948,00	
65220000	18573,58	171,48	1447,22	255,47	8939,38	779,00	
65310000	24206,43	228,32	1576,04	363,84	11664,83	786,00	
65993000	67127,13	550,40	2828,30	1012,02	33019,30	1397,00	
Ivaí	64682000	818,01	53,38	265,69	66,70	336,91	340,00
	64620000	1058,88	41,43	239,22	57,95	531,11	554,00
	64673000	1532,96	72,76	308,96	116,00	751,50	543,00
	64652000	2607,43	87,18	435,01	169,20	1329,74	893,00
	64625000	3179,61	84,99	428,56	142,86	1547,84	849,00
	64645000	8546,13	144,78	745,39	280,05	4206,55	914,00
	64655000	12699,07	182,88	935,74	352,99	6314,14	984,00
	64660500	19428,41	210,59	1127,77	425,55	9813,64	1044,00
	64675002	23098,23	240,79	1227,61	476,87	11595,89	1065,00
	64685000	28405,49	303,26	1465,04	568,14	13934,60	1093,00
64693000	34389,21	356,30	1718,84	679,15	16482,55	1107,00	
Piquiri	64773000	757,34	42,71	186,18	78,53	384,70	742,00
	64785000	1311,11	63,57	287,05	136,20	641,25	543,00
	64764000	1691,38	71,96	309,44	169,50	876,29	687,00
	64810000	2031,77	71,92	389,53	107,07	860,33	441,00
	64775000	2147,15	87,44	367,86	188,15	1104,01	880,00
	64815000	2962,18	103,31	528,83	147,97	1242,09	488,00
	64767000	3542,71	102,79	472,21	278,76	1901,60	831,00
	64771500	4169,50	121,02	522,46	333,22	2235,46	882,00
	64795000	11248,29	172,90	811,73	454,56	5757,04	954,00
	64799500	12090,91	177,17	835,75	470,39	6146,73	960,00
	64820000	17431,78	202,33	1094,04	529,27	8453,05	977,00
	64830000	20968,90	241,66	1154,08	589,98	10063,34	1003,00
Tibagi	64442800	1341,66	48,29	296,76	69,21	642,28	292,00
	64477600	1585,58	47,84	345,09	68,10	755,83	384,00
	64465000	8845,31	124,42	808,07	198,40	4246,47	535,00
	64501000	18686,49	227,54	1288,13	398,23	9065,84	941,00
	64507000	21917,36	270,50	1455,72	475,44	10696,43	1022,00

QUADRO I.2 – CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS À FORMA

BH	Código da estação	Comprimento relativo	Taxa de alongamento	Índice de circularidade	Coefficiente de compacidade	Fator de forma
Iguaçu	65020995	1,47	0,77	0,22	2,12	0,44
	65021000	1,43	0,79	0,27	1,94	0,44
	65021770	1,99	0,57	0,19	2,27	0,22
	65011400	1,81	0,62	0,20	2,23	0,27
	65365000	1,35	0,83	0,27	1,94	0,53
	65010000	2,29	0,49	0,15	2,58	0,19
	65024000	2,36	0,48	0,13	2,77	0,16
	65027000	1,94	0,58	0,21	2,20	0,23
	65015400	1,45	0,78	0,23	2,09	0,37
	65948000	1,68	0,67	0,24	2,02	0,36
	65809000	1,64	0,69	0,20	2,22	0,31
	65945000	1,57	0,72	0,27	1,91	0,36
	65135000	1,51	0,75	0,17	2,40	0,36
	65990550	1,71	0,66	0,27	1,92	0,30
	65180000	1,93	0,59	0,16	2,48	0,24
	65094500	1,57	0,72	0,21	2,21	0,32
	65979000	1,53	0,74	0,26	1,95	0,44
	65925000	2,04	0,55	0,15	2,56	0,18
	65025000	1,22	0,93	0,22	2,13	0,44
	65100000	0,79	1,43	0,14	2,68	0,37
	65060000	2,33	0,48	0,13	2,78	0,19
	65960000	2,03	0,56	0,12	2,86	0,22
	65220000	1,26	0,90	0,11	3,00	0,45
	65310000	1,47	0,77	0,12	2,86	0,34
65993000	2,12	0,53	0,11	3,08	0,19	
Ivai	64682000	1,87	0,60	0,15	2,62	0,24
	64620000	1,27	0,89	0,23	2,07	0,57
	64673000	1,86	0,61	0,20	2,23	0,31
	64652000	1,71	0,66	0,17	2,40	0,31
	64625000	1,51	0,75	0,22	2,14	0,36
	64645000	1,57	0,72	0,19	2,27	0,29
	64655000	1,62	0,70	0,18	2,34	0,29
	64660500	1,51	0,75	0,19	2,28	0,31
	64675002	1,58	0,71	0,19	2,28	0,30
	64685000	1,80	0,63	0,17	2,45	0,24
64693000	1,92	0,59	0,15	2,61	0,20	
Piquiri	64773000	1,55	0,73	0,27	1,91	0,40
	64785000	1,76	0,64	0,20	2,24	0,26
	64764000	1,75	0,64	0,22	2,12	0,26
	64810000	1,60	0,71	0,17	2,44	0,35
	64775000	1,89	0,60	0,20	2,24	0,22
	64815000	1,90	0,59	0,13	2,74	0,24
	64767000	1,73	0,65	0,20	2,24	0,21
	64771500	1,87	0,60	0,19	2,28	0,18
	64795000	1,63	0,69	0,21	2,16	0,25
	64799500	1,61	0,70	0,22	2,14	0,24
	64820000	1,53	0,74	0,18	2,34	0,25
	64830000	1,67	0,68	0,20	2,25	0,21
Tibagi	64442800	1,32	0,86	0,19	2,29	0,47
	64477600	1,20	0,94	0,17	2,44	0,44
	64465000	1,32	0,85	0,17	2,42	0,43
	64501000	1,66	0,68	0,14	2,66	0,29
	64507000	1,83	0,62	0,13	2,77	0,24

QUADRO I.3 – CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS À TOPOGRAFIA

BH	Código da estação	Relação de relevo (%)	Índice de Rugosidade (%)	Declividade média (%)	Declividade máxima (%)	Declividade méd. do rio princ. (%)	Declividade máx. do rio princ. (%)
Iguaçu	65020995	4700,90	5558,30	16,18	63,81	1,37	15,77
	65021000	3760,62	7506,00	15,84	63,81	1,49	15,77
	65021770	3510,82	7586,40	11,77	53,47	1,11	16,80
	65011400	2027,66	5880,10	7,54	61,78	0,92	20,15
	65365000	4846,90	18463,20	18,39	83,62	1,45	18,21
	65010000	3831,09	16584,60	11,07	82,43	0,48	16,55
	65024000	1812,17	10594,80	11,28	63,81	0,84	22,96
	65027000	1369,28	8756,80	10,07	64,42	0,50	10,62
	65015400	2766,32	21839,90	10,19	126,05	0,57	13,44
	65948000	2114,11	17017,20	15,06	85,83	1,01	18,21
	65809000	2075,30	17249,00	12,16	82,68	1,02	15,04
	65945000	2388,44	29055,40	12,72	95,42	0,79	20,59
	65135000	1930,55	21614,40	11,00	97,39	0,48	17,81
	65990550	1905,64	25482,90	11,87	91,47	0,77	16,63
	65180000	2084,52	28454,40	16,30	225,86	0,79	43,95
	65094500	839,60	12688,00	11,36	89,17	0,73	32,55
	65979000	1609,78	28217,20	14,48	108,77	0,86	15,79
	65925000	1358,58	25952,10	9,56	79,12	0,65	20,58
	65025000	1238,84	27681,60	8,87	126,06	0,25	7,13
	65100000	1277,04	36300,00	12,37	118,62	0,50	28,03
65060000	889,07	32913,00	9,74	126,05	0,30	16,80	
65960000	1158,89	48253,20	12,61	125,40	0,86	33,26	
65220000	571,60	37469,90	10,51	225,86	0,36	20,19	
65310000	505,19	37885,20	11,20	225,86	0,78	28,51	
65993000	539,20	68732,40	13,27	225,86	0,87	61,76	
Ivaí	64682000	1188,77	14008,00	7,23	44,99	0,59	20,08
	64620000	1702,50	27810,80	13,43	161,87	0,82	31,95
	64673000	1386,87	26607,00	8,75	81,83	0,76	33,47
	64652000	1748,82	45543,00	19,47	245,16	0,76	20,83
	64625000	1505,64	41346,30	16,19	265,61	0,76	56,02
	64645000	988,69	44968,80	16,20	280,54	0,59	56,02
	64655000	873,19	48904,80	16,79	280,54	0,64	56,02
	64660500	749,00	52722,00	16,48	280,54	0,87	56,02
	64675002	700,75	53463,00	15,38	280,54	0,99	56,02
	64685000	648,51	53666,30	13,87	280,54	1,22	56,02
64693000	596,95	53025,30	12,60	280,54	1,53	56,02	
Piquiri	64773000	2696,24	37693,60	21,10	147,82	1,44	22,81
	64785000	1499,62	26552,70	9,06	77,58	0,67	15,14
	64764000	1670,46	35586,60	15,80	109,12	0,88	21,15
	64810000	978,37	18654,30	7,50	47,90	0,66	13,96
	64775000	1899,12	45232,00	18,65	147,82	0,98	22,81
	64815000	896,63	20447,20	7,47	47,90	0,56	13,96
	64767000	1396,15	44624,70	18,53	192,80	0,81	26,32
	64771500	1365,92	47275,20	18,88	192,80	0,77	26,32
	64795000	899,51	48844,80	16,29	192,80	0,95	26,32
	64799500	873,06	48768,00	15,75	192,80	1,00	26,94
	64820000	739,99	47384,50	13,21	192,80	1,11	30,46
	64830000	692,65	48144,00	12,15	192,80	1,22	30,46
Tibagi	64442800	797,19	13986,80	9,84	92,89	0,31	9,47
	64477600	964,36	18316,80	8,52	126,02	0,30	16,56
	64465000	568,85	25680,00	10,38	138,24	0,47	20,36
	64501000	688,38	45638,50	12,52	282,24	1,32	73,64
	64507000	690,33	49873,60	12,53	282,24	1,38	73,64

(continua)

QUADRO I.3 – CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS A ESCALA RELACIONADAS À TOPOGRAFIA (continuação)

BH	Código da estação	Declividade <1°	Declividade <2°	Declividade <5°	Integral hipsométrica	Relação da declividade
Iguaçu	65020995	2,80	6,90	24,80	0,36	0,09
	65021000	2,80	6,40	23,90	0,38	0,09
	65021770	4,40	10,20	34,80	0,44	0,09
	65011400	5,80	18,70	59,00	0,30	0,12
	65365000	2,30	5,50	22,00	0,43	0,08
	65010000	6,80	14,30	42,60	0,12	0,04
	65024000	4,00	10,80	38,40	0,32	0,07
	65027000	4,50	12,20	42,20	0,31	0,05
	65015400	5,50	15,60	48,20	0,13	0,06
	65948000	4,00	9,50	31,30	0,43	0,07
	65809000	4,80	10,80	39,40	0,49	0,08
	65945000	2,70	7,70	34,50	0,37	0,06
	65135000	6,90	17,10	43,60	0,22	0,04
	65990550	4,30	11,90	45,80	0,40	0,06
	65180000	4,30	11,20	33,80	0,22	0,05
	65094500	4,00	10,00	38,80	0,49	0,06
	65979000	3,20	8,10	34,80	0,55	0,06
	65925000	5,10	15,80	52,60	0,53	0,07
	65025000	6,70	19,90	52,60	0,10	0,03
	65100000	4,00	9,40	35,10	0,15	0,04
65060000	5,20	14,70	47,20	0,19	0,03	
65960000	3,20	9,90	37,70	0,42	0,07	
65220000	5,20	14,10	45,40	0,16	0,03	
65310000	5,20	14,00	44,10	0,19	0,07	
65993000	3,90	11,30	39,30	0,48	0,07	
Ivai	64682000	4,80	17,60	69,00	0,52	0,08
	64620000	4,30	9,20	33,40	0,20	0,06
	64673000	7,00	17,10	59,70	0,53	0,09
	64652000	2,60	7,40	30,40	0,30	0,04
	64625000	3,60	9,00	30,20	0,37	0,05
	64645000	3,20	8,20	28,80	0,42	0,04
	64655000	2,90	7,60	27,20	0,41	0,04
	64660500	2,80	7,30	27,40	0,39	0,05
	64675002	3,20	8,70	31,90	0,37	0,06
64685000	3,80	11,10	39,10	0,34	0,09	
64693000	4,60	13,50	45,60	0,31	0,12	
Piquiri	64773000	1,50	4,20	15,60	0,48	0,07
	64785000	4,80	16,70	57,00	0,51	0,07
	64764000	2,50	7,40	33,90	0,52	0,06
	64810000	3,60	14,40	65,80	0,38	0,09
	64775000	2,40	6,50	22,90	0,38	0,05
	64815000	3,60	14,10	65,60	0,37	0,07
	64767000	2,60	6,00	21,60	0,48	0,04
	64771500	2,60	5,80	20,80	0,47	0,04
	64795000	3,30	8,10	30,10	0,40	0,06
	64799500	3,50	8,70	32,20	0,39	0,06
64820000	4,50	11,80	43,20	0,34	0,08	
64830000	5,10	13,50	48,20	0,33	0,10	
Tibagi	64442800	4,00	11,70	44,50	0,26	0,03
	64477600	7,10	19,50	54,90	0,14	0,04
	64465000	4,00	11,90	44,40	0,32	0,05
	64501000	4,30	11,40	39,20	0,48	0,11
64507000	4,10	11,10	39,00	0,48	0,11	

QUADRO I.4 – CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS À REDE DE DRENAGEM

BH	Código da estação	Densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> )	Coefficiente de manutenção (m)	Sinuosidade do rio principal
Iguaçu	65020995	0,34	29325,50	1,03
	65021000	0,42	23980,80	1,09
	65021770	0,44	22935,80	1,11
	65011400	0,46	21598,30	1,21
	65365000	0,47	21231,40	1,21
	65010000	0,42	23696,70	1,24
	65024000	0,44	22935,80	1,08
	65027000	0,42	23753,00	1,12
	65015400	0,49	20284,00	1,18
	65948000	0,49	20449,90	1,41
	65809000	0,47	21276,60	1,37
	65945000	0,52	19342,40	1,98
	65135000	0,46	21929,80	1,31
	65990550	0,52	19267,80	1,62
	65180000	0,49	20242,90	1,23
	65094500	0,49	20491,80	1,41
	65979000	0,48	20661,20	2,17
	65925000	0,47	21231,40	1,59
	65025000	0,47	21097,00	1,08
	65100000	0,48	20661,20	1,46
	65060000	0,48	20964,40	1,19
	65960000	0,51	19646,40	1,91
	65220000	0,48	20790,00	1,20
65310000	0,48	20746,90	1,29	
65993000	0,49	20325,20	1,50	
Ivaí	64682000	0,41	24271,80	1,17
	64620000	0,50	19920,30	1,33
	64673000	0,49	20408,20	1,66
	64652000	0,51	19607,80	1,86
	64625000	0,49	20533,90	1,54
	64645000	0,49	20325,20	1,64
	64655000	0,50	20120,70	1,67
	64660500	0,51	19802,00	1,69
	64675002	0,50	19920,30	1,70
	64685000	0,49	20366,60	1,61
64693000	0,48	20876,80	1,61	
Piquiri	64773000	0,51	19685,00	1,81
	64785000	0,49	20449,90	1,90
	64764000	0,52	19305,00	2,12
	64810000	0,42	23640,70	1,40
	64775000	0,51	19455,30	1,88
	64815000	0,42	23866,30	1,34
	64767000	0,54	18622,00	2,17
	64771500	0,54	18656,70	2,17
	64795000	0,51	19531,30	2,16
	64799500	0,51	19685,00	2,11
	64820000	0,49	20618,60	1,99
64830000	0,48	20833,30	1,89	
Tibagi	64442800	0,48	20876,80	1,33
	64477600	0,48	20964,40	1,12
	64465000	0,48	20833,30	1,25
	64501000	0,49	20618,60	1,33
	64507000	0,49	20491,80	1,36



