

**REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES
DAS SUB-BACIAS 40 e 41
Alto São Francisco**

VOLUME IV

REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÁXIMAS

Por:
Eng^o Civil - Mestre. Eber José de Andrade Pinto
Eng^a Civil - Margarida Maria Silva Alves

Belo Horizonte, dezembro de 2001

**RELATÓRIO FINAL
VOLUME IV**

**CONVÊNIO
015/2000 ANEEL - 013/CPRM/2000**

**REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA
COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM**

CONVÊNIO: 015/2000 ANEEL - 013/CPRM/2000

**REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES
SUB-BACIAS 40 e 41**

**RELATÓRIO FINAL
VOLUME IV**

REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÁXIMAS

**EXECUTADO PELO SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL - DHT
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELO HORIZONTE**



2001

REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES DAS SUB-BACIAS 40 E 41 VOLUME IV

CRÉDITOS

CHEFE DO PROJETO

Eber José de Andrade Pinto – Engenheiro Civil, Mestre

EQUIPE TÉCNICA

Margarida Maria Silva Alves - Engenheira Civil
Maurina Siqueira Soares de Freitas - Técnica em Hidrologia
Alessandro José da Silva - Técnico
José Geraldo Alves Franco - Técnico

APOIO OPERACIONAL

Maria Madalena Costa Ferreira - Bibliotecária
Elizabeth de Almeida Cadête Costa – Técnica de Cartografia

GERÊNCIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL

Maria Letícia Rabelo Alves Patrus – Engenheira Civil

COORDENAÇÃO GERAL

Lígia Maria Nascimento de Araújo – Engenheira Civil, Mestre – Departamento de Hidrologia

CONSULTOR

Prof. Carlos E. M. Tucci – Engenheiro Civil, PhD – Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

APRESENTAÇÃO

Este relatório, composto de 5 volumes, apresenta os resultados finais da regionalização de vazões da bacia do Alto São Francisco, abrangendo as sub-bacias 40 e 41 conforme a divisão da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Estes estudos se referem à meta 7 do CONVÊNIO ANEEL/CPRM (Convênio ANEEL nº 15/2000 ou 013/CPRM/2000) assinado em 13 de outubro de 2000 e que vigorou até 31 de dezembro de 2001. Os volumes que compõem o relatório final estão organizados da seguinte forma:

VOLUME I – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E ANÁLISE DOS DADOS BÁSICOS

VOLUME II – REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÉDIAS

VOLUME III – REGIONALIZAÇÃO DAS CURVAS DE PERMANÊNCIA E DAS
CURVAS DE REGULARIZAÇÃO

VOLUME IV – REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÁXIMAS

VOLUME V – REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÍNIMAS

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	01
2 – LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO	03
3 – METODOLOGIA	04
3.1 – Regionalização de vazões máximas anuais	04
3.1.1 – Medida de discordância - DI	06
3.1.2 – Medida de heterogeneidade - H	07
3.1.3 – Teste de aderência - Z.....	09
3.1.4 – Equações de regressão do fator de adimensionalização.....	10
4 – COLETA E ANÁLISE DOS DADOS BÁSICOS	12
5 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E CLIMÁTICAS	12
6 – REGIONALIZAÇÃO DAS VAZÕES MÁXIMAS	15
6.1 – Análise dos dados	15
6.2 – Definição das regiões homogêneas.....	15
6.3 – Seleção das distribuições de frequência regionais.....	20
6.4 – Definição das equações de regressão regionais	24
6.5 – Aplicação dos resultados.....	28
7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	30
8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

ANEXOS

ANEXO A – MOMENTOS-L: CONCEITOS BÁSICOS

ANEXO B – SÉRIES DE VAZÕES MÁXIMAS ANUAIS

ANEXO C – TESTE DE MANN-KENDAL

ANEXO D – VERIFICAÇÃO DA INDEPENDÊNCIA ESPACIAL

ANEXO E – ESTUDOS DE INDICADORES REGIONAIS

ANEXO F – MOMENTOS-L e RAZÕES-L AMOSTRAIS

**ANEXO G – DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS ADIMENSIONAIS
DISTRIBUIÇÕES REGIONAIS ADIMENSIONAIS
DIAGRAMA CURTOSE-L x ASSIMETRIA-L**

ANEXO H – TABELA DA DISTRIBUIÇÃO NORMAL PARAMETRIZADA

**ANEXO I – GRÁFICOS ENTRE OS VALORES OBSERVADOS e CALCULADOS
PELOS VAZÕES MÁXIMAS ANUAIS**

ANEXO J – AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DA REGIONALIZAÇÃO

ANEXO K – FOTOS DA CHEIA DE JAN/1997 EM ALGUMAS ESTAÇÕES

ANEXO DE MAPAS

- **MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS**
- **MAPA DE REGIÕES HOMOGÊNEAS PARA AS VAZÕES MÁXIMAS ANUAIS**

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Localização das sub-bacias 40 e 41 no Estado de Minas Gerais

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Valores críticos da medida de discordância - Di

Tabela 5.1 – Características Físicas e Climáticas

Tabela 6.1 – Séries utilizadas na regionalização das vazões máximas anuais

Tabela 6.2 – Estações que formam as regiões homogêneas para as vazões máximas anuais

Tabela 6.3 – Valores regionais das razões-L e dos momentos-L

Tabela 6.4 – Resultados do teste de aderência (Z)

Tabela 6.5 – Parâmetros das distribuições regionais

Tabela 6.6 – Quantis regionais adimensionalizados

Tabela 6.7 – Estações não utilizadas na análise de regressão

Tabela 6.8 - Matriz de correlação entre as variáveis dos modelos das médias das vazões máximas anuais

Tabela 6.9 - Modelos de regressão ajustados para $Q_{\max\text{-med}}$

1 – INTRODUÇÃO

A vazão máxima de um rio é entendida como a maior vazão que ocorre numa determinada seção num período definido, cujo o valor pode ser associado a um risco de ser igualado ou ultrapassado.

O conhecimento das vazões máximas em uma bacia é necessário para a previsão, controle e atenuação de cheias e também no dimensionamento de obras hidráulicas tais como condutos, canais, diques e extravasores de barragens entre outras aplicações. Os custos e a segurança dos projetos de engenharia que envolvem os recursos hídricos estão diretamente relacionados a estimativa dessas vazões.

Uma rede hidrometeorológica, ainda que densa, dificilmente atenderá com seus dados às necessidades de informação dos diversos setores que utilizam os recursos hídricos. Sempre haverá a necessidade de se determinar a disponibilidade hídrica em locais sem monitoramento ou com dados constituindo séries de curta duração ou com períodos longos de falhas de observação.

Para contornar esta situação, são utilizadas metodologias de regionalização que possibilitam a transferência de informações de uma região monitorada para outra que não possua coleta sistemática de dados, mas considerada de comportamento hidrológico semelhante. Segundo Tucci (2000) a regionalização é uma técnica que permite explorar as informações existentes e apresentará resultados mais confiáveis quanto maior for a disponibilidade de dados hidrológicos.

Atualmente, a utilização da análise de frequência regional não se restringe apenas à necessidade de transferência espacial de variáveis hidrológicas, mas também à otimização da estimativa dos parâmetros de uma distribuição de probabilidades teórica, identificação de regiões com carência de postos de observação e verificação da consistência das séries hidrológicas. Segundo Pires (1994), uma das razões para se optar pela regionalização é o aumento considerável no número de informações, que passa a ter caráter regional, possibilitando uma redução do erro amostral. Além disso, o NRC - U.S. National Research Council (1988), sugeriu o princípio de substituir o tempo por espaço, através de modelos de regionalização, com o objetivo de melhorar as estimativas de eventos extremos.

De acordo com Tucci (1993), os métodos de regionalização são classificados em: (i) Métodos que regionalizam os parâmetros da distribuição de probabilidades, (ii) Métodos que regionalizam o evento com um determinado risco e (iii) Métodos que regionalizam uma curva adimensional de probabilidades, genericamente denominado de método da cheia-índice ou "index-flood".

Independente do método de regionalização, um dos pontos cruciais é a delimitação de regiões hidrológicas ou estatisticamente homogêneas, ou seja, região com várias estações que tenham séries oriundas de populações regidas pela mesma distribuição de probabilidades com o fator de escala variando entre as estações.

Um dos avanços dos estudos de regionalização, objetivando a diminuição da subjetividade das etapas necessárias ao desenvolvimento dos trabalhos, foi a apresentação por Wallis (1989), das técnicas de regionalização "index-flood" utilizando momentos-L e o posterior desenvolvimento por Hosking e Wallis (1993 e 1995), de três estatísticas-L para

aplicação nas etapas de consistência de dados, identificação de regiões homogêneas e na definição da distribuição de frequência regional.

Este volume apresenta os estudos de regionalização das vazões máximas anuais da bacia do Alto São Francisco, que representa toda a bacia até a confluência do rio das Velhas, inclusive. Esta área abrange as sub-bacias denominadas pela ANEEL como sub-bacias 40 e 41. A metodologia adotada para a regionalização das vazões máximas anuais é a do tipo (iii) mencionada, utilizando os momentos-L e as estatísticas-L.

Os dados hidrológicos e as características físicas utilizados e mencionados neste estudo são apresentados e discutidos em detalhes no Volume I deste relatório final.

2 – LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO

“A sub-bacia 40 situa-se na região central do Estado de Minas Gerais, numa área da ordem de 51.000km² compreendida entre as nascentes do rio São Francisco e a Barragem de Três Marias, correspondendo aproximadamente às latitudes 18°15’ e 20°40’ Sul e longitudes 43°50’ e 46°10’ Oeste.” (CPRM, 1995a)

“A sub-bacia 41, corresponde à parcela da bacia do rio São Francisco, com área aproximada de 39.000km², compreendida entre a barragem de Três Marias exclusive e a barra do rio das Velhas inclusive. Está localizada no centro do estado de Minas Gerais, entre as latitudes 17° 20’ e 20° 30’ Sul e longitudes 43° 30’ e 46° 20’ Oeste. Apresenta forma irregular, abrangendo trecho relativamente curto do curso do rio São Francisco, cerca de 150km, sendo sua área mais expressiva, a bacia do rio das Velhas, o maior tributário do Alto São Francisco. O rio Abaeté é o segundo maior tributário do rio São Francisco nesta sub-bacia, seguindo-se outros bem menos expressivos, como o rio Formoso, afluente da margem esquerda e o rio de Janeiro, afluente da margem direita.”(CPRM, 1995b). Ver Figura 2.1.

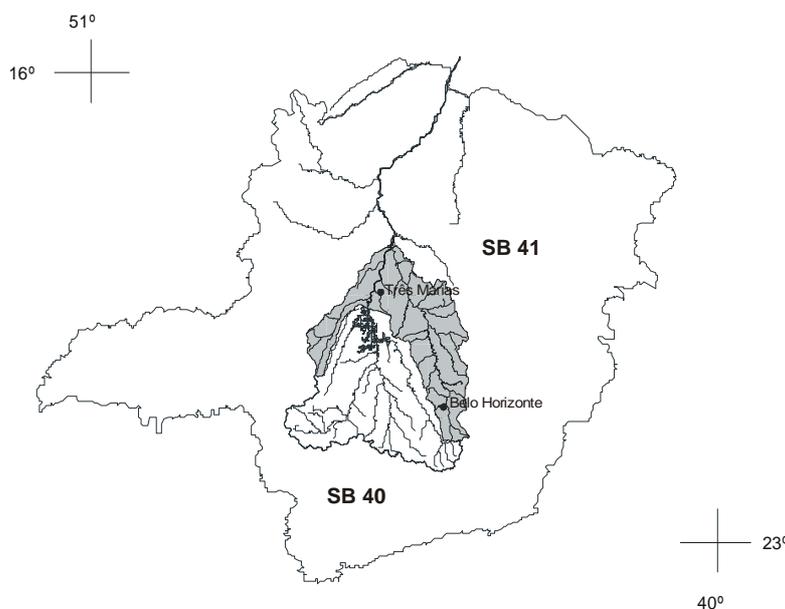


Figura 2.1 – Localização das Sub-bacias 40 e 41 no Estado de Minas Gerias

A caracterização da região faz parte do Volume I deste relatório e apresenta uma descrição da localização, da fisiografia, da geologia e geomorfologia, da hidrogeologia, da vegetação e do clima das sub-bacias em estudo.

3 – METODOLOGIA

3.1 – Regionalização de vazões máximas anuais

A regionalização das vazões máximas anuais foi realizada com a aplicação do método “index-flood”, utilizando momentos-L e empregando as estatísticas-L. O método “index-flood” assume as seguintes premissas:

- As observações de qualquer estação são identicamente distribuídas;
- As observações de qualquer estação não podem ser autocorrelacionáveis;
- As observações de diferentes estações são independentes, ou seja, tem que haver independência espacial;
- As distribuições de frequência das diferentes estações são as mesmas, diferindo apenas o fator de escala;
- A forma matemática da curva de frequência regional é definida.

Assim, para se aplicar esta metodologia, é necessário verificar a independência serial e espacial das séries que serão utilizadas nos estudos. Isto pode ser realizado com o cálculo do coeficiente de autocorrelação de cada série para assegurar a independência serial e construir a matriz de covariância, contendo a correlação entre todas as estações da região, dois a dois, nos períodos comuns, a fim de verificar se há independência espacial.

As etapas necessárias para aplicação do método “index-flood” foram descritas por (CPRM 2000) como sendo as seguintes:

“a) Organização e adimensionalização das séries

Na proposta inicial de Dalrymple (1960), as séries utilizadas devem ter períodos comuns de dados. Assim a primeira etapa consiste na montagem das séries com a variável a ser regionalizada e quando necessário é efetuado um estudo de preenchimento de falhas. Em seguida cada elemento, X_{ij} , das séries, onde i é o número de ordem do elemento na estação (j), é adimensionalizado através da relação entre o elemento e o fator de adimensionalização, μ_j , da estação (j). Formando, dessa maneira, série de elementos adimensionais X_{ij}/μ_j .

b) Definição das curvas empíricas de frequência de cada estação hidrometeorológica

As curvas são traçadas de uma forma não paramétrica, plotando-se, no papel de probabilidades os valores das séries adimensionalizadas com a correspondente posição de plotagem. NERC (1975) e Dalrymple (1960) utilizaram o papel de Gumbel.

c) Definição das regiões homogêneas e das curvas de frequência regional

As regiões hidrológicas homogêneas são definidas a partir das características meteorológicas, geográficas e da similaridade da "tendência" das curvas de frequência individuais. Dessa forma, um grupo de curvas com a mesma "tendência", dentro de uma região com características geográficas e meteorológicas semelhantes, formam uma região homogênea. A partir das curvas empíricas das estações da mesma região homogênea, grafadas no papel de probabilidade, é possível definir a curva regional. Esta é traçada a sentimento, de maneira que

a curva regional seja a mediana das curvas empíricas individuais da região homogênea. Entretanto, como o traçado da curva regional tem caráter subjetivo, a sua extrapolação para tempos de retorno maiores é problemática. Procurando apresentar uma solução para este problema, NERC (1975), desenvolveu uma metodologia para efetuar as extrapolações.

d) Análise de regressão

A regressão é elaborada a partir do fator de adimensionalização, μ_j , de cada estação (j) da região homogênea, com as características da bacia, tais como, áreas de drenagem, precipitação anual, declividade do canal principal, intensidade da chuva horária em T anos de recorrência, entre outros. Dessa maneira, temos que:

$$\hat{\mu}_j = f(\text{características da bacia}) \quad (3.1.1)$$

A função de regressão pode ser de vários tipos: potencial, exponencial, logarítmica etc. De uma forma geral, a função potencial tem apresentado resultados convincentes. Independente do tipo de função, o modelo ideal é aquele com o menor número de variáveis explicativas e que apresenta pequeno erro fatorial, com alto coeficiente de determinação não tendencioso (Pires, 1994).

e) Estimativa de um evento com um período de retorno qualquer

A partir da curva adimensional regional determina-se o quantil associado a um período de retorno, $(X/\mu)_T$. Em seguida estima-se o fator de adimensionalização, $\hat{\mu}_j$, através da equação de regressão para qualquer local da região homogênea, e calcula-se o evento, X_T , para o período de retorno, T, através da seguinte equação:

$$X_T = (X/\mu)_T \hat{\mu}_j \quad (3.1.2)$$

Segundo Pires, 1994, a grande vantagem do "index-flood" em relação aos outros métodos, parece residir no fato da regressão ser feita com uma medida de tendência central, pois observa-se que valores médios costumam apresentar menor variabilidade amostral que os momentos de ordens superiores.”

No presente trabalho não foram adotadas séries com períodos comuns de dados, mas as séries completas, com todo o período observado, conforme apresentado por Tucci (2000).

Os momentos-L foram apresentados por Hosking (1986) como sendo combinações lineares dos momentos ponderados por probabilidade de uma variável aleatória X, ou simplesmente MPP's. Esses momentos foram definidos por Greenwood et al. (1979). Maiores informações sobre os conceitos básicos dos momentos-L estão apresentados no Anexo A .

Esquemáticamente, as etapas de aplicação do método “index-flood” utilizando momentos-L são as seguintes:

- Cálculo do fator de adimensionalização, μ_j , de cada estação, j, através da média aritmética dos eventos observados;

- Adimensionalização das séries através da relação, (X_{ij} / μ_j) , onde X_{ij} é o i ésimo elemento da estação j ;
- Cálculo dos momentos-L amostrais $l_{r,j}$ das séries adimensionalizadas para $r = 1, 2, 3$ e 4 ;
- Cálculo das razões-L amostrais, t_j e $t_{r,j}$, das séries adimensionalizadas para $r = 3$ e 4 ;
- Definição das regiões homogêneas;
- Cálculo das estimativas adimensionais regionais a partir da média ponderada dos momentos-L e razões-L amostrais das estações da região homogênea. As médias são ponderadas pelo tamanho da séries:

$$\bar{l}_r = \frac{\sum_{j=1}^N n_j l_{r,j}}{\sum_{j=1}^N n_j} \quad \text{para } r = 1, 2, 3 \text{ e } 4 \quad (3.1.3)$$

$$\bar{t} = \frac{\sum_{j=1}^N n_j t_j}{\sum_{j=1}^N n_j} \quad (3.1.4)$$

$$\bar{t}_r = \frac{\sum_{j=1}^N n_j t_{r,j}}{\sum_{j=1}^N n_j} \quad \text{para } r = 3 \text{ e } 4 \quad (3.1.5)$$

- Seleção da distribuição teórica regional de probabilidades, e a estimativa, através dos momentos-L, dos parâmetros, θ_i^R , para $i = 1, 2, 3, \dots, n$, onde n é o número de parâmetros da distribuição selecionada;
- Análise de regressão do fator de adimensionalização através de variáveis independentes, como as características fisiográficas e/ou meteorológicas da região.

Procurando minimizar subjetividades na definição de regiões homogêneas e escolha da distribuição teórica de probabilidades, Hosking e Wallis (1993 e 1995) desenvolveram três estatísticas-L para serem utilizadas nas etapas de consistência de dados, delimitação de regiões homogêneas e seleção da distribuição de probabilidades regional, as quais encontram-se apresentadas a seguir.

3.1.1 – Medida de discordância - DI

A medida de discordância, definida em termos dos momentos-L dos locais estudados, procura identificar as estações que são grosseiramente discrepantes das características médias regionais.

Considerando L-CV, assimetria-L e curtose-L, de um local j , como um ponto em um espaço tridimensional, temos u_i um vetor (1x3) contendo essas razões-L, dado por:

$$u_i = \left(t^{(j)} \quad t_3^{(j)} \quad t_4^{(j)} \right)^T \quad (3.1.6)$$

Considerando também, \bar{u} um vetor (3x1), da média aritmética simples entre todos os postos estudados:

$$\bar{u} = N^{-1} \sum_{j=1}^N u_j \quad (3.1.7)$$

$$u = \left(t^{(R)} \quad t_3^{(R)} \quad t_4^{(R)} \right)^T \quad (3.1.8)$$

Temos que a matriz de covariância amostral é dada por

$$S = (N-1)^{-1} \sum_{j=1}^N (u_j - \bar{u})(u_j - \bar{u})^T \quad (3.1.9)$$

sendo N, o número de locais da região, e T indica matriz transposta.

A medida de discordância D_j , para o local j , é definida por Hosking e Wallis (1995) como:

$$D_j = \frac{N}{3(N-1)} (u_j - \bar{u})^T S^{-1} (u_j - \bar{u}) \quad (3.1.10)$$

Hosking e Wallis (1995) sugerem os valores críticos de D_i apresentados na Tabela 3.1 e recomendam o uso dessa estatística somente quando $N \geq 7$. Assim, em regiões com mais de 15 estações uma delas é discordante quando $D_i \geq 3$.

Tabela 3.1 - Valores críticos da medida de discordância - D_i

Nº de locais na região	D_i	Nº de locais na região	D_i
5	1,333	11	2,632
6	1,648	12	2,757
7	1,917	13	2,869
8	2,140	14	2,971
9	2,329	≥ 15	3
10	2,491		

Fonte: Hosking e Wallis (1995)

3.1.2 – Medida de heterogeneidade - H

A medida de heterogeneidade H, tem por objetivo verificar o grau de heterogeneidade de uma região através da comparação da variabilidade amostral observada e a variabilidade esperada de uma região homogênea, a qual é simulada através do método de Monte Carlo.

De acordo com Hosking e Wallis (1993), numa região homogênea todas as estações com as séries adimensionalizadas dispõem dos mesmos momentos populacionais. Porém, devido à variabilidade amostral, os seus momentos amostrais são diferentes.

O cálculo da dispersão das regiões proposta e simulada, segundo Hosking e Wallis (1993), deve ser realizado através do coeficiente de variação amostral (L-CV), ou seja, t . Esses autores apresentam a medida da variância como uma medida de dispersão, ponderada pelo tamanho das séries, pela seguinte equação:

$$v = \frac{\sum_{j=1}^N n_j \left(\frac{(j)}{t} - t \right)^2}{\sum_{j=1}^N n_j} \quad (3.1.11)$$

Hosking e Wallis (1993) recomendam o uso da distribuição Kappa de quatro parâmetros na simulação da região homogênea. Todavia, caso não se consiga ajustar essa distribuição aos momentos-L médios regionais, os autores mencionados aconselham a utilização da distribuição Logística Generalizada na simulação, sendo esta distribuição um caso particular da distribuição Kappa, quando o parâmetro de forma h é igual a 1.

Hosking (1988) apresentou as equações da função densidade de probabilidade, da função de distribuição acumulada e da sua inversa, relativas à distribuição Kappa de quatro parâmetros, respectivamente, como:

$$f(x) = \alpha^{-1} \left\{ \left[1 - \frac{k(x - \xi)}{\alpha} \right]^{\frac{1}{k}} [F(x)]^{1-h} \right\} \quad (3.1.12)$$

$$F(x) = \left\{ 1 - h \left[1 - \frac{k(x - \xi)}{\alpha} \right]^{\frac{1}{k}} \right\}^{\frac{1}{h}} \quad (3.1.13)$$

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\frac{1 - (F(x))^h}{h} \right]^k \right\} \quad (3.1.14)$$

sendo ξ o parâmetro de posição, α o parâmetro de escala e k e h os parâmetros de forma.

O número adequado de simulações do "universo" Kappa, N_{SIM} , realizadas através dos momentos-L regionalizados adimensionalizados observados, segundo Hosking e Wallis (1993), é igual a 500.

A variância dos dados simulados, V_{SIM} , é obtida através da equação (3.1.11), para cada uma das $m = 1, \dots, N_{SIM}$ populações Kappa. A média aritmética da variância fornecerá a dispersão média esperada na região homogênea, μ_{SIM} :

$$\mu_{SIM} = \frac{\sum_{I=1}^{N_{SIM}} V_{SIM}}{N_{SIM}} \quad (3.1.15)$$

A comparação da dispersão observada com a simulada, ou seja, a medida de heterogeneidade, H, é:

$$H = \frac{V - \mu_{SIM}}{\sigma_{SIM}} \quad (3.1.16)$$

onde, σ_{SIM} é o desvio padrão dos valores da medida de dispersão V_{SIM} , ou seja

$$\sigma_{SIM} = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^{N_{SIM}} (V_{SIM} - \mu_{SIM})^2}{N_{SIM} - 1}} \quad (3.1.17)$$

Os critérios de classificação propostos por Hosking e Wallis (1993) são:

$H \leq 1,0 \Rightarrow$ região “aceitavelmente homogênea”

$1,0 \leq H < 2,0 \Rightarrow$ região “possivelmente heterogênea”

$H \geq 2,0 \Rightarrow$ região “definitivamente heterogênea”

3.1.3 – Teste de aderência - Z

O teste de aderência sugerido por Hosking e Wallis (1993) auxilia na escolha da distribuição de frequência apropriada para a estimação dos quantis regionais e consiste de uma estatística-L, denotada por Z, para verificar se a distribuição candidata fornece um bom ajuste aos dados regionais, isto é, se os momentos-L médios regionais são coerentes com os da distribuição candidata.