QUADRO I.5 – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS SELECIONADAS

Tipo	Variável <sup>a</sup>	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação	Assimetria
Escala	<i>A</i>	12,02	67127,13	7637,84	12079,25	1,57	2,81
	<i>C</i>	5,11	550,40	111,75	105,49	0,94	1,83
	<i>P</i>	26,09	2828,30	584,56	561,55	0,95	1,68
	<i>Crp</i>	4,10	1012,02	213,77	212,28	0,98	1,50
	<i>Ct</i>	4,10	33019,30	3743,41	5917,77	1,57	2,82
	<i>Hm</i>	127,00	1397,00	649,38	304,29	0,46	0,14
Forma	<i>Cr</i>	0,79	2,36	1,67	0,30	0,18	-0,02
	<i>Ta</i>	0,48	1,43	0,70	0,15	0,21	2,32
	<i>IC</i>	0,11	0,27	0,19	0,04	0,23	0,15
	<i>Kc</i>	1,91	3,08	2,35	0,29	0,12	0,59
	<i>F</i>	0,16	0,57	0,31	0,10	0,32	0,67
Topografia	<i>Rr</i>	505,19	4846,90	1556,95	1026,00	0,65	1,64
	<i>lr</i>	5558,30	68732,40	31745,37	15701,70	0,49	0,09
	<i>l</i>	7,23	21,10	13,02	3,47	0,26	0,30
	<i>lmáx</i>	44,99	282,24	149,66	79,48	0,53	0,48
	<i>lrp</i>	0,25	1,53	0,83	0,33	0,39	0,38
	<i>lrp máx</i>	7,13	73,64	28,60	17,04	0,59	1,24
	<i>l&lt;1°</i>	1,50	7,10	4,11	1,30	0,31	0,59
	<i>l&lt;2°</i>	4,20	19,90	11,24	3,88	0,34	0,43
	<i>l&lt;5°</i>	15,60	69,00	39,50	12,16	0,30	0,46
	<i>HI</i>	0,10	0,55	0,36	0,12	0,34	-0,52
	<i>Rd</i>	0,03	0,12	0,07	0,02	0,36	0,55
Rede de drenagem	<i>Dd</i>	0,34	0,54	0,48	0,04	0,07	-1,47
	<i>Cm</i>	18622,00	29325,50	21002,90	1801,37	0,08	2,29
	<i>Srp</i>	1,03	2,17	1,52	0,35	0,22	0,49

<sup>a</sup> variáveis conforme definidas na TABELA 3;

QUADRO I.6 – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DA BH IGUAÇU

<b>Tipo</b>	<b>Variável<sup>a</sup></b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Coefficiente de variação</b>	<b>Assimetria</b>
Escala	<i>A</i>	12,02	67127,13	5452,51	14140,67	2,54	3,86
	<i>C</i>	5,11	550,40	78,67	115,48	1,44	3,18
	<i>P</i>	26,09	2828,30	437,24	646,20	1,45	2,63
	<i>Crp</i>	4,10	1012,02	132,05	210,45	1,56	3,36
	<i>Ct</i>	4,10	33019,30	2659,34	6936,96	2,56	3,89
	<i>Hm</i>	127,00	1397,00	498,76	290,68	0,57	1,23
Forma	<i>Cr</i>	0,79	2,36	1,70	0,38	0,22	-0,11
	<i>Ta</i>	0,48	1,43	0,70	0,20	0,27	2,12
	<i>IC</i>	0,11	0,27	0,19	0,06	0,29	0,03
	<i>Kc</i>	1,91	3,08	2,37	0,37	0,15	0,46
	<i>F</i>	0,16	0,53	0,32	0,11	0,33	0,17
Topografia	<i>Rr</i>	505,19	4846,90	2044,48	1235,92	0,59	0,94
	<i>Ir</i>	5558,30	68732,40	23909,44	14743,58	0,60	1,18
	<i>I</i>	7,54	18,39	12,22	2,60	0,21	0,64
	<i>Imáx</i>	53,47	225,86	111,71	55,38	0,49	1,35
	<i>Irp</i>	0,25	1,49	0,79	0,33	0,41	0,51
	<i>Irp máx</i>	7,13	61,76	21,88	11,43	0,51	2,13
	<i>I&lt;1°</i>	2,30	6,90	4,46	1,28	0,28	0,30
	<i>I&lt;2°</i>	5,50	19,90	11,84	3,78	0,31	0,39
	<i>I&lt;5°</i>	22,00	59,00	39,68	9,00	0,22	-0,05
	<i>HI</i>	0,10	0,55	0,33	0,14	0,42	-0,15
	<i>Rd</i>	0,03	0,12	0,06	0,02	0,34	0,56
Rede de drenagem	<i>Dd</i>	0,34	0,52	0,47	0,04	0,08	-1,58
	<i>Cm</i>	19267,80	29325,50	21554,65	2084,58	0,09	2,34
	<i>Srp</i>	1,03	2,17	1,36	0,30	0,21	1,40

<sup>a</sup> variáveis conforme definidas na TABELA 3;

QUADRO I.7 – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DA BH PIQUIRI

<b>Tipo</b>	<b>Variável<sup>a</sup></b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Coefficiente de variação</b>	<b>Assimetria</b>
Escala	<i>A</i>	757,34	20968,90	6696,09	6946,73	0,99	1,17
	<i>C</i>	42,71	241,66	121,56	62,54	0,49	0,71
	<i>P</i>	186,18	1154,08	579,93	319,92	0,53	0,77
	<i>Crp</i>	78,53	589,98	290,30	179,84	0,59	0,49
	<i>Ct</i>	384,70	10063,34	3305,49	3384,16	0,98	1,09
	<i>Hm</i>	441,00	1003,00	782,33	200,14	0,24	-0,67
Forma	<i>Cr</i>	1,53	1,90	1,71	0,13	0,07	0,30
	<i>Ta</i>	0,59	0,74	0,66	0,05	0,07	-0,13
	<i>IC</i>	0,13	0,27	0,20	0,03	0,16	0,26
	<i>Kc</i>	1,91	2,74	2,26	0,20	0,08	0,98
	<i>F</i>	0,18	0,40	0,26	0,06	0,23	1,45
Topografia	<i>Rr</i>	692,65	2696,24	1300,64	587,01	0,43	1,27
	<i>Ir</i>	18654,30	48844,80	39100,63	11327,87	0,28	-0,97
	<i>I</i>	7,47	21,10	14,53	4,65	0,31	-0,40
	<i>Imáx</i>	47,90	192,80	144,58	59,09	0,39	-0,78
	<i>Irp</i>	0,56	1,44	0,92	0,25	0,26	0,60
	<i>Irp máx</i>	13,96	30,46	23,05	5,94	0,25	-0,54
	<i>I&lt;1°</i>	1,50	5,10	3,33	1,08	0,31	0,17
	<i>I&lt;2°</i>	4,20	16,70	9,77	4,13	0,40	0,36
	<i>I&lt;5°</i>	15,60	65,80	38,08	17,67	0,44	0,49
	<i>HI</i>	0,33	0,52	0,42	0,07	0,15	0,19
	<i>Rd</i>	0,04	0,10	0,07	0,02	0,26	0,30
Rede de drenagem	<i>Dd</i>	0,42	0,54	0,49	0,04	0,07	-1,15
	<i>Cm</i>	18622,00	23866,30	20362,43	1726,99	0,08	1,38
	<i>Srp</i>	1,34	2,17	1,91	0,28	0,14	-1,22

<sup>a</sup> variáveis conforme definidas na TABELA 3;

QUADRO I.8– ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DA BH IVAÍ

<b>Tipo</b>	<b>Variável<sup>a</sup></b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Coefficiente de variação</b>	<b>Assimetria</b>
Escala	<i>A</i>	818,01	34389,21	12342,13	12166,44	0,94	0,71
	<i>C</i>	41,43	356,30	161,67	106,22	0,63	0,64
	<i>P</i>	239,22	1718,84	808,89	520,54	0,61	0,49
	<i>Crp</i>	57,95	679,15	303,22	213,18	0,67	0,48
	<i>Ct</i>	336,91	16482,55	6076,77	5942,30	0,93	0,65
	<i>Hm</i>	340,00	1107,00	853,27	259,75	0,29	-1,00
Forma	<i>Cr</i>	1,27	1,92	1,66	0,20	0,11	-0,40
	<i>Ta</i>	0,59	0,89	0,69	0,09	0,12	0,97
	<i>IC</i>	0,15	0,23	0,19	0,03	0,14	0,02
	<i>Kc</i>	2,07	2,62	2,34	0,17	0,07	0,42
	<i>F</i>	0,20	0,57	0,31	0,10	0,30	2,07
Topografia	<i>Rr</i>	596,95	1748,82	1099,06	429,19	0,37	0,38
	<i>Ir</i>	14008,00	53666,30	42005,94	13398,96	0,30	-1,14
	<i>I</i>	7,23	19,47	14,22	3,61	0,24	-0,83
	<i>Imáx</i>	44,99	280,54	225,70	88,00	0,37	-1,45
	<i>Irp</i>	0,59	1,53	0,86	0,29	0,31	1,47
	<i>Irp máx</i>	20,08	56,02	45,32	15,35	0,32	-0,89
	<i>I&lt;1°</i>	2,60	7,00	3,89	1,27	0,31	1,57
	<i>I&lt;2°</i>	7,30	17,60	10,61	3,79	0,34	1,15
	<i>I&lt;5°</i>	27,20	69,00	38,43	14,07	0,35	1,47
	<i>HI</i>	0,20	0,53	0,38	0,09	0,24	0,03
	<i>Rd</i>	0,04	0,12	0,06	0,03	0,39	0,86
Rede de drenagem	<i>Dd</i>	0,41	0,51	0,49	0,03	0,05	-2,67
	<i>Cm</i>	19607,80	24271,80	20559,42	1284,01	0,06	2,84
	<i>Srp</i>	1,17	1,86	1,59	0,19	0,11	-1,23

<sup>a</sup> variáveis conforme definidas na TABELA 3;

QUADRO I.9 – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DA BH TIBAGI

<b>Tipo</b>	<b>Variável<sup>a</sup></b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Coefficiente de variação</b>	<b>Assimetria</b>
Escala	<i>A</i>	1341,66	21917,36	10475,28	9532,21	0,81	0,28
	<i>C</i>	47,84	270,50	143,72	102,19	0,64	0,34
	<i>P</i>	296,76	1455,72	838,75	529,38	0,56	0,13
	<i>Crp</i>	68,10	475,44	241,88	187,68	0,69	0,38
	<i>Ct</i>	642,28	10696,43	5081,37	4650,75	0,82	0,30
	<i>Hm</i>	292,00	1022,00	634,80	329,41	0,46	0,35
Forma	<i>Cr</i>	1,20	1,83	1,47	0,27	0,16	0,66
	<i>Ta</i>	0,62	0,94	0,79	0,13	0,15	-0,41
	<i>IC</i>	0,13	0,19	0,16	0,02	0,14	-0,04
	<i>Kc</i>	2,29	2,77	2,52	0,20	0,07	0,34
	<i>F</i>	0,24	0,47	0,38	0,10	0,24	-0,62
Topografia	<i>Rr</i>	568,85	964,36	741,82	148,34	0,18	0,73
	<i>Ir</i>	13986,80	49873,60	30699,14	16191,52	0,47	0,36
	<i>I</i>	8,52	12,53	10,76	1,75	0,15	-0,08
	<i>Imáx</i>	92,89	282,24	184,33	90,91	0,44	0,45
	<i>Irp</i>	0,30	1,38	0,76	0,55	0,65	0,55
	<i>Irp máx</i>	9,47	73,64	38,73	32,11	0,74	0,54
	<i>I&lt;1°</i>	4,00	7,10	4,70	1,35	0,26	2,19
	<i>I&lt;2°</i>	11,10	19,50	13,12	3,58	0,24	2,20
	<i>I&lt;5°</i>	39,00	54,90	44,40	6,45	0,13	1,33
	<i>HI</i>	0,14	0,48	0,34	0,15	0,40	-0,27
	<i>Rd</i>	0,03	0,11	0,07	0,04	0,53	0,54
Rede de	<i>Dd</i>	0,48	0,49	0,48	0,00	0,01	0,59
	<i>Cm</i>	20491,80	20964,40	20756,98	195,37	0,01	-0,57
	<i>Srp</i>	1,12	1,36	1,28	0,10	0,07	-1,42













QUADRO I.15 – ESCORES FATORIAIS E ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DO CONJUNTO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

<b>Código</b>	<b>EF1</b>	<b>EF2</b>	<b>EF3</b>	<b>EF4</b>	<b>EF5</b>
64442800	-0,782	0,242	1,306	0,281	1,331
64465000	-0,014	0,307	1,176	0,422	0,883
64477600	-0,151	1,974	1,594	0,164	1,141
64501000	1,892	0,236	0,290	0,562	-1,509
64507000	1,971	0,174	-0,252	0,492	-1,634
64620000	0,025	-0,138	2,139	0,093	0,020
64625000	1,064	-0,751	0,585	0,416	0,848
64645000	1,253	-0,886	0,029	0,307	1,410
64652000	0,087	-1,378	-0,145	-0,661	1,112
64655000	1,367	-1,036	-0,088	0,245	1,345
64660500	1,530	-0,911	0,367	-0,019	0,551
64673000	-0,429	1,878	-0,151	-0,976	-0,844
64675002	1,616	-0,520	0,225	-0,128	0,008
64682000	-0,755	1,103	-0,873	1,123	-0,263
64685000	1,771	0,028	-0,356	-0,011	-0,894
64693000	1,882	0,692	-0,588	-0,136	-2,274
64764000	-0,856	-0,909	-0,467	-1,518	0,064
64767000	-0,269	-1,243	-0,629	-1,651	0,711
64771500	-0,225	-1,335	-1,121	-1,570	0,935
64773000	-0,542	-2,134	0,701	-0,604	-0,777
64775000	-0,399	-1,424	-0,944	-0,888	0,367
64785000	-0,979	1,273	-0,408	-1,439	-0,456
64795000	0,058	-0,572	-0,181	-1,540	-0,038
64799500	0,122	-0,402	-0,176	-1,472	-0,252
64810000	-0,932	0,661	0,175	0,515	-0,690
64815000	-0,849	0,482	-1,001	0,853	-0,007
64820000	0,433	0,461	0,093	-1,224	-1,076
64830000	0,571	0,915	-0,228	-1,131	-1,638
65010000	-0,579	0,662	-1,936	1,291	1,228
65011400	-0,985	1,777	-0,238	0,008	-1,910
65015400	-0,429	1,065	0,817	-0,045	0,450
65020995	-0,875	-1,738	0,742	3,073	-1,179
65021000	-0,994	-1,435	1,026	1,717	-1,632
65021770	-1,039	-0,223	-1,074	1,239	-1,017
65024000	-0,809	-0,388	-2,181	1,617	0,063
65025000	-0,139	1,873	1,504	0,157	1,465
65027000	-0,920	0,022	-1,170	1,564	0,984
65060000	-0,085	0,628	-1,933	0,671	1,889
65094500	-0,584	-0,037	0,188	0,165	0,036
65100000	0,014	0,052	1,835	-0,233	0,840
65135000	-0,363	1,345	0,552	0,259	0,826
65180000	0,539	-0,550	-0,768	0,806	0,961
65220000	0,903	0,889	1,494	0,463	1,392
65310000	1,033	0,916	0,737	0,239	-0,066
65365000	-0,784	-1,719	1,715	0,851	-1,160
65809000	-0,873	0,174	0,127	0,075	-0,842
65925000	-0,692	0,967	-1,385	-0,377	0,046
65945000	-0,957	-0,479	0,369	-1,378	-0,153
65948000	-0,843	-0,494	0,230	0,070	-0,303
65960000	-0,147	-0,189	-1,097	-1,096	-0,117
65979000	-0,979	-0,568	0,821	-1,238	-0,268
65990550	-0,850	0,354	-0,072	-1,015	-0,085
65993000	2,977	0,310	-1,373	0,612	0,178
<b>Estatísticas Descritivas</b>	<b>EF1</b>	<b>EF2</b>	<b>EF3</b>	<b>EF4</b>	<b>EF5</b>
Mínimo	-1,039	-2,134	-2,181	-1,651	-2,274
Máximo	2,977	1,974	2,139	3,073	1,889
Média	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Desvio Padrão	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Assimetria	1,090	0,012	0,003	0,332	-0,260