Pinheiro (1997) apresentou o seguinte roteiro de procedimentos de cálculo e análise para definição da distribuição de frequência regional:

(i) "assuma uma série de distribuições de três parâmetros como candidatas.

As distribuições possíveis são a Logística Generalizada - GLO, Generalizada de Valores Extremos - GEV, Generalizada de Pareto - GP, log-Normal - LN e Pearson tipo III - P3. Devido ao fato de uma distribuição de três parâmetros poder conter outra distribuição de 2 parâmetros, caso particular em que o parâmetro de forma é nulo, são testadas ainda, de forma indireta, as seguintes distribuições de dois parâmetros: Uniforme, Logística, Normal, Exponencial, Pareto e de valor extremo do tipo I - Gumbel;"

(ii) "ajuste cada distribuição candidata ao grupo de momentos-L regionais: $1, \bar{t}, \bar{t}_3$ e \bar{t}_4 .

Denote por $\frac{DIST}{4}$ a curtose-L da distribuição ajustada, onde DIST poderá ser qualquer uma das distribuições, GLO, GEV, etc;"

(iii) "ajuste a distribuição Kappa ao grupo de momentos-L regionais;"

(iv) "simule um grande número de N_{SIM} regiões para essa população Kappa. Esta simulação deverá ser efetuada da mesma forma como apresentada na descrição da medida de Heterogeneidade;"

(v) "calcule a assimetria-L regional $t_3^{-(m)}$, e a curtose-L regional $t_4^{-(m)}$, para a $m^{ésima}$ região simulada;"

(vi) "calcule a medida de tendenciosidade de \bar{t}_4, β_4 :"

$$\bar{t}_4 = (N_{SIM})^{-1} \sum_{m=1}^{N_{SIM}} \left(t_4^{-(m)} - \bar{t}_4 \right) \quad (3.1.18)$$

(vii) "calcule o desvio padrão de \bar{t}_4, σ_4 :"

$$\sigma_4 = \sqrt{(N_{SIM})^{-1} \left[\sum_{m=1}^{N_{SIM}} \left(t_4^{-(m)} - \bar{t}_4 \right)^2 - N_{SIM} \bar{t}_4^2 \right]} \quad (3.1.19)$$

(viii) "calcule a estatística-L, Z, para cada distribuição candidata:"

$$Z^{DIST} = \frac{\left(\tau_4^{DIST} - \bar{t}_4 + \beta_4 \right)}{\sigma_4} \quad (3.1.20)$$

(ix) "declare o ajuste adequado, se $|Z^{DIST}| \leq 1,64$;"

(x) "plote a curva de freqüência adimensional regional.

Além das curvas de todas as distribuições candidatas aceitáveis, deverão ser plotados o ponto médio regional da assimetria-L e da curtose-L (τ_3 e τ_4), e verificado graficamente a melhor distribuição ajustada. Hosking e Wallis (1993) sugerem que, se o ponto médio regional cair acima da curva da distribuição Logística Generalizada-GLO, nenhuma distribuição de três ou de dois parâmetros será aceita, devendo então ser ajustada uma distribuição mais genérica, como a Wakeby de cinco parâmetros ou a Kappa de quatro parâmetros."

3.1.4 – Equações de Regressão do Fator de Adimensionalização

Após a delimitação das regiões homogêneas, são levantadas as principais grandezas fisiográficas e meteorológicas (climáticas) que poderão ser utilizadas como variáveis independentes ou explicativas na análise de regressão com o fator de adimensionalização, ou seja, a média das vazões máximas. As variáveis explicativas podem ser: a área de drenagem, a comprimento do rio principal, a densidade de drenagem, a declividade, a precipitação total anual média etc. Neste trabalho as grandezas fisiográficas e meteorológicas foram obtidas com a utilização de geoprocessamento, na tentativa de automatizar os procedimentos.

Dentre os vários tipos de equações de regressão destacam-se as lineares e as potenciais. A forma destas equações estão apresentadas a seguir:

$$Q_{\max\text{-med}} = aA + bP + cDD + \dots$$

$$Q_{\max\text{-med}} = a A^b P^c DD^d \dots$$

onde, A, P e DD são as variáveis explicativas e a , b , c e d são parâmetros das equações.

O cálculo dos parâmetros das equações acima foi realizado através de regressão linear múltipla, sendo que, no caso da equação potencial foi efetuada uma anamorfose logarítmica para linearizar a equação.

A definição do modelo a ser adotado foi realizada a partir das estatísticas dos resultados da regressão, ou seja, o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajus}), o teste de parte de um modelo de regressão múltipla (Teste F parcial), o teste dos coeficientes de regressão (Teste t) e o teste F para verificação da não aleatoriedade das relações estabelecidas. O nível de significância adotado nos testes mencionados anteriormente foi de 5%. Também foram utilizados os desvios quadráticos mínimos (*DQM*) e os desvios percentuais médios absolutos (*DPMA*), cujas as fórmulas estão apresentadas a seguir, em conjunto com uma análise criteriosa dos resíduos encontrados para escolher o modelo final.

Desvios quadráticos mínimos :

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum (Q_{obs} - Q_{cal})^2}{N - 1}} \quad (3.1.21)$$

Desvios percentuais médios absolutos:

$$DPMA = \frac{\sum \left(\frac{|Q_{obs} - Q_{cal}|}{Q_{obs}} \right) 100}{N} \quad (3.1.22)$$

onde,

Q_{obs} é a vazão observada,

Q_{cal} é vazão calculada.

4 – COLETA E ANÁLISE DOS DADOS BÁSICOS

As informações sobre a coleta e análise dos dados pluviométricos e fluviométricos estão apresentadas no Volume I deste relatório. Para facilitar a consulta, o mapa de localização das estações fluviométricas faz parte do Anexo de Mapas deste volume.

5 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E CLIMÁTICAS

As características físicas e climáticas da região em estudo estão descritas em detalhes no Volume I mencionado anteriormente, onde estão apresentadas as áreas de drenagem das estações, os perfis longitudinais dos principais rios, os comprimentos dos talwegues, as declividades calculadas para os cursos d'água, as densidades de drenagem e os polígonos de Thiessen para cálculo das precipitações médias sobre as áreas de drenagem das estações fluviométricas.

A Tabela 5.1 apresenta as características das 90 estações fluviométricas utilizadas no estudo.

Código	Estação	Q _{mlt} (m ³ /s)	Q _{mlt esp} (l/s.km ²)	Área (Km ²)	L (km)	I _{equiv} (m/km)	P _{médio} (m)	C _{esc}	DD (Junções/Km ²)
40025000	Vargem Bonita	8,89	29,3	303	37,1	4,55	1,594	0,58	0,079
40032000	Fazenda Samburá	18,87	24,7	763	64,0	3,36	1,651	0,47	0,075
40035000	Fazenda Samburá	15,51	28,3	547	57,1	2,99	1,571	0,57	0,073
40037000	Fazenda da Barra	21,82	28,5	765	72,6	0,60	1,571	0,57	0,081
40040000	Fazenda Ajudas	5,17	20,0	259	30,3	2,73	1,508	0,42	0,112
40046000	Porto Sabino	76,12	17,3	4388	115,9	1,31	1,559	0,35	0,085
40050000	Iguatama	106,1	19,6	5426	196,0	0,36	1,539	0,40	0,083
40053000	Calciolândia	3,92	12,9	304	40,2	1,79	1,365	0,30	0,063
40056002	Fazenda Capoeirão	6,98	20,9	334	59,4	3,22	1,591	0,41	0,096
40056200	Montante do Bom Sucesso	7,26	21,7	334	59,6	3,23	1,590	0,43	0,125
40056500	Ponte Capoeirão	9,83	20,1	490	60,4	3,18	1,640	0,39	0,067
40060001	Tapiraí-Jusante	12	21,5	559	46,9	3,81	1,795	0,38	0,068
40067000	Ponte Olegário Maciel	170,59	19,0	8987	257,2	0,28	1,535	0,39	0,085
40070000	Ponte do Chumbo	179,45	18,1	9939	314,8	0,22	1,522	0,37	0,083
40080000	Taquaral	9,67	14,9	651	56,8	1,00	1,425	0,33	0,072
40100000	Porto das Andorinhas	224,23	16,2	13882	412,4	0,19	1,494	0,34	0,079
40102000	Porto da Barra	240,59	17,0	14180	433,0	0,20	1,491	0,36	0,079
40130000	Ponte do Vilela	27,4	15,9	1726	75,8	1,92	1,533	0,33	0,114
40150000	Carmo do Cajuru	38,81	15,5	2504	121,1	1,12	1,507	0,32	0,107
40160000	Lamounier	3,02	19,0	159	21,7	4,30	1,503	0,40	0,117
40170000	Mariilândia	14,95	14,2	1055	52,1	2,28	1,479	0,30	0,100
40180000	Carmo da Mata	2,91	20,2	144	23,6	5,93	1,433	0,44	0,188
40185000	Parí	28,66	14,8	1931	69,0	1,84	1,460	0,32	0,107
40190002	Divinópolis	31,71	15,9	2000	82,7	1,65	1,457	0,34	0,108
40300001	Jaguaruna Jusante	22	14,1	1558	119,1	1,82	1,432	0,31	0,099
40330000	Velho da Taipa	101,69	13,8	7378	219,4	0,75	1,456	0,30	0,036
40350000	Usina Camarão	4,53	16,8	269	40,6	3,16	1,502	0,35	0,130
40380000	Araújos	18,01	15,1	1196	109,6	0,98	1,445	0,33	0,103
40400000	Estação Álvaro da Silveira	26,99	15,0	1802	148,5	1,03	1,438	0,33	0,100
40450001	Porto Pará (CEMIG)	148,4	13,1	11302	293,1	0,46	1,431	0,29	0,054
40500000	Martinho Campos	8,49	11,0	770	56,2	1,04	1,393	0,25	0,071
40530000	Abaeté	7,34	15,3	481	52,7	2,00	1,438	0,33	0,073
40535000	Barra do Paraopeba	454,86	15,5	29366			1,454	0,34	0,120
40540000	Jurema	6,76	19,1	353	33,1	2,81	1,402	0,43	0,093
40549998	São Brás do Suaçui Montante	7,78	16,9	461	52,0	2,69	1,400	0,38	0,098
40573000	Joaquim Murinho	4,08	14,0	291	32,7	3,94	1,462	0,30	0,079
40577000	Ponte Jubileu	3,7	15,2	244	18,3	7,20	1,466	0,33	0,119
40579995	Congonhas Linígrafo	9,63	16,6	579	41,6	3,18	1,464	0,36	0,102
40665000	Usina João Ribeiro	4,32	14,7	293	45,7	2,44	1,373	0,34	0,123
40680000	Entre Rios de Minas	9,38	19,3	486	47,3	1,25	1,369	0,44	0,136
40700002	Jeceaba	43,03	17,5	2465	88,9	1,81	1,409	0,39	0,121
40710000	Belo Vale	49,8	18,0	2760	118,9	1,59	1,408	0,40	0,137
40720002	Melo Franco	65,24	17,1	3810	178,9	1,20	1,472	0,37	0,134
40740000	Alberto Flores	61,91	15,7	3939	187,4	1,21	1,422	0,35	0,134
40770000	Conceição do Itaguá	11,72	17,4	675	53,8	2,96	1,485	0,37	0,142
40788000	São Joaquim de Bicas (CEMIG)	86,77	16,0	5414	218,2	1,08	1,448	0,35	0,018
40790000	Betim	2,29	12,2	188	26,4	3,10	1,460	0,26	0,276
40800001	Ponte Nova do Paraopeba	85,74	15,1	5680	236,3	1,00	1,449	0,33	0,141
40818000	Juatuba	4,24	15,5	273	40,0	4,52	1,531	0,32	0,064
40830000	Fazenda Escola Florestal	1,32	15,7	84	18,0	10,27	1,436	0,35	0,131
40850000	Ponte da Taquara	128,36	14,7	8734	346,3	0,66	1,434	0,32	0,143
40865001	Porto do Mesquita (CEMIG)	151,95	14,9	10192	419,8	0,60	1,414	0,33	0,133
40930000	Barra do Funchal	18,94	21,6	876	58,7	1,90	1,582	0,43	0,100
40960000	Fazenda Bom Jardim	34,24	19,6	1744	162,7	1,12	1,572	0,39	0,088
40963000	Porto Indaiaí (CEMIG)	40,93	18,3	2242	222,9	1,12	1,558	0,37	0,086
40975000	Fazenda São Félix	18,33	19,0	964	142,7	1,38	1,511	0,40	0,076
41050000	Major Porto	19,26	16,0	1207	60,0	2,29	1,475	0,34	0,031
41075001	Porto do Passarinho	74,95	18,1	4143	194,6	1,09	1,505	0,38	0,059
41090000	Canoeiros	77,47	14,8	5235	258,6	1,17	1,471	0,32	0,056
41135000	Pirapora-Barreiro	842,44	13,5	62334			1,414	0,30	0,071
41151000	Fazenda Água Limpa Jusante	3,26	18,7	175	26,2	8,59	1,498	0,39	0,115
41160000	Gulpiara	6,14	21,6	284	40,7	5,39	1,498	0,46	0,232
41180000	Itabirito Linígrafo	7,98	24,2	330	47,7	5,25	1,518	0,50	0,252
41190000	Aguiar Moreira	11,21	20,8	539	74,9	3,86	1,523	0,43	0,228

Tabela 5.1 Características Físicas e Climáticas

Código	Estação	Q _{mlt} (m ³ /s)	Q _{mlt esp} (l/s.km ²)	Área (Km ²)	L (km)	I _{equiv} (m/km)	P _{médio} (m)	C _{esc}	DD (Junções/Km ²)
41195000	Rio Acima	40,18	27,3	1472	83,3	2,93	1,525	0,56	0,218
41199998	Honório Bicalho-Montante	29,79	17,5	1698	90,3	2,56	1,535	0,36	0,212
41220000	Siderúrgica	3,33	14,3	232	35,0	7,82	1,446	0,31	0,284
41230000	Sabará	39,01	17,2	2273	116,3	2,12	1,529	0,35	0,217
41242100	General Carneiro	3,48	16,9	206	29,9	138,25	1,571	0,34	0,151
41250000	Vespasiano	8,17	12,1	676	55,7	2,35	1,329	0,29	0,181
41260000	Pinhões	65,31	17,5	3727	156,8	1,42	1,475	0,37	0,204
41295000	José de Melo	4,86	16,7	291	32,6	3,54	1,448	0,36	0,361
41300000	Taquaraçu	9,97	15,9	626	46,4	7,02	1,447	0,35	0,272
41340000	Ponte Raul Soares	77,22	15,8	4874	200,3	1,13	1,458	0,34	0,209
41380000	Ponte Preta	7	12,6	553	55,4	2,55	1,308	0,31	0,128
41410000	Jequitibá	92,72	14,1	6558	288,8	0,76	1,423	0,31	0,178
41440005	Represa Jusante	2,67	11,0	243	26,2	5,27	1,349	0,26	0,070
41539998	Faz. Contagem Montante	4,65	10,1	460	40,3	1,40	1,346	0,24	0,070
41600000	Pirapama	108,76	13,5	8086	360,8	0,61	1,406	0,30	0,158
41650002	Ponte do Licínio Jusante	131,35	12,3	10712	473,8	0,54	1,360	0,28	0,136
41685000	Ponte do Picão	3,32	6,1	547	53,3	1,16	1,117	0,17	0,033
41700001	Usina Paraúna	32,76	18,9	1733	80,4	2,75	1,266	0,47	0,100
41715000	Fazenda Cachoeira	2,24	26,4	85	24,3	8,55	1,520	0,55	0,059
41720000	Fazenda do Cipó	9,56	28,0	341	46,0	4,28	1,454	0,61	0,114
41780002	Presidente Juscelino	78,93	19,8	3996	100,4	2,48	1,345	0,46	0,096
41818000	Santo Hipólito	208,82	12,5	16722	566,3	0,47	1,330	0,30	0,115
41880000	Buenópolis	1,37	9,2	148	26,2	11,38	1,108	0,26	0,088
41890000	Estação de Curimatá	17,11	11,9	1435	75,7	1,02	1,108	0,34	0,131
41940000	Ponte do Bicudo	19,66	9,7	2023	111,5	1,07	1,216	0,25	0,043
41990000	Várzea da Palma	298,18	11,2	26553	707,3	0,44	1,271	0,28	0,098

Tabela 5.1 Características Físicas e Climáticas

6 - REGIONALIZAÇÃO DAS VAZÕES MÁXIMAS

6.1 – Análise dos dados

A primeira etapa consistiu na montagem das séries de vazões máximas anuais referentes ao ano hidrológico da região em estudo, que inicia em outubro e finaliza em setembro. As séries foram elaboradas com as vazões máximas pontuais por ano hidrológico, com exceção das séries das quatro estações da CEMIG (40450001, 40963000, 40788000 e 40865001) que foram montadas com as máximas vazões médias diárias. Foram reunidas séries de 90 estações, conforme está apresentado na Tabela 5.1, com um período de observação variando de 5 a 61 anos. O Anexo B apresenta os dados das séries reunidas para o estudo.

Após a organização das séries foi aplicado teste de Mann-Kendal para verificar a estacionaridade das mesmas. Os resultados estão apresentados no Anexo C.

A seguir foi montada a matriz de correlação entre as estações para verificar a independência espacial. O Anexo D apresenta os resultados obtidos. Como as séries foram montadas apenas com um evento por ano hidrológico não foi necessário verificar a independência serial.

Além dos testes mencionados acima, foi analisado a possibilidade de influência de reservatórios, a continuidade das vazões, a estabilidade e as extrapolações das curvas-chave. Também foi adotado o critério de utilizar apenas as séries com mais de 10 anos de observações para a análise de frequência regional. Assim, devido a essas restrições foram utilizadas 63 estações na regionalização de vazões máximas. A relação dessas estações está apresentada na Tabela 6.1.

6.2 – Definição das regiões homogêneas

As regiões homogêneas foram definidas em três etapas. A primeira consistiu na análise das informações fisiográficas e climatológicas da bacia, a seguir foram traçadas as curvas das distribuições empíricas de frequência e a na terceira etapa foi feita a utilização da medida de heterogeneidade proposta por Hosking e Wallis (1993).

Na primeira etapa foi realizada uma análise de agrupamento (cluster analysis) das seguintes variáveis: coordenadas de localização das estações (Lat/Long); Área; Declividade Equivalente e Precipitação Média. Os valores destas variáveis, relativas às estações utilizadas neste estudo, estão apresentados na Tabela 5.1. Maiores detalhes sobre a utilização da análise de agrupamento na definição de regiões homogêneas podem ser encontrados em Davis e Naghettini (2000). Para minimizar o efeito da escala e das unidades em que as variáveis são expressas, a primeira etapa dessa análise consistiu na normalização dos dados das características fisiográficas através da seguinte equação:

$$Z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S} \quad (6.2.1)$$

onde, x_i é a i -ésima observação da variável; \bar{x} é a média dos valores da variável em análise, S é o desvio padrão dos valores da variável e Z_i é a i -ésima observação transformada.

A definição dos grupos, ou regiões, foi realizada através do método das K -médias (K -means clustering). O objetivo do método é formar K grupos que são os mais distintos entre si. Este método assume que o número de grupos K é conhecido a priori. Assim, o analista precisa ter um indicativo do número *correto* de grupos. O método pode ser visualizado como uma análise de variância ao revés. Inicialmente são formados K grupos aleatórios, em seguida os elementos são deslocados de um grupo para o outro com o objetivo de minimizar a variabilidade intragrupo e maximizar a variabilidade entre os grupos. Segundo Davis e Naghettini (2000), a medida de dissimilaridade entre os elementos ou os grupos deve ser representativa da variação mútua das características locais em um espaço N -dimensional. Na presente análise foi utilizada como medida de dissimilaridade a distância entre dois elementos ou centro de grupos i e j , calculada pela seguinte equação:

$$D_{i,j} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_j)^2}{ND}} \quad (6.2.2)$$

onde, ND é o número de dimensões do espaço.

Após a normalização dos dados, o método das K -médias foi executado para formar 7 grupos. A definição deste número de grupos foi realizada a partir de várias simulações com o objetivo de se obter grupos com número de estações que não fossem muito discrepantes. Primeiro o método foi aplicado às variáveis individualmente e em seguida ao conjunto área, declividade equivalente e precipitação média. A variável de coordenadas de localização das estações (Lat/Long) não foi incluída na análise conjunta porque o objetivo foi delimitar as regiões através das características fisiográficas e climáticas e depois avaliar a distribuição espacial. Os resultados estão apresentados no Anexo E. Os grupos separados na análise do conjunto área, declividade equivalente e precipitação média foram considerados como uma definição preliminar das regiões homogêneas.

A seguir foram plotadas as curvas empíricas adimensionais para verificação das regiões formadas na análise de agrupamento. O fator de adimensionalização utilizado foi a média das séries. Ao final desta etapa alguns postos foram deslocados de uma região para outra alterando as delimitações anteriores, mas o número total de regiões permaneceu o mesmo. As curvas empíricas adimensionais estão no Anexo G.

A definição final das regiões foi realizada utilizando as sub-rotinas descritas por Hosking (1991), que permitiu o cálculo da medida de heterogeneidade das 7 regiões definidas na etapa anterior. Os resultados obtidos comprovaram que todas as regiões podem ser consideradas, segundo o critério de Hosking e Wallis (1993), aceitavelmente homogênea, pois a medida de heterogeneidade de todas é inferior a 1. O mapa com a delimitação destas regiões está apresentado no Anexo de Mapas. As descrições das regiões são as seguintes:

REGIÃO MAX-I – Alto rio das Velhas

Esta região compreende as nascentes do rio das Velhas até a estação de Jequitibá, código 41410000, englobando as bacias dos rios Taquaraçu, Jaboticatubas, rib. da Mata, rib. da Onça, rib. Arrudas e rib. Sabará.

REGIÃO MAX-II – Baixo rio das Velhas, baixo e médio rio São Francisco e rio Lambari

A região é formada pela bacia do rio das Velhas a jusante de Jequitibá, código 41410000, englobando os tributários da margem esquerda e direita. Também se encontra inserida nesta região, a bacia do rio São Francisco a jusante da foz do rio Samburá, até a confluência com o rio das Velhas, aglutinando parte das bacias do rio Bambuí, São Miguel, Pará e Paraopeba, além das bacias dos ribeirões São Domingos, Santana, do Jacaré, Santa Luzia, Santo Antônio, dos Machados, Jorge Grande, dos Veados e da Marmelada e excluindo as bacias dos rios Abaeté, Borrachudo e Indaiá. Faz parte desta região a bacia do rio Pará a jusante da estação Velho da Taipa, código 40330000, englobando as bacias dos rios Lambari, do Peixe e do Picão. Também compõe a região a bacia do rio Paraopeba a jusante da estação Ponte Nova do Paraopeba, código 40800001, englobando as bacias do ribeirão São João e do rio Pardo e excluindo as bacias dos rios Juatuba e Florestal na margem esquerda.

REGIÃO MAX-III- Rios Borrachudo e Abaeté, baixo e médio rio Indaiá

Esta região compreende as bacias dos rios Abaeté e Borrachudo e pela parcela da bacia do rio Indaiá, a jusante da estação Barra do Funchal, código 40930000.

REGIÃO MAX-IV – Alto rios Indaiá, da Perdição e Bambuí

Esta região é formada pela bacias: do rio Indaiá até a estação Barra do Funchal, código 40930000; do rio da Perdição até a estação Tapiraí-Jusante, código 40060001; do rio Bambuí até a confluência com o ribeirão Bom Sucesso, considerando inclusive este ribeirão.

REGIÃO MAX-V – Alto rio São Francisco

Refere-se ao Alto São Francisco, compreendendo a área de drenagem do rio São Francisco até a confluência com rio Samburá, considerando inclusive a bacia deste rio, acrescida das nascentes dos rios Ajudas, até a confluência com o córrego Caxangá, inclusive, Pium-hi, até confluência com o córrego do Corisco, exclusive, das Araras, dos Patos, até o encontro com o córrego da Vaca, inclusive e a bacia do rio São Miguel até a estação de Calciolândia, código 40053000.

REGIÃO MAX-VI – Alto e Médio rio Pará

A região é formada pela bacia do rio Pará até a estação Velho da Taipa, código 40330000, abrangendo as bacias dos rios São João e Itapecerica.

REGIÃO MAX-VII – Alto e Médio rio Paraopeba

A região é formada pela bacia do rio Paraopeba até a estação Ponte Nova do Paraopeba, código 40800001, acrescida das bacias dos rios Juatuba e Florestal. Esta região abrange as bacias dos rios Camapuã, Maranhão, rib. São Mateus, rib. dos Cordeiros, rio Macaúbas, rib. do Marinho, rib. Casa Branca, rib. Águas Claras, rio Manso e rio Betim.

A Tabela 6.2 apresenta a relação das estações que fazem parte das regiões mencionadas acima.

	Código	Estação	Nome do Curso d'água	Período Ano hidrológico	Nº de anos utilizados
1	40025000	Vargem Bonita	São Francisco	54/55 a 98/99	36
2	40032000	Fazenda Samburá	Samburá	68/69 a 93/94	24
3	40037000	Fazenda da Barra	Santo Antônio	86/87 a 98/99	25
4	40040000	Fazenda Ajudas	Ajudas	66/67 a 98/99	31
5	40050000	Iguatama	São Francisco	35/36 a 98/99	56
6	40053000	Calciolândia	São Miguel	66/67 a 98/99	31
7	40056002	Fazenda Capoeirão	Bambuú	39/40 a 60/61	22
8	40056200	Mont. Bom Sucesso	Bambuú	75/76 a 89/90	12
9	40056500	Ponte Capoeirão	Bambuú	43/44 a 67/68	15
10	40060001	Tapirai - Jusante	Perdição	39/40 a 98/99	49
11	40067000	Ponte Olegário Maciel	São Francisco	39/40 a 64/65	10
12	40070000	Ponte do Chumbo	São Francisco	68/69 a 98/99	23
13	40100000	Porto das Andorinhas	São Francisco	58/59 a 98/99	39
14	40102000	Porto da Barra	São Francisco	39/40 a 64/65	20
15	40130000	Ponte do Vilela	Pará	39/40 a 79/80	16
16	40150000	Carmo do Cajuru	Pará	36/37 a 57/58	22
17	40170000	Marilândia	Itapecerica	67/68 a 98/99	28
18	40180000	Carmo da Mata	Boa Vista	38/39 a 60/61	11
19	40185000	Pari	Itapecerica	73/74 a 98/99	25
20	40190002	Divinópolis	Itapecerica	36/37 a 76/77	19
21	40300001	Jaguaruna - Jusante	São João	45/46 a 98/99	25
22	40330000	Velho da Taipa	Pará	43/44 a 98/99	47
23	40350000	Usina Camarão	Lambari	38/39 a 88/89	15
24	40380000	Araújos	Lambari	47/48 a 79/80	15
25	40400000	Est. Álvaro da Silveira	Lambari	36/37 a 97/98	41
26	40450001	Porto Pará	Pará	39/40 a 94/95	49
27	40530000	Abaeté	Marmelada	73/74 a 94/95	22
28	40549998	S. Brás do Suaçuí Montante	Paraopeba	56/57 a 98/99	33
29	40573000	Joaquim Murinho	Bananeiras	46/47 a 64/65	15
30	40577000	Ponte Jubileu	Soledade	42/43 a 64/65	21
31	40579995	Congonhas - Linígrafo	Maranhão	38/39 a 99/00	47
32	40700002	Jeceaba	Paraopeba	43/44 a 55/56	12

	Código	Estação	Nome do Curso d'água	Período Ano hidrológico	Nº de anos utilizados
33	40710000	Belo Vale	Paraopeba	65/66 a 89/90	25
34	40720002	Melo Franco	Paraopeba	36/37 a 50/51	14
35	40740000	Alberto Flores	Paraopeba	67/68 a 98/99	28
36	40770000	Conceição do Itaguaú	Manso	66/67 a 87/88	15
37	40788000	São Joaquim de Bicas	Paraopeba	82/83 a 94/95	10
38	40790000	Betim	Betim	38/39 a 64/65	18
39	40800001	Ponte Nova do Paraopeba	Paraopeba	38/39 a 98/99	57
40	40818000	Juatuba	Serra Azul	42/43 a 64/65	20
41	40830000	Fazenda Escola Florestal	Florestal	47/48 a 62/63	13
42	40850000	Ponte Taquara	Paraopeba	67/68 a 97/98	27
43	40930000	Barra do Funchal	Indaiá	40/41 a 90/91	25
44	40960000	Fazenda Bom Jardim	Indaiá	72/73 a 92/93	21
45	40963000	Porto Indaiá	Indaiá	77/78 a 94/95	12
46	40975000	Faz. São Félix	Borrachudo	68/69 a 97/98	18
47	41050000	Major Porto	Areado	68/69 a 98/99	31
48	41075001	Porto Passarinho	Abaeté	77/78 a 98/99	11
49	41135000	Pirapora-Barreiro	São Francisco	43/44 a 58/59	10
50	41151000	Fazenda Água Limpa Jusante	Velhas	56/57 a 98/99	37
51	41199998	Honório Bicalho Montante	Velhas	71/72 a 98/99	27
52	41250000	Vespasiano	da Mata	68/69 a 98/99	24
53	41260000	Pinhões	Velhas	80/81 a 98/99	18
54	41300000	Taquaraçu	Taquaraçu	43/44 a 98/99	50
55	41340000	Ponte Raul Soares	Velhas	38/39 a 98/99	42
56	41380000	Ponte Preta	Jaboticatubas	75/76 a 98/99	21
57	41410000	Jequitibá	Velhas	65/66 a 98/99	27
58	41600000	Pirapama	Velhas	56/57 a 98/99	24
59	41650002	Ponte do Licínio Jusante	Velhas	57/58 a 97/98	28
60	41780002	Presidente Juscelino Jusante	Paraúna	74/75 a 98/99	23
61	41818000	Santo Hipólito	Velhas	43/44 a 98/99	46
62	41890000	Estação Curimataí	Curimataí	72/73 a 96/97	22
63	41990000	Várzea da Palma	Velhas	39/40 a 98/99	52

Tabela 6.1 - Séries utilizadas na regionalização das vazões máximas anuais

Região MAX-I	
41151000	Fazenda Água Limpa Jusante
41199998	Honório Bicalho-Montante
41250000	Vespasiano
41260000	Pinhões
41300000	Taquaraçu
41340000	Ponte Raul Soares
41380000	Ponte Preta
41410000	Jequitibá
Região MAX-II	
40050000	Iguatama
40067000	Ponte Olegário Maciel
40070000	Ponte do Chumbo
40100000	Porto das Andorinhas
40102000	Porto da Barra
40350000	Usina Camarão
40380000	Araújos
40400000	Estação Álvaro da Silveira
40450001	Porto Pará (CEMIG)
40530000	Abaeté
40850000	Ponte da Taquara
41135000	Pirapora-Barreiro
41600000	Pirapama
41650002	Ponte do Licínio Jusante
41780002	Presidente Juscelino Jusante
41818000	Santo Hipólito
41890000	Estação Curimataí
41990000	Várzea da Palma
Região MAX-III	
40963000	Porto Indaiá (CEMIG)
40975000	Fazenda São Felix
40960000	Fazenda Bom Jardim
41050000	Major Porto
41075001	Porto do Passarinho

Região MAX-IV	
40056002	Fazenda Capoeirão
40056200	Montante do Bom Sucesso
40056500	Ponte Capoeirão
40060001	Tapiraí-Jusante
40930000	Barra do Funchal
Região MAX-V	
40025000	Vargem Bonita
40032000	Fazenda Samburá
40037000	Fazenda da Barra
40040000	Fazenda Ajudas
40053000	Calciolândia
Região MAX-VI	
40130000	Ponte do Vilela
40150000	Carmo do Cajuru
40170000	Marilândia
40180000	Carmo da Mata
40185000	Pari
40190002	Divinópolis
40300001	Jaguaruna Jusante
40330000	Velho da Taipá
Região MAX-VII	
40549998	São Brás do Suaçuí Montante
40573000	Joaquim Murтинho
40577000	Ponte Jubileu
40579995	Congonhas Linígrafo
40700002	Jeceaba
40710000	Belo Vale
40720002	Melo Franco
40740000	Alberto Flores
40770000	Conceição do Itaguá
40788000	São Joaquim de Bicas (CEMIG)
40790000	Betim
40800001	Ponte Nova do Paraopeba
40818000	Juatuba
40830000	Fazenda Escola Florestal

6.2 - Estações que formam as regiões homogêneas para as vazões máximas anuais

6.3 – Seleção das distribuições de frequência regionais

A seleção das distribuições de frequências regionais foi efetuada com as sub-rotinas descritas por Hosking (1991), implementadas em linguagem Fortran-77. Esse programa faz o ajuste das distribuições Logística Generalizada (LG), Generalizada de Valores Extremos (GEV), Log-Normal (LN-3P) ou Generalizada Normal, Pearson tipo III (P-III) e Generalizada de Pareto (GP), estimando os seus parâmetros a partir dos momentos-L regionais, além de aplicar o teste de aderência para verificar o ajuste entre a distribuição candidata e os dados regionais. Os valores dos momentos-L amostrais e das razões-L amostrais estão apresentados no Anexo F. A Tabela 6.3 mostra os valores das razões-L e dos momentos-L regionais obtidos das séries adimensionalizadas.

Região	l_1	l_2	L-CV(τ_2)	Assimetria-L(τ_3)	Curtose-L(τ_4)
MAX-I	1	0,2632	0,2632	0,1511	0,1061
MAX-II	1	0,1833	0,1833	0,1369	0,1364
MAX-III	1	0,2722	0,2722	0,2363	0,1123
MAX-IV	1	0,1361	0,1361	0,0214	0,1705
MAX-V	1	0,2348	0,2348	0,2285	0,1591
MAX-VI	1	0,2408	0,2408	0,2127	0,1855
MAX-VII	1	0,2118	0,2118	0,1723	0,1518

Tabela 6.3 – Valores regionais das razões-L e dos momentos-L .

A Tabela 6.4 apresenta os resultados dos testes de aderência para as regiões homogêneas segundo os critérios de Hosking e Wallis (1993), ou seja, se $|Z^{\text{DIST}}| \leq 1,64$.

Distribuições					
Região	LG	GEV	LN-3P	P-III	GP
MAX-I	3,44	1,62 *	1,52 *	1,06 *	-2,26
MAX-II	2,79	0,08 *	0,05 *	-0,50 *	-5,58
MAX-III	2,33	1,59 *	1,30 *	0,76 *	-0,20 *
MAX-IV	-0,19 *	-1,73	-1,37 *	-1,39 *	-4,56
MAX-V	1,32 *	0,41 *	0,09 *	-0,52 *	-1,76
MAX-VI	0,37 *	-0,62 *	-0,90 *	-1,46 *	-2,93
MAX-VII	1,58 *	-0,12 *	-0,33 *	-0,91 *	-3,84

Tabela 6.4 - Resultados dos testes de aderência (Z).

* Distribuições aprovadas no teste

A definição das distribuições regionais foi realizada a partir dos resultados do teste de aderência e pelo posicionamento dos valores regionais no diagrama Curtose-L x Assimetria-L, apresentado no Anexo G, que também inclui os ajustes entre as distribuições empíricas e regional adimensionalizadas para todas as regiões. A fórmula de posição de plotagem utilizada nas distribuições empíricas para elaboração dos gráficos foi a fórmula de Weibull, $[i/(n+1)]$. As distribuições adotadas por região estão apresentadas na Tabela 6.5.

As funções densidade de probabilidade e de distribuição acumulada da Log-Normal (3P), da GEV e da Logística Generalizada, além das inversas destas distribuições são apresentados por Hosking (1997) como:

- LOG-NORMAL (3P)

$$f(x) = \frac{e^{ky-y^2/2}}{\alpha\sqrt{2\pi}} \quad y = \begin{cases} -k^{-1} \log\{1 - k(x - \xi)/\alpha\} & k \neq 0 \\ (x - \xi)/\alpha & k = 0 \end{cases} \quad (6.3.1)$$

$$F(x) = \Phi(y)$$

$x(F)$ não apresenta forma analítica explícita.
 Φ , é a função de distribuição acumulada da Normal parametrizada.

Parâmetros : ξ (Posição), α (Escala) e k (forma)

Os limites da função são:

Para, $k > 0$: $-\infty < x \leq \xi + \alpha/k$; $k = 0$: $-\infty < x < \infty$; $k < 0$: $\xi + \alpha/k \leq x < \infty$

Nesta parametrização, a distribuição Log-Normal é a distribuição de uma variável aleatória X que está relacionada a uma variável aleatória Z de distribuição Normal parametrizada, com média 0 e variância 1, pela seguinte equação:

$$X = \begin{cases} \xi + \alpha(1 - e^{-kZ})/k & k \neq 0 \\ \xi + \alpha Z & k = 0 \end{cases} \quad (6.3.2)$$

A Tabela da distribuição Normal Parametrizada está apresentada no Anexo H.

- GEV

$$f_x(x) = \frac{1}{\alpha} \exp[-(1-K)y - \exp(-y)] \quad (6.3.3)$$

Para $K = 0$, $y = \frac{x - \xi}{\alpha}$

Para $K \neq 0$ $y = -\frac{1}{K} \ln\left[1 - \frac{(x - \xi)K}{\alpha}\right]$.

Os limites da função são:

Para $K < 0$: $\xi + \frac{\alpha}{k} \leq x \leq \infty$, para $K = 0$: $-\infty \leq x \leq \infty$ e para $K > 0$: $-\infty < x \leq \xi + \frac{\alpha}{k}$

$$F_x(x) = \exp[-\exp(-y)] \quad (6.3.4)$$

$$x(F) = \xi - \alpha \ln[-\ln(F)] \quad , K = 0 \quad (6.3.5)$$

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{K} \left\{ 1 - [-\ln(F)]^K \right\}, K \neq 0 \quad (6.3.6)$$

Onde K , α e ξ são os parâmetros de forma, escala e posição, respectivamente. Observe que se $K < 0$, trata-se da distribuição de extremos do tipo II, se $K > 0$ a do tipo III e, finalmente, se $K = 0$ a distribuição reduz-se a do tipo I.

• LOGÍSTICA GENERALIZADA:

$$f_x(x) = \frac{\alpha^{-1} e^{-(1-k)y}}{(1 + e^{-y})^2}, \quad y = \begin{cases} -k^{-1} \ln[1 - k(x - \xi)/\alpha] & k \neq 0 \\ (x - \xi)/\alpha & k = 0 \end{cases} \quad (6.3.7)$$

Os limites da função são:

Para $K < 0$: $\xi + \frac{\alpha}{k} \leq x \leq \infty$, para $K = 0$: $-\infty \leq x \leq \infty$ e para $K > 0$: $-\infty < x \leq \xi + \frac{\alpha}{k}$

$$F_x(x) = 1/(1 + e^{-y}) \quad (6.3.8)$$

$$x(F) = \xi - \alpha \ln[(1 - F)/F], K = 0 \quad (6.3.9)$$

$$x(F) = \xi + \alpha \left\{ 1 - [(1 - F)/F]^k \right\} / k, K \neq 0 \quad (6.3.10)$$

Onde K , α e ξ são os parâmetros de forma, escala e posição, respectivamente.

A estimativa dos parâmetros dessas distribuições pelos momentos-L está apresentada no Anexo A.

Os parâmetros das distribuições regionais foram estimados utilizando os momentos-L e as razões-L regionais apresentados na Tabela 6.3. Os parâmetros calculados para as seis regiões encontram-se na Tabela 6.5.

Região	Distribuição	Posição (ξ)	Escala (α)	Forma (k)
MAX-I	Log-Normal (3P)	0,929	0,448	-0,311
MAX-II	Log-Normal (3P)	0,955	0,314	-0,281
MAX-III	GEV	0,756	0,355	-0,101
MAX-IV	Logística Generalizada	0,995	0,136	-0,021
MAX-V	GEV	0,791	0,310	-0,089
MAX-VI	Logística Generalizada	0,918	0,223	-0,213
MAX-VII	Logística Generalizada	0,941	0,202	-0,172

Tabela 6.5 - Parâmetros das distribuições regionais

Após a determinação dos parâmetros das distribuições, foram estimados os quantis regionais adimensionalizados associados a vários períodos de retorno, de acordo com as equações (6.3.2), (6.3.6) e (6.3.10); os valores obtidos estão apresentados na Tabela 6.6.

Reg.	Tr (anos)									
	1,01	2	5	10	20	25	50	100	150	200
MAX-I	0,186	0,929	1,360	1,634	1,891	1,971	2,217	2,458	2,599	2,698
MAX-II	0,418	0,955	1,253	1,439	1,612	1,665	1,828	1,986	2,077	2,142
MAX-III	0,253	0,889	1,331	1,653	1,986	2,096	2,454	2,835	3,069	3,242
MAX-IV	0,398	0,995	1,186	1,301	1,408	1,442	1,547	1,651	1,713	1,756
MAX-V	0,348	0,906	1,288	1,563	1,845	1,938	2,237	2,553	2,747	2,888
MAX-VI	0,264	0,918	1,278	1,543	1,831	1,931	2,270	2,657	2,911	3,104
MAX-VII	0,298	0,941	1,257	1,480	1,715	1,795	2,060	2,355	2,544	2,686

Tabela 6.6 - Quantis regionais adimensionalizados.

6.4 – Definição das equações de regressão regionais

Para cada uma das regiões homogêneas foram realizadas regressões múltiplas entre a média das séries das vazões máximas, também chamadas de média das vazões de cheia, utilizadas como fator de adimensionalização, com as características físicas e climáticas apresentadas na Tabela 5.1, ou seja, área de drenagem, comprimento do talvegue principal, declividade equivalente e precipitação média anual.

Em cada uma das regiões foram testados modelos do tipo potencial. A área de drenagem foi mantida em todas as regressões porque explica uma parte significativa da vazão. Foi construída uma matriz de correlação entre as variáveis do modelo para verificar o seu interrelacionamento. Analisando a Tabela 6.8, podemos verificar uma forte correlação entre as variáveis explicativas área de drenagem e comprimento do talvegue principal nas regiões MAX-I, MAX-II, MAX-VI e MAX-VII.

As regressões para as regiões foram realizadas com as estações apresentadas na Tabela 6.2. Como a região MAX-IV apresenta um número reduzido de estações, optou-se por fazer a análise de regressão em conjunto com a MAX-V. As regiões MAX-II e MAX-VI também foram reunidas para análise de regressão para se obter uma distribuição mais equilibrada dos dados. Durante a análise de regressão foi necessário não utilizar as estações apresentadas na Tabela 6.7, uma vez que as mesmas introduziam distorções nos resultados das regressões. Os motivos que condicionam esta situação são área de drenagem muito grande (41135000-Pirapora Barreiro) ou os valores das médias das vazões máximas muito alta ou baixa quando comparada com as estações vizinhas.

Região	Estações não utilizadas na regressão		
MAX-II	41135000	41780002	41890000
MAX-VI	40180000		
MAX-IV	40056002	40056500	40060001
MAX-V	40025000	40037000	

Tabela 6.7 – Estações não utilizadas na análise de regressão

Os resultados das regressões estão apresentados na Tabela 6.9, que contém os modelos testados, o erro padrão, o coeficiente de determinação ajustado, o valor F calculado e o crítico para um nível de significância de 5%. A escolha dos modelos foi realizada avaliando as estatísticas apresentadas na Tabela 6.9, os resultados dos testes mencionados no item 3.1.4 para um nível de significância de 5%, e a análise dos resíduos.

Os modelos adotados com os respectivos limites inferiores e superiores de área de drenagem amostrada em cada região foram os seguintes:

a) REGIÃO MAX- I

$$Q_{\max-med} = 0,7652A^{0,7828} \quad (A \geq 175 \text{ Km}^2) \quad (6.4.1)$$

b) REGIÕES MAX-II e MAX-VI

$$Q_{\max-med} = 0,2451A^{0,8751} \quad (269 \leq A \leq 26.553 \text{ Km}^2) \quad (6.4.2)$$

c) REGIÃO MAX-III

$$Q_{\max-med} = 0,2704A^{1,0018} \quad (A \geq 964 \text{ Km}^2) \quad (6.4.3)$$

d) REGIÕES MAX-IV e MAX-V

$$Q_{\max-med} = 0,1467A^{1,0269} \quad (259 \leq A \leq 876 \text{ Km}^2) \quad (6.4.4)$$

e) REGIÕES MAX-VII

$$Q_{\max-med} = 0,2318A^{0,9001} \quad (A \geq 84 \text{ Km}^2) \quad (6.4.5)$$

onde

$Q_{\max-med}$ (m³/s) é a média das vazões máximas anuais (ano hidrológico)
 A (Km²) é a área de drenagem

Para cada equação regional adotada foi traçado o gráfico que apresenta os valores observados e calculados pela regressão. Estes gráficos e os resíduos calculados estão no Anexo I.

Afim de verificar os resultados da regionalização foram calculadas as vazões máximas com vários tempos de retorno em cada estação utilizada com o fator de adimensionalização sendo definido pelas equações de regressão. Em seguida foram calculadas as vazões máximas para os mesmos tempos de retorno por uma análise de frequência pontual e comparado com os valores obtidos pela regionalização. Os resultados estão apresentados no Anexo J.

REGIÃO MAX-I

	Q_{max med} (m³/s)	Área (Km²)	P médio (m)	I equiv. (m/km)	L (km)
Q_{max med} (m³/s)	1				
Área (Km²)	0,9604	1			
P médio (m)	0,2395	0,1872	1		
I equiv. (m/km)	-0,7409	-0,6859	0,2522	1	
L (km)	0,9397	0,9953	0,1296	-0,7022	1

REGIÕES MAX-II e MAX-VI

	Q_{max med} (m³/s)	Área (Km²)	P médio (m)	I equiv. (m/km)	L (km)
Q_{max med} (m³/s)	1				
Área (Km²)	0,9928	1			
P médio (m)	-0,5966	-0,5669	1		
I equiv. (m/km)	-0,6966	-0,7059	0,1808	1	
L (km)	0,9694	0,9646	-0,6341	-0,7357	1

REGIÃO MAX-III

	Q_{max med} (m³/s)	Área (Km²)	P médio (m)	I equiv. (m/km)	L (km)
Q_{max med} (m³/s)	1				
Área (Km²)	0,9925	1			
P médio (m)	0,0229	0,0380	1		
I equiv. (m/km)	-0,5627	-0,5218	-0,7390	1	
L (km)	0,6220	0,5954	0,6815	-0,9280	1

REGIÕES MAX-IV e MAX-V

	Q_{max med} (m³/s)	Área (Km²)	P médio (m)	I equiv. (m/km)	L (km)
Q_{max med} (m³/s)	1				
Área (Km²)	0,9938	1			
P médio (m)	0,6535	0,6201	1		
I equiv. (m/km)	-0,0401	-0,0478	0,6976	1	
L (km)	0,7027	0,7140	0,7455	0,3762	1

REGIÃO MAX-VII

	Q_{max med} (m³/s)	Área (Km²)	P médio (m)	I equiv. (m/km)	L (km)
Q_{max med} (m³/s)	1				
Área (Km²)	0,9894	1			
P médio (m)	-0,3195	-0,2588	1		
I equiv. (m/km)	-0,6861	-0,6724	0,1997	1	
L (km)	0,9783	0,9893	-0,2190	-0,6953	1

Tabela 6.8 - Matriz de correlação entre as variáveis dos modelos das médias das vazões máximas anuais.