QUADRO I.16 – ESCORES FATORIAIS E ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DA BH IGUAÇU

<b>Código</b>	<b>EF1</b>	<b>EF2</b>	<b>EF3</b>	<b>EF4</b>	<b>EF5</b>
65010000	-0,579	0,662	-1,936	1,291	1,228
65011400	-0,985	1,777	-0,238	0,008	-1,910
65015400	-0,429	1,065	0,817	-0,045	0,450
65020995	-0,875	-1,738	0,742	3,073	-1,179
65021000	-0,994	-1,435	1,026	1,717	-1,632
65021770	-1,039	-0,223	-1,074	1,239	-1,017
65024000	-0,809	-0,388	-2,181	1,617	0,063
65025000	-0,139	1,873	1,504	0,157	1,465
65027000	-0,920	0,022	-1,170	1,564	0,984
65060000	-0,085	0,628	-1,933	0,671	1,889
65094500	-0,584	-0,037	0,188	0,165	0,036
65100000	0,014	0,052	1,835	-0,233	0,840
65135000	-0,363	1,345	0,552	0,259	0,826
65180000	0,539	-0,550	-0,768	0,806	0,961
65220000	0,903	0,889	1,494	0,463	1,392
65310000	1,033	0,916	0,737	0,239	-0,066
65365000	-0,784	-1,719	1,715	0,851	-1,160
65809000	-0,873	0,174	0,127	0,075	-0,842
65925000	-0,692	0,967	-1,385	-0,377	0,046
65945000	-0,957	-0,479	0,369	-1,378	-0,153
65948000	-0,843	-0,494	0,230	0,070	-0,303
65960000	-0,147	-0,189	-1,097	-1,096	-0,117
65979000	-0,979	-0,568	0,821	-1,238	-0,268
65990550	-0,850	0,354	-0,072	-1,015	-0,085
65993000	2,977	0,310	-1,373	0,612	0,178
<b>Estatísticas Descritivas</b>	<b>EF1</b>	<b>EF2</b>	<b>EF3</b>	<b>EF4</b>	<b>EF5</b>
Mínimo	-1,039	-1,738	-2,181	-1,378	-1,910
Máximo	2,977	1,873	1,835	3,073	1,889
Média	-0,338	0,129	-0,043	0,380	0,065
Desvio Padrão	0,906	0,962	1,211	1,031	0,991
Coeficiente de variação	-2,622	7,331	-27,752	2,660	14,925
Assimetria	2,394	-0,191	-0,230	0,439	-0,154

QUADRO I.17 – ESCORES FATORIAIS E ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DA BH PIQUIRI

<b>Código</b>	<b>EF1</b>	<b>EF2</b>	<b>EF3</b>	<b>EF4</b>	<b>EF5</b>
64764000	-0,856	-0,909	-0,467	-1,518	0,064
64767000	-0,269	-1,243	-0,629	-1,651	0,711
64771500	-0,225	-1,335	-1,121	-1,570	0,935
64773000	-0,542	-2,134	0,701	-0,604	-0,777
64775000	-0,399	-1,424	-0,944	-0,888	0,367
64785000	-0,979	1,273	-0,408	-1,439	-0,456
64795000	0,058	-0,572	-0,181	-1,540	-0,038
64799500	0,122	-0,402	-0,176	-1,472	-0,252
64810000	-0,932	0,661	0,175	0,515	-0,690
64815000	-0,849	0,482	-1,001	0,853	-0,007
64820000	0,433	0,461	0,093	-1,224	-1,076
64830000	0,571	0,915	-0,228	-1,131	-1,638
<b>Estatísticas Descritivas</b>	<b>EF1</b>	<b>EF2</b>	<b>EF3</b>	<b>EF4</b>	<b>EF5</b>
Mínimo	-0,979	-2,134	-1,121	-1,651	-1,638
Máximo	0,571	1,273	0,701	0,853	0,935
Média	-0,322	-0,352	-0,349	-0,972	-0,238
Desvio Padrão	0,535	1,090	0,532	0,836	0,740
Coeficiente de variação	-1,587	-2,962	-1,460	-0,823	-2,978
Assimetria	0,334	-0,020	0,309	1,553	-0,229

QUADRO I.18 – ESCORES FATORIAIS E ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DA BH IVAÍ

Código	EF1	EF2	EF3	EF4	EF5
64620000	0,025	-0,138	2,139	0,093	0,020
64625000	1,064	-0,751	0,585	0,416	0,848
64645000	1,253	-0,886	0,029	0,307	1,410
64652000	0,087	-1,378	-0,145	-0,661	1,112
64655000	1,367	-1,036	-0,088	0,245	1,345
64660500	1,530	-0,911	0,367	-0,019	0,551
64673000	-0,429	1,878	-0,151	-0,976	-0,844
64675002	1,616	-0,520	0,225	-0,128	0,008
64682000	-0,755	1,103	-0,873	1,123	-0,263
64685000	1,771	0,028	-0,356	-0,011	-0,894
64693000	1,882	0,692	-0,588	-0,136	-2,274
<b>Estatísticas Descritivas</b>	<b>EF1</b>	<b>EF2</b>	<b>EF3</b>	<b>EF4</b>	<b>EF5</b>
Mínimo	-0,755	-1,378	-0,873	-0,976	-2,274
Máximo	1,882	1,878	2,139	1,123	1,410
Média	0,856	-0,175	0,104	0,023	0,093
Desvio Padrão	0,944	1,016	0,792	0,549	1,128
Coefficiente de variação	1,052	-5,550	7,264	22,740	11,620
Assimetria	-0,657	0,934	1,762	0,077	-0,788

QUADRO I.19 – ESCORES FATORIAIS E ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DA BH TIBAGI

Código	EF1	EF2	EF3	EF4	EF5
64442800	-0,782	0,242	1,306	0,281	1,331
64465000	-0,014	0,307	1,176	0,422	0,883
64477600	-0,151	1,974	1,594	0,164	1,141
64501000	1,892	0,236	0,290	0,562	-1,509
64507000	1,971	0,174	-0,252	0,492	-1,634
<b>Estatísticas Descritivas</b>	<b>EF1</b>	<b>EF2</b>	<b>EF3</b>	<b>EF4</b>	<b>EF5</b>
Mínimo	-0,782	0,174	-0,252	0,164	-1,634
Máximo	1,971	1,974	1,594	0,562	1,331
Média	0,583	0,587	0,823	0,384	0,042
Desvio Padrão	1,265	0,777	0,773	0,161	1,482
Coefficiente de variação	1,939	1,184	0,841	0,376	31,310
Assimetria	0,363	2,216	-0,700	-0,483	-0,561

## APÊNDICE II – DADOS HIDROLÓGICOS

QUADRO II.1 – CURVAS DE DESCARGAS DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS DO ESTUDO

Código da estação	Período de validade		Coeficientes da equação da curva de descarga			Intervalo de Cotas (cm)	
			a	h <sub>0</sub>	n	Mínimo	Máximo
64442800	01/01/1985	29/01/2005	6,4945	0,17	1,386	50	591
64442800	01/01/1985	29/01/2005	4,1601	0,99	1,8	591	900
64442800	30/01/2005	31/12/2014	5,8787	0,03	1,585	70	900
64465000	01/01/1985	31/12/2014	165,16	0,09	1,57	10	116
64465000	01/01/1985	31/12/2014	145,2381	-0,1	1	116	166
64465000	01/01/1985	31/12/2014	74,4116	-0,55	1,557	166	650
64477600	01/01/1985	25/05/1987	64,5884	0,68	1,611	70	158
64477600	01/01/1985	25/05/1987	25,9579	0,08	1,823	158	500
64477600	26/05/1987	31/12/2014	25,9579	0,08	1,823	30	500
64501000	01/01/1985	16/03/1992	167,0635	0,63	1,19	100	200
64501000	01/01/1985	16/03/1992	138,1589	0,53	1,466	200	730
64501000	01/01/1985	16/03/1992	106,5292	0,44	1,591	730	1000
64501000	17/03/1992	24/01/1996	106,5292	0,44	1,591	120	900
64501000	25/01/1996	07/10/2005	117,838	0,48	1,584	110	364
64501000	25/01/1996	07/10/2005	138,1589	0,53	1,466	364	730
64501000	25/01/1996	07/10/2005	106,5292	0,44	1,591	730	1000
64501000	08/10/2005	31/12/2014	116,7727	0,45	1,6	90	289
64501000	08/10/2005	31/12/2014	138,1589	0,53	1,466	289	730
64501000	08/10/2005	31/12/2014	106,5292	0,44	1,591	730	1150
64507000	01/01/1985	26/03/1987	362,9052	0,98	1,647	120	201
64507000	01/01/1985	26/03/1987	450,0000	1,14	1,200	201	209
64507000	01/01/1985	26/03/1987	261,8215	0,74	1,600	209	524
64507000	01/01/1985	26/03/1987	0,0044	-7,21	5,314	524	750
64507000	27/03/1987	31/12/2014	362,9052	0,98	1,647	120	134
64507000	27/03/1987	31/12/2014	279,9805	0,93	1,599	134	381
64507000	27/03/1987	31/12/2014	0,0044	-7,21	5,314	381	750
64620000	01/01/1985	31/10/2000	5,4	0,6	1,797	100	109
64620000	01/01/1985	31/10/2000	61,918	0,95	1,907	109	197
64620000	01/01/1985	31/10/2000	25,5	0,5	2,4	197	450
64620000	01/11/2000	01/08/2012	6,4	0,02	3,2	50	106
64620000	01/11/2000	01/08/2012	57	0,51	3,436	106	182
64620000	01/11/2000	01/08/2012	25,5	-0,24	2,4	182	350
64620000	02/08/2012	31/12/2014	10,2	0,03	2,5	70	94
64620000	02/08/2012	31/12/2014	9,6	-0,02	4,2	94	152
64620000	02/08/2012	31/12/2014	57	0,51	3,436	152	182
64620000	02/08/2012	31/12/2014	25,5	-0,24	2,4	182	400
64625000	01/01/1985	18/05/2002	45,5121	0,69	1,662	90	161
64625000	01/01/1985	18/05/2002	44	0,67	1,58	161	1150
64625000	19/05/2002	07/12/2006	48,3	0,8	1,55	90	180
64625000	19/05/2002	07/12/2006	44	0,74	1,53	180	257
64625000	19/05/2002	07/12/2006	44	0,78	1,59	257	900
64625000	08/12/2006	31/12/2014	45,5121	0,69	1,662	100	161
64625000	08/12/2006	31/12/2014	44	0,67	1,62	161	591
64625000	08/12/2006	31/12/2014	44	0,33	1,56	591	1300
64645000	01/01/1985	31/12/2014	6,2126	-1,54	3,672	-25	16
64645000	01/01/1985	31/12/2014	170,842	-0,15	1,153	16	245
64645000	01/01/1985	31/12/2014	45,371	-1,72	1,7	245	1200
64652000	01/01/1985	26/10/1988	50	1,11	1,397	120	136
64652000	01/01/1985	26/10/1988	215,8577	1,22	1,711	136	143
64652000	01/01/1985	26/10/1988	184,5	1,08	2,4	143	162
64652000	01/01/1985	26/10/1988	162	1,23	1,435	162	650
64652000	27/10/1988	03/12/1989	5,7	-0,05	1,918	120	134
64652000	27/10/1988	03/12/1989	107,5	1,13	1,47	134	136
64652000	27/10/1988	03/12/1989	163,5148	1,16	1,6	136	181
64652000	27/10/1988	03/12/1989	162	1,19	1,425	181	400
64652000	04/12/1989	02/07/1994	51	1,12	1,397	120	135
64652000	04/12/1989	02/07/1994	183,5	1,16	2	135	168
64652000	04/12/1989	02/07/1994	162	1,24	1,437	168	500
64652000	03/07/1994	17/09/1999	50	1,15	1,397	120	136
64652000	03/07/1994	17/09/1999	215,8577	1,24	1,711	136	143
64652000	03/07/1994	17/09/1999	184,5	1,17	2	143	169
64652000	03/07/1994	17/09/1999	162	1,25	1,438	169	600
64652000	18/09/1999	23/03/2000	5,7	-0,05	1,918	120	132
64652000	18/09/1999	23/03/2000	163,5148	1,2	1,3	132	165
64652000	18/09/1999	23/03/2000	95	0,89	1,818	165	180
64652000	18/09/1999	23/03/2000	162	1,19	1,425	180	400
64652000	24/03/2000	13/04/2006	51	1,12	1,397	120	137
64652000	24/03/2000	13/04/2006	184,5	1,17	2	137	169
64652000	24/03/2000	13/04/2006	162	1,25	1,438	169	650
64652000	14/04/2006	19/01/2008	5,65	-0,05	1,918	120	134
64652000	14/04/2006	19/01/2008	105	1,13	1,47	134	141
64652000	14/04/2006	19/01/2008	162	1,21	1,43	141	400
64652000	20/01/2008	31/12/2014	50	1,14	1,397	120	134
64652000	20/01/2008	31/12/2014	184,5	1,17	2	134	169
64652000	20/01/2008	31/12/2014	162	1,25	1,438	169	850
64655000	01/01/1985	23/07/1990	175	0,21	1,83	50	414
64655000	01/01/1985	23/07/1990	0,0006	-7,46	6,156	414	502
64655000	01/01/1985	23/07/1990	0,0006	-10,25	5,7	502	900
64655000	24/07/1990	31/12/2014	192	0,32	1,83	50	224
64655000	24/07/1990	31/12/2014	175	0,22	1,83	224	406