REGIÃO MAX-I

Nº V.	Modelo	R ² ajust	F	F _{crit.}	E. P.
3	$Q_{\max med} = 0,6217A^{0,8451} P^{0,3901} I^{0,0916}$	0,9457	41	6,59	1,2652
2	$Q_{\max med} = 0,8759A^{0,7865} P^{-0,4494}$	0,9559	76	5,79	1,2361
2	$Q_{\max med} = 0,8139A^{0,7756} I^{-0,0119}$	0,9551	75	5,78	1,2385
1	$Q_{\max med} = 0,7652A^{0,7828}$	0,9626	180	5,98	1,2157

REGIÕES MAX-II e MAX-VI

Nº V.	Modelo	R ² ajust	F	F _{crit.}	E. P.
3	$Q_{\max med} = 0,0861A^{0,9842} P^{0,5047} I^{0,1709}$	0,9906	741	3,16	1,1115
2	$Q_{\max med} = 0,3064A^{0,8687} P^{-0,4576}$	0,9880	866	3,52	1,1270
2	$Q_{\max med} = 0,1277A^{0,9583} I^{0,1394}$	0,9908	1134	3,52	1,1103
1	$Q_{\max med} = 0,2451A^{0,8751}$	0,9883	1767	4,35	1,1257

REGIÃO MAX-III

Nº V.	Modelo	R ² ajust	F	F _{crit.}	E. P.
3	$Q_{\max med} = 41,97A^{0,7435} P^{-6,7270} I^{-0,9411}$	0,9935	205	215	1,0483
2	$Q_{\max med} = 0,2176A^{0,9961} P^{0,6171}$	0,8882	16	19	1,2167
2	$Q_{\max med} = 0,3888A^{0,9657} I^{-0,4694}$	0,9369	30	19	1,1587
1	$Q_{\max med} = 0,2704A^{1,0018}$	0,9245	50	10	1,1749

REGIÕES MAX-IV e MAX-V

Nº V.	Modelo	R ² ajust	F	F _{crit.}	E. P.
3	$Q_{\max med} = 0,3050A^{0,7296} P^{3,5352} I^{-0,4725}$	0,9940	222	215	1,0464
2	$Q_{\max med} = 0,1609A^{0,9198} P^{1,3058}$	0,9787	92	19	1,0895
2	$Q_{\max med} = 0,1253A^{1,0294} I^{0,1547}$	0,9584	47	19	1,1271
1	$Q_{\max med} = 0,1467A^{1,027}$	0,9642	108	10	1,1174

REGIÃO VII

Nº V.	Modelo	R ² ajust	F	F _{crit.}	E. P.
3	$Q_{\max med} = 1,0886A^{0,8136} P^{-2,1903} I^{-0,1564}$	0,9925	572	3,71	1,1181
2	$Q_{\max med} = 0,5709A^{0,8886} P^{-2,2143}$	0,9923	835	3,98	1,1197
2	$Q_{\max med} = 0,4530A^{0,8233} I^{-0,1599}$	0,9914	746	3,98	1,1271
1	$Q_{\max med} = 0,2318A^{0,9001}$	0,9912	1470	4,74	1,1280

Tabela 6.9 - Modelos de regressão ajustados para $Q_{\max med}$

6.5 – Aplicação dos resultados

Utilizando as equações regionais de regressão, as distribuições ajustadas às regiões homogêneas e o mapa de delimitação dessas regiões é possível determinar a vazão máxima anual associada a um tempo de retorno em qualquer ponto ao longo dos cursos d'água das diferentes regiões homogêneas. Para ilustrar o uso da regionalização das vazões máximas anuais resolveremos o seguinte exemplo descrito a seguir.

A resolução N° 394 da ANEEL, de 04 de dezembro de 1998, define:

“Artigo 2° Os empreendimentos hidrelétricos com potência superior a 1.000 kw e igual ou inferior a 30.000 kw, com área total de reservatório igual ou inferior a 3,0 km², serão considerados como aproveitamentos com características de pequenas centrais hidrelétricas.

Parágrafo único. A área do reservatório é delimitada pela cota d'água associada à vazão de cheia com tempo de recorrência de 100 anos.”

Suponhamos que um empreendedor necessite da estimativa da vazão de cheia com tempo de retorno de 100 anos para definir a área do reservatório e conseqüentemente estabelecer se o aproveitamento que pretende construir terá as características de pequena central hidrelétrica. O futuro empreendimento estará localizado no rio Maranhão próximo a cidade de Congonhas na bacia do rio Paraopeba. A área de drenagem até o ponto de instalação do empreendimento é de 450 km².

As etapas para solução são as seguintes:

a) Definir em qual região homogênea o empreendimento está localizado.

Analisando o mapa de regiões homogêneas apresentado no Anexo de Mapas, observa-se que rio Maranhão está na Região MAX-VII.

b) Calcular o quantil regional adimensionalizado referente ao tempo de retorno de 100 anos.

Para a região MAX-VII foi ajustada a distribuição Logística Generalizada, cuja a função inversa é calculada equação (6.3.10), e os parâmetros estão apresentados na Tabela 6.5.

Região	Posição (ξ)	Escala (α)	Forma (k)
MAX-VII	0,941	0,202	-0,172

$$x(F) = \xi + \alpha \left\{ 1 - [(1 - F) / F]^k \right\} / k, \quad K \neq 0 \quad (6.3.10)$$

O tempo de recorrência de 100 anos corresponde a seguinte probabilidade:

$$P(X \leq x) = F = 1 - \frac{1}{Tr(anos)} = 1 - \frac{1}{100} = 0,99$$

Aplicando a equação (6.3.10), temos:

$$x(0,99) = 0,941 + 0,202 \left\{ 1 - [(1 - 0,99) / 0,99]^{-0,172} \right\} / (-0,172) = 2,355$$

Este valor também pode ser obtido na Tabela 6.6, considerando o tempo de retorno de 100 anos e a região MAX-VII.

c) Cálculo do fator de adimensionalização, ou seja, a média das vazões máximas anuais.

Caso não se disponha de dados no local, é possível fazer a estimativa da média das vazões máximas anuais através da equação de regressão da região homogênea. Neste exemplo vamos estimar a vazão com a equação de regressão (6.4.5), referente a região MAX-VII.

$$Q_{\max-med} = 0,2318A^{0,9001} \quad (A \geq 84 \text{ Km}^2) \quad (6.4.5)$$

onde

$Q_{\max-med}$ (m^3/s) é a média das vazões máximas anuais (ano hidrológico)
 A (Km^2) é a área de drenagem

Neste exemplo, temos:

$$A = 450 \text{ Km}^2$$

$$Q_{\max-med} = 0,2318(450)^{0,9001} = 56,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

A estimativa da média das vazões máximas anuais é de $56,7 \text{ m}^3/\text{s}$.

d) Cálculo da vazão máxima associada a um tempo de retorno de 100 anos

A estimativa desta vazão é realizada através da equação (3.1.2):

$$X_T = (X/\mu)_T \hat{\mu}_j \quad (3.1.2)$$

$(X/\mu)_T$ é igual a 2,355 e foi calculado no item b)

$\hat{\mu}_j$ é igual a $56,7 \text{ m}^3/\text{s}$ e foi calculado no item c)

$$X_T = 2,355 \cdot 56,7 = 133,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Assim, a vazão máxima com tempo de recorrência de 100 anos no rio Maranhão no local do futuro aproveitamento hidrelétrico é de $133,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As maiores cheias de caráter regional presente na base de dados trabalhada ocorreram em fevereiro de 1979 e janeiro de 1997. Devido a magnitude desses eventos algumas estações não registraram o pico dessas cheias pois foram literalmente arrastadas. Para ilustrar esta situação o Anexo K apresenta algumas fotos dos problemas ocorridos na cheia de janeiro de 1997.

Em relação às vazões máximas anuais, a bacia do rio São Francisco, inserida na área em estudo, apresenta 7 regiões homogêneas, conforme apresentado no Anexo de Mapas. Cabe ressaltar que vazões máximas utilizadas neste estudo não se referem às vazões máximas instantâneas, ou seja, aos picos dos hidrogramas de cheia pois, os dados disponíveis são obtidos através de dupla leitura diária dos níveis dos rios e não por registro contínuo dos mesmos, o que permitiria a identificação das máximas. Segundo Tucci (2000), a diferença entre o máximo instantâneo e o máximo diário depende do tempo de concentração da bacia e do tempo de pico. Assim, em pequenas bacias as diferenças entre estas vazões pode ser significativa. Tucci (2000) apresenta algumas relações que permitem a estimativa da vazão instantânea. Para amenizar este problema sugere-se a instalação de aparelhos registradores de nível nas estações cuja a área de drenagem seja inferior a 500 Km². O Volume I deste relatório apresenta a relação das estações em operação que estão nestas condições.

As regiões MAX-I e MAX-II têm como distribuição regional a distribuição Log-Normal com três parâmetros; as regiões MAX-III e MAX-V a distribuição Generalizada de Eventos Extremos (GEV) e as regiões MAX-IV, MAX-VI e MAX-VII a distribuição Logística Generalizada. Devido ao tamanho das séries utilizadas *é recomendável que os quantis adimensionalizados sejam calculados para tempos de retorno inferiores a 250 anos*. Analisando os resultados das razões-L regionais verifica-se que a Região MAX-IV apresenta o menor L-CV regional, que é uma medida análoga ao coeficiente de variação, e a Região MAX-III o maior. Em termos de assimetria-L, a maior é observada na região MAX-III e a menor na região MAX-IV.

O fator de adimensionalização utilizado na aplicação do método “index flood”, ou seja, a média das vazões máximas ou média das vazões de cheia, pode ser satisfatoriamente descrita através de regressão apenas com a área de drenagem em todas as regiões. Entretanto, é necessário salientar que *as equações de regressão devem ser utilizadas com cuidado para áreas inferiores a 500 km²*, mesmo que a área esteja na faixa de validade da equação. Este cuidado se torna necessário uma vez que os dados utilizados neste estudo foram obtidos através de dupla leitura diária e, para áreas inferiores a 500km², dificilmente os picos dos hidrogramas foram anotados, já que a resposta de pequenas bacias é mais rápida. Assim as séries de máximos dessas estações podem ter valores inferiores aos picos de cheias ocorridos. As equações de regressão devem ser utilizadas quando o local de interesse não dispõe de uma série histórica com pelo menos 5 anos de dados. Caso exista mais de 5 anos de coleta de informações no local de interesse, o fator de adimensionalização deve ser calculado com os dados disponíveis.

Analisando o Anexo E de indicadores regionais observa-se que as regiões do Alto São Francisco e Alto rios Indaiá, da Perdição e Bambuí (Regiões MAX-IV e MAX-V) são as que apresentam maior dispersão dos pontos no gráfico de $Q_{\max-\text{med}} \times \text{Área}$. Este fato ocorre porque a maioria das estações destas regiões possuem área de drenagem inferior a 500 km² e por conseguinte as séries de máximos apresentam os problemas descritos anteriormente.

Considerando a análise de agrupamento, verifica-se que na análise de cada uma das variáveis as regiões definidas com a longitude e a latitude, obviamente, apresentam a maior homogeneidade na distribuição espacial e as definidas com a declividade equivalente, precipitação média e área de drenagem mostram níveis semelhantes de homogeneidade. As regiões propostas na análise conjunta das variáveis precipitação média, área de drenagem e declividade equivalente são semelhantes às regiões consideradas homogêneas ao final dos trabalhos, mostrando que esta é uma boa ferramenta para delimitação inicial das regiões.

Observou-se que algumas bacias apresentavam comportamento diferenciado das regiões homogêneas nas quais estão inseridas, como as bacias do rio Bicudo, do ribeirão Picão, dos rios Paraúna, Pardo Pequeno, Pardo Grande e Curimataí, todas localizadas na região MAX-II. Este problema também ocorreu na bacia do alto rio Bambuí na região MAX-IV; na bacia do rio Santo Antônio e do Alto rio São Francisco na região MAX-V; no Alto rio Boa Vista na região MAX-VI e a bacia do rio Camapuã na região MAX-VII. Como não foram constatadas irregularidades nas séries das mesmas, este fato sugere a existência de sub-regiões de comportamento diferenciado, que não pôde ser determinado devido ao número limitado de estações. Assim, nestas bacias não se recomenda a utilização das equações apresentadas e sugere-se um monitoramento mais detalhado da região. É importante ressaltar que os resultados da regionalização *não são válidos* para o rio São Francisco a jusante da represa de Três Marias.

8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil) *Inventário das estações pluviométricas*. Brasília: ANEEL, 1996.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil) *Inventário das estações pluviométricas*. Brasília: ANEEL, 1996.
- CETEC. *Estudos Integrados de Recursos Naturais - Bacia do Alto São Francisco e Parte Central da Área Mineira da SUDENE*. Belo Horizonte, 1984.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. (Brasil) *Projeto Análise de Consistência de Dados Pluviométricos – Bacia do Rio São Francisco. Sub-Bacias 40 a 44: Relatório Técnico Parcial. Sub-Bacia 40*. Belo Horizonte, DNAEE/CPRM, 1995a, 3v.
- _____. (Brasil) *Projeto Análise de Consistência de Dados Pluviométricos – Bacia do Rio São Francisco. Sub-Bacias 40 a 44: Relatório Técnico Parcial. Sub-Bacia 41*. Belo Horizonte, DNAEE/CPRM, 1995b, 3v.
- _____. (Brasil) Programa de Avaliação de Recursos Hídricos. *Caracterização Pluviométrica da Bacia do Alto São Francisco - Sub-Bacia 40 . Fase 1*. Belo Horizonte, Dez., 1996.
- _____. (Brasil) Programa de Avaliação de Recursos Hídricos. *Rede Hidrometeorológica e Caracterização Física da Bacia do Alto São Francisco - Sub-Bacia 40. Delimitação de regiões homogêneas e a regionalização de precipitações máximas diárias*. Belo Horizonte, Abr., 2000.
- DALRYMPLE, T. Flood-frequency analyses, *Manual of Hydrology:Part. 3. Flood-flow Techniques, Geological Survey Water Supply Paper 1543-A*, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 80p., 1960.
- DAVIS, E. G.; NAGHETTINI, M. C, *Estudo de Chuvas Intensas no Estado do Rio de Janeiro*. Brasília: CPRM, 2000. CD-ROM
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA.(Brasil) Comissão Brasileira para o Decênio Hidrológico Internacional. *Glossário de termos hidrológicos*. Brasília: DNAEE, 1976. 291p.
- GREENWOOD, J. A., LANDWEHR, J. M., MATALAS, N. C. e WALLIS, J. R. Probability weighted moments: definition and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form. In: *Water Resources Research*, American Geophysical Union. V.15, n.5, p.1049-1054, Out., 1979.
- GUERRA, A. T. *Dicionário geológico e geomorfológico*. Rio de Janeiro: IBGE, 1980. 446p.

- HERAS, R. *Principios basicos en hidrologia*. Madri: Instituto de Hidrologia, 1972. p. 38-43. [Cap. Elementos de climatologia]
- HERSFIELD, D. M., KOHLER, M. A. An empirical appraisal of the Gumbel extreme-value procedure. In: *Journal of Geophysical Research*, v.65, n.6, p.1737-1746, Jun. 1960.
- HOSKING, J. R. The theory of probability weighted moments. In: *IBM Research Report*, New York, IBM Research Division, RC 12210, 160p., Out., 1986.
- HOSKING, J. R. M. Fortran routines for use with the method of L-moments - Version 2. In: *IBM Research Report*, New York, IBM Research Division, RC 17097, 117p., Ago., 1991.
- HOSKING, J. R. M., WALLIS, J. R. Regional flood frequency analisys using L-moments. In: *IBM Research Report*, New York, IBM Research Division, RC 15658, 12p., Mar., 1990.
- HOSKING, J. R. M., WALLIS, J. R. Some statistics useful in regional frequency analisys. In: *Water Resources Research*, American Geophysical Union. V.29, n.1, p.271-281, Fev., 1993.
- HOSKING, J. R. M., WALLIS, J. R. Correction to "Some statistics useful in regional frequency analisys". In: *Water Resources Research*, American Geophysical Union. V.31, n.1, p.251, Jan., 1995.
- HOSKING, J. R. M., WALLIS, J. R. *Regional Frequency Analysis - an approach based on L-moments*. Cambridge University Press, P.224, 1997.
- LANNA, A.E.: *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: UFRGS/ABRH/EDUSP, 1993. p.79-176. [Cap. Elementos de estatística e probabilidades]
- LINSLEY, R.K.,J, KOHLER, M.A., PAULHUS, J.L.H. *Hydrology for engineers*. New York: McGraw Hill, 1982. 458 p.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA.E REFORMA AGRÁRIA.(Brasil) *Atlas climatológico do Brasil*. [s.n.t.].100 p.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA. *Normais climatológicas (1961 - 1990)*. Brasília: [s.n.].1992. 84 p.
- MINISTÉRIO DO INTERIOR. *Reconhecimento dos recursos hidráulicos e de solo da bacia do rio São Francisco*. [s.l:s.n.] 1970. 308p.
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. *Guia de practicas hidrometeorológicas*. Ginebra: OMM, 1967.
- NERC – NATURAL ENVIRONMENT RESEARCH COUNCIL. *Floods studies report*, London, V.1 2 V2, 1975.
- NRC - U.S. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Estimating probabilities of extreme floods*. Washington, D.C.: National Academy Press. 141p. 1988.

- PINHEIRO, M. M. G. *Estudo de chuvas intensas na região metropolitana de Belo Horizonte – RMBH*. Belo Horizonte: EE-UFMG. Dissertação de Mestrado, 216 p., 1997.
- PINTO, E. J. A.; NAGHETTINI, M. C. Definition of homogeneous regions and frequency analysis of annual maximum daily precipitation over the upper São Francisco river basin, in southeastern Brazil. In: *ASCE's 1999 International Water Resources Engineering Conference*, ASCE-American Society of Civil Engineer, Seattle, Aug., 1999.
- PINTO, E. J. A. e NAGHETTINI, M. C. *Caracterização pluviométrica da bacia do alto São Francisco – Sub-bacia 40: Definição de regiões homogêneas e a regionalização de precipitações máximas diárias*. Belo Horizonte, CPRM, 2000.
- PIRES, C. L. F. Análise de Frequência - Revisão Metodológica. In: *A Água em Revista*, n. 3. CPRM, Belo Horizonte, Out. , p. 13-22, 1994.
- SCHMIDT, J.C.J. *Classificação climática de Wladimir Köppen*.[s.l.]: DNER, 1963.
- SILVEIRA, André L. L. da. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: *Hidrologia Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: Edusp, 1993.
- TUCCI, C.E. Regionalização de vazões In: *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre, Ed. UFRGS/ABRH/EDUSP, p.573-611, 1993.
- TUCCI, C.E. *Regionalização de vazões*. Porto Alegre, ANEEL/UFRGS/IPH , 2000.
- VANDEMBERG, C.H., OLIVEIRA, E. *Programa de homogeneização de dados –PROHD: chuvas e vazões*. Brasília: DNAEE, 1980. 80 p.
- WALLIS, J. R. Regional frequency studies using L-moments. In: *IBM Research Report*, New York, IBM Research Division, RC 14597, p. 469-476, Mar., 1989.

ANEXO A

MOMENTOS-L : CONCEITOS BÁSICOS

MOMENTOS-L : CONCEITOS BÁSICOS

1. DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADES

Seja X uma variável aleatória contínua, cuja função de distribuição de probabilidades acumuladas é dada por

$$F_x(x) = P(X \leq x) \quad (1)$$

A função densidade de probabilidades, denotada por $f_x(x)$, é definida como a derivada primeira de $F_x(x)$ em relação a X , enquanto $x(p)$ representa a função dos quantis x tal que a probabilidade da variável não exceder o valor $x(p)$ é igual a p .

O valor esperado ou esperança matemática da variável aleatória X , denotado por $E(X)$, é um operador definido por

$$E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} x f_x(x) dx \quad (2)$$

Considerando a transformação $p=F(x)$, pode-se reescrever a equação (2) da seguinte forma

$$E(X) = \int_0^1 x(p) dp \quad (3)$$

Da mesma forma, a função de variável aleatória $g(X)$ é também uma variável aleatória e sua esperança matemática é dada por

$$E[g(x)] = \int_{-\infty}^{\infty} g(x) f_x(x) dx = \int_0^1 g[x(p)] dp \quad (4)$$

A variância de X , simbolizada por $\text{var}(X)$, representa uma medida da dispersão dos valores de X em torno do valor central $E(X)$ e é definida pela seguinte expressão:

$$\text{var}(X) = E \left\{ [X - E(X)]^2 \right\} = E(X^2) - [E(X)]^2$$

2. ESTIMADORES

A distribuição da variável aleatória X é completamente conhecida se também o for o conjunto de parâmetros $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$, associado à definição das funções $f_x(x; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$ ou $x(p; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$. A maioria das funções de distribuição de probabilidades requer a definição dos parâmetros de posição e de escala. O parâmetro de posição ξ de uma distribuição é o número real que satisfaz

$$x(p; \xi, \theta_2, \dots, \theta_k) = \xi + x(p; \theta, \theta_2, \dots, \theta_k) \quad (6)$$

O parâmetro de escala α de uma distribuição, cujo parâmetro de posição é ξ , é dito de escala se

$$x(p; \xi, \alpha, \theta_3, \dots, \theta_k) = \xi + \alpha x(p; 0, 1, \theta_3, \dots, \theta_k) \quad (7)$$

Os parâmetros de uma distribuição devem ser estimados a partir de uma amostra de dados observados. O estimador de um certo parâmetro θ é representado por $\hat{\theta}$, o qual é uma função dos dados amostrais e, portanto, uma variável aleatória. A qualidade do estimador depende de quanto $\hat{\theta}$ desvia-se do verdadeiro valor de θ . Esse desvio pode ser decomposto em um viés e uma variabilidade. O viés representa o desvio sistemático para maior ou para menor, ou seja

$$\text{viés}(\hat{\theta}) = E(\hat{\theta} - \theta) \quad (8)$$

A variabilidade diz respeito aos desvios aleatórios em relação ao valor populacional de θ . Essa variabilidade pode ser quantificada pela variância do estimador, simbolizada por $\text{var}(\hat{\theta})$. Outra medida que combina o viés e a variabilidade do estimador é dada pela raiz quadrada do erro quadrático médio (REQM) definido por

$$\text{REQM}(\hat{\theta}) = \sqrt{E(\hat{\theta} - \theta)^2} = \sqrt{[\text{viés}(\hat{\theta})]^2 + \text{var}(\hat{\theta})} \quad (9)$$

Para estimativas com base em amostras de tamanho n , o viés e a variância de $\hat{\theta}$ são assintoticamente proporcionais ao inverso de n . Conseqüentemente, REQM é inversamente proporcional a \sqrt{n} . Como essas quantidades possuem as unidades do parâmetro a ser estimado, *Hosking e Wallis* (1997) sugerem as razões $\text{viés}(\hat{\theta})/\theta$ e $\text{REQM}(\hat{\theta})/\theta$, respectivamente o viés e REQM relativos, como medidas mais convenientes e representativas.

3. MOMENTOS

As características das distribuições de probabilidades podem ser sumarizadas pelos momentos populacionais. O momento de ordem 1, em relação a origem dos X , representa a média populacional, ou seja

$$\mu = E(X) \quad (10)$$

Em decorrência da equação (3), os momentos centrais de ordem superior podem ser calculados como valores esperados das r -ésimas potências dos desvios da variável em relação ao centro da distribuição μ . em termos formais,

$$\mu_r = E(X - \mu)^r; r = 2, 3, \dots \quad (11)$$

Alguns momentos centrais de particular interesse são os de ordem 2, 3, e 4. O momento central de ordem 2 é definição da variância de X , geralmente simbolizada por $\text{var}(X)$ ou σ^2 . Quantidades deduzíveis do momento central de ordem 2 são o desvio padrão σ e o coeficiente de variação C_v , formalmente definidos a seguir

$$\sigma = \sqrt{\mu_2} = \sqrt{\sigma^2} \quad (12)$$

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu} \quad (13)$$

Para $r > 2$, é usual descreverem-se as características da função de distribuição através das razões adimensionais $\mu_r / \mu_2^{r/2}$, das quais se destacam o coeficiente de assimetria

$$= \frac{\mu_3}{\mu_2^{3/2}} \quad (14)$$

e a curtose

$$k = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} \quad (15)$$

Os momentos populacionais podem ser estimados por quantidades similares, calculadas a partir dos dados de uma amostra de tamanho n . O estimador natural de μ é a média aritmética ou momento amostral de 1ª ordem.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (16)$$

enquanto os momentos amostrais de ordem superior

$$m_r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^r}{n} \quad (17)$$

são estimadores enviesados dos momentos populacionais de mesma ordem. Entretanto, os momentos amostrais m_r , podem ser corrigidos para produzirem estimadores sem viés. Por exemplo, as seguintes quantidades são respectivamente os estimadores sem viés da variância e dos coeficientes de variação, assimetria e curtose:

$$\hat{\sigma}^2 = s^2 = \frac{n}{n-1} m_2 \quad (18)$$

$$\hat{C}_v = \frac{s}{\bar{x}} \quad (19)$$

$$\hat{\gamma} = g = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)} \frac{m_3}{s^3} \quad (20)$$

$$\hat{\kappa} = k = \frac{n^2}{s^4(n-2)(n-3)} \left[\left(\frac{n+1}{n-1} \right) m_4 - 3m_2^2 \right] + 3 \quad (21)$$

4. MOMENTOS-L

Além de dependentes de n , as estimativas com base em momentos amostrais convencionais envolvem potências sucessivas dos desvios dos dados em relação ao valor central. Em conseqüência, pequenas amostras tendem a produzir estimativas não confiáveis, particularmente para as funções de momentos de ordem superior como a assimetria e a curtose. Os momentos-L, a serem abordados a seguir, compõem um sistema de medidas estatísticas mais confiáveis para a descrição das características das distribuições de probabilidades.