Código da estação	Período de validade		Coeficientes da equação da curva de descarga			Intervalo de Cotas (cm)	
			a	h <sub>0</sub>	n	Mínimo	Máximo
64655000	24/07/1990	31/12/2014	0,0006	-7,46	6,156	406	502
64655000	24/07/1990	31/12/2014	0,0006	-10,25	5,7	502	900
64660500	01/08/1985	11/12/1986	273,8797	0,08	1,65	30	225
64660500	01/08/1985	11/12/1986	257,5337	-0,06	1,6	225	900
64660500	12/12/1986	07/02/1988	302,7326	0,09	1,603	50	200
64660500	12/12/1986	07/02/1988	302,7326	0,06	1,565	200	246
64660500	12/12/1986	07/02/1988	709,2019	0,78	1	246	328
64660500	12/12/1986	07/02/1988	257,5337	-0,06	1,6	328	900
64660500	08/02/1988	23/01/1997	273,8797	0,08	1,65	30	225
64660500	08/02/1988	23/01/1997	257,5337	-0,06	1,6	225	900
64660500	24/01/1997	21/02/1999	302,7326	0,09	1,603	50	200
64660500	24/01/1997	21/02/1999	302,7326	0,06	1,565	200	246
64660500	24/01/1997	21/02/1999	709,2019	0,78	1	246	328
64660500	24/01/1997	21/02/1999	257,5337	-0,06	1,6	328	900
64660500	22/02/1999	26/07/2005	273,8797	0,08	1,65	30	225
64660500	22/02/1999	26/07/2005	257,5337	-0,06	1,6	225	900
64660500	27/07/2005	31/12/2014	302,7326	0,09	1,603	30	200
64660500	27/07/2005	31/12/2014	302,7326	0,06	1,565	200	246
64660500	27/07/2005	31/12/2014	709,2019	0,78	1	246	328
64660500	27/07/2005	31/12/2014	257,5337	-0,06	1,6	328	900
64673000	01/01/1985	31/12/2014	21,6	1	1,5	130	143
64673000	01/01/1985	31/12/2014	142	1,29	1,6	143	187
64673000	01/01/1985	31/12/2014	120,22	1,32	1,18	187	550
64675002	01/02/1984	24/08/1987	340	-0,04	1,559	20	56
64675002	01/02/1984	24/08/1987	486,0143	0,13	1,36	56	146
64675002	01/02/1984	24/08/1987	264,2974	-0,39	1,62	146	1000
64675002	25/08/1987	16/01/1989	377,8085	-0,06	1,455	10	66
64675002	25/08/1987	16/01/1989	425,3591	0,01	1,385	66	155
64675002	25/08/1987	16/01/1989	264,2974	-0,39	1,62	155	1000
64675002	17/01/1989	31/12/2014	340	-0,04	1,559	20	56
64675002	17/01/1989	31/12/2014	486,0143	0,13	1,36	56	146
64675002	17/01/1989	31/12/2014	264,2974	-0,39	1,62	146	1000
64682000	01/01/1985	29/04/1989	37,89	0,27	1,018	40	79
64682000	01/01/1985	29/04/1989	29,85	0,14	1	79	81
64682000	01/01/1985	29/04/1989	33,3877	0,21	1	81	300
64682000	30/04/1989	18/05/2002	1,0308	-1,17	4,468	40	69
64682000	30/04/1989	18/05/2002	29,85	0,14	1	69	81
64682000	30/04/1989	18/05/2002	33,3877	0,21	1	81	300
64682000	19/05/2002	31/12/2014	26,9557	0,05	1,053	30	84
64682000	19/05/2002	31/12/2014	33,3877	0,21	1	84	300
64685000	01/01/1985	31/12/2014	299	0,1	1,13	30	1003
64685000	01/01/1985	31/12/2014	34,3	0,38	2,1	1003	2300
64693000	18/12/1984	31/12/2014	135	-0,1	1,95	70	126
64693000	18/12/1984	31/12/2014	127	-0,4	1,3	126	477
64693000	18/12/1984	31/12/2014	114	0,02	1,44	477	890
64693000	18/12/1984	31/12/2014	114	0,76	1,5	890	1500
64764000	01/01/1984	31/12/2014	69	1,48	1,6	160	230
64764000	01/01/1984	31/12/2014	59,7709	1,41	1,498	230	509
64764000	01/01/1984	31/12/2014	100,8301	2,5	1,5	509	1500
64767000	01/01/1985	20/04/1987	9,5527	0,84	1,19	140	148
64767000	01/01/1985	20/04/1987	90,8048	1,26	1,838	148	258
64767000	01/01/1985	20/04/1987	82,0264	1,2	1,9	258	441
64767000	01/01/1985	20/04/1987	82,0264	0,42	1,6	441	700
64767000	21/04/1987	29/01/2002	9,5527	0,83	1,19	130	144
64767000	21/04/1987	29/01/2002	82,0264	1,2	1,9	144	441
64767000	21/04/1987	29/01/2002	82,0264	0,42	1,6	441	900
64767000	30/01/2002	23/09/2009	3,9471	-0,02	3,495	140	171
64767000	30/01/2002	23/09/2009	78,084	1,14	1,9	171	349
64767000	30/01/2002	23/09/2009	82,0264	1,2	1,9	349	441
64767000	30/01/2002	23/09/2009	82,0264	0,42	1,6	441	750
64767000	24/09/2009	31/12/2014	10	0,84	1,19	140	144
64767000	24/09/2009	31/12/2014	82,0264	1,2	1,9	144	441
64767000	24/09/2009	31/12/2014	82,0264	0,42	1,6	441	1400
64771500	01/01/1985	03/11/1985	16	0,1	2,981	70	96
64771500	01/01/1985	03/11/1985	78,1533	0,7	1,505	96	488
64771500	01/01/1985	03/11/1985	78,1514	0,77	1,523	488	900
64771500	04/11/1985	04/12/2000	20,2	0,16	4	80	99
64771500	04/11/1985	04/12/2000	78,1514	0,74	1,502	99	319
64771500	04/11/1985	04/12/2000	78,1514	0,77	1,523	319	1300
64771500	05/12/2000	13/08/2003	16,2	0,16	4	90	102
64771500	05/12/2000	13/08/2003	81,4132	0,78	1,55	102	177
64771500	05/12/2000	13/08/2003	81,3362	0,78	1,486	177	328
64771500	05/12/2000	13/08/2003	78,1514	0,77	1,523	328	850
64771500	14/08/2003	30/05/2007	16	-0,03	2,981	80	150
64771500	14/08/2003	30/05/2007	83,4	0,73	1,468	150	497
64771500	14/08/2003	30/05/2007	78,1514	0,77	1,523	497	950
64771500	31/05/2007	31/12/2014	14	0,16	4	90	102
64771500	31/05/2007	31/12/2014	70,5406	0,83	1,34	102	136
64771500	31/05/2007	31/12/2014	78,6105	0,82	1,551	136	327
64771500	31/05/2007	31/12/2014	78,1514	0,77	1,523	327	2050
64773000	09/08/1984	19/01/1989	43	0,22	2,7	30	59
64773000	09/08/1984	19/01/1989	26,5734	0,32	1,686	59	76
64773000	09/08/1984	19/01/1989	41,1056	0,46	1,512	76	750
64773000	20/01/1989	20/06/2012	24	0,19	2,1	30	62



Código da estação	Período de validade		Coeficientes da equação da curva de descarga			Intervalo de Cotas (cm)	
			a	h <sub>0</sub>	n	Mínimo	Máximo
64773000	20/01/1989	20/06/2012	40,0002	0,4	1,512	62	376
64773000	20/01/1989	20/06/2012	41,1056	0,46	1,512	376	900
64773000	21/06/2012	31/12/2014	60	0,22	3,2	30	46
64773000	21/06/2012	31/12/2014	27,0513	0,36	1,642	46	68
64773000	21/06/2012	31/12/2014	41,1056	0,46	1,512	68	1000
64775000	01/01/1985	01/11/1985	40	0,57	1,6	70	97
64775000	01/01/1985	01/11/1985	68,2497	0,7	1,52	97	215
64775000	01/01/1985	01/11/1985	62,9829	0,63	1,54	215	750
64775000	02/11/1985	10/07/2009	35	0,45	1,6	70	92
64775000	02/11/1985	10/07/2009	68	0,63	1,507	92	800
64775000	11/07/2009	31/12/2014	34	0,5	1,55	80	92
64775000	11/07/2009	31/12/2014	58	0,63	1,52	92	132
64775000	11/07/2009	31/12/2014	68,2497	0,7	1,52	132	215
64775000	11/07/2009	31/12/2014	62,9829	0,63	1,54	215	1150
64785000	01/01/1985	31/12/2014	36,5	-0,12	1,58	10	45
64785000	01/01/1985	31/12/2014	26,542	-0,25	1,6	45	196
64785000	01/01/1985	31/12/2014	19,004	-0,65	1,67	196	800
64795000	01/01/1985	24/02/1986	233,7021	0,19	1,335	30	230
64795000	01/01/1985	24/02/1986	242,7326	0,24	1,327	230	316
64795000	01/01/1985	24/02/1986	242,7326	0,24	1,327	316	1100
64795000	25/02/1986	07/09/1987	190	0,15	1,5	50	47
64795000	25/02/1986	07/09/1987	242,7326	0,24	1,327	47	1100
64795000	08/09/1987	03/03/1988	141	-0,22	1,623	50	205
64795000	08/09/1987	03/03/1988	242,7326	0,24	1,327	205	500
64795000	04/03/1988	04/10/2008	190	0,15	1,5	30	47
64795000	04/03/1988	04/10/2008	242,7326	0,24	1,327	47	1100
64795000	05/10/2008	31/12/2014	269,4812	0,34	1,185	40	70
64795000	05/10/2008	31/12/2014	230	0,24	1,36	70	536
64795000	05/10/2008	31/12/2014	242,7326	0,24	1,327	536	1100
64799500	01/01/1985	22/05/2002	157,4868	0,13	1,638	40	407
64799500	01/01/1985	22/05/2002	441,4286	0,7	1	407	1300
64799500	23/05/2002	13/01/2012	157,4868	0,08	1,63	50	399
64799500	23/05/2002	13/01/2012	441,4286	0,7	1	399	1300
64799500	14/01/2012	31/12/2014	157,4868	0,13	1,638	60	407
64799500	14/01/2012	31/12/2014	441,4286	0,7	1	407	1300
64810000	01/01/1985	05/03/1989	19,7213	-0,26	1,12	50	427
64810000	01/01/1985	05/03/1989	0,2774	-1,5	3,4	427	750
64810000	06/03/1989	20/09/1997	10,3269	-0,6	1,563	70	395
64810000	06/03/1989	20/09/1997	0,2774	-2,02	3,35	395	750
64810000	21/09/1997	31/12/2014	13,3417	-0,33	1,448	90	392
64810000	21/09/1997	31/12/2014	0,2774	-2,02	3,35	392	750
64815000	01/01/1985	22/08/1988	76,85	0,22	2,145	60	109
64815000	01/01/1985	22/08/1988	104,3188	0,5	1,15	109	139
64815000	01/01/1985	22/08/1988	97,4074	0,42	2,08	139	300
64815000	23/08/1988	05/05/2010	109,2886	0,43	1,375	70	154
64815000	23/08/1988	05/05/2010	97,4074	0,4	2	154	184
64815000	23/08/1988	05/05/2010	97,4074	0,42	2,08	184	250
64815000	06/05/2010	31/12/2014	75,5	0,19	1,79	70	149
64815000	06/05/2010	31/12/2014	97,4074	0,37	1,9	149	186
64815000	06/05/2010	31/12/2014	97,4074	0,42	2,08	186	400
64820000	31/10/1984	25/02/1986	129,7562	-0,14	1,6	60	600
64820000	26/02/1986	31/12/2014	149,7895	0,1	1,555	60	1070
64820000	26/02/1986	31/12/2014	123,9581	0,02	1,63	1070	1299
64830000	01/01/1985	31/12/2014	91,8496	-0,2	1,5	60	102
64830000	01/01/1985	31/12/2014	91,8496	-0,17	1,725	102	349
64830000	01/01/1985	31/12/2014	172,619	0,57	1,5	349	1250
65010000	01/01/1985	02/07/1994	2,0971	0,06	1,7	50	69
65010000	01/01/1985	02/07/1994	4,1	0,49	0,9	69	159
65010000	01/01/1985	02/07/1994	2,6	0,2	1,65	159	203
65010000	01/01/1985	02/07/1994	2,0154	0,49	2,9	203	300
65010000	03/07/1994	09/08/1996	2,6	0,2	1,65	50	203
65010000	03/07/1994	09/08/1996	2,0154	0,49	2,9	203	300
65010000	10/08/1996	16/06/2012	2,0154	0,18	1,855	60	191
65010000	10/08/1996	16/06/2012	2,0154	0,49	2,9	191	300
65010000	17/06/2012	31/12/2014	3,3691	0,05	1,59	40	221
65010000	17/06/2012	31/12/2014	2,96	0,49	2,5	221	300
65011400	01/01/1985	12/11/1999	9,0869	0,35	1,668	40	350
65011400	13/11/1999	25/03/2006	20,2	0,33	1,857	40	111
65011400	13/11/1999	25/03/2006	7,1563	-0,32	1,6	111	250
65011400	26/03/2006	31/12/2014	20,2001	0,22	1,856	30	90
65011400	26/03/2006	31/12/2014	7,1563	-0,32	1,6	90	250
65015400	01/01/1985	20/06/1991	3,6524	-0,21	1,6	20	134
65015400	01/01/1985	20/06/1991	0,09	-3	3	134	201
65015400	01/01/1985	20/06/1991	1,3	-0,05	3	201	350
65015400	21/06/1991	09/02/2001	3	-0,2	1,5	20	213
65015400	21/06/1991	09/02/2001	0,41	-0,13	4	213	279
65015400	21/06/1991	09/02/2001	1,3	-0,05	3	279	400
65015400	10/02/2001	29/07/2007	3,6524	-0,21	1,6	20	73
65015400	10/02/2001	29/07/2007	1,9869	-0,51	2,38	73	300
65015400	30/07/2007	31/12/2010	2,544	-0,66	2,2	10	400
65015400	01/01/2011	31/12/2014	9,4823	-0,15	1,259	0	256
65015400	01/01/2011	31/12/2014	2,544	-0,66	2,2	256	400
65020995	01/01/1985	02/02/1988	1,7854	0,38	1,6	30	87
65020995	01/01/1985	02/02/1988	2,7714	0,57	1,312	87	98

Código da estação	Período de validade		Coeficientes da equação da curva de descarga			Intervalo de Cotas (cm)	
			a	h0	n	Mínimo	Máximo
65020995	01/01/1985	02/02/1988	0,9323	0	3,7	98	115
65020995	01/01/1985	02/02/1988	1,8203	0,21	2,5	115	200
65020995	03/02/1988	27/10/1991	1,8203	0,21	2,087	40	121
65020995	03/02/1988	27/10/1991	1,8203	0,21	2,5	121	200
65020995	28/10/1991	15/05/1993	2,7714	0,57	1,312	50	98
65020995	28/10/1991	15/05/1993	0,9323	0	3,7	98	115
65020995	28/10/1991	15/05/1993	1,8203	0,21	2,5	115	200
65020995	16/05/1993	21/01/1997	1,8203	0,21	2,087	50	121
65020995	16/05/1993	21/01/1997	1,8203	0,21	2,5	121	200
65020995	22/01/1997	20/06/1998	2,7714	0,57	1,312	60	98
65020995	22/01/1997	20/06/1998	0,9323	0	3,7	98	115
65020995	22/01/1997	20/06/1998	1,8203	0,21	2,5	115	200
65020995	21/06/1998	14/10/1999	0,7255	-0,21	3	60	200
65020995	15/10/1999	17/03/2001	1,8203	0,21	2,087	50	121
65020995	15/10/1999	17/03/2001	1,8203	0,21	2,5	121	200
65020995	18/03/2001	17/02/2003	3,3779	0,24	2,2	50	116
65020995	18/03/2001	17/02/2003	3,5495	0,29	1,672	116	200
65020995	18/02/2003	09/02/2006	1,8203	0,21	2,087	50	121
65020995	18/02/2003	09/02/2006	1,8203	0,21	2,5	121	200
65020995	10/02/2006	20/05/2007	3,3779	0,24	2,2	40	117
65020995	10/02/2006	20/05/2007	3,5495	0,29	1,672	117	200
65020995	21/05/2007	18/03/2013	3,5495	0,29	1,672	40	200
65020995	19/03/2013	31/12/2014	4,7764	0,26	1,91	40	74
65020995	19/03/2013	31/12/2014	4,7764	0,4	1,3	74	160
65021000	01/01/1985	18/12/1987	1,625	0,14	1,58	30	97
65021000	01/01/1985	18/12/1987	2,6	0,47	1,1	97	123
65021000	01/01/1985	18/12/1987	2,112	0,28	2	123	250
65021000	19/12/1987	13/01/1989	2,2743	-0,01	2,5	30	44
65021000	19/12/1987	13/01/1989	2,7303	0,18	1,6	44	160
65021000	14/01/1989	21/06/1989	2,4355	0,22	1,054	30	48
65021000	14/01/1989	21/06/1989	2,8577	0,27	1	48	100
65021000	22/06/1989	18/07/1990	2,8577	0,22	1,2	30	91
65021000	22/06/1989	18/07/1990	2,8577	0,27	1	91	108
65021000	22/06/1989	18/07/1990	2,7303	0,18	1,6	108	160
65021000	19/07/1990	26/10/1991	2,2743	-0,01	2,5	30	42
65021000	19/07/1990	26/10/1991	2,7303	0,18	1,6	42	160
65021000	27/10/1991	14/05/1993	0,0079	-1,1	6,955	30	63
65021000	27/10/1991	14/05/1993	2,6	0,47	1,1	63	125
65021000	27/10/1991	14/05/1993	2,112	0,28	2	125	250
65021000	15/05/1993	30/01/1994	1,625	0,14	1,58	40	97
65021000	15/05/1993	30/01/1994	2,6	0,47	1,1	97	125
65021000	15/05/1993	30/01/1994	2,112	0,28	2	125	250
65021000	31/01/1994	09/02/1996	0,81	0,11	2	40	55
65021000	31/01/1994	09/02/1996	2,6	0,47	1,1	55	125
65021000	31/01/1994	09/02/1996	2,112	0,28	2	125	250
65021000	10/02/1996	27/05/1997	1,7	0,13	1,55	30	128
65021000	10/02/1996	27/05/1997	2,112	0,28	2	128	250
65021000	28/05/1997	03/07/1999	1,25	-0,02	2,5	40	78
65021000	28/05/1997	03/07/1999	2,6	0,47	1,1	78	84
65021000	28/05/1997	03/07/1999	2,6	0,47	1,1	84	125
65021000	28/05/1997	03/07/1999	2,112	0,28	2	125	250
65021000	04/07/1999	16/03/2001	2,65	0,51	1,62	60	132
65021000	04/07/1999	16/03/2001	2,65	0,48	1,95	132	200
65021000	17/03/2001	15/09/2006	0,81	0,11	2	50	55
65021000	17/03/2001	15/09/2006	2,6	0,47	1,1	55	125
65021000	17/03/2001	15/09/2006	2,112	0,28	2	125	250
65021000	16/09/2006	22/07/2007	0,4784	-0,13	3	50	83
65021000	16/09/2006	22/07/2007	2,65	0,51	1,62	83	132
65021000	16/09/2006	22/07/2007	2,65	0,48	1,95	132	200
65021000	23/07/2007	12/03/2008	2,65	0,55	1,62	60	132
65021000	23/07/2007	12/03/2008	2,65	0,51	1,99	132	200
65021000	13/03/2008	29/07/2009	2,65	0,51	1,62	70	132
65021000	13/03/2008	29/07/2009	2,65	0,48	1,95	132	200
65021000	30/07/2009	31/12/2014	2,112	0,28	2	60	250
65021770	01/01/1985	28/01/1988	0,5	0,25	1,69	40	61
65021770	01/01/1985	28/01/1988	1	0,39	1,6	61	145
65021770	01/01/1985	28/01/1988	2,15	0,75	1,9	145	200
65021770	29/01/1988	10/10/1990	0,45	0,22	1,69	50	54
65021770	29/01/1988	10/10/1990	1,2157	0,45	1,21	54	121
65021770	29/01/1988	10/10/1990	1,9761	0,57	1,811	121	250
65021770	11/10/1990	07/01/1995	1,1274	0,27	1,69	60	138
65021770	11/10/1990	07/01/1995	1,9761	0,57	1,811	138	200
65021770	08/01/1995	03/07/1996	1,32	0,41	1,629	70	77
65021770	08/01/1995	03/07/1996	8,2	0,64	1,7	77	79
65021770	08/01/1995	03/07/1996	1,2157	0,45	1,21	79	121
65021770	08/01/1995	03/07/1996	1,9761	0,57	1,811	121	250
65021770	04/07/1996	13/08/1998	1,1274	0,25	1,69	70	86
65021770	04/07/1996	13/08/1998	1,3	0,15	2,8	86	107
65021770	04/07/1996	13/08/1998	2	0,41	1,6	107	250
65021770	14/08/1998	04/10/2005	1,2841	0,41	1,629	70	101
65021770	14/08/1998	04/10/2005	1,01	0,32	1,6	101	132
65021770	14/08/1998	04/10/2005	2,15	0,66	1,81	132	250
65021770	05/10/2005	28/04/2008	0,52	0,41	1,5	70	75
65021770	05/10/2005	28/04/2008	5,8	0,67	1,6	75	81

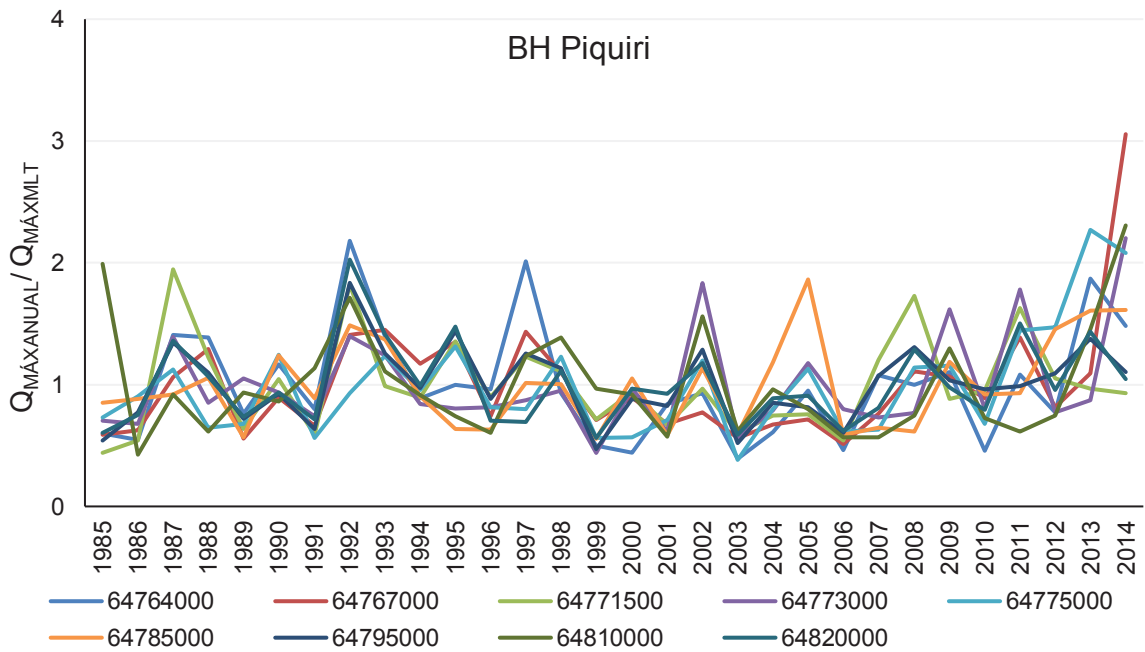
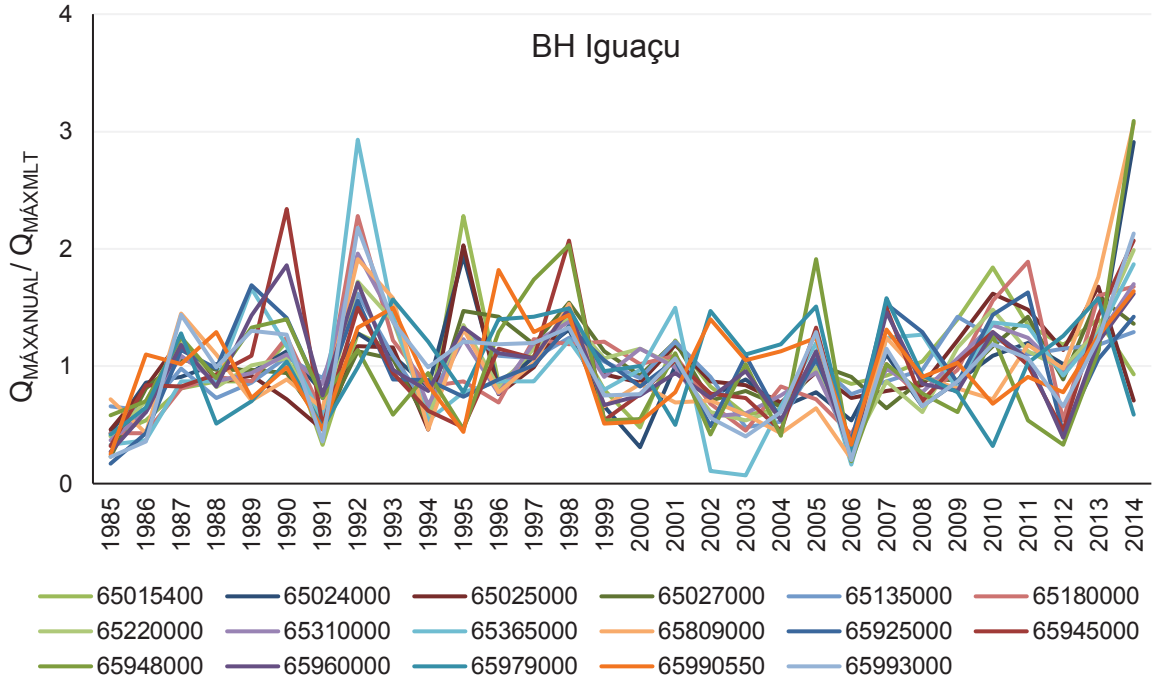
Código da estação	Período de validade		Coeficientes da equação da curva de descarga			Intervalo de Cotas (cm)	
			a	h0	n	Mínimo	Máximo
65021770	05/10/2005	28/04/2008	1	0,39	1,6	81	145
65021770	05/10/2005	28/04/2008	2,15	0,75	1,9	145	200
65021770	29/04/2008	02/07/2011	0,39	0,2	1,69	80	101
65021770	29/04/2008	02/07/2011	1,5688	0,65	1,7	101	144
65021770	29/04/2008	02/07/2011	2,15	0,75	1,9	144	300
65021770	03/07/2011	31/12/2014	0,3	0,2	1,69	100	101
65021770	03/07/2011	31/12/2014	1,5688	0,7	1,7	101	137
65021770	03/07/2011	31/12/2014	2,68	1,01	1,2	137	155
65021770	03/07/2011	31/12/2014	1,665	0,67	2,1	155	300
65024000	24/04/1984	24/10/1987	5,14	0,34	1,6	40	48
65024000	24/04/1984	24/10/1987	1,0417	-0,13	3,179	48	170
65024000	24/04/1984	24/10/1987	1,079	-0,32	2,678	170	250
65024000	25/10/1987	14/09/1989	1,079	-0,2	2,678	40	95
65024000	25/10/1987	14/09/1989	0,6813	-0,18	6,915	95	104
65024000	25/10/1987	14/09/1989	5,7	0,34	2,11	104	168
65024000	25/10/1987	14/09/1989	3,27	-0,4	1,6	168	200
65024000	15/09/1989	20/11/1992	1,8008	-0,07	3,147	40	60
65024000	15/09/1989	20/11/1992	5,7	0,28	2,11	60	141
65024000	15/09/1989	20/11/1992	6,2	0,31	1,82	141	161
65024000	15/09/1989	20/11/1992	3,27	-0,4	1,6	161	213
65024000	21/11/1992	02/03/1998	4,8	0,3	1,6	40	240
65024000	21/11/1992	02/03/1998	1,079	-0,32	2,678	240	300
65024000	03/03/1998	21/02/2007	1,3136	-0,25	2,504	20	79
65024000	03/03/1998	21/02/2007	4,7036	0,39	1,287	79	151
65024000	03/03/1998	21/02/2007	1,079	-0,32	2,678	151	250
65024000	22/02/2007	04/06/2012	3,3255	0,22	1,579	30	150
65024000	22/02/2007	04/06/2012	1,0417	-0,13	3,179	150	170
65024000	22/02/2007	04/06/2012	1,079	-0,32	2,678	170	250
65024000	05/06/2012	31/12/2014	0,0034	-1,94	5,671	50	94
65024000	05/06/2012	31/12/2014	1,0417	-0,15	3,179	94	161
65024000	05/06/2012	31/12/2014	1,079	-0,32	2,678	161	300
65025000	07/10/1984	31/10/1988	20,3234	-0,08	1,455	30	122
65025000	07/10/1984	31/10/1988	13,4105	-0,43	1,592	122	169
65025000	07/10/1984	31/10/1988	15,6205	-0,23	1,6	169	298
65025000	07/10/1984	31/10/1988	36,4001	1,21	1,788	298	450
65025000	01/11/1988	04/10/1991	13,4106	-0,46	1,593	30	51
65025000	01/11/1988	04/10/1991	30,87	0,06	1,102	51	298
65025000	01/11/1988	04/10/1991	36,4001	1,21	1,788	298	400
65025000	05/10/1991	13/07/1993	29,7938	0,27	1	40	267
65025000	05/10/1991	13/07/1993	36,4001	1,21	1,788	267	450
65025000	14/07/1993	08/07/1995	20,3234	-0,08	1,455	50	122
65025000	14/07/1993	08/07/1995	13,4105	-0,43	1,592	122	169
65025000	14/07/1993	08/07/1995	15,6205	-0,23	1,6	169	298
65025000	14/07/1993	08/07/1995	36,4001	1,21	1,788	298	550
65025000	09/07/1995	31/12/2014	29,7938	0,27	1	50	267
65025000	09/07/1995	31/12/2014	36,4001	1,21	1,788	267	600
65027000	01/01/1985	19/10/1987	5,5908	-0,07	1,288	0	56
65027000	01/01/1985	19/10/1987	5,324	-0,05	1,105	56	179
65027000	01/01/1985	19/10/1987	24,6066	1,21	1,55	179	300
65027000	20/10/1987	05/06/1990	4,72	-0,07	1,25	0	23
65027000	20/10/1987	05/06/1990	5,4499	0	1,118	23	179
65027000	20/10/1987	05/06/1990	24,6066	1,21	1,55	179	250
65027000	06/06/1990	24/03/1992	5,1841	-0,13	1,336	10	188
65027000	06/06/1990	24/03/1992	24,6066	1,21	1,55	188	300
65027000	25/03/1992	13/03/1997	4,1613	-0,12	1,38	10	177
65027000	25/03/1992	13/03/1997	24,6066	1,21	1,55	177	300
65027000	14/03/1997	06/10/1997	3,849	-0,08	1,691	40	137
65027000	14/03/1997	06/10/1997	4,1613	-0,12	1,38	137	177
65027000	14/03/1997	06/10/1997	24,6066	1,21	1,55	177	200
65027000	07/10/1997	10/11/2001	1,2107	-0,5	2,376	20	176
65027000	07/10/1997	10/11/2001	23,5	1,23	1,62	176	300
65027000	11/11/2001	30/09/2003	1,7717	-0,24	1,9	50	191
65027000	11/11/2001	30/09/2003	23,5	1,35	1,95	191	250
65027000	01/10/2003	20/03/2007	1,0034	-0,6	2,376	20	39
65027000	01/10/2003	20/03/2007	3,4726	-0,08	1,676	39	176
65027000	01/10/2003	20/03/2007	24,6066	1,21	1,55	176	300
65027000	21/03/2007	25/04/2012	4,1613	-0,12	1,38	20	177
65027000	21/03/2007	25/04/2012	24,6066	1,21	1,55	177	300
65027000	26/04/2012	31/12/2014	1,0034	-0,6	2,376	30	39
65027000	26/04/2012	31/12/2014	3,4726	-0,08	1,676	39	176
65027000	26/04/2012	31/12/2014	24,6066	1,21	1,55	176	300
65060000	01/01/1985	09/02/1990	45,371	-0,32	1,23	0	369
65060000	01/01/1985	09/02/1990	6,4849	0	2,8	369	700
65060000	10/02/1990	15/05/1998	45,1	-0,4	1,32	20	404
65060000	10/02/1990	15/05/1998	6,4849	0	2,8	404	700
65060000	16/05/1998	31/12/2014	45,1	-0,43	1,314	10	23
65060000	16/05/1998	31/12/2014	79,6542	-0,1	1	23	409
65060000	16/05/1998	31/12/2014	6,4849	0	2,8	409	700
65094500	01/01/1985	18/04/1985	19	0,76	2,222	120	154
65094500	01/01/1985	18/04/1985	40,3396	1,14	1,422	154	213
65094500	01/01/1985	18/04/1985	66,4203	1,53	1	213	700
65094500	19/04/1985	13/05/1994	3,95	0,36	2	100	118
65094500	19/04/1985	13/05/1994	29,617	0,81	2,403	118	152
65094500	19/04/1985	13/05/1994	20,6149	0,71	2,2	152	179