Os momentos-L são derivados dos “momentos ponderados por probabilidades”, ou simplesmente MPP’s, os quais foram introduzidos na literatura científica por *Greenwood et al.* (1979). Os MPP’s de uma variável aleatória X , variável essa descrita pela função de probabilidades acumuladas $F_x(x)$, são as quantidades definidas por

$$M_{p,r,s} = E \left\{ X^p [F_x(x)]^r [1 - F_x(x)]^s \right\} \quad (22)$$

Os MPP’s $\alpha_r = M_{1,0,r}$ e $\beta_r = M_{1,r,0}$ representam casos especiais de relevância particular para a inferência estatística. Com efeito, considerando-se uma distribuição cuja função de quantis seja dada por $x(p)$, pode-se combinar as equações (4) e (22) para expressar α_r e β_r da seguinte forma:

$$\alpha_r = \int_0^1 x(p) (1-p)^r dp \quad , \quad \beta_r = \int_0^1 x(p) p^r dp \quad (23)$$

Comparando as equações acima com a definição de momentos convencionais, ou seja $E(X^r) = \int_0^1 [x(p)]^r dp$, observa-se que esses implicam em potências sucessivamente crescentes da função de quantis $x(p)$, enquanto que α_r e β_r implicam em potências sucessivamente crescentes de p ou $(1-p)$, dessa forma, os MPP’s α_r e β_r podem ser vistos como integrais de $x(p)$, ponderadas pelos polinômios p^r ou $(1-p)^r$.

Diversos autores, como *Landweher et al.* (1979) e *Hosking e Wallis* (1987), utilizaram os MPP’s α_r e β_r como base para a estimação de parâmetros de distribuições de probabilidades. *Hosking e Wallis* (1997) ponderam, entretanto, que α_r e β_r são de interpretação difícil, em termos das medidas de escala e forma de uma distribuição de

probabilidades, e sugerem, para esse efeito, certas combinações lineares de α_r e β_r . Ainda segundo *Hosking e Wallis* (1997), essas combinações advêm da ponderação das integrais de $x(p)$ por um conjunto de polinômios ortogonais, denotados por $P_r^*(p)$, $r = 0, 1, 2, \dots$, definidos pelas seguintes condições:

- (i) $P_r^*(p)$ é um polinômio de grau r em p .
- (ii) $P_r^*(1) = 1$
- (iii) $\int_0^1 P_r^*(p) P_s^*(p) dp = 0$, para $r \neq s$ (condição de ortogonalidade)

Essas condições definem os polinômios de Legendre, devidamente modificados para a condição de ortogonalidade no intervalo $0 \leq p \leq 1$ e não $-1 \leq p \leq 1$, como em sua formulação original. Formalmente, esses polinômios são dados por

$$P_r^*(p) = \sum_{k=0}^r l_{r,k}^* p^k \quad (24)$$

onde $l_{r,k}^* = (-1)^{r-k} \binom{r}{k} \binom{r+k}{k} = \frac{(-1)^{r-k} (r+k)!}{(k!)^2 (r-k)!}$

De posse das definições acima, os momentos-L de uma variável aleatória X podem ser agora conceituados como sendo as quantidades

$$\lambda_r = \int_0^1 x(p) P_{r-1}^*(p) dp \quad (25)$$

Em termos dos MPP's, os momentos-L são dados por

$$\lambda_{r+1} = (-1)^r \sum_{k=0}^r l_{r,k}^* \alpha_k = \sum_{k=0}^r l_{r,k}^* \beta_k \quad (26)$$

Os primeiros quatro momentos-L são, portanto,

$$\lambda_1 = \alpha_0 = \beta_0 \text{ (média ou momento-L de posição)} \quad (27)$$

$$\lambda_2 = \alpha_0 - 2\alpha_1 = 2\beta_1 - \beta_0 \text{ (momento-L de escala)} \quad (28)$$

$$\lambda_3 = \alpha_0 - 6\alpha_1 + 6\alpha_2 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \quad (29)$$

$$\lambda_4 = \alpha_0 - 12\alpha_1 + 30\alpha_2 - 20\alpha_3 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \quad (30)$$

Em termos de medidas de forma das distribuições, torna-se mais conveniente que os momentos-L sejam expressos em quantidades adimensionais. Essas são representadas pelos quocientes de momentos-L, dados por

$$\tau_r = \frac{\lambda_r}{\lambda_2}, \quad r = 3, 4, \dots \quad (31)$$

Dessa forma, τ_3 e τ_4 são, respectivamente, as medidas de assimetria e curtose, independentes da escala da distribuição de probabilidades. Pode-se definir, também em

termos de momentos-L, uma medida análoga ao coeficiente de variação, qual seja

$$L - CV = \tau = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (32)$$

5. MOMENTOS-L E ESTATÍSTICAS DE ORDEM

Os momentos-L podem ser expressos como combinações lineares das estatísticas de ordem de uma amostra. Para esse efeito, considere uma amostra de tamanho n , disposta em ordem crescente $X_{1:n} \leq X_{2:n} \leq \dots \leq X_{n:n}$, de forma que a k -ésima menor observação, ou estatística de ordem k , seja denotada por $X_{k:n}$. Consistentemente com a equação (25), os momentos-L da distribuição de probabilidades da qual a amostra foi retirada são dados por

$$\lambda_r = r^{-1} \sum_{j=0}^{r-1} (-1)^j \binom{r-1}{j} \mathbf{E}(X_{r-j:r}) \quad (33)$$

onde a esperança matemática $\mathbf{E}(\cdot)$ de uma estatística de ordem r é o operador definido por

$$\mathbf{E}(X_{r:n}) = \frac{n!}{(r-1)!(n-r)!} \int_0^1 x(p) p^{r-1} (1-p)^{n-r} dp \quad (34)$$

Dessa forma, os quatro primeiros momentos-L podem ter as seguintes expressões:

$$\lambda_1 = \mathbf{E}(X_{1:1}) \quad (35)$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{2} \mathbf{E}(X_{2:2} - X_{1:2}) \quad (36)$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{3} \mathbf{E}(X_{3:3} - 2X_{2:3} + X_{1:3}) \quad (37)$$

$$\lambda_4 = \frac{1}{4} \mathbf{E}(X_{4:4} - 3X_{3:4} + 3X_{2:4} - X_{1:4}) \quad (38)$$

6. PROPRIEDADES DOS MOMENTOS-L

Hosking (1989, 1990) apresenta as provas matemáticas para as seguintes propriedades dos momentos-L:

- Existência: se a média de uma distribuição existe, então todos os momentos-L existem.
- Singularidade: se a média de uma distribuição existe, então os momentos-L a definem singularmente.
- Valores Limites:
 - $-\infty \leq \lambda_1 \leq \infty$ e $\lambda_2 \geq 0$.

se a distribuição é definida somente para $X \geq 0 \Rightarrow 0 \leq \tau \leq 1$.

$|\tau_r| < 1$ para $r \geq 3$.

$$\frac{1}{4} \left(5\tau \frac{2}{3} - 1 \right) \leq \tau_4 \leq 1.$$

se a distribuição é definida somente para $X \geq 0 \Rightarrow 2\tau - 1 \leq \tau_3 \leq 1$.

- Transformações Lineares:

Se X e $Y = aX + b$ são duas variáveis aleatórias de momentos-L λ_r e λ_r^* , respectivamente, então são válidas as seguintes relações:

$$\lambda_1^* = a\lambda_1 + b;$$

$$\lambda_2^* = |a|\lambda_2; e$$

$$\tau_r^* = (\langle \text{sinal de } a \rangle 1)^r \tau_r, r \geq 3.$$

- Simetria: se X é uma variável aleatória, descrita por uma distribuição de probabilidades simétrica, então todos os quocientes de momentos-L de ordem ímpar ($\tau_r, r = 3, 5, \dots$) serão nulos.

7. MOMENTOS

As propriedades, os momentos-L, os quocientes de momentos-L e os parâmetros de diversas distribuições de probabilidades foram objeto de extenso estudo por *Hosking e Wallis* (1986). Essas características encontram-se transcritas a seguir, para algumas das principais distribuições usadas em hidrologia.

Uma dessas distribuições é a Pearson tipo III, a qual pode ser completamente descrita pelos parâmetros μ , de posição, σ , de escala, e γ , de forma. Se $\gamma \neq 0$, essa distribuição pode ser reparametrizada em termos de $\alpha = 4/\gamma^2$, $\beta = \sigma |\gamma|/2$ e $\xi = \mu - 2\sigma/\gamma$. Se $\gamma > 0$, o domínio da variável aleatória é $\xi \leq x < \infty$ e as respectivas funções densidade e acumulada são dadas por

$$f(x) = \frac{(x - \xi)^{\alpha - 1} \exp\left(-\frac{x - \xi}{\beta}\right)}{\beta \Gamma(\alpha)} \quad (39)$$

$$F(x) = \frac{G[\alpha, (x - \xi)/\beta]}{\Gamma(\alpha)} \quad (40)$$

onde $\Gamma(\cdot)$ representa a função gama, definida por $\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt$, e $G(\cdot)$ a função gama

incompleta, dada por $G(\alpha, x) = \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt$. Se $\gamma < 0$, o domínio da variável aleatória passa a ser

$-\infty \leq x \leq \xi$, e

$$f(x) = \frac{(\xi - x)^{-1} \exp\left(-\frac{\xi - x}{\beta}\right)}{\beta \Gamma(\alpha)} \quad (41)$$

$$F(x) = 1 - \frac{G[\alpha, (\xi - x)/\beta]}{\Gamma(\alpha)} \quad (42)$$

A distribuição Normal, no domínio $-\infty < x < \infty$, representa um caso particular da Pearson III, quando $\gamma=0$.

Os momentos-L e seus quocientes são dados pelas seguintes expressões:

$$\lambda_1 = \xi + \alpha\beta \quad (43)$$

$$\lambda_2 = \beta\Gamma(\alpha + 1/2)/\sqrt{\pi}\Gamma(\alpha) \quad (44)$$

$$\tau_3 = 6I_{1/3}(\alpha, 2\alpha) - 3 \quad (45)$$

onde $I_x(p, q)$ representa a razão da função beta incompleta, definida por

$$I_x(p, q) = \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)} \int_0^x t^{p-1} (1-t)^{q-1} dt. \text{ Não há expressão simples para } \tau_4; \text{ o leitor interessado}$$

em expressões aproximadas para τ_4 deve consultar *Hosking e Wallis* (1997, pp. 201). Dado α , os parâmetros da distribuição Pearson tipo III são dados por $\gamma = \langle \text{sinal de } \tau_3 \rangle 2/\sqrt{\alpha}$, $\sigma = \lambda_2 \sqrt{\pi\alpha}\Gamma(\alpha)/\Gamma(\alpha + 1/2)$ e $\mu = \lambda_1$.

As Tabelas I-1 e I-2 resumizam as propriedades, os momentos-L, os quocientes de momentos-L e os parâmetros de outras distribuições de probabilidades de 2 e 3 parâmetros, respectivamente.

Tabela I-1 - Momentos-L, para algumas distribuições de 2 parâmetros

[Fonte: *Hosking e Wallis (1997)*].

Distribuição:	Uniforme	Exponencial	Gumbel	Normal
$f(x)$	$\frac{1}{-}$	$\frac{\exp\left(-\frac{x-}{-}\right)}{-}$	$\frac{\exp\left(-\frac{x-}{-}\right)\exp\left[-\exp\left(-\frac{x-}{-}\right)\right]}{-}$	$\frac{\phi\left(\frac{x-\mu}{-}\right)}{-}$, onde $\phi(x) = \frac{\exp\left(-\frac{x^2}{2}\right)}{\sqrt{2}}$
$F(x)$	$\frac{x-}{-}$	$1 - \exp\left(-\frac{x-}{-}\right)$	$\exp\left[-\exp\left(-\frac{x-}{-}\right)\right]$	$\left(\frac{x-\mu}{-}\right)$, onde $(x) = \int_{-\infty}^x \phi(t) dt$
$x(F)F$	$+ (-)F$	$- \ln(1-F)$	$- \ln(-\ln F)$	não tem forma analítica explícita
λ_1	$\frac{+}{2}$	$+$	$+ \gamma$, onde $\gamma = 0,5772\dots$ (cte. de Euler)	μ
λ_2	$\frac{-}{6}$	$\frac{-}{2}$	$\ln(2)$	$0,5642\sigma$
τ_3	0	$\frac{1}{3}$	$0,1699$	0
τ_4	0	$\frac{1}{6}$	$0,1504$	$0,1226$
Parâmetro de Posição	$-$	$\xi = \lambda_1 - \alpha$	$\xi = \lambda_1 - \gamma\alpha$	$\mu = \lambda_1$
Parâmetro de Escala	$-$	$\alpha = 2\lambda_2$	$= \frac{\lambda_2}{\ln(2)}$	$\sigma = \sqrt{-\lambda_2}$

Tabela I-2 - Momentos-L para algumas distribuições de probabilidades de 3 parâmetros [Fonte: Hosking e Wallis (1997)].

Distribuição:	Generalizada de Pareto	Generalizada de Valores Extremos	Logística Generalizada	Log-Normal
$f(x)$	$\frac{\exp[-(1-k)y]}{k}, \text{ onde}$ $y = -\frac{\ln\left[1 - \frac{k(x-)}{k}\right]}{k}, k \neq 0$ $y = \frac{x-}{k}, k = 0$	$\frac{\exp[-(1-k)y - \exp(-y)]}{k}, \text{ onde}$ $y = -\frac{\ln\left[1 - \frac{k(x-)}{k}\right]}{k}, k \neq 0$ $y = \frac{x-}{k}, k = 0$	$\frac{\exp[-(1-k)y]}{[1 + \exp(-y)]^2}, \text{ onde}$ $y = -\frac{\ln\left[1 - \frac{k(x-)}{k}\right]}{k}, k \neq 0$ $y = \frac{x-}{k}, k = 0$	$\frac{\exp\left(ky - y^2/2\right)}{\sqrt{2}}, \text{ onde}$ $y = -\frac{\ln\left[1 - \frac{k(x-)}{k}\right]}{k}, k \neq 0$ $y = \frac{x-}{k}, k = 0$
$F(x)$	$1 - \exp(y)$	$\exp[-\exp(-y)]$	$\frac{1}{1 + \exp(-y)}$	(y) (ver tabela I-1)
$x(F)$	$+\frac{[1 - (1 - F)]}{k}, k \neq 0$ $- \ln(1 - F), k = 0$	$+\frac{[1 - (-\ln F)]}{k}, k \neq 0$ $- \ln(-\ln F), k = 0$	$+\frac{1 - \left(\frac{1 - F}{F}\right)^k}{k}, k \neq 0$ $- \ln[(1 - F)/F], k = 0$	não tem forma analítica explícita
λ_1	$+\frac{1}{1+k}$	$+\frac{[1 - (1 + k)]}{k}$	$+\left[\frac{1}{k \operatorname{sen}(k)}\right]$	$+\frac{1 - \exp(k^2/2)}{k}$
λ_2	$\frac{1}{(1+k)(2+k)}$	$\frac{(1 - 2^{-k})(1+k)}{k}$	$\frac{k}{\operatorname{sen}(k)}$	$-\frac{e^{k^2/2}}{k} \left[1 - 2\left(-\frac{k}{\sqrt{2}}\right)\right]$
τ_3	$\frac{1-k}{3+k}$	$\frac{2(1-3^{-k})}{1-2^{-k}} - 3$	-k	$-k \frac{A_0 + A_1 k^2 + A_2 k^4 + A_3 k^6}{1 + B_1 k^2 + B_2 k^4 + B_3 k^6}$
τ_4	$\frac{(1-k)(2-k)}{(3+k)(4+k)}$	$\frac{5(1-4^{-k}) - 10(1-3^{-k}) + 6(1-2^{-k})}{1-2^{-k}} - 3$	$\frac{1+5k^2}{6}$	$\frac{0}{4} + k^2 \frac{C_0 + C_1 k^2 + C_2 k^4 + C_3 k^6}{1 + D_1 k^2 + D_2 k^4 + D_3 k^6}$
Parâmetro de Posição	$\xi = \lambda_1 - (2+k)\lambda_2$	$\xi = \lambda_1 - \frac{[1 - (1+k)]}{k}$	$\xi = \lambda_1 - \left[\frac{1}{k \operatorname{sen}(k)}\right]$	$\xi = \lambda_1 - \frac{1 - e^{k^2/2}}{k}$
Parâmetro de Escala	$\alpha = (1+k)(2+k)\lambda_2$	$\alpha = \frac{\lambda_2 k}{(1-2^{-k})(1+k)}$	$\alpha = \frac{\lambda_2 \operatorname{sen}(k)}{k}$	$\alpha = \frac{\lambda_2 k \exp(-k^2/2)}{1 - 2(-k^2/\sqrt{2})}$
Parâmetro de Forma	$k = \frac{1-3\tau_3}{1+\tau_3}$	$k \approx 7,8590c + 2,9554c^2$	$k = \tau_3$	$k = -\tau_3 \frac{E_0 + E_1 \tau_3^2 + E_2 \tau_3^4 + E_3 \tau_3^6}{1 + F_1 \tau_3^2 + F_2 \tau_3^4 + F_3 \tau_3^6}$
Observações	-	$(x) = \int_0^\infty t^{x-1} e^{-t} dt, c = \frac{2}{3+\tau_3} - \frac{\ln 2}{\ln 3}$	-	Ver Tabela I-3

Tabela I-3 - Coeficientes para o cálculo dos momentos-L da distribuição Log-Normal
 [Fonte: *Hosking e Wallis (1997)*].

$i \rightarrow$	0	1	2	3
Coeficiente ↓				
i_4	$1,2260172 \times 10^{-1}$	-	-	-
A_i	$4,8860251 \times 10^{-1}$	$4,4493076 \times 10^{-3}$	$8,8027039 \times 10^{-4}$	$1,1507084 \times 10^{-6}$
B_i	$6,4662924 \times 10^{-2}$	$3,3090406 \times 10^{-3}$	$7,4290680 \times 10^{-5}$	-
C_i	$1,8756590 \times 10^{-1}$	$-2,5352147 \times 10^{-3}$	$2,6995102 \times 10^{-4}$	$-1,8446680 \times 10^{-6}$
D_i	-	$8,2325617 \times 10^{-2}$	$4,2681448 \times 10^{-3}$	$1,1653690 \times 10^{-4}$
E_i	2,0466543	-3,6544371	1,8396733	-0,20360244
F_i	-2,0182173	1,2420401	-0,21741801	-

Um modo conveniente de representação dos momentos-L das diversas distribuições de probabilidades é o diagrama de quocientes de momentos-L, exemplificado pela Figura I-1, onde são lançadas a assimetria-L nas abcissas e a curtose-L nas ordenadas. Nesse diagrama, uma distribuição de 2 parâmetros (posição e escala) será grafada como um ponto, em decorrência da propriedade das transformações lineares dos momentos-L (ver item 6). Quanto às distribuições de 3 parâmetros (posição, escala e forma), essas serão grafadas como curvas, cujos pontos irão corresponder aos diferentes valores do parâmetro de forma.

8. MOMENTOS-L AMOSTRAIS

A estimação dos MPP's e momentos-L, a partir de uma amostra finita de tamanho n , inicia-se com a ordenação de seus elementos constituintes em ordem crescente, ou seja $x_{1:n} \leq x_{2:n} \leq \dots \leq x_{n:n}$. Um estimador não-enviesado do MPP β_r pode ser escrito como

$$b_r = \hat{\beta}_r = \frac{1}{n} \sum_{j=r+1}^n \frac{(j-1)(j-2)\dots(j-r)}{(n-1)(n-2)\dots(n-r)} x_{j:n} \quad (46)$$

Dessa forma, os estimadores de β_r , $r \leq 2$, são dados por

$$b_0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{j:n} \quad (47)$$

$$b_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=2}^n \frac{(j-1)}{(n-1)} x_{j:n} \quad (48)$$

$$b_2 = \frac{1}{n} \sum_{j=3}^n \frac{(j-1)(j-2)}{(n-1)(n-2)} x_{j:n} \quad (49)$$

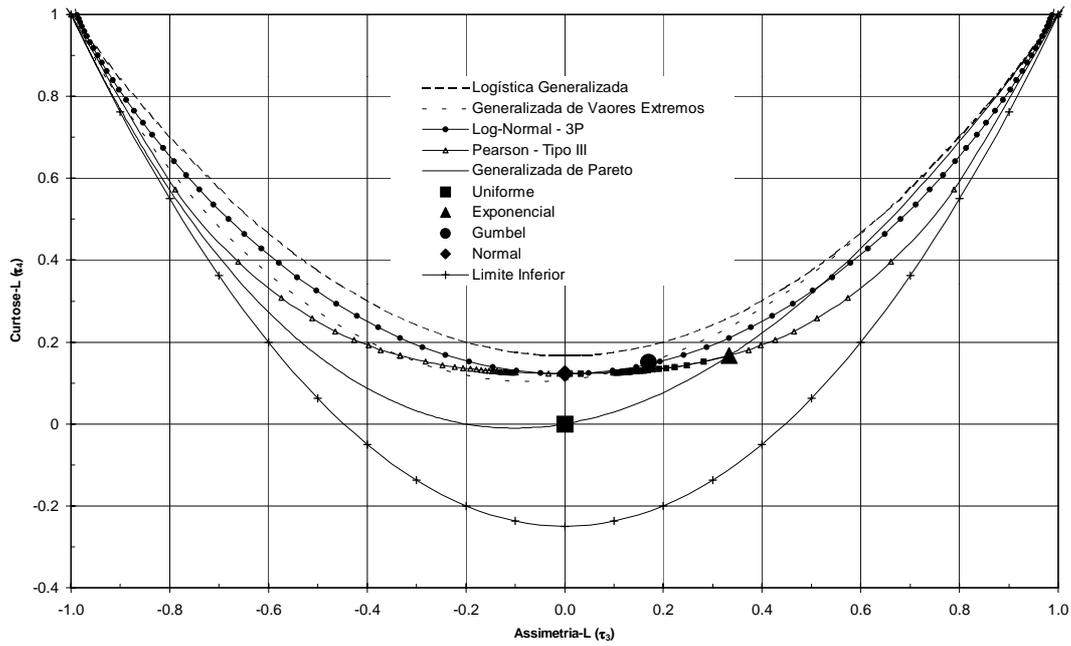


Figura I-1: Diagrama de Momentos-L para Algumas Distribuições de Probabilidades.

(L : Logística; LG : Logística Generalizada; G : Gumbel; GEV : Generalizada de Valores Extremos; N : Normal; LN3 : Log-Normal 3 Parâmetros; P3 : Pearson Tipo III; E : Exponencial; GP : Generalizada de Pareto; U : Uniforme).