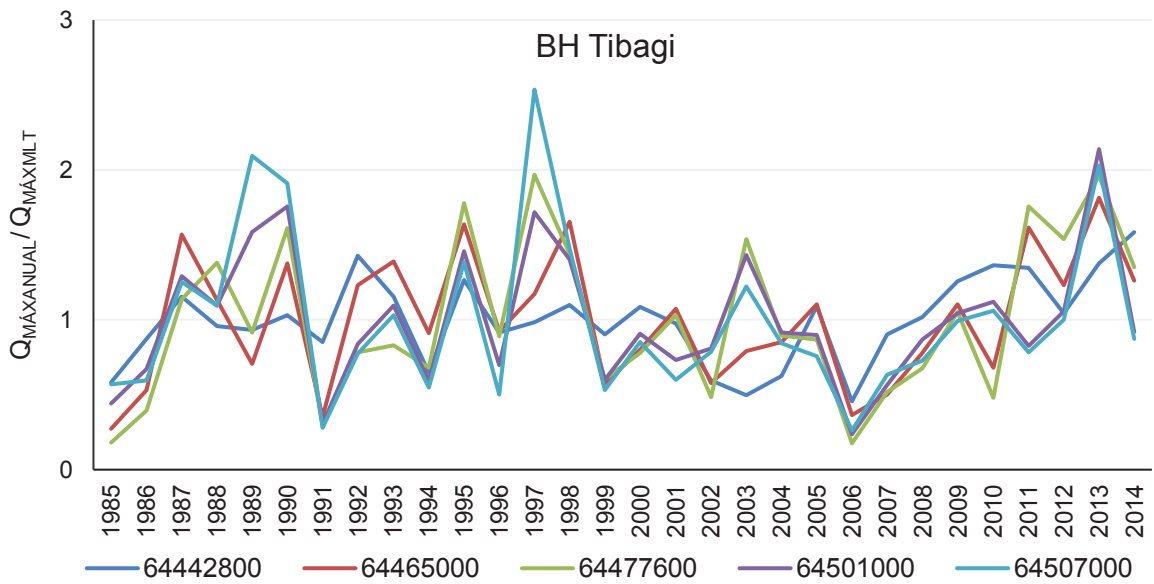
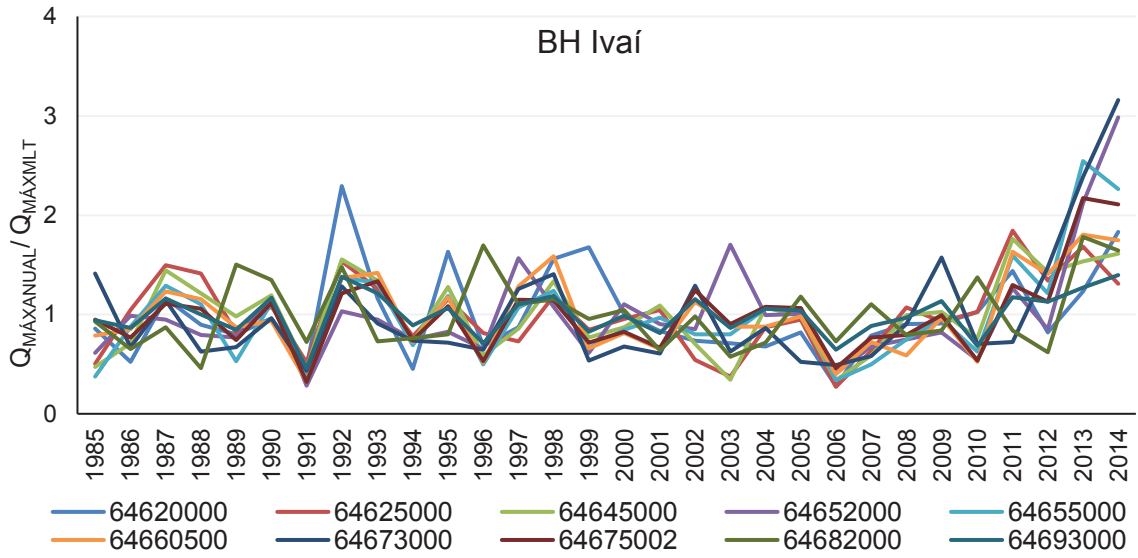
Código da estação	Período de validade		Coeficientes da equação da curva de descarga			Intervalo de Cotas (cm)	
			a	h <sub>0</sub>	n	Mínimo	Máximo
65094500	19/04/1985	13/05/1994	67,349	1,43	0,987	179	850
65094500	14/05/1994	08/07/1996	21,5068	0,63	2,11	140	269
65094500	14/05/1994	08/07/1996	40,8	0,6	1,2	269	450
65094500	09/07/1996	02/07/1999	19,1779	0,81	2,209	140	157
65094500	09/07/1996	02/07/1999	67,2882	1,42	0,988	157	500
65094500	03/07/1999	16/10/2006	3,95	0,45	2	110	124
65094500	03/07/1999	16/10/2006	22,411	0,92	1,932	124	323
65094500	03/07/1999	16/10/2006	66,4203	1,53	1	323	700
65094500	17/10/2006	31/12/2014	3,95	0,4	2	120	122
65094500	17/10/2006	31/12/2014	19,2443	0,81	2,209	122	184
65094500	17/10/2006	31/12/2014	66,4203	1,53	1	184	700
65100000	01/01/1985	24/01/2002	32,1352	-0,14	1,217	10	374
65100000	01/01/1985	24/01/2002	0,0059	-13,69	3,587	374	1600
65100000	25/01/2002	31/12/2014	32,7831	-0,2	1,256	10	33
65100000	25/01/2002	31/12/2014	37,72	-0,12	1,173	33	315
65100000	25/01/2002	31/12/2014	15,8778	-1,56	1,455	315	1340
65100000	25/01/2002	31/12/2014	0,0059	-13,69	3,587	1340	1400
65135000	01/01/1985	26/03/1991	5,08	-0,47	1,624	10	361
65135000	01/01/1985	26/03/1991	15,0312	1,49	1,6	361	700
65135000	27/03/1991	01/04/2006	3,604	-0,82	1,909	10	450
65135000	02/04/2006	31/12/2014	7,8675	-0,49	1,415	0	291
65135000	02/04/2006	31/12/2014	3,604	-0,82	1,909	291	450
65180000	01/01/1985	26/07/1990	0,278	-1,55	2,264	60	64
65180000	01/01/1985	26/07/1990	174,6	0,5	2,363	64	108
65180000	01/01/1985	26/07/1990	0,0002	-7,62	5,727	108	450
65180000	27/07/1990	31/12/2014	0,265	-1,59	2,264	50	57
65180000	27/07/1990	31/12/2014	47,3	-0,04	6,971	57	95
65180000	27/07/1990	31/12/2014	0,0002	-7,62	5,727	95	400
65220000	25/12/1984	03/01/1990	200	0,07	1,263	30	296
65220000	25/12/1984	03/01/1990	235	0,04	1,1	296	422
65220000	25/12/1984	03/01/1990	165	0,17	1,378	422	650
65220000	04/01/1990	21/06/1992	219,2386	0,19	1,179	50	488
65220000	04/01/1990	21/06/1992	170	0,17	1,34	488	681
65220000	04/01/1990	21/06/1992	102	0,17	1,61	681	950
65220000	22/06/1992	30/11/2009	196	0,04	1,29	30	264
65220000	22/06/1992	30/11/2009	235	0,04	1,1	264	294
65220000	22/06/1992	30/11/2009	255	0,36	1,15	294	492
65220000	22/06/1992	30/11/2009	181	0,17	1,34	492	700
65220000	01/12/2009	31/12/2014	208	0,04	1,305	50	275
65220000	01/12/2009	31/12/2014	255	0,04	1,1	275	490
65220000	01/12/2009	31/12/2014	181	0,17	1,34	490	850
65310000	01/01/1985	13/11/1998	228	1	1,3	130	363
65310000	01/01/1985	13/11/1998	221,5	1	1,33	363	451
65310000	01/01/1985	13/11/1998	183,5	1	1,48	451	1050
65310000	14/11/1998	28/12/2005	228	1	1,3	140	157
65310000	14/11/1998	28/12/2005	313	1,19	1,08	157	401
65310000	14/11/1998	28/12/2005	221,5	1	1,33	401	451
65310000	14/11/1998	28/12/2005	183,5	1	1,48	451	650
65310000	29/12/2005	31/12/2014	228	1	1,3	130	150
65310000	29/12/2005	31/12/2014	329	1,19	1,08	150	402
65310000	29/12/2005	31/12/2014	273	1,3	1,31	402	850
65365000	28/09/1984	21/10/1987	4,1394	-0,04	1,6	20	30
65365000	28/09/1984	21/10/1987	18,3381	0,23	1,207	30	37
65365000	28/09/1984	21/10/1987	30,26	0,21	1,563	37	186
65365000	28/09/1984	21/10/1987	29,019	0,27	1,779	186	200
65365000	22/10/1987	14/11/2012	4,1394	-0,07	1,6	20	30
65365000	22/10/1987	14/11/2012	30,5116	0,18	1,684	30	300
65365000	15/11/2012	31/12/2014	4,1394	-0,04	1,6	30	31
65365000	15/11/2012	31/12/2014	30,26	0,21	1,563	31	41
65365000	15/11/2012	31/12/2014	25,5683	0,2	1,503	41	121
65365000	15/11/2012	31/12/2014	29,019	0,27	1,779	121	250
65809000	01/01/1985	03/11/1985	5,8882	-0,1	1,28	20	79
65809000	01/01/1985	03/11/1985	20,9949	0,4	1,5	79	119
65809000	01/01/1985	03/11/1985	7,99	-0,2	1,86	119	550
65809000	04/11/1985	25/09/1986	3,4336	0,01	1,6	30	71
65809000	04/11/1985	25/09/1986	22,6143	0,31	2,68	71	100
65809000	04/11/1985	25/09/1986	18	0,4	1,5	100	164
65809000	04/11/1985	25/09/1986	7,99	-0,2	1,86	164	300
65809000	26/09/1986	15/04/1987	3,3096	-0,1	1,95	40	68
65809000	26/09/1986	15/04/1987	29,281	0,31	2,68	68	83
65809000	26/09/1986	15/04/1987	18	0,4	1,5	83	164
65809000	26/09/1986	15/04/1987	7,99	-0,2	1,86	164	200
65809000	16/04/1987	17/02/1988	4,9196	0,05	1,6	50	64
65809000	16/04/1987	17/02/1988	17,9877	0,4	1,5	64	164
65809000	16/04/1987	17/02/1988	7,99	-0,2	1,86	164	550
65809000	18/02/1988	22/05/1988	5,9067	-0,11	2,462	50	71
65809000	18/02/1988	22/05/1988	20,9949	0,4	1,5	71	119
65809000	18/02/1988	22/05/1988	7,99	-0,2	1,86	119	250
65809000	23/05/1988	01/02/1991	8,097	0,01	1,94	20	33
65809000	23/05/1988	01/02/1991	0,8015	-0,7	3,8	33	171
65809000	23/05/1988	01/02/1991	8,1	0,01	1,94	171	327
65809000	23/05/1988	01/02/1991	10,05	0,04	1,771	327	450
65809000	02/02/1991	14/05/1993	8,097	0,01	1,94	10	327
65809000	02/02/1991	14/05/1993	10,05	0,04	1,771	327	600

Código da estação	Período de validade		Coeficientes da equação da curva de descarga			Intervalo de Cotas (cm)	
			a	h0	n	Mínimo	Máximo
65809000	15/05/1993	21/06/1994	10,05	0,04	1,771	20	450
65809000	22/06/1994	19/08/1998	15,8884	0,01	2,2	20	42
65809000	22/06/1994	19/08/1998	7,9983	-0,1	1,95	42	237
65809000	22/06/1994	19/08/1998	10,65	0,01	1,72	237	405
65809000	22/06/1994	19/08/1998	10,05	0,04	1,771	405	550
65809000	20/08/1998	26/07/2000	7,8485	-0,17	2	10	156
65809000	20/08/1998	26/07/2000	11,2	0,01	1,69	156	400
65809000	27/07/2000	02/03/2002	9,7994	-0,11	1,531	30	122
65809000	27/07/2000	02/03/2002	7,8485	-0,17	2	122	156
65809000	27/07/2000	02/03/2002	11,2	0,01	1,69	156	400
65809000	03/03/2002	17/06/2012	15,9696	0,01	2,2	10	44
65809000	03/03/2002	17/06/2012	10,6502	0,01	1,72	44	405
65809000	03/03/2002	17/06/2012	10,05	0,04	1,771	405	500
65809000	18/06/2012	31/12/2014	5,275	-0,04	2,002	40	64
65809000	18/06/2012	31/12/2014	0,8015	-0,7	3,8	64	171
65809000	18/06/2012	31/12/2014	8,1	0,01	1,94	171	327
65809000	18/06/2012	31/12/2014	10,05	0,04	1,771	327	800
65925000	01/01/1985	20/06/1988	3,6523	0,13	2	50	73
65925000	01/01/1985	20/06/1988	37,3777	0,54	2,01	73	141
65925000	01/01/1985	20/06/1988	34,5754	0,52	1,756	141	900
65925000	21/06/1988	20/01/1999	25,1338	0,27	2,999	60	100
65925000	21/06/1988	20/01/1999	41,2946	0,58	1,662	100	700
65925000	21/01/1999	31/12/2014	43	0,61	1,6	80	91
65925000	21/01/1999	31/12/2014	35,2073	0,52	1,833	91	237
65925000	21/01/1999	31/12/2014	41,2946	0,58	1,662	237	700
65945000	01/01/1985	31/12/2014	4,2	0,2	0,8	50	68
65945000	01/01/1985	31/12/2014	23,88	0,49	1,39	68	81
65945000	01/01/1985	31/12/2014	25,8095	0,46	1,581	81	600
65948000	01/01/1985	25/10/2002	6	-0,01	1,4	0	34
65948000	01/01/1985	25/10/2002	43	-0,06	3,713	34	54
65948000	01/01/1985	25/10/2002	27,9668	0,16	1,538	54	130
65948000	01/01/1985	25/10/2002	27,6678	0,18	1,907	130	500
65948000	26/10/2002	26/07/2013	3,7	0,07	3,2	20	88
65948000	26/10/2002	26/07/2013	91,0522	0,76	1,783	88	123
65948000	26/10/2002	26/07/2013	34,644	0,46	1,542	123	219
65948000	26/10/2002	26/07/2013	34	0,6	1,875	219	500
65948000	27/07/2013	31/12/2014	3,7	0,07	3,2	80	88
65948000	27/07/2013	31/12/2014	91,0522	0,76	1,783	88	91
65948000	27/07/2013	31/12/2014	12,7072	0,44	1,957	91	212
65948000	27/07/2013	31/12/2014	34	1,1	1,95	212	650
65960000	01/01/1985	06/11/1985	190	0,3	3	50	60
65960000	01/01/1985	06/11/1985	323,4102	0,55	1,35	60	96
65960000	01/01/1985	06/11/1985	290	0,46	1,58	96	700
65960000	07/11/1985	13/12/1990	210	0,21	3	50	54
65960000	07/11/1985	13/12/1990	287,6424	0,44	1,58	54	700
65960000	14/12/1990	08/10/1991	323,4102	0,55	1,35	60	68
65960000	14/12/1990	08/10/1991	296	0,5	1,556	68	246
65960000	14/12/1990	08/10/1991	296	0,52	1,58	246	500
65960000	09/10/1991	31/12/2014	200	0,25	3	50	53
65960000	09/10/1991	31/12/2014	290	0,46	1,58	53	700
65979000	01/01/1985	10/05/2007	24,6911	-0,08	1,5	0	64
65979000	01/01/1985	10/05/2007	20,7066	-0,18	1,6	64	119
65979000	01/01/1985	10/05/2007	19,5534	-0,23	1,6	119	950
65979000	11/05/2007	31/12/2014	27,7948	-0,1	1,6	10	108
65979000	11/05/2007	31/12/2014	21,1056	-0,32	1,6	108	280
65979000	11/05/2007	31/12/2014	33,5	-0,3	1,2	280	382
65979000	11/05/2007	31/12/2014	19,5534	-0,23	1,6	382	950
65990550	01/01/1985	19/05/1986	25	0,7	3,4	100	134
65990550	01/01/1985	19/05/1986	27,7596	1,05	1,312	134	189
65990550	01/01/1985	19/05/1986	21,7338	0,88	1,6	189	370
65990550	01/01/1985	19/05/1986	22,0849	0,72	1,504	370	500
65990550	20/05/1986	20/06/1988	26	0,5	2,6	80	99
65990550	20/05/1986	20/06/1988	19,7936	0,63	1,55	99	220
65990550	20/05/1986	20/06/1988	22,0849	0,72	1,504	220	650
65990550	21/06/1988	04/10/2008	25	0,5	3	70	87
65990550	21/06/1988	04/10/2008	22,0849	0,72	1,504	87	800
65990550	05/10/2008	31/12/2014	25	0,51	3	70	87
65990550	05/10/2008	31/12/2014	18,8086	0,68	1,68	87	280
65990550	05/10/2008	31/12/2014	22,0849	0,72	1,504	280	750
65993000	01/01/1985	27/11/1987	831,0249	-0,07	2	10	61
65993000	01/01/1985	27/11/1987	1584	0,11	2,032	61	201
65993000	01/01/1985	27/11/1987	4340	0,79	1,49	201	450
65993000	28/11/1987	25/11/1988	855	-0,13	2	20	59
65993000	28/11/1987	25/11/1988	2367,3439	0,22	1,685	59	179
65993000	28/11/1987	25/11/1988	1697,9883	0,11	2,109	179	228
65993000	28/11/1987	25/11/1988	3192,1033	0,41	1,6	228	400
65993000	26/11/1988	02/02/1997	850	-0,07	2	20	61
65993000	26/11/1988	02/02/1997	1697,9883	0,11	2,109	61	228
65993000	26/11/1988	02/02/1997	3192,1033	0,41	1,6	228	400
65993000	03/02/1997	21/06/1997	2328,1239	0,37	1,495	60	140
65993000	03/02/1997	21/06/1997	1442,2752	0,13	2,2	140	250
65993000	22/06/1997	20/02/2001	1614	0,11	2,032	60	103
65993000	22/06/1997	20/02/2001	2626,0851	0,35	1,701	103	251
65993000	22/06/1997	20/02/2001	4340	0,79	1,49	251	350

Código da estação	Período de validade		Coeficientes da equação da curva de descarga			Intervalo de Cotas (cm)	
			a	h0	n	Mínimo	Máximo
65993000	21/02/2001	18/11/2003	2270	0,36	1,495	70	96
65993000	21/02/2001	18/11/2003	2876,834	0,51	1,25	96	124
65993000	21/02/2001	18/11/2003	1764,0616	0,19	1,998	124	201
65993000	21/02/2001	18/11/2003	4340	0,79	1,49	201	300
65993000	19/11/2003	31/12/2014	855	-0,08	2,05	20	63
65993000	19/11/2003	31/12/2014	1614	0,11	2,032	63	103
65993000	19/11/2003	31/12/2014	2626,0851	0,35	1,701	103	251
65993000	19/11/2003	31/12/2014	4340	0,79	1,49	251	395

FIGURA II.2 – FLUVIOGRAMAS (1985 – 2014) DAS VAZÕES MÁXIMAS ANUAIS NORMALIZADAS PELAS VAZÕES MÉDIAS DAS SMAS ( $Q_{MÁXANUAL}/Q_{MÁXMLT}$ ) DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS (a) IGUAÇU, (b) PIQUIRI, (c) IVAÍ E (d) TIBAGI







QUADRO II.2 – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS SÉRIES HISTÓRICAS DE VAZÕES DIÁRIAS MÁXIMAS ANUAIS

BH	Estação	Mínimo	Máximo	1º quartil	Mediana	3º quartil	Média	Coefficiente de variação
Tibagi	64442800	51,66	179,66	99,93	113,34	131,11	113,37	0,28
	64465000	232,38	1543,20	585,70	851,03	1066,78	850,65	0,42
	64477600	40,71	456,52	144,13	207,20	330,56	231,93	0,52
	64501000	520,08	4708,95	1551,26	2004,60	2748,35	2201,79	0,44
	64507000	710,30	6897,85	1648,33	2305,62	3238,62	2719,84	0,54
Ivaí	64620000	79,09	648,11	212,19	249,16	328,32	282,70	0,44
	64625000	322,53	2192,53	936,68	1175,68	1471,54	1189,15	0,38
	64645000	740,82	3844,85	1553,62	2157,31	2886,15	2183,85	0,39
	64652000	257,35	2714,09	680,13	797,78	970,19	909,53	0,52
	64655000	1166,79	8766,23	2307,22	3295,21	4156,52	3446,21	0,49
	64660500	1623,06	9028,25	3623,32	4540,63	6353,82	5006,45	0,39
	64673000	82,93	604,45	120,93	139,60	244,10	191,38	0,58
	64675002	1583,81	10733,59	3695,58	5060,02	5620,25	4943,26	0,40
	64682000	21,03	81,47	33,39	41,07	53,76	45,76	0,35
	64685000	1673,09	11344,36	3314,36	4278,19	5493,90	4604,65	0,44
64693000	1748,67	5355,76	3313,03	3909,45	4442,93	3835,28	0,21	
Piquiri	64764000	270,55	1507,90	448,68	650,36	796,15	691,54	0,45
	64767000	868,41	5184,70	1162,99	1508,03	1963,07	1696,61	0,48
	64771500	774,90	3426,68	1275,32	1666,01	2076,04	1760,71	0,38
	64773000	232,19	1164,48	405,93	447,45	606,27	528,72	0,40
	64775000	392,44	2333,57	698,25	941,72	1254,75	1027,92	0,43
	64785000	66,17	222,22	76,32	110,54	141,51	119,25	0,35
	64795000	1457,23	5679,93	2531,58	3032,23	3787,69	3094,50	0,30
	64799500	1414,70	5429,57	2587,88	3072,35	3844,85	3191,75	0,31
	64810000	93,68	508,37	142,79	202,04	266,83	220,41	0,44
	64815000	116,87	1123,38	153,56	245,68	308,76	274,28	0,68
	64820000	1921,55	6925,36	2521,41	3229,34	3967,94	3417,99	0,33
	64830000	2035,09	6828,68	2984,02	3373,29	4569,75	3758,64	0,32
Iguaçu	65010000	6,48	21,17	12,57	14,19	17,03	14,43	0,23
	65011400	7,76	59,66	18,72	23,03	28,05	24,14	0,42
	65015400	10,06	69,66	24,55	28,32	37,23	30,59	0,41
	65020995	0,57	6,45	1,83	3,03	4,02	3,02	0,46
	65021000	0,58	6,77	1,85	3,33	4,05	3,20	0,50
	65021770	0,47	7,52	2,84	3,72	5,22	4,02	0,43
	65024000	3,47	32,66	8,78	10,50	12,39	11,24	0,46
	65025000	99,94	439,93	165,50	192,77	254,53	216,33	0,37
	65027000	6,99	49,02	25,48	29,74	36,40	30,76	0,32
	65060000	153,24	1053,73	309,66	468,07	692,97	515,76	0,47
	65094500	24,20	434,38	117,35	177,11	235,46	187,14	0,56
	65100000	87,05	925,24	292,82	361,13	406,67	377,43	0,46
	65135000	25,55	86,67	46,03	55,79	62,91	53,53	0,26
	65180000	45,27	244,67	74,28	95,31	130,26	107,13	0,45
	65220000	448,59	3040,17	1001,62	1535,92	1851,44	1529,50	0,39
	65310000	635,62	3887,57	1528,53	1915,66	2427,47	1981,24	0,35
	65365000	4,09	164,54	38,66	50,39	72,11	56,25	0,57
	65809000	25,73	369,94	80,09	100,24	148,09	120,46	0,56
	65925000	88,70	875,19	395,02	534,97	688,90	519,00	0,40
	65945000	26,22	263,77	71,68	105,40	141,86	112,80	0,51
	65948000	49,48	784,28	141,71	233,51	320,13	253,95	0,60
	65960000	402,21	3283,78	1321,08	1706,39	2245,71	1767,30	0,40
	65979000	111,59	709,87	298,49	456,15	613,68	448,99	0,40
65990550	59,67	434,55	177,86	245,16	308,65	238,84	0,39	
65993000	2195,21	24344,28	7409,07	11919,13	14056,25	11154,33	0,47	

## **APÊNDICE III – DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES MÁXIMAS**

QUADRO III.1 – MOMENTOS L E PARÂMETROS DA DISTRIBUIÇÃO DE VALORES EXTREMOS GENERALIZADA (GEV) DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS EM ESTUDO.

Estação	Momentos L			Distribuição de probabilidade teórica	Parâmetros		
	Ordem 1 ( $\lambda_1$ )	Ordem 2 ( $\lambda_2$ )	Ordem 3 ( $\lambda_3$ )		Forma ( $\kappa$ )	Locação ( $\beta$ )	Escala ( $\alpha$ )
64442800	113,37	18,54	-0,45	GUMBEL		97,93	26,7
64465000	850,65	211,59	6,96	GEV	0,23	709,36	361,84
64477600	231,93	70,67	5,96	GEV	0,14	179,97	114,12
64501000	2201,79	552,63	72,76	GEV	0,06	1764,37	840,75
64507000	2719,84	798,87	219,00	GEV	-0,16	1979,81	975,18
64764000	691,54	176,39	34,44	GEV	-0,04	540,20	245,10
64767000	1696,61	394,17	124,97	GEV	-0,22	1319,30	444,74
64771500	1760,71	377,45	75,36	GEV	-0,05	1435,27	520,95
64773000	528,72	113,23	39,19	GEV	-0,26	418,24	120,71
64775000	1027,92	240,13	54,19	GEV	-0,09	815,12	318,11
64785000	119,25	24,26	4,00	GEV	0,01	99,17	35,25
64795000	3094,50	545,09	25,68	GEV	0,20	2719,96	918,24
64810000	220,41	53,57	15,54	GEV	-0,18	170,14	63,55
64815000	274,28	83,39	34,18	GEV	-0,34	190,09	77,67
64820000	3417,99	639,32	130,49	GEV	-0,05	2864,06	876,35
64830000	3758,64	686,64	121,15	GEV	-0,01	3182,28	981,27
64620000	282,70	68,19	15,78	GEV	-0,09	221,93	89,50
64625000	1189,15	261,20	10,67	GEV	0,21	1011,88	442,98
64645000	2183,85	503,25	11,60	GEV	0,24	1854,69	869,29
64652000	909,53	231,23	77,23	GEV	-0,24	685,65	252,48
64655000	3446,21	921,67	180,00	GEV	-0,04	2655,39	1280,58
64660500	5006,45	1153,13	116,68	GEV	0,11	4134,68	1824,44
64673000	191,38	55,13	22,41	GEV	-0,34	135,81	51,75
64675002	4943,26	1049,96	145,81	GEV	0,05	4103,74	1582,00
64682000	45,76	9,25	1,87	GEV	-0,05	37,76	12,71
64685000	4604,65	1085,65	258,87	GEV	-0,10	3630,48	1408,59
64693000	3835,28	476,97	-37,98	GUMBEL		3438,09	688,1
65011400	24,14	5,23	0,89	GEV	0,00	19,79	7,55
65024000	11,24	2,50	0,63	GEV	-0,12	8,97	3,17
65025000	216,33	44,36	8,75	GEV	-0,04	178,19	61,46
65027000	30,76	5,70	-0,04	GUMBEL		26,02	8,2
65060000	515,76	141,23	20,07	GEV	0,04	402,33	211,86
65135000	53,53	8,22	-0,25	GEV	0,34	48,80	14,91
65180000	107,13	26,97	5,40	GEV	-0,05	83,86	37,20
65220000	1529,50	343,97	18,18	GEV	0,19	1290,51	575,83
65310000	1981,24	402,18	24,42	GEV	0,18	1697,64	667,44
65365000	56,25	17,74	1,63	GEV	0,13	43,04	28,40
65809000	120,46	35,18	10,52	GEV	-0,19	87,21	41,06
65925000	519,00	120,65	-3,89	GUMBEL		418,53	174,1
65945000	112,80	32,70	6,20	GEV	-0,03	84,92	45,81
65948000	253,95	81,85	20,68	GEV	-0,13	179,53	103,70
65960000	1767,30	418,78	15,57	GEV	0,22	1485,19	712,97
65990550	238,84	55,23	-1,67	GUMBEL		192,85	79,7
65993000	11154,33	2998,48	53,51	GUMBEL		8657,43	4325,9

QUADRO III.2 – VAZÕES MÁXIMAS COM DIFERENTES TEMPOS DE RECORRÊNCIA DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS ANALISADAS

Estação	Q <sub>2</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>10</sub>	Q <sub>100</sub>	Q <sub>1000</sub>
64442800	107,7	138,1	158,1	221	283
64465000	837	1170	1347	1743	1973
64477600	221	335	401	568	687
64501000	2069	2970	3533	5139	6507
64507000	2348	3629	4611	8551	14122
64764000	631	919	1117	1776	2485
64767000	1489	2108	2611	4837	8464
64771500	1628	2244	2670	4104	5671
64773000	465	639	786	1483	2729
64775000	934	1324	1604	2607	3809
64785000	112,1	151,7	177,8	258	336
64795000	3044	3908	4381	5472	6142
64810000	194,2	280	346	625	1040
64815000	220	342	454	1061	2386
64820000	3188	4232	4958	7427	10167
64830000	3543	4665	5416	7803	10204
64620000	255	366	446	737	1092
64625000	1168	1581	1804	2312	2616
64645000	2159	2947	3361	4259	4759
64652000	782	1142	1440	2814	5177
64655000	3128	4634	5668	9112	12818
64660500	4790	6657	7770	10714	12949
64673000	156,0	237	310	709	1568
64675002	4678	6391	7474	10617	13369
64682000	42,5	57,6	68,0	103,6	142,8
64685000	4157	5918	7204	11948	17887
64693000	3690	4470	4987	6604	8191
65011400	22,6	31,1	36,8	54,5	71,9
65024000	10,2	14,2	17,2	28,6	43,7
65025000	201	273	323	490	671
65027000	29,0	38,3	44,5	63,8	82,8
65060000	479	710	856	1285	1664
65135000	53,9	66,3	72,3	83,5	88,5
65180000	97,6	141,7	172	275	387
65220000	1494	2041	2343	3050	3494
65310000	1934	2576	2935	3792	4348
65365000	53,2	81,9	98,7	142,1	173,9
65809000	102,8	158,6	203	391	680
65925000	482	680	810	1219	1621
65945000	101,8	155,2	192	311	437
65948000	218	351	449	825	1319
65960000	1736	2397	2752	3552	4024
65990550	222	312	372	559	743
65993000	10243	15146	18392	28557	38537

## APÊNDICE IV – MATRIZES DE CORRELAÇÕES

QUADRO IV.1 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES DA BH IGUAÇU

BH IGUAÇU	EF1	EF2	EF3	EF4	EF5
EF1	1,000				
EF2	0,051	1,000			
EF3	-0,062	0,083	1,000		
EF4	0,155	-0,210	-0,265	1,000	
EF5	0,496	0,234	-0,120	0,271	1,000

QUADRO IV.2 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES DA BH PIQUIRI

BH PIQUIRI	EF1	EF2	EF3	EF4	EF5
EF1	1,000				
EF2	-0,370	1,000			
EF3	0,022	0,033	1,000		
EF4	-0,353	0,303	0,025	1,000	
EF5	-0,054	-0,560	-0,699	-0,160	1,000

QUADRO IV.3 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES DA BH IVAÍ

BH IVAÍ	EF1	EF2	EF3	EF4	EF5
EF1	1,000				
EF2	-0,511	1,000			
EF3	0,041	-0,296	1,000		
EF4	-0,247	0,007	-0,130	1,000	
EF5	-0,015	-0,752	0,270	0,171	1,000

QUADRO IV.4 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES DA BH TIBAGI

BH TIBAGI	EF1	EF2	EF3	EF4	EF5
EF1	1,000				
EF2	-0,245	1,000			
EF3	-0,859	0,597	1,000		
EF4	0,779	-0,762	-0,839	1,000	
EF5	-0,944	0,451	0,958	-0,845	1,000

QUADRO IV.5 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES DO CONJUNTO DE BHs

CONJUNTO DE BH	EF1	EF2	EF3	EF4	EF5
EF1	1,000				
EF2	-0,147	1,000			
EF3	0,042	0,079	1,000		
EF4	0,071	0,135	-0,060	1,000	
EF5	0,109	-0,142	0,052	0,162	1,000

## APÊNDICE V – MODELOS DE REGRESSÃO MÚLTIPLA

QUADRO V.1 – NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NOS MODELOS DE REGRESSÃO MÚLTIPLA PARA OS TRS DE 2, 5, 10, 100 E 1000 ANOS DA BH IGUAÇU