Analogamente às equações (27) a (30), os estimadores não-enviesados de λ , são os momentos-L amostrais, esses definidos pelas seguintes expressões:

$$l_1 = b_0 \quad (50)$$

$$l_2 = 2b_1 - b_0 \quad (51)$$

$$l_3 = 6b_2 - 6b_1 + b_0 \quad (52)$$

$$l_4 = 20b_3 - 30b_2 + 12b_1 - b_0 \quad (53)$$

$$l_{r+1} = \sum_{k=0}^r l_{r,k}^* b_k; \quad r = 0, 1, \dots, n-1 \quad (54)$$

Na equação (54), os coeficientes $l_{r,k}^*$ são definidos tal como na equação (24). Da mesma forma, os quocientes de momentos-L amostrais são dados por

$$t_r = \frac{l_r}{l_2}; \quad r \geq 3 \quad (55)$$

enquanto o L -CV amostral calcula-se através de

$$t = \frac{l_2}{l_1} \quad (56)$$

Os estimadores de τ_r , fornecidos pelas equações (55) e (56), são muito pouco enviesados quando calculados para amostras de tamanho moderado a grande. *Hosking* (1990, p. 116) utilizou a teoria assintótica para calcular o viés para amostras grandes; para a distribuição Gumbel, por exemplo, o viés assintótico de t_3 é $0,19n^{-1}$, enquanto o de t_4 , para a distribuição Normal, é $0,03n^{-1}$, onde n representa o tamanho da amostra. Para amostras de pequeno tamanho, o viés pode ser avaliado por simulação. Segundo *Hosking e Wallis* (1997, p. 28), para uma gama de distribuições, o viés de t pode ser considerado desprezível para $n \geq 20$. Ainda segundo esses autores, mesmo em se tratando de amostras de tamanho em torno de 20, o viés de t_3 e o viés de t_4 são considerados relativamente pequenos e definitivamente menores do que os produzidos por estimadores convencionais de assimetria e curtose.

9. ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS ATRAVÉS DE MOMENTOS-L

Um problema clássico da inferência estatística refere-se à estimação, a partir de uma amostra de tamanho n , dos $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p$ parâmetros que especificam uma determinada distribuição de probabilidades. Equivalentemente ao chamado método dos momentos, o método dos momentos-L consiste em se obter as estimativas dos parâmetros igualando-se os primeiros p momentos-L amostrais aos seus correspondentes populacionais; esse procedimento irá resultar em um sistema de p equações e p incógnitas, cujas soluções pressupõem que os parâmetros sejam expressões de momentos-L. Essas expressões encontram-se sumarizadas nas Tabelas I-1 e I-2 para algumas distribuições de 2 e 3 parâmetros, respectivamente.

Hosking e Wallis (1997) mostram que os estimadores de parâmetros e quantis, obtidos por momentos-L para as distribuições mais comumente utilizadas, são assintoticamente distribuídos como uma distribuição Normal, a partir da qual podem ser calculados erros padrões das estimativas e intervalos de confiança. Além disso, mostram que, para amostras de tamanho pequeno a moderado, o método dos momentos-L é geralmente mais eficiente do que o da máxima verossimilhança.

ANEXO B

SÉRIES DE VAZÕES MÁXIMAS ANUAIS

		ANO HIDROLÓGICO																				
	Estação	N	26/27	27/28	28/29	29/30	30/31	31/32	32/33	33/34	34/35	35/36	36/37	37/38	38/39	39/40	40/41	41/42	42/43	43/44	44/45	45/46
1	40025000	36																				
2	40032000	24																				
3	40035000	6														139,0	99,0	85,0		114,0	133,0	157,0
4	40037000	25																				
5	40040000	31																				
6	40046000	9																		275,0	236,0	590,0
7	40050000	56										356,0	547,0	709,0		525,0	372,0	326,0	690,0	286,0		
8	40053000	31																				
9	40056002	22														35,8	44,8	39,6	45,8	23,3	46,6	49,7
10	40056200	12																				
11	40056500	15																		30,9	74,3	89,8
12	40060001	49														48,5	56,8	47,4	94,0	31,7	68,5	54,6
13	40067000	10														651,0	613,0	655,0	933,0			
14	40070000	23																				
15	40080000	29																				
16	40100000	39																				
17	40102000	20																				
18	40130000	16														807,0	1124,0	701,0	1537,0	610,0	907,0	1667,0
19	40150000	22											371,0	432,0	466,0	210,0	182,0	493,0	345,0	176,0	185,0	278,0
20	40160000	9													45,3	24,1	36,4	24,1	41,2	15,2	16,0	15,8
21	40170000	28																				
22	40180000	11													40,4	42,1	16,1	42,1	48,4	31,8		29,6
23	40185000	25																				
24	40190002	19											253,0	303,0	290,0	119,0	118,0	282,0	279,0	171,0	136,0	162,0
25	40300001	25																				251,0
26	40330000	47																		353,0	419,0	626,0
27	40350000	15													63,0	31,6	28,4	22,5				
28	40380000	15																				
29	40400000	41											200,0	230,0	265,0	162,0	132,0	81,1	161,0	121,0	130,0	196,0
30	40450001	49														587,0	686,0	651,0	1240,0	571,0		
31	40500000	22																				
32	40530000	22																				
33	40535000	5																		1114,0		
34	40540000	8													38,5	35,8	73,7	33,6				42,1
35	40549998	33																				
36	40573000	15																				
37	40577000	21																				
38	40579995	47													93,6	85,6	112,0	48,4	103,0	62,9	76,7	41,2
39	40665000	30													22,6	19,3				24,5	31,5	23,5
40	40680000	55													93,9	57,1	140,0	61,0	116,0	62,9	63,0	52,1
41	40700002	12																		212,0	209,0	165,0
42	40710000	25																				
43	40720002	14																				
44	40740000	28											259,0	344,0	326,0	236,0	312,0	301,0	439,0	279,0		239,0
45	40770000	15																				

Vazões Máximas Anuais (m³/s)

		ANO HIDROLÓGICO																				
	Estação	N	46/47	47/48	48/49	49/50	50/51	51/52	52/53	53/54	54/55	55/56	56/57	57/58	58/59	59/60	60/61	61/62	62/63	63/64	64/65	65/66
1	40025000	36									70,1	72,4	196,0	226,0			69,6	64,2	70,2	71,0		
2	40032000	24																				
3	40035000	6																				
4	40037000	25																				
5	40040000	31																				
6	40046000	9					461,0	470,0	308,0	228,0	251,0	360,0										
7	40050000	56	804,0	455,0	491,0	475,0	613,0	540,0	355,0	289,0	280,0	378,0	534,0	305,0	440,0					346,0	839,0	660,0
8	40053000	31																				
9	40056002	22	52,9	26,8	35,9	38,6	40,3	44,3	31,2	36,8	24,9	40,8	43,8	40,9	39,6	42,4	42,4					
10	40056200	12																				
11	40056500	15	81,3	39,0	54,4			72,0	41,9	44,9	34,9			64,8	59,3	59,3	69,2					
12	40060001	49					56,0	69,0	36,6			40,2	40,3	45,3	37,7	40,0					74,0	
13	40067000	10				683,0		970,0	474,0										870,0	599,0	980,0	
14	40070000	23																				
15	40080000	29																				
16	40100000	39												642,0	839,0	873,0	680,0	1080,0	706,0	1358,0	1105,0	
17	40102000	20	1520,0	1100,0	1241,0	957,0	1350,0		740,0				995,0	610,0		903,0	937,0	760,0		744,0	1438,0	
18	40130000	16																				
19	40150000	22	196,0	243,0	302,0	353,0	306,0	247,0	137,0	51,9	189,0	223,0	320,0	96,5								
20	40160000	9	16,8																			
21	40170000	28																				
22	40180000	11	27,2	28,0	29,6												31,4					
23	40185000	25																				
24	40190002	19	209,0	198,0	310,0	170,0	207,0	224,0	106,0													
25	40300001	25		665,0	340,0	183,0	256,0	197,0	170,0	158,0	172,0	128,0		83,3	74,5							
26	40330000	47	480,0	569,0	804,0	412,0								257,0	166,0	348,0	804,0	279,0	606,0	811,0	829,0	705,0
27	40350000	15																				
28	40380000	15		80,4	108,0		115,0	125,0		52,8	73,0			86,0		90,1	112,0					
29	40400000	41	124,0	136,0	189,0	130,0	124,0	182,0	130,0						87,3	113,0	162,0					
30	40450001	49	743,0				662,0			282,0	541,0	625,0	739,0	455,0	254,0	747,0	1170,0	431,0	961,0	1140,0	1200,0	1080,0
31	40500000	22																				
32	40530000	22																				
33	40535000	5	2461,0					2498,0	992,0	886,0												
34	40540000	8			64,9	41,3	57,3															
35	40549998	33										97,2		42,2	44,1	51,7	80,3	56,6	44,0			81,0
36	40573000	15	33,0			28,8		39,3	34,9	20,0		22,0	49,3	20,5	23,5	21,0	50,7	40,6	18,5	36,1	33,7	
37	40577000	21	26,5	30,9	44,8	21,8	44,8	34,1	28,2	12,9	39,3	16,5		22,5	26,6	40,4	39,3	23,8		39,3	27,4	
38	40579995	47	54,1	62,3	104,0	46,0	206,0	110,0	89,0			41,2	112,0	44,1				75,6	52,8	72,9	68,2	112,0
39	40665000	30	24,2	22,1	30,7	19,7	26,2	25,7	19,5	24,4	25,7	24,9	27,0								21,0	18,9
40	40680000	55	92,2	75,8	86,2	69,0	89,9	69,3	57,7	82,0	70,5	132,0		51,0	38,7	53,7	150,0				102,0	82,5
41	40700002	12	302,0		420,0	190,0	336,0	285,0	150,0	143,0	239,0	248,0										
42	40710000	25																				457,0
43	40720002	14	402,0	356,0	411,0	244,0	459,0															
44	40740000	28																				
45	40770000	15																				

Vazões Máximas Anuais (m³/s)

		ANO HIDROLÓGICO																			
	Estação	N	66/67	67/68	68/69	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78	78/79	79/80	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85
1	40025000	36				66,2	23,4	68,5	63,8	69,6	65,3	56,4	71,4	52,8	45,8	50,8	40,2	81,9	86,1	74,5	71,8
2	40032000	24			112,0	124,0	70,7	79,6	100,0	106,0	116,0	87,5	152,0	138,0	246,0	174,0	90,3	176,0	151,0	124,0	174,0
3	40035000	6																			
4	40037000	25		183,0		399,0	149,0	150,0	138,0	281,0	230,0	205,0	252,0	258,0	245,0	244,0	241,0				
5	40040000	31	37,2	47,3	38,0	34,0		24,2	39,1	23,8	42,0	33,8	79,6	33,3	60,3	58,7	21,0	52,2	71,4	53,6	73,8
6	40046000	9																			
7	40050000	56	501,0	507,0	410,0	422,0	160,0	426,0	418,0	406,0	441,0	412,0	438,0	380,0	487,0	554,0	327,0	556,0	642,0	452,0	515,0
8	40053000	31	34,9	36,9	39,2	27,4	3,8	55,5	27,6	22,5	27,6	34,5	75,2	50,7	47,8	58,7	26,0	70,0	52,2	55,1	52,5
9	40056002	22																			
10	40056200	12										53,2	64,5	58,0	57,7	66,2		72,0	69,5	62,6	69,2
11	40056500	15		68,1																	
12	40060001	49	49,6	58,1	52,2	57,0	38,4	53,9	55,8	40,7	47,2	40,7	48,6	39,6	35,1	41,5	30,9	40,2	65,1	57,2	63,0
13	40067000	10																			
14	40070000	23			618,0	618,0		575,0					689,0	610,0	791,0	897,0	521,0	867,0	1064,0	710,0	877,0
15	40080000	29			49,0	43,7	12,5	58,6	38,2	48,4	48,0	24,0	43,2	33,2	50,2	55,4	34,6	72,8	72,3	42,4	75,2
16	40100000	39	867,0	901,0	801,0	740,0	234,0	707,0	663,0	720,0	767,0	586,0	847,0	772,0	993,0	1124,0	638,0	1104,0	1349,0	867,0	1125,0
17	40102000	20																			
18	40130000	16	226,0	141,0	105,0	212,0	102,0	94,1	248,0	165,0	154,0	176,0	164,0	129,0	275,0	147,0					
19	40150000	22																			
20	40160000	9																			
21	40170000	28		60,4	103,0	95,4			93,4	53,1	100,0	110,0	107,0	79,1			56,0	124,0	128,0	97,2	216,0
22	40180000	11																			
23	40185000	25								127,0	146,0	188,0	201,0	154,0	251,0	275,0	125,0	254,0	261,0	196,0	426,0
24	40190002	19										168,0	136,0								
25	40300001	25														244,0	152,0		377,0	173,0	
26	40330000	47	342,0	354,0	507,0	398,0	175,0	542,0	415,0	391,0	337,0	605,0	426,0	363,0		682,0	411,0	745,0	712,0	578,0	1213,0
27	40350000	15											25,5	23,3	31,2	42,4	18,6	34,9	33,4	29,6	39,4
28	40380000	15									76,7	117,0	92,8	103,0	117,0	154,0					
29	40400000	41			142,0	141,0	30,6	122,0	129,0	105,0	98,2	157,0	129,0	141,0	161,0	211,0	93,0			153,0	266,0
30	40450001	49	627,0	651,0	739,0	662,0	262,0	809,0	596,0	541,0	527,0	649,0	828,0	833,0	1340,0	835,0	543,0	1060,0	1240,0	743,0	1580,0
31	40500000	22								30,0	31,4					39,6	27,4	42,3	47,3	31,0	42,5
32	40530000	22								35,8	33,6	23,1	54,2	50,0	55,0	78,2	42,6	61,7	84,8	56,1	54,0
33	40535000	5																			
34	40540000	8																			
35	40549998	33	77,8	58,0	56,9				91,7	53,3	48,0	33,1	65,6	112,0	132,0			187,0	68,6	48,5	50,4
36	40573000	15																			
37	40577000	21																			
38	40579995	47							77,0	111,0	45,5	30,8	55,8	148,0	128,0	59,4	50,9	94,6	132,0	88,2	132,0
39	40665000	30	14,7						44,4	41,0	29,1	33,1	50,7	44,7	39,0	46,6	42,4			29,5	52,0
40	40680000	55	106,0			63,3	58,3	141,0	74,8	68,3	56,0	39,1	80,2	107,0	84,2	61,7	92,3	106,0	105,0	76,9	109,0
41	40700002	12																			
42	40710000	25	350,0	220,0	268,0	190,0	147,0	378,0	330,0	295,0	207,0	150,0	350,0	670,0	403,0	336,0	385,0	460,0	451,0	374,0	785,0
43	40720002	14																			
44	40740000	28		315,0	356,0	255,0	182,0	474,0	410,0	351,0			456,0	723,0	457,0	460,0	432,0	519,0	443,0	387,0	816,0
45	40770000	15	104,0	66,9	66,9	51,9	60,8	120,0					58,2	69,8	107,0		56,0	66,9	102,0	56,9	

Vazões Máximas Anuais (m³/s)

		ANO HIDROLÓGICO															Max	Média	DP	Assimetria
Estação	N	85/86	86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99	99/00				
1	40025000	36	230,0	187,0	84,3	76,4	67,1	208,0		70,4	92,8	192,0	97,8		156,0	51,6	230,0	92,8	55,8	1,491
2	40032000	24	89,3	140,0	111,0	93,0	94,6		134,0	221,0							246,0	129,3	44,2	1,097
3	40035000	6															157,0	121,2	26,8	-0,081
4	40037000	25		267,0	192,0	162,0	179,0	444,0	529,0	285,0	374,0	267,0	171,0		140,0	154,0	529,0	245,6	99,8	1,355
5	40040000	31	50,8	60,2	39,5	28,2	30,8	73,2	68,5	50,1	98,5	52,4	40,7		32,2	44,5	98,5	48,2	18,5	0,784
6	40046000	9															590,0	353,2	127,2	0,852
7	40050000	56	477,0	677,0	414,0	314,0	577,0	763,0	939,0	533,0	618,0	615,0	354,0		360,0	381,0	939,0	483,8	153,2	0,764
8	40053000	31	33,1	59,2	12,8	12,5	64,0			35,1	51,8	50,4	59,3	86,7	24,1	56,8	86,7	43,4	19,4	0,028
9	40056002	22															52,9	39,4	7,6	-0,643
10	40056200	12	57,8			35,0	64,3										72,0	60,8	9,9	-1,670
11	40056500	15															89,8	58,9	17,6	-0,048
12	40060001	49	51,1	46,6	45,2	35,3	44,5	42,5	41,5	30,5	45,3	45,3	44,2	61,6	38,2	40,2	94,0	48,3	12,2	1,344
13	40067000	10															980,0	742,8	179,4	0,187
14	40070000	23	590,0	752,0	552,0	431,0		857,0		573,0	654,0	652,0	517,0		490,0	538,0	1064,0	671,4	157,8	0,797
15	40080000	29	138,0	35,6	38,0	28,1	121,0	77,3		38,8	42,9	45,3	59,2		39,4	84,3	138,0	53,4	27,0	1,628
16	40100000	39	729,0	785,0	780,0	477,0	767,0			712,0	915,0	765,0	760,0	2814,0	668,0	848,0	2814,0	874,6	384,8	3,480
17	40102000	20															1667,0	1032,4	326,5	0,564
18	40130000	16															280,0	172,8	59,2	0,598
19	40150000	22															493,0	263,7	115,3	0,307
20	40160000	9															45,3	26,1	11,9	0,712
21	40170000	28	98,6	218,0	92,1	51,8	62,3	105,0	340,0	92,1	69,9	60,1	69,6	250,0	59,2	80,7	340,0	109,7	67,2	2,135
22	40180000	11															48,4	33,3	9,1	-0,082
23	40185000	25	187,0	317,0	130,0	77,9	101,0	200,0	560,0	167,0	195,0	139,0	97,0		77,4	125,0	560,0	199,1	110,2	1,820
24	40190002	19															310,0	202,2	67,4	0,255
25	40300001	25		107,0	214,0		114,0	162,0	258,0	132,0	166,0	174,0			229,0		665,0	207,2	119,6	2,542
26	40330000	47	499,0	748,0	485,0	302,0	504,0	694,0	1034,0	492,0	607,0	573,0	568,0		490,0	690,0	1213,0	539,4	211,4	0,807
27	40350000	15	17,4			27,0											63,0	31,2	11,2	1,625
28	40380000	15															154,0	100,2	25,1	0,181
29	40400000	41				92,5		215,0	300,0	174,0		147,0			138,0		300,0	151,2	53,2	0,752
30	40450001	49	596,0	1010,0	527,0	393,0	583,0	883,0	1190,0	558,0	765,0	585,0					1580,0	753,5	293,2	0,724
31	40500000	22	64,2	33,8	39,9	42,4	42,9	33,8	139,0	39,9	44,0	81,9	39,2	69,3	51,8	65,0	139,0	49,0	24,5	2,650
32	40530000	22	47,6	45,3	45,1	27,7	48,3	44,9	91,8	48,1	35,2	29,9					91,8	49,7	17,5	0,936
33	40535000	5															2498,0	1590,2	815,9	0,565
34	40540000	8															73,7	48,4	14,9	0,836
35	40549998	33	38,3	36,4	77,0	37,2	44,6			57,9	33,0	63,2	42,4	85,7		39,0	187,0	64,7	32,2	2,096
36	40573000	15															50,7	31,5	10,6	0,467
37	40577000	21															44,8	30,4	9,6	-0,011
38	40579995	47			54,7	22,1	63,4	19,8	74,6	57,2	55,1	60,3			66,5	84,2	206,0	78,2	35,7	1,125
39	40665000	30															52,0	30,0	10,3	0,787
40	40680000	55	59,7	120,0	51,4	52,3	42,6	222,0	253,0	52,0	91,1	93,1	144,0	434,0	62,2	71,2	434,0	93,2	61,9	3,646
41	40700002	12															420,0	241,6	82,5	0,864
42	40710000	25	287,0	322,0	418,0	161,0	397,0										785,0	351,6	149,0	1,142
43	40720002	14															459,0	329,1	75,7	0,379
44	40740000	28	345,0	423,0	455,0	222,0		715,0		300,0	336,0	461,0	372,0	1133,0	205,0	235,0	1133,0	437,1	202,8	1,797
45	40770000	15		91,4	39,3												120,0	74,5	24,0	0,616

Vazões Máximas Anuais (m³/s)

		ANO HIDROLÓGICO																				
	Estação	N	26/27	27/28	28/29	29/30	30/31	31/32	32/33	33/34	34/35	35/36	36/37	37/38	38/39	39/40	40/41	41/42	42/43	43/44	44/45	45/46
46	40788000	10																				
47	40790000	18													39,7	20,6	19,2					31,7
48	40800001	57													576,0	414,0	472,0	458,0	684,0	408,0	371,0	333,0
49	40818000	20																	27,7	23,3	18,9	30,1
50	40830000	13																				
51	40850000	27																				
52	40865001	18																				
53	40930000	25															120,0	117,0	183,0	83,5	180,0	187,0
54	40960000	21																				
55	40963000	12																				
56	40975000	18																				
57	41050000	31																				
58	41075001	11																				
59	41090000	8																				
60	41135000	10																		5840,0	3806,0	
61	41151000	37																				
62	41160000	4						33,9							34,2	32,3	47,0					
63	41180000	31																				
64	41190000	5			88,2							67,6	146,0		67,3		76,8					
65	41195000	15	313,0	284,0	297,0	242,0		226,0	332,0	226,0	226,0	138,0	260,0	432,0	260,0	142,0	197,0		282,0			
66	41199998	27																				
67	41220000	5																20,5				
68	41230000	7															279,0	400,0			297,0	257,0
69	41242100	7														22,2	21,2					
70	41250000	24																				
71	41260000	18																				
72	41295000	24																36,7	50,3	52,0	47,7	50,8
73	41300000	50																		120,0	109,0	115,0
74	41340000	42												902,0	370,0	425,0	555,0	754,0	688,0	799,0		
75	41380000	21																				
76	41410000	27																				
77	41440005	28																				
78	41539998	30																				
79	41600000	24																				
80	41650002	28																				
81	41685000	29																				
82	41700001	23																				
83	41715000	4																	110,0	59,2		
84	41720000	21														95,2		123,0	151,0	67,4	56,8	59,2
85	41780002	23																				
86	41818000	46																		1860,0	1783,0	1743,0
87	41880000	20																				17,4
88	41890000	22																				
89	41940000	19																				
90	41990000	52														1541,0	1800,0	2493,0	2709,0	2516,0	2502,0	2422,0

Vazões Máximas Anuais (m³/s)

		ANO HIDROLÓGICO																				
	Estação	N	46/47	47/48	48/49	49/50	50/51	51/52	52/53	53/54	54/55	55/56	56/57	57/58	58/59	59/60	60/61	61/62	62/63	63/64	64/65	65/66
46	40788000	10																				
47	40790000	18	31,5		31,5			29,3	15,0	18,2	36,9	26,4		19,2	10,0	66,1		28,9	44,2	37,4	30,6	
48	40800001	57	570,0	502,0	810,0	366,0	690,0	570,0	288,0	295,0	498,0	470,0	774,0	388,0	408,0	448,0	822,0	414,0	515,0	748,0	570,0	726,0
49	40818000	20	36,2	48,7		26,4	30,3	38,6	47,8		48,7	47,8	43,1	29,6	21,0	36,2	45,6		39,9	29,8	41,1	
50	40830000	13		35,1		6,7	9,6	11,8	14,3		10,6	8,7	10,7	6,8		16,3	11,3	7,5	14,3			
51	40850000	27																				
52	40865001	18																				
53	40930000	25	185,0	107,0	156,0	169,0	177,0	183,0	61,6													
54	40960000	21																				
55	40963000	12																				
56	40975000	18																				
57	41050000	31																				
58	41075001	11																				
59	41090000	8																				
60	41135000	10				2238,0	2507,0	3984,0	1595,0		2364,0	2606,0	3508,0		2052,0							
61	41151000	37											30,3	30,3	29,1	20,6	32,8	23,7			34,3	35,7
62	41160000	4																				
63	41180000	31																				
64	41190000	5																				
65	41195000	15																				
66	41199998	27																				
67	41220000	5										19,0	82,1	67,4							67,4	
68	41230000	7	269,0					197,0	184,0													
69	41242100	7					40,1	15,0	26,8	33,4	39,3											
70	41250000	24																				
71	41260000	18																				
72	41295000	24	40,6	47,7	85,9	31,1	39,8	42,4	31,7	41,3	45,0	28,4	43,3	30,7	15,8	38,1	54,3	36,4	37,6	23,9	43,8	
73	41300000	50	96,5			65,8	77,2	88,7	66,5	84,2	93,4	97,2	88,5	68,1	43,0	89,0	123,0	79,6	80,7	50,9	120,0	96,0
74	41340000	42					580,0	650,0	312,0	274,0	480,0	490,0	748,0	380,0	245,0	632,0	1006,0	449,0	790,0	569,0	624,0	654,0
75	41380000	21																				
76	41410000	27																				761,0
77	41440005	28																				
78	41539998	30																				24,5
79	41600000	24										970,0										
80	41650002	28												747,0	400,0							1140,0
81	41685000	29																				
82	41700001	23														246,0		110,0			83,5	83,5
83	41715000	4					49,0	39,8														
84	41720000	21	57,6	57,8	59,6	59,6	59,8	58,2	48,3	58,8	58,2	59,0	124,0	109,0	82,0		164,0	114,0				
85	41780002	23																				
86	41818000	46				1207,0	1420,0	1551,0	880,0	735,0	1250,0	1300,0	1690,0				1135,0	1740,0	1267,0	1427,0	1473,0	
87	41880000	20	19,4	14,8	26,3	6,7	17,8	17,8	17,8	10,5	15,1	18,3	22,7	20,2	25,1	25,1	25,7	25,1	26,3	22,4	56,7	
88	41890000	22																				
89	41940000	19																				
90	41990000	52	1672,0	2493,0		1684,0	2036,0	2200,0	1254,0	1050,0			2320,0	1561,0		2184,0	2988,0	1665,0	2349,0	1665,0	1896,0	2004,0

Vazões Máximas Anuais (m³/s)

		ANO HIDROLÓGICO																				
	Estação	N	66/67	67/68	68/69	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78	78/79	79/80	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85	
46	40788000	10																	642,0	524,0		
47	40790000	18																				
48	40800001	57	580,0	450,0	478,0	340,0	246,0	568,0	520,0	449,0	357,0	276,0		736,0	822,0	550,0			698,0	585,0	1017,0	
49	40818000	20																				
50	40830000	13																				
51	40850000	27		580,0	653,0	490,0	322,0	702,0	650,0	602,0	488,0	390,0	868,0	860,0		735,0	678,0	678,0	851,0	773,0	1330,0	
52	40865001	18												811,0	1900,0	738,0	616,0	688,0	998,0	792,0	1620,0	
53	40930000	25			131,0	139,0		174,0	215,0	210,0	162,0							223,0			171,0	
54	40960000	21							330,0	339,0	295,0	162,0	542,0	542,0	638,0	400,0	425,0	652,0	813,0	283,0	317,0	
55	40963000	12												694,0		808,0		789,0	1040,0	306,0	390,0	
56	40975000	18			166,0	158,0			162,0	138,0	193,0	190,0	819,0	454,0	582,0	438,0				233,0		
57	41050000	31			116,0	286,0	204,0	215,0	238,0	178,0	172,0	169,0	281,0	291,0	373,0	349,0	284,0	592,0	524,0	208,0	393,0	
58	41075001	11												1501,0	1222,0	1532,0	778,0	2032,0	2305,0	709,0	962,0	
59	41090000	8	852,0		864,0	899,0	431,0	1357,0	1286,0	1274,0	1522,0											
60	41135000	10																				
61	41151000	37				18,6	12,2		22,4	22,6	25,9	12,9	31,0	55,1	71,5	44,4	49,9	62,4	32,8	48,2	70,4	
62	41160000	4																				
63	41180000	31	56,7	36,0	60,6	52,4		54,1	56,1	58,3	53,0	39,5	170,0	82,4	179,0	95,3	78,7	164,0	98,5	156,0	264,0	
64	41190000	5																				
65	41195000	15																				
66	41199998	27						148,0	246,0	271,0	201,0	95,1	234,0	240,0	402,0	211,0	269,0	435,0	297,0	234,0	417,0	
67	41220000	5																				
68	41230000	7																				
69	41242100	7																				
70	41250000	24			55,8	108,0			60,4	44,3	54,9	19,3	159,0	123,0		83,8	95,0	141,0		94,0	163,0	
71	41260000	18															497,0	872,0	750,0	578,0	894,0	
72	41295000	24																				
73	41300000	50	105,0	62,5	83,1	86,7	58,9	105,0	69,3	96,3	71,2	27,7	179,0	403,0		179,0	149,0			154,0	274,0	
74	41340000	42			380,0	497,0	182,0	351,0	498,0	309,0	375,0	171,0	745,0			564,0				858,0	1108,0	
75	41380000	21										62,0	175,0	165,0	224,0			159,0	222,0	88,5	181,0	
76	41410000	27	627,0	540,0	447,0	591,0	218,0	433,0	626,0	381,0	423,0	200,0	771,0			612,0	591,0		846,0		1208,0	
77	41440005	28		5,9		9,9		16,1	14,2	112,0	23,4	9,3	29,4	38,0	47,7	20,2	21,1	29,9	24,3	20,8		
78	41539998	30	21,0	24,6	23,5	23,6	22,1		24,9	27,9	26,3	21,1	33,9	29,3		25,3	24,3	30,5	28,5	33,9	37,1	
79	41600000	24				691,0	248,0	514,0	740,0	448,0	480,0	232,0	797,0	754,0		620,0		931,0	874,0		1249,0	
80	41650002	28	1019,0	779,0	663,0				1005,0	583,0	575,0	292,0	879,0	846,0		714,0	760,0	991,0	1092,0	959,0	1334,0	
81	41685000	29		22,8	22,6	22,4			19,6	18,3		16,2	69,4	40,9	75,9	78,8	50,9	91,1	91,1	50,9	71,2	
82	41700001	23	141,0		250,0	217,0	194,0	217,0	217,0	106,0	181,0	193,0	463,0	470,0	586,0	387,0	384,0	448,0	627,0			
83	41715000	4																				
84	41720000	21																				
85	41780002	23									1334,0	454,0	1682,0	1414,0		734,0	1262,0	1135,0		853,0	1588,0	
86	41818000	46	1371,0	1047,0	924,0	1231,0	656,0	1004,0	1423,0	840,0	846,0	640,0	1831,0	1629,0		1316,0	1449,0	1700,0	1853,0	1303,0	1909,0	
87	41880000	20																				
88	41890000	22							179,0	187,0			161,0	313,0	304,0					168,0	142,0	302,0
89	41940000	19								249,0	226,0	147,0	240,0	266,0	295,0	312,0	329,0	273,0	321,0	184,0	281,0	
90	41990000	52	1924,0	1469,0	1359,0	1812,0	932,0	1534,0	2053,0	1265,0	1231,0	891,0		2373,0		2485,0	1741,0	2272,0	2504,0	1647,0	2715,0	

Vazões Máximas Anuais (m³/s)

		ANO HIDROLÓGICO															Max	Média	DP	Assimetria	
	Estação	N	85/86	86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99	99/00				
46	40788000	10			529,0	233,0	471,0	872,0	703,0	409,0	468,0	566,0						872,0	541,7	173,1	0,234
47	40790000	18																66,1	29,8	12,9	1,146
48	40800001	57	437,0	549,0	601,0	288,0	481,0	927,0	827,0	424,0	603,0	633,0	695,0		296,0	427,0		1017,0	534,2	176,0	0,604
49	40818000	20																48,7	35,5	9,7	-0,096
50	40830000	13																35,1	12,6	7,4	2,647
51	40850000	27	589,0	624,0	709,0	438,0	681,0	958,0	910,0			657,0	851,0		566,0			1330,0	690,1	203,4	0,971
52	40865001	18	615,0	572,0	693,0	420,0	620,0	967,0	1000,0	567,0	625,0	572,0						1900,0	823,0	379,0	1,965
53	40930000	25	118,0	155,0	131,0			261,0										261,0	160,0	45,1	-0,084
54	40960000	21	400,0	451,0	400,0	283,0	438,0	555,0	835,0	331,0								835,0	449,1	175,2	0,820
55	40963000	12	468,0					603,0	1320,0	349,0	359,0	225,0						1320,0	612,6	331,3	0,929
56	40975000	18		226,0						366,0	617,0	152,0	172,0	352,0	349,0			819,0	320,4	195,4	1,244
57	41050000	31	270,0	153,0	204,0	127,0	291,0	437,0	497,0	446,0	236,0	164,0	144,0	256,0	291,0	145,0		592,0	275,3	123,6	0,956
58	41075001	11	1305,0									373,0				510,0		2305,0	1202,6	613,3	0,455
59	41090000	8																1522,0	1060,6	358,9	-0,515
60	41135000	10																5840,0	3050,0	1254,9	1,257
61	41151000	37	61,5	53,9	24,3	23,5	64,6	73,0	65,2	56,0	17,2	17,9	47,4	54,4	20,3	25,5		73,0	38,4	18,5	0,454
62	41160000	4																47,0	36,9	6,8	1,908
63	41180000	31	89,0	72,5	160,0	38,1	156,0	181,0	127,0	131,0	45,4	33,5	173,0		92,2	41,2		264,0	99,8	58,7	0,893
64	41190000	5																146,0	89,2	32,9	1,886
65	41195000	15																432,0	257,1	73,9	0,513
66	41199998	27	129,0	237,0	293,0	146,0	326,0	351,0	435,0	293,0	163,0	431,0	575,0		159,0	94,1		575,0	271,6	119,7	0,615
67	41220000	5																82,1	51,3	29,4	-0,412
68	41230000	7																400,0	269,0	71,4	0,821
69	41242100	7																40,1	28,3	9,6	0,050
70	41250000	24	42,9	40,8			104,0	102,0	159,0	87,8	105,0	83,8	236,0		145,0	47,2		236,0	98,1	50,7	0,797
71	41260000	18	262,0	303,0	513,0	216,0	787,0	653,0	738,0	802,0	345,0	509,0	876,0		411,0	251,0		894,0	569,8	235,1	-0,085
72	41295000	24																85,9	41,5	13,3	1,316
73	41300000	50	102,0	41,2	200,0	82,4	148,0	269,0	252,0	229,0	122,0	40,7	281,0		114,0	33,5		403,0	117,4	74,7	1,814
74	41340000	42			570,0		984,0	934,0	953,0		539,0	514,0				281,0		1108,0	575,9	238,8	0,354
75	41380000	21	132,0	60,3	170,0	102,0	140,0	183,0	195,0	158,0	122,0	117,0	261,0		105,0	84,9		261,0	147,9	54,2	0,179
76	41410000	27		342,0	811,0	384,0		965,0	1004,0	848,0	599,0	577,0	1131,0		485,0	386,0		1208,0	622,5	261,0	0,550
77	41440005	28	15,5	9,6	28,7	14,4	22,9	20,8	33,0	17,9	23,6	16,5	30,0	37,5	25,1			112,0	25,6	19,5	3,422
78	41539998	30	26,6	21,4	34,8	28,3	30,1	35,7	37,7		35,7	31,9	39,2		30,2	14,3		39,2	28,3	6,0	-0,024
79	41600000	24		346,0	970,0	390,0		1011,0	1023,0		663,0	595,0	1137,0		560,0	412,0		1249,0	694,0	283,5	0,154
80	41650002	28	662,0	446,0	1034,0	393,0		1045,0		827,0	702,0	598,0	1359,0		678,0			1359,0	804,4	271,9	0,154
81	41685000	29	84,8	71,2	32,4	12,0	76,8	71,2	108,0	41,6	40,9	101,0	54,6	142,0	15,1	50,2		142,0	56,7	32,9	0,545
82	41700001	23		322,0	427,0	337,0												627,0	290,9	158,5	0,560
83	41715000	4																110,0	64,5	31,4	1,628
84	41720000	21																164,0	82,0	34,8	1,170
85	41780002	23	1120,0	665,0	1127,0	671,0	860,0	1613,0	1621,0	1044,0	685,0	552,0	868,0	1780,0	904,0	519,0		1780,0	1064,6	408,7	0,279
86	41818000	46	1409,0	914,0	1618,0	804,0		1875,0	2260,0	1309,0	978,0	777,0	2111,0		1355,0	654,0		2260,0	1336,9	414,6	0,082
87	41880000	20																56,7	21,6	9,8	2,345
88	41890000	22	265,0	139,0	115,0	120,0	314,0	340,0	417,0	235,0	190,0	249,0	158,0	242,0				417,0	235,5	84,6	0,293
89	41940000	19	295,0	274,0	216,0	189,0						188,0	205,0	206,0				321,0	243,8	49,0	-0,219
90	41990000	52	2513,0	1627,0	1939,0	1305,0	2823,0	2852,0	3120,0		1795,0	1072,0	2475,0		1884,0	1551,0		3120,0	1964,8	560,0	0,032

Vazões Máximas Anuais (m³/s)

ANEXO C

TESTE DE MANN-KENDAL

Teste de Mann-Kendal

Neste teste, a hipótese nula é de que todos os valores X_i , $i = 1, \dots, n$, da série foram sorteados aleatoriamente e da mesma população. Se a hipótese nula é verdadeira, as $n!$ permutações dos X 's obtidos tem igual probabilidade de formarem a série temporal realmente obtida. No entanto, se houver uma tendência monótona no processo de sorteio dos X 's, as permutações que formarem séries monótonas serão mais prováveis. (Eletrobrás, 1987).

No caso de séries com mais de 10 valores, o teste pode ser aplicado satisfatoriamente através da estatística:

$$MK = \frac{S - 1}{\left(\frac{n \cdot (n - 1) \cdot (2n + 5)}{18} \right)^{0,5}} \quad (24)$$

onde,

$$I = \sum_{i=1}^{n-1} S_i, \text{ sendo } s_i \text{ o número } X_j > X_i \quad (i < j \leq n)$$

$$T = \sum_{i=1}^{n-1} t_i, \text{ sendo } t_i \text{ o número } X_j < X_i \quad (i < j \leq n)$$

$$S = T - I$$

A estatística MK é comparada com os valores críticos, para vários níveis de significância, apresentados na tabela abaixo. Sendo $|MK| < |MK_{\text{crítico}}|$ a hipótese nula é verdadeira.

α	0,005	0,010	0,025	0,050	0,100
$ MK_{\text{crítico}} $	2,58	2,33	1,96	1,64	1,28

Código	Estação	N	MK
40025000	Vargem Bonita	36	1,498
40032000	Fazenda Samburá	24	1,414
40035000	Fazenda Samburá	6	1,127
40037000	Fazenda da Barra	25	0,42
40040000	Fazenda Ajudas	31	1,292
40046000	Porto Sabino	9	0,313
40050000	Iguatama	56	0,813
40053000	Calciolândia	30	1,374
40056002	Fazenda Capoeirão	22	0,226
40056200	Mont. Bom Sucesso	12	0,206
40056500	Ponte Capoeirão	15	0,148
40060001	Tapiraí-Jus.	49	1,75
40067000	Ponte Olegário Maciel	10	1,073
40070000	Ponte do Chumbo	23	1,558
40080000	Taquaral	29	1,219
40100000	Porto das Andorinhas	39	0,024
40102000	Porto da Barra	20	0,649
40130000	Ponte do Vilela	16	0,315
40150000	Carmo do Cajuru	22	1,861
40160000	Lamounier	9	1,668
40170000	Marilândia	28	0,237
40180000	Carmo da Mata	11	0,934
40185000	Pari	25	1,168
40190002	Divinópolis	19	1,364
40300001	Jaguaruna-Jus.	25	1,285
40330000	Velho da Taipa	47	1,715
40350000	Usina Camarão	15	0,594
40380000	Araújos	15	1,732
40400000	Est. Álvaro da Silveira	40	0,105
40450001	Porto Pará	49	0,871
40500000	Martinho Campos	22	2,989
40530000	Abaeté	22	0,508
40535000	Barra do Paraopeba	5	0,735
40540000	Jurema	8	0,866
40549998	São Brás do Suaçuí	33	1,1

Código	Estação	N	MK
40788000	São Joaquim de Bicas	10	0,179
40790000	Betim	18	0,303
40800001	Ponte Nova do Paraopeba	57	1,218
40818000	Juatuba	20	1,363
40830000	Faz. Escola Florestal	13	0,122
40850000	Ponte da Taquara	27	1,626
40865001	Porto do Mesquita	18	1,629
40930000	Barra do Funchal	25	1,004
40960000	Fazenda Bom Jardim	20	0,714
40963000	Porto Indaiá	12	1,44
40975000	Fazenda São Félix	18	1,212
41050000	Major Porto	31	0,408
41075001	Porto Passarinho	11	1,401
41090000	Canoeiros	8	2,103
41135000	Pirapora-Barreiro	10	1,073
41151000	Faz. Água Limpa-Jus.	37	1,661
41160000	Gulpiara	4	1,019
41180000	Itabirito-Linógrafo	31	1,445
41190000	Aguiar Moreira	5	0,245
41195000	Rio Acima	15	1,188
41199998	Honório Bicalho-Mont.	27	1,147
41220000	Siderúrgica	5	0,98
41230000	Sabará	7	2,103
41242100	General Carneiro	7	1,202
41250000	Vespasiano	23	0,951
41260000	Pinhões	18	0,606
41295000	José de Melo	24	1,984
41300000	Taquaraçu	50	1,815
41340000	Ponte Raul Soares	42	0,206
41380000	Ponte Preta	21	0,695
41410000	Jequitibá	27	0,98
41440005	Represa Jus.	28	1,383
41539998	Faz. da Contagem	30	3,425
41600000	Pirapama	24	0,943
41650002	Ponte do Licínio Jus.	27	0,125

ANEXO D

VERIFICAÇÃO DA INDEPENDÊNCIA ESPACIAL

INDEPENDÊNCIA ESPACIAL

A análise de frequência regional assume que os dados de diferentes estações são estatisticamente independentes. Entretanto, no caso de dados ambientais, esta independência é pouco comum. Observa-se que dados coletados no mesmo período de tempo em diferentes locais são positivamente correlacionados e o grau de correlação aumenta com a proximidade dos locais de coleta. Este fato também foi observado para as estações utilizadas nesse estudo, como pode ser verificado nas próximas páginas.

Segundo Hosking e Wallis (1997), do ponto de vista teórico, o efeito da dependência entre as estações na análise de frequência regional com a utilização dos momentos-L é o aumento da variabilidade dos momentos-L e razões-L regionais. Isto aumenta a variabilidade da estimativa da curva regional e pode afetar, de maneira pouco significativa, o viés da estimativa dos quantis. Os mesmos autores afirmam que pequenos graus de dependência entre as estações não devem ser uma preocupação nas estimativas regionais.

Estação	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	79/80	80/81	84/85	86/87	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	97/98	98/99
41151000	22,4	22,6	25,9	12,9	31	44,4	49,9	70,4	53,9	73	65,2	56	17,2	17,9	47,4	20,3	25,5
41199998	246	271	201	95,1	234	211	269	417	237	351	435	293	163	431	575	159	94,1
41250000	60,4	44,3	54,9	19,3	159	83,8	95	163	40,8	102	159	87,8	105	83,8	236	145	47,2
41300000	69,3	96,3	71,2	27,7	179	179	149	274	41,2	269	252	229	122	40,7	281	114	33,5
41410000	626	381	423	200	771	612	591	1208	342	965	1004	848	599	577	1131	485	386

	41151000	41199998	41250000	41300000	41410000
41151000	1				
41199998	0,5587	1			
41250000	0,4046	0,6803	1		
41300000	0,7775	0,6640	0,772	1	
41410000	0,7204	0,7897	0,817	0,924	1

Estação	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	97/98	98/99
41151000	49,9	62,4	32,8	48,2	70,4	61,5	53,9	24,3	23,5	64,6	73	65,2	56	17,2	17,9	47,4	20,3	25,5
41199998	269	435	297	234	417	129	237	293	146	326	351	435	293	163	431	575	159	94,1
41260000	497	872	750	578	894	262	303	513	216	787	653	738	802	345	509	876	411	251

	41151000	41199998	41260000
41151000	1		
41199998	0,4153	1	
41260000	0,5548	0,8259	1

Estação	43/44	44/45	50/51	51/52	52/53	53/54	54/55	55/56	56/57	57/58	58/59	59/60	60/61	61/62	62/63	63/64	64/65	65/66	68/69	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	79/80	83/84	84/85	87/88	89/90	90/91	91/92	93/94	94/95	98/99
41300000	120	109	77,2	88,7	66,5	84,2	93,4	97,2	88,5	68,1	43	89	123	79,6	80,7	50,9	120	96	83,1	86,7	58,9	105	69,3	96,3	71,2	27,7	179	179	154	274	200	148	269	252	122	40,7	33,5
41340000	688	799	580	650	312	274	480	490	748	380	245	632	1006	449	790	569	624	654	380	497	182	351	498	309	375	171	745	564	858	1108	570	984	934	953	539	514	281

	41300000	41340000
41300000	1	
41340000	0,7216	1

Estação	68/69	69/70	71/72	76/77	77/78	78/79	79/80	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	86/87	87/88	88/89	92/93	93/94	94/95	95/96	97/98	98/99
40050000	410	422	426	438	380	487	554	327	556	642	452	515	477	677	414	314	533	618	615	354	360	381
40070000	618	618	575	689	610	791	897	521	867	1064	710	877	590	752	552	431	573	654	652	517	490	538
40100000	801	740	707	847	772	993	1124	638	1104	1349	867	1125	729	785	780	477	712	915	765	760	668	848

40050000 40070000 40100000

40050000	1																					
40070000	0,7182	1																				
40100000	0,6083	0,9401	1																			

Estação	39/40	40/41	41/42	42/43	49/50	51/52	52/53	63/64	64/65
40050000	525	372	326	690	475	540	355	346	839
40067000	651	613	655	933	683	970	474	599	980

40050000 40067000

40050000	1								
40067000	0,8423	1							

Estação	77/78	79/80	80/81	83/84	84/85	85/86	86/87	87/88	88/89	93/94	94/95	95/96	97/98	98/99
40070000	610	897	521	710	877	590	752	552	431	654	652	517	490	538
40100000	772	1124	638	867	1125	729	785	780	477	915	765	760	668	848
41780002	1414	734	1262	853	1588	1120	665	1127	671	685	552	868	904	519
41818000	1629	1316	1449	1303	1909	1409	914	1618	804	978	777	2111	1355	654
41990000	2373	2485	1741	1647	2715	2513	1627	1939	1305	1795	1072	2475	1884	1551

40070000 40100000 41780002 41818000 41990000

40070000	1													
40100000	0,8839	1												
41780002	0,1477	0,1616	1											
41818000	0,1204	0,2377	0,7567	1										
41990000	0,3868	0,5156	0,6614	0,8026	1									

Estação	39/40	40/41	41/42	42/43	43/44	46/47	50/51	58/59	59/60	60/61	68/69	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78	79/80	80/81	83/84	84/85	88/89	90/91	91/92	92/93	94/95
40400000	162	132	81,1	161	121	124	124	87,3	113	162	142	141	30,6	122	129	105	98,2	157	129	141	211	93	153	266	92,5	215	300	174	147
40450001	587	686	651	1240	571	743	662	254	747	1170	739	662	262	809	596	541	527	649	828	833	835	543	743	1580	393	883	1190	558	585

40400000 40450001

40400000	1																													
40450001	0,7683	1																												

Estação	73/74	75/76	77/78	79/80	82/83	84/85	86/87	87/88	88/89	90/91	93/94	94/95
40450001	541	649	833	835	1240	1580	1010	527	393	883	765	585
40830000	35,8	23,1	50	78,2	84,8	54	45,3	45,1	27,7	44,9	35,2	29,9
41800000	448	232	754	620	874	1249	346	970	390	1011	663	595
41850002	583	292	846	714	1092	1334	446	1034	393	1045	702	598
41818000	840	640	1629	1316	1853	1909	914	1618	804	1875	978	777
41890000	187	161	304	312	168	302	139	115	120	340	190	249
41990000	1265	891	2373	2485	2504	2715	1627	1939	1305	2852	1795	1072

40450001 40830000 41600000 41650002 41818000 41890000 41990000

40450001	1												
40830000	0,6009	1											
41600000	0,6003	0,4641	1										
41650002	0,6668	0,5778	0,9828	1									
41818000	0,6484	0,6709	0,9073	0,9388	1								
41890000	0,4089	0,3139	0,4931	0,4573	0,4980	1							
41990000	0,6782	0,7403	0,8112	0,8386	0,9297	0,6266	1						

Estação	75/76	77/78	79/80	83/84	84/85	85/86	86/87	87/88	88/89	90/91	93/94	94/95	95/96
41650002	292	846	714	959	1334	662	446	1034	393	1045	702	598	1359
41780002	454	1414	734	853	1588	1120	665	1127	671	1613	685	552	868
41818000	640	1629	1316	1303	1909	1409	914	1618	804	1875	978	777	2111
41890000	161	304	312	142	302	265	139	115	120	340	190	249	158
41990000	891	2373	2485	1647	2715	2513	1627	1939	1305	2852	1795	1072	2475