TR = 2 ANOS						
Nº de variáveis	R <sup>2a</sup>	AICc	Nível de significância			
			EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>
1 <sup>12</sup>	0,540	306,18	0,000	-	-	-
2	0,538	308,58	0,001	-	0,354	-
3	0,522	312,03	0,001	-	0,292	0,480
4	0,482	316,97	0,001	0,949	0,313	0,499
TR = 5 ANOS						
Nº de variáveis	R <sup>2a</sup>	AICc	Nível de significância			
			EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>
1 <sup>12</sup>	0,530	319,76	0,001	-	-	-
2	0,529	322,1	0,001	-	0,340	-
3	0,511	325,6	0,001	-	0,284	0,498
4	0,471	330,53	0,001	0,934	0,306	0,514
TR = 10 ANOS						
Nº de variáveis	R <sup>2a</sup>	AICc	Nível de significância			
			EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>
1 <sup>12</sup>	0,523	326,54	0,001	-	-	-
2	0,524	328,85	0,001	-	0,333	-
3	0,504	332,39	0,001	-	0,281	0,512
4	0,463	337,32	0,002	0,928	0,303	0,526
TR = 100 ANOS						
Nº de variáveis	R <sup>2a</sup>	AICc	Nível de significância			
			EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>
1 <sup>12</sup>	0,504	342,05	0,001	-	-	-
2	0,507	344,29	0,001	-	0,319	-
3	0,484	347,92	0,001	-	0,277	0,550
4	0,441	352,85	0,002	0,917	0,298	0,560
TR = 1000 ANOS						
Nº de variáveis	R <sup>2a</sup>	AICc	Nível de significância			
			EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>
1 <sup>12</sup>	0,488	352,73	0,001	-	-	-
2	0,492	354,92	0,001	-	0,311	-
3	0,466	358,62	0,002	-	0,275	0,580
4	0,422	363,55	0,003	0,908	0,297	0,587

<sup>1</sup>modelos selecionados com nível de significância de 5% no teste T de Student

<sup>2</sup>modelos selecionados com nível de significância de 10% no teste T de Student

Cinza escuro: maior valor de R<sup>2a</sup> e menor AICc



QUADRO V.2 – NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NOS MODELOS DE REGRESSÃO MÚLTIPLA PARA OS TRS DE 2, 5, 10, 100 E 1000 ANOS DA BH PIQUIRI

TR = 2 ANOS						
Nº de variáveis	R <sup>2</sup> a	AICc	Nível de significância			
			EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>
1	0,633	185,05	0,002	-	-	-
2	0,848	179,28	< 0,0001	0,006	-	-
3 <sup>12</sup>	0,953	172,25	< 0,0001	0,000	-	0,003
4	0,954	181,41	< 0,0001	0,000	0,337	0,005
TR = 5 ANOS						
Nº de variáveis	R <sup>2</sup> a	AICc	Nível de significância			
			EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>
1	0,653	190,2	0,002	-	-	-
2	0,858	184,31	< 0,0001	0,006	-	-
3 <sup>12</sup>	0,966	174,4	< 0,0001	< 0,0001	-	0,001
4	0,965	183,95	< 0,0001	0,000	0,393	0,002
TR = 10 ANOS						
Nº de variáveis	R <sup>2</sup> a	AICc	Nível de significância			
			EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>
1	0,670	192,67	0,001	-	-	-
2	0,869	186,44	< 0,0001	0,005	-	-
3 <sup>12</sup>	0,978	172,86	< 0,0001	< 0,0001	-	0,000
4	0,977	182,41	< 0,0001	< 0,0001	0,395	0,001
TR = 100 ANOS						
Nº de variáveis	R <sup>2</sup> a	AICc	Nível de significância			
			EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>
1	0,719	198,22	0,001	-	-	-
2	0,889	191,97	< 0,0001	0,005	-	-
3 <sup>12</sup>	0,983	177	< 0,0001	< 0,0001	-	0,000
4	0,981	187,85	< 0,0001	< 0,0001	0,787	0,001
TR = 1000 ANOS						
Nº de variáveis	R <sup>2</sup> a	AICc	Nível de significância			
			EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>
1	0,727	203,86	0,001	-	-	-
2 <sup>1</sup>	0,837	202,11	< 0,0001	0,029	-	-
3 <sup>2</sup>	0,884	204,25	0,000	0,010	-	0,079
4	0,866	215,18	0,000	0,017	0,856	0,106

<sup>1</sup>modelos selecionados com nível de significância de 5% no teste T de Student

<sup>2</sup>modelos selecionados com nível de significância de 10% no teste T de Student

Cinza escuro: maior valor de R<sup>2</sup>a e menor AICc

QUADRO V.3 – NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NOS MODELOS DE REGRESSÃO MÚLTIPLA PARA OS TRS DE 2, 5, 10, 100 E 1000 ANOS DA BH IVAÍ

TR = 2 ANOS						
Nº de variáveis	R <sup>2</sup> a	AICc	Nível de significância			
			EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>
1 <sup>12</sup>	0,709	190,730	0,001			
2	0,728	193,950	0,001		0,240	
3	0,692	201,170	0,003	0,798	0,330	
4	0,644	212,050	0,008	0,780	0,397	0,808
TR = 5 ANOS						
Nº de variáveis	R <sup>2</sup> a	AICc	Nível de significância			
			EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>
1 <sup>12</sup>	0,688	198,490	0,001	-	-	-
2	0,697	202,110	0,001	-	0,293	-
3	0,656	209,360	0,003	-	0,342	0,823
4	0,599	220,350	0,012	0,945	0,422	0,829
TR = 10 ANOS						
Nº de variáveis	R <sup>2</sup> a	AICc	Nível de significância			
			EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>
1 <sup>12</sup>	0,673	202,590	0,001	-	-	-
2	0,680	206,290	0,001	-	0,306	-
3	0,637	213,560	0,003	-	0,354	0,845
4	0,576	224,560	0,015	0,997	0,420	0,860
TR = 100 ANOS						
Nº de variáveis	R <sup>2</sup> a	AICc	Nível de significância			
			EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>
1 <sup>12</sup>	0,621	212,830	0,002	-	-	-
2	0,631	216,500	0,003	-	0,300	-
3	0,578	223,800	0,006	-	0,339	0,986
4	0,509	234,800	0,026	0,900	0,384	0,993
TR = 1000 ANOS						
Nº de variáveis	R <sup>2</sup> a	AICc	Nível de significância			
			EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>
1 <sup>12</sup>	0,543	221,440	0,006	-	-	-
2	0,558	225,010	0,006	-	0,285	-
3	0,499	232,250	0,013	-	0,309	0,813
4	0,421	243,160	0,050	0,832	0,341	0,798

<sup>1</sup>modelos selecionados com nível de significância de 5% no teste T de Student

<sup>2</sup>modelos selecionados com nível de significância de 10% no teste T de Student

Cinza escuro: maior valor de R<sup>2</sup>a e menor AICc

QUADRO V.4 - NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NOS MODELOS DE REGRESSÃO MÚLTIPLA PARA OS TRS DE 2, 5, 10, 100 E 1000 ANOS DA BH TIBAGI

TR = 2 ANOS						
Nº de variáveis	R <sup>2</sup> a	AIC	Nível de significância			
			EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>
1	0,913	58,722	-	-	0,007	-
2	0,981	51,185	0,077	-	0,053	-
3 <sup>12</sup>	1,000	26,199	0,017	0,043	0,04	-
TR = 5 ANOS						
Nº de variáveis	R <sup>2</sup> a	AIC	Nível de significância			
			EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>
1	0,934	61,490	-	-	0,005	-
2 <sup>12</sup>	0,994	49,632	0,032	-	0,015	-
3	0,998	41,502	0,065	0,237	0,082	-
TR = 10 ANOS						
Nº de variáveis	R <sup>2</sup> a	AIC	Nível de significância			
			EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>
1	0,948	62,540	-	-	0,003	-
2 <sup>12</sup>	0,996	49,319	0,024	-	0,008	-
3	0,993	50,834	0,165	0,803	0,129	-
TR = 100 ANOS						
Nº de variáveis	R <sup>2</sup> a	AIC	Nível de significância			
			EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>
1 <sup>12</sup>	0,951	68,067	-	-	0,003	-
2	0,974	64,896	-	0,197	0,008	-
3	0,949	66,834	0,929	0,515	0,205	-
TR = 1000 ANOS						
Nº de variáveis	R <sup>2</sup> a	AIC	Nível de significância			
			EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>
1 <sup>12</sup>	0,899	76,664	-	-	0,009	-
2	0,941	73,947	-	-	0,029	0,219
3	0,908	74,686	0,687	-	0,183	0,374

<sup>1</sup>modelos selecionados com nível de significância de 5% no teste T de Student

<sup>2</sup>modelos selecionados com nível de significância de 10% no teste T de Student

Cinza escuro: maior valor de R<sup>2</sup>a e menor AICc

QUADRO V.5 – NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES NOS MODELOS DE REGRESSÃO MÚLTIPLA PARA OS TRS DE 2, 5, 10, 100 E 1000 ANOS PARA O CONJUNTO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

TR = 2 ANOS							
Nº de variáveis	R <sup>2</sup> a	AICc	Nível de significância				
			EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>	EF <sub>5</sub>
1	0,557	760,41	< 0,0001	-	-	-	-
2	0,594	757,91	< 0,0001	-	-	-	0,033
3 <sup>12</sup>	0,623	756,14	< 0,0001	-	0,049	-	0,035
4	0,631	756,73	< 0,0001	-	0,038	0,176	0,057
5	0,622	759,56	< 0,0001	0,909	0,040	0,182	0,066
TR = 5 ANOS							
Nº de variáveis	R <sup>2</sup> a	AICc	Nível de significância				
			EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>	EF <sub>5</sub>
1 <sup>1</sup>	0,551	792,35	< 0,0001	-	-	-	-
2	0,580	790,77	< 0,0001	-	-	-	0,055
3 <sup>2</sup>	0,611	788,86	< 0,0001	-	0,045	-	0,058
4	0,614	790,04	< 0,0001	-	0,037	0,250	0,088
5	0,604	792,87	< 0,0001	0,935	0,040	0,258	0,099
TR = 10 ANOS							
Nº de variáveis	R <sup>2</sup> a	AICc	Nível de significância				
			EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>	EF <sub>5</sub>
1	0,546	808,76	< 0,0001	-	-	-	-
2 <sup>1</sup>	0,581	806,56	< 0,0001	-	0,039	-	-
3 <sup>2</sup>	0,606	805,30	< 0,0001	-	0,042	-	0,064
4	0,608	806,67	< 0,0001	-	0,035	0,282	0,095
5	0,598	809,51	< 0,0001	0,952	0,038	0,291	0,106
TR = 100 ANOS							
Nº de variáveis	R <sup>2</sup> a	AICc	Nível de significância				
			EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>	EF <sub>5</sub>
1	0,530	847,51	< 0,0001	-	-	-	-
2 <sup>1</sup>	0,572	844,74	< 0,0001	-	0,029	-	-
3 <sup>2</sup>	0,599	843,38	< 0,0001	-	0,030	-	0,061
4	0,598	844,97	< 0,0001	-	0,026	0,326	0,089
5	0,588	847,81	< 0,0001	0,978	0,029	0,343	0,096
TR = 1000 ANOS							
Nº de variáveis	R <sup>2</sup> a	AICc	Nível de significância				
			EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>	EF <sub>5</sub>
1	0,510	876,39	< 0,0001	-	-	-	-
2	0,559	873,12	< 0,0001	-	0,022	-	-
3 <sup>12</sup>	0,590	871,33	< 0,0001	-	0,023	-	0,048
4	0,590	872,91	< 0,0001	-	0,020	0,324	0,072
5	0,580	875,72	< 0,0001	0,872	0,023	0,352	0,075

<sup>1</sup>modelos selecionados com nível de significância de 5% no teste T de Student

<sup>2</sup>modelos selecionados com nível de significância de 10% no teste T de Student

Cinza escuro: maior valor de R<sup>2</sup>a e menor AICc

QUADRO V.6 - COEFICIENTES DOS MODELOS DE REGRESSÃO MÚLTIPLA SELECIONADOS PARA OS TRS DE 2, 5, 10, 100 E 1000 ANOS PARA A BH IGUAÇU

Tempo de recorrência	R <sup>2a</sup>	R <sup>2</sup>	AICc	Coeficientes do modelo de regressão					
				Intercepto	EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>	EF <sub>5</sub>
2	0,540	0,569	306,18	1438,17	1763,25	-	-	-	-
5	0,530	0,559	319,76	2080,00	2578,31	-	-	-	-
10	0,523	0,553	326,54	2491,28	3108,76	-	-	-	-
100	0,504	0,535	342,05	3727,94	4731,86	-	-	-	-
1000	0,488	0,520	352,73	4894,51	6282,08	-	-	-	-

QUADRO V.7 - COEFICIENTES DOS MODELOS DE REGRESSÃO MÚLTIPLA SELECIONADOS PARA OS TRS DE 2, 5, 10, 100 E 1000 ANOS PARA A BH PIQUIRI

Tempo de recorrência	R <sup>2a</sup>	R <sup>2</sup>	AICc	Coeficientes do modelo de regressão					
				Intercepto	EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>	EF <sub>5</sub>
2	0,953	0,967	172,25	1771,49	1538,48	630,37	-	-465,95	-
5	0,966	0,976	174,4	2363,85	2011,78	802,26	-	-610,36	-
10	0,978	0,984	172,86	2773,07	2323,89	906,81	-	-696,99	-
100	0,983	0,988	177	4201,35	3309,95	1168,88	-	-905,47	-
1000	0,884	0,919	204,25	5984,37	4317,58	1277,66	-	-945,80	-

QUADRO V.8 - COEFICIENTES DOS MODELOS DE REGRESSÃO MÚLTIPLA SELECIONADOS PARA OS TRS DE 2, 5, 10, 100 E 1000 ANOS PARA A BH IVAÍ

Tempo de recorrência	R <sup>2a</sup>	R <sup>2</sup>	AICc	Coeficientes do modelo de regressão					
				Intercepto	EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>	EF <sub>5</sub>
2	0,709	0,738	190,730	479,12	2963,34	-	-	-	-
5	0,688	0,719	198,490	695,82	4015,65	-	-	-	-
10	0,673	0,706	202,590	844,88	4690,15	-	-	-	-
100	0,621	0,659	212,830	1388,40	6704,81	-	-	-	-
1000	0,543	0,589	221,440	2160,61	8528,46	-	-	-	-

QUADRO V.9 - COEFICIENTES DOS MODELOS DE REGRESSÃO MÚLTIPLA SELECIONADOS PARA OS TRS DE 2, 5, 10, 100 E 1000 ANOS PARA A BH TIBAGI

Tempo de recorrência	R <sup>2a</sup>	R <sup>2</sup>	AICc	Coeficientes do modelo de regressão					
				Intercepto	EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>	EF <sub>5</sub>
2	1,000	1,000	26,199	1238,82	866,47	-216,60	-445,05	-	-
5	0,997	0,994	49,632	2295,43	882,50	-	-1245,77	-	-
10	0,996	0,998	49,319	2963,40	987,98	-	-1672,69	-	-
100	0,951	0,964	68,067	6948,30	-	-	-4501,40	-	-
1000	0,924	0,899	76,664	10658,46	-	-	-7224,09	-	-

QUADRO V.10 - COEFICIENTES DOS MODELOS DE REGRESSÃO MÚLTIPLA SELECIONADOS PARA OS TRS DE 2, 5, 10, 100 E 1000 ANOS PARA O CONJUNTO DE BHs

Tempo de recorrência	R <sup>2a</sup>	R <sup>2</sup>	AICc	Coeficientes do modelo de regressão					
				Intercepto	EF <sub>1</sub>	EF <sub>2</sub>	EF <sub>3</sub>	EF <sub>4</sub>	EF <sub>5</sub>
2	0,623	0,649	756,14	1389,55	1679,73	-	-383,34	-	-397,07
5	0,611	0,638	788,86	1934,58	2378,99	-	-565,44	-	-514,36
10	0,606	0,634	805,30	2293,78	2839,02	-	-694,38	-	-603,86
100	0,599	0,627	843,38	3448,33	4282,79	-	-1142,02	-	-943,48
1000	0,590	0,619	871,33	4706,42	5735,66	-	-1655,18	-	-1368,96