41650002 41780002 41818000 41890000 41990000

41650002	1												
41780002	0,6805	1											
41818000	0,9266	0,7993	1										
41890000	0,2634	0,5971	0,3902	1									
41990000	0,7195	0,8094	0,8763	0,6411	1								

Estação	77/78	79/80	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	90/91	91/92	92/93
40960000	542	400	652	813	283	317	400	555	835	331
40963000	694	808	789	1040	306	390	468	603	1320	349
41050000	291	349	592	524	208	393	270	437	497	446

	40960000	40963000	41050000
40960000	1		
40963000	0,9136	1	
41050000	0,6843	0,5694	1

Estação	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78	78/79	79/80	80/81	83/84	86/87	92/93
40960000	339	295	162	542	542	638	400	425	283	451	331
40975000	162	138	193	190	819	454	582	438	233	226	366
41050000	178	172	169	281	291	373	349	284	208	153	446

	40960000	40975000	41050000
40960000	1		
40975000	0,5057	1	
41050000	0,4380	0,5656	1

Estação	77/78	78/79	79/80	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86
40960000	542	638	400	425	652	813	283	317	400
41050000	291	373	349	284	592	524	208	393	270
41075001	1501	1222	1532	778	2032	2305	709	962	1305

	40960000	41050000	41075001
40960000	1		
41050000	0,7332	1	
41075001	0,8294	0,8038	1

Estação	43/44	44/45	45/46	51/52	52/53	57/58	58/59	59/60
40056002	23,3	46,6	49,7	44,3	31,2	40,9	39,6	42,4
40056500	30,9	74,3	89,8	72	41,9	64,8	59,3	59,3
40060001	31,7	68,5	54,6	69	36,6	45,3	37,7	40

	40056002	40056500	40060001
40056002	1		
40056500	0,9704	1	
40060001	0,7361	0,7532	1

Estação	75/76	76/77	77/78	78/79	79/80	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	88/89	89/90
40056200	53,2	64,5	58	57,7	66,2	72	69,5	62,6	69,2	57,8	35	64,3
40060001	40,7	48,6	39,6	35,1	41,5	40,2	65,1	57,2	63	51,1	35,3	44,5

	40056200	40060001
40056200	1	
40060001	0,5326	1

Estação	40/41	41/42	42/43	43/44	44/45	45/46	50/51	51/52	52/53	68/69	69/70	71/72	72/73	73/74	74/75	81/82	84/85	85/86	86/87	87/88	90/91
40060001	56,8	47,4	94	31,7	68,5	54,6	56	69	36,6	52,2	57	53,9	55,8	40,7	47,2	40,2	63	51,1	46,6	45,2	42,5
40930000	120	117	183	83,5	180	187	177	183	61,6	131	139	174	215	210	162	223	171	118	155	131	261

	40060001	40930000
40060001	1	
40930000	0,2419	1

Estação	69/70	71/72	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78	78/79	79/80	80/81	86/87	87/88	88/89	89/90	92/93	93/94
40025000	66,2	68,5	63,8	69,6	65,3	56,4	71,4	52,8	45,8	50,8	40,2	187	84,3	76,4	67,1	70,4	92,8
40032000	124	79,6	100	106	116	87,5	152	138	246	174	90,3	140	111	93	94,6	134	221
40037000	399	150	138	281	230	205	252	258	245	244	241	267	192	162	179	285	374
40040000	34	24,2	39,1	23,8	42	33,8	79,6	33,3	60,3	58,7	21	60,2	39,5	28,2	30,8	50,1	98,5
40053000	27,4	55,5	27,6	22,5	27,6	34,5	75,2	50,7	47,8	58,7	26	59,2	12,8	12,5	64	35,1	51,8

	40025000	40032000	40037000	40040000	40053000
40025000	1				
40032000	0,0499	1			
40037000	0,1452	0,5106	1		
40040000	0,3190	0,7970	0,4539	1	
40053000	0,1893	0,3980	0,0960	0,5278	1

Estação	67/68	68/69	69/70	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78
40130000	141	105	212	248	165	154	176	164	129
40170000	60,4	103	95,4	93,4	53,1	100	110	107	79,1
40330000	354	507	398	415	391	337	605	426	363

	40130000	40170000	40330000
40130000	1		
40170000	0,1364	1	
40330000	-0,0037	0,5491	1

Estação	38/39	39/40	40/41	41/42	42/43	43/44	45/46	46/47	47/48	48/49
40150000	466	210	182	493	345	176	278	196	243	302
40180000	40,4	42,1	16,1	42,1	48,4	31,8	29,6	27,2	28	29,6
40190002	290	119	118	282	279	171	162	209	198	310

	40150000	40180000	40190002
40150000	1		
40180000	0,6113	1	
40190002	0,7623	0,4749	1

Estação	80/81	82/83	83/84	86/87	87/88	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	98/99
40170000	56	128	97,2	218	92,1	62,3	105	340	92,1	69,9	60,1	80,7
40185000	125	261	196	317	130	101	200	560	167	195	139	125
40300001	152	377	173	107	214	114	162	258	132	166	174	229
40330000	411	712	578	748	485	504	694	1034	492	607	573	690

	40170000	40185000	40300001	40330000
40170000	1			
40185000	0,9697	1		
40300001	0,2574	0,3393	1	
40330000	0,8795	0,8983	0,4293	1

Matrizes de Correlação - Região MAX-VI

Estação	46/47	51/52	52/53	53/54	55/56	57/58	58/59	59/60	61/62	63/64	64/65
40573000	33	39,3	34,9	20	22	20,5	23,5	21	40,6	36,1	33,7
40577000	26,5	34,1	28,2	12,9	16,5	22,5	26,6	40,4	23,8	39,3	27,4
40790000	31,5	29,3	15	18,2	26,4	19,2	9,96	66,1	28,9	37,4	30,6
40800001	570,0	570,0	288,0	295,0	470,0	388,0	408,0	448,0	414,0	748,0	570,0

	40573000	40577000	40790000	40800001
40573000	1			
40577000	0,3820	1		
40790000	0,0053	0,6439	1	
40800001	0,4476	0,5745	0,41262	1

Estação	56/57	57/58	61/62	62/63	65/66	72/73	73/74	74/75	75/76	77/78	78/79	82/83	83/84	84/85	87/88	88/89	89/90	92/93	93/94	94/95	98/99
40549998	97,2	42,2	56,6	44	81	91,7	53,3	48	33,1	112	132	68,6	48,5	50,4	77	37,2	44,6	57,9	33	63,2	39
40579995	112	44,1	75,6	52,8	112	77	111	45,5	30,8	148	128	132	88,2	132	54,7	22,1	63,4	57,2	55,1	60,3	84,2
40800001	774,0	388,0	414,0	515,0	726,0	520,0	449,0	357,0	276,0	736,0	822,0	698,0	585,0	1017,0	601,0	288,0	481,0	424,0	603,0	633,0	427,0

	40549998	40579995	40800001
40549998	1		
40579995	0,6522	1	
40800001	0,5879	0,7902	1

Estação	43/44	44/45	45/46	46/47	48/49	49/50	50/51	51/52	52/53	55/56
40577000	22,2	34,4	19,9	26,5	44,8	21,8	44,8	34,1	28,2	16,5
40579995	62,9	76,7	41,2	54,1	104	46	206	110	89	41,2
40700002	212	209	165	302	420	190	336	285	150	248
40800001	408,0	371,0	333,0	570,0	810,0	366,0	690,0	570,0	288,0	470,0

	40577000	40579995	40700002	40800001
40577000	1			
40579995	0,8354	1		
40700002	0,7163	0,5232	1	
40800001	0,7292	0,5831	0,9934	1

Estação	67/68	68/69	69/70	70/71	71/72	77/78	78/79	82/83	83/84	86/87	87/88
40710000	220	268	190	147	378	670	403	451	374	322	418
40740000	315	356	255	182	474	723	457	443	387	423	455
40770000	66,9	66,9	51,9	60,8	120	69,8	107	102	56,9	91,4	39,3
40800001	450,0	478,0	340,0	246,0	568,0	736,0	822,0	698,0	585,0	549,0	601,0

	40710000	40740000	40770000	40800001
40710000	1			
40740000	0,9690	1		
40770000	0,2414	0,2997	1	
40800001	0,8429	0,8186	0,4766	1

Estação	47/48	49/50	50/51	51/52	52/53	54/55	55/56	56/57	57/58	59/60	60/61	62/63
40800001	502,0	366,0	690,0	570,0	288,0	498,0	470,0	774,0	388,0	448,0	822,0	515,0
40818000	48,7	26,4	30,3	38,6	47,8	48,7	47,8	43,1	29,6	36,2	45,6	39,9
40830000	35,1	6,67	9,64	11,8	14,3	10,6	8,73	10,7	6,79	16,3	11,3	14,3

	40800001	40818000	40830000
40800001	1		
40818000	0,1341	1	
40830000	-0,0455	0,4534	1

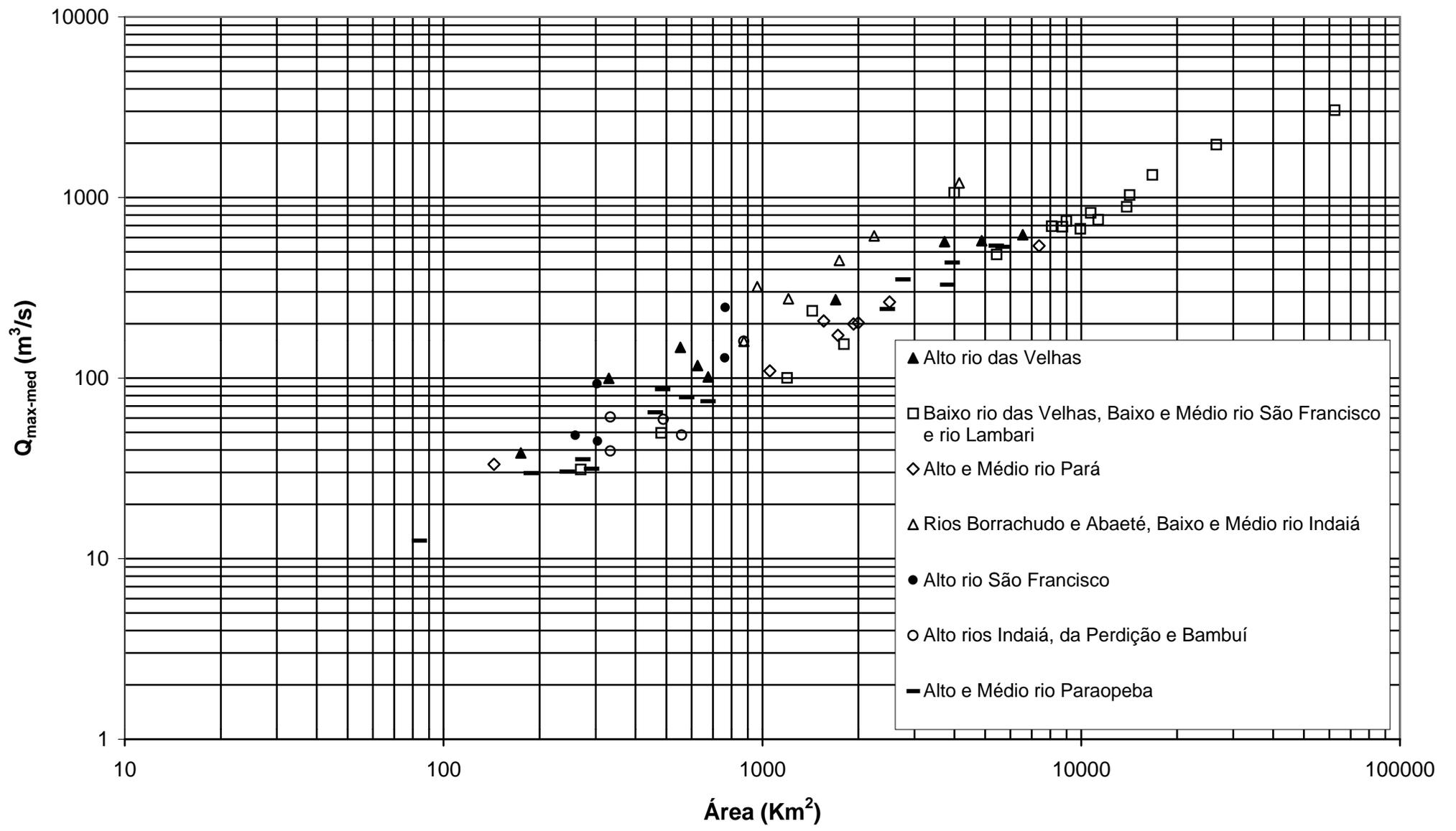
ANEXO E

ESTUDOS DE INDICADORES REGIONAIS

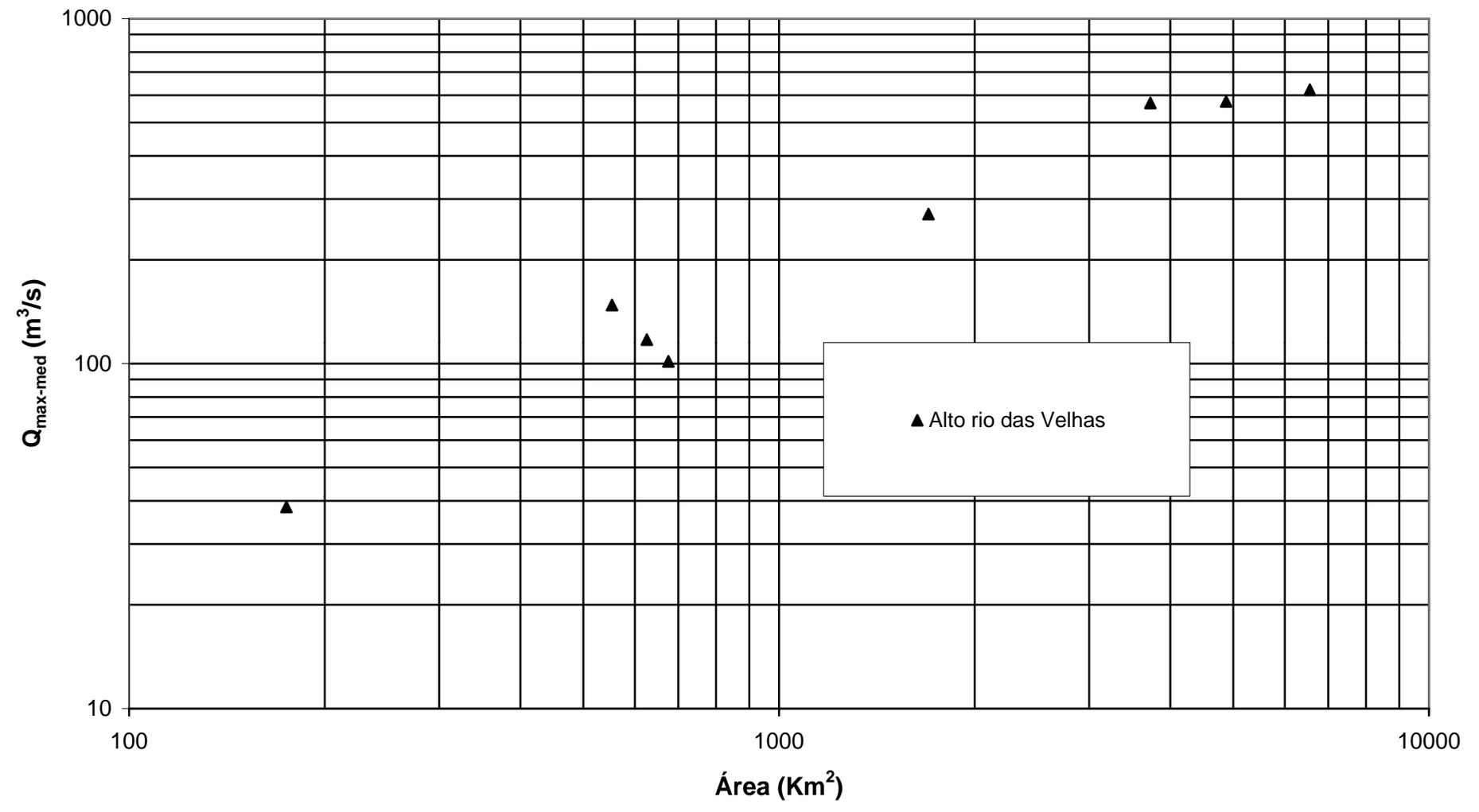
	Região	Código	Estação	Bacia	Q _{max med} (m ³ /s)	Área (Km ²)	P médio (m)	I equiv (m/km)	L (km)	Junções/Km ²
1	MAX-I	41151000	Fazenda Água Limpa Jusante	Velhas	38,43	174,6	1,498	8,59	26,15	0,115
2	MAX-I	41199998	Honório Bicalho-Montante	Velhas	271,56	1697,8	1,535	2,56	90,33	0,212
3	MAX-I	41250000	Vespasiano	Velhas	101,55	675,7	1,329	2,35	55,7	0,181
4	MAX-I	41260000	Pinhões	Velhas	569,83	3727,4	1,475	1,42	156,83	0,204
5	MAX-I	41300000	Taquaraçu	Velhas	117,42	626	1,447	7,02	46,4	0,272
6	MAX-I	41340000	Ponte Raul Soares	Velhas	575,93	4874,2	1,458	1,13	200,33	0,209
7	MAX-I	41380000	Ponte Preta	Velhas	147,94	553,4	1,308	2,55	55,4	0,128
8	MAX-I	41410000	Jequitibá	Velhas	622,48	6557,7	1,423	0,76	288,83	0,178
9	MAX-II	40050000	Iguatama	São Francisco	483,77	5426,3	1,539	0,36	196	0,083
10	MAX-II	40067000	Ponte Olegário Maciel	São Francisco	742,8	8986,9	1,535	0,28	257,2	0,085
11	MAX-II	40070000	Ponte do Chumbo	São Francisco	671,43	9939,4	1,522	0,22	314,8	0,083
12	MAX-II	40100000	Porto das Andorinhas	São Francisco	889,36	13881,8	1,494	0,19	412,4	0,079
13	MAX-II	40102000	Porto da Barra	São Francisco	1032,4	14180,1	1,491	0,20	433	0,079
14	MAX-II	40350000	Usina Camarão	Pará	31,21	269,1	1,502	3,16	40,6	0,130
15	MAX-II	40380000	Araújos	Pará	100,19	1195,8	1,445	0,98	109,6	0,103
16	MAX-II	40400000	Estação Álvaro da Silveira	Pará	154,25	1801,7	1,438	1,03	148,5	0,100
17	MAX-II	40450001	Porto Pará (CEMIG)	Pará	753,47	11302,2	1,431	0,46	293,1	0,054
18	MAX-II	40530000	Abaeté	São Francisco	49,68	481,3	1,438	2,00	52,7	0,073
19	MAX-II	40850000	Ponte da Taquara	Paraopeba	690,11	8734	1,434	0,66	346,3	0,143
20	MAX-II	41600000	Pirapama	Velhas	693,96	8085,6	1,406	0,61	360,83	0,158
21	MAX-II	41650002	Ponte do Licínio Jusante	Velhas	823,33	10711,6	1,360	0,54	473,83	0,136
22	MAX-II	41818000	Santo Hipólito	Velhas	1336,89	16721,9	1,330	0,47	566,33	0,115
23	MAX-II	41990000	Várzea da Palma	Velhas	1964,75	26553	1,271	0,44	707,33	0,098
24	MAX-II *	41135000	Pirapora-Bareiro	São Francisco	3050	62334,3	1,414			0,071
25	MAX-II *	41780002	Presidente Juscelino	Velhas	1064,57	3995,8	1,345	2,48	100,4	0,096
26	MAX-II *	41890000	Estação de Curimatai	Velhas	235,5	1434,7	1,108	1,02	75,67	0,131
27	MAX-III	41050000	Major Porto	Abaete	275,29	1206,9	1,475	2,29	60	0,031
28	MAX-III	41075001	Porto do Passarinho	Abaete	1202,64	4142,9	1,505	1,09	194,6	0,059
29	MAX-III	40975000	Fazenda São Felix	Borrachudo	320,39	964,2	1,511	1,38	142,7	0,076
30	MAX-III	40960000	Fazenda Bom Jardim	Indaia	449,1	1743,5	1,572	1,12	162,7	0,088
31	MAX-III	40963000	Porto Indaia (CEMIG)	Indaia	612,58	2242,4	1,558	1,12	222,9	0,086
32	MAX-IV	40056200	Montante do Bom Sucesso	São Francisco	60,83	334	1,590	3,23	59,6	0,129
33	MAX-IV	40930000	Barra do Funchal	Indaia	159,96	875,8	1,582	1,90	58,7	0,100
34	MAX-IV *	40056002	Fazenda Capoeirão	São Francisco	39,42	334	1,591	3,22	59,4	0,099
35	MAX-IV *	40056500	Ponte Capoeirão	São Francisco	58,94	489,7	1,640	3,18	60,35	0,067
36	MAX-IV *	40060001	Tapirai-Jusante	São Francisco	48,31	559,1	1,795	3,81	46,9	0,068
37	MAX-V	40053000	Calciolândia	São Francisco	44,67	304	1,365	1,79	40,15	0,063
38	MAX-V	40032000	Fazenda Samburá	São Francisco	129,33	763	1,651	3,36	64	0,075
39	MAX-V	40040000	Fazenda Ajudas	São Francisco	48,16	259	1,508	2,73	30,3	0,112
40	MAX-V *	40025000	Vargem Bonita	São Francisco	92,82	303	1,594	4,55	37,1	0,079
41	MAX-V *	40037000	Fazenda da Barra	São Francisco	245,56	765,4	1,571	0,60	72,6	0,081
42	MAX-VI	40130000	Ponte do Vilela	Pará	172,76	1725,7	1,533	1,92	75,8	0,114
43	MAX-VI	40150000	Carmo do Cajuru	Pará	263,75	2504,1	1,507	1,12	121,1	0,107
44	MAX-VI	40170000	Marilândia	Pará	109,71	1055	1,479	2,28	52,1	0,100
45	MAX-VI	40185000	Pari	Pará	199,09	1930,5	1,460	1,84	69	0,107
46	MAX-VI	40190002	Divinópolis	Pará	202,16	2000,2	1,457	1,65	82,7	0,108
47	MAX-VI	40300001	Jaguaruna Jusante	Pará	207,19	1558	1,432	1,82	119,1	0,099
48	MAX-VI	40330000	Velho da Taipa	Pará	539,36	7378,3	1,456	0,75	219,4	0,036
49	MAX-VI *	40180000	Carmo da Mata	Pará	33,34	144	1,433	5,93	23,6	0,188
50	MAX-VII	40549998	São Brás do Suaçuí Montante	Paraopeba	64,69	461,4	1,400	2,69	52	0,098
51	MAX-VII	40573000	Joaquim Murtinho	Paraopeba	31,46	291,1	1,462	3,94	32,7	0,079
52	MAX-VII	40577000	Ponte Jubileu	Paraopeba	30,41	244	1,466	7,20	18,3	0,119
53	MAX-VII	40579995	Congonhas Linígrafo	Paraopeba	78,19	578,5	1,464	3,18	41,6	0,102
54	MAX-VII	40700002	Jeceaba	Paraopeba	241,58	2465,1	1,409	1,81	88,9	0,121
55	MAX-VII	40710000	Belo Vale	Paraopeba	351,64	2760,1	1,408	1,59	118,9	0,137
56	MAX-VII	40720002	Melo Franco	Paraopeba	329,07	3810,4	1,472	1,20	178,9	0,134
57	MAX-VII	40740000	Alberto Flores	Paraopeba	437,07	3939,2	1,422	1,21	187,4	0,134
58	MAX-VII	40770000	Conceição do Itaguá	Paraopeba	74,53	675,2	1,485	2,96	53,8	0,142
59	MAX-VII	40788000	São Joaquim de Bicas (CEMIG)	Paraopeba	541,7	5414,2	1,448	1,08	218,2	0,018
60	MAX-VII	40790000	Betim	Paraopeba	29,8	188,3	1,460	3,10	26,4	0,276
61	MAX-VII	40800001	Ponte Nova do Paraopeba	Paraopeba	534,18	5680,4	1,449	1,00	236,33	0,141
62	MAX-VII	40818000	Juatuba	Paraopeba	35,54	273	1,531	4,52	40	0,066
63	MAX-VII	40830000	Fazenda Escola Florestal	Paraopeba	12,59	83,9	1,436	10,27	18	0,131

* Estações não utilizadas na regressão

Área x $Q_{\text{max-med}}$

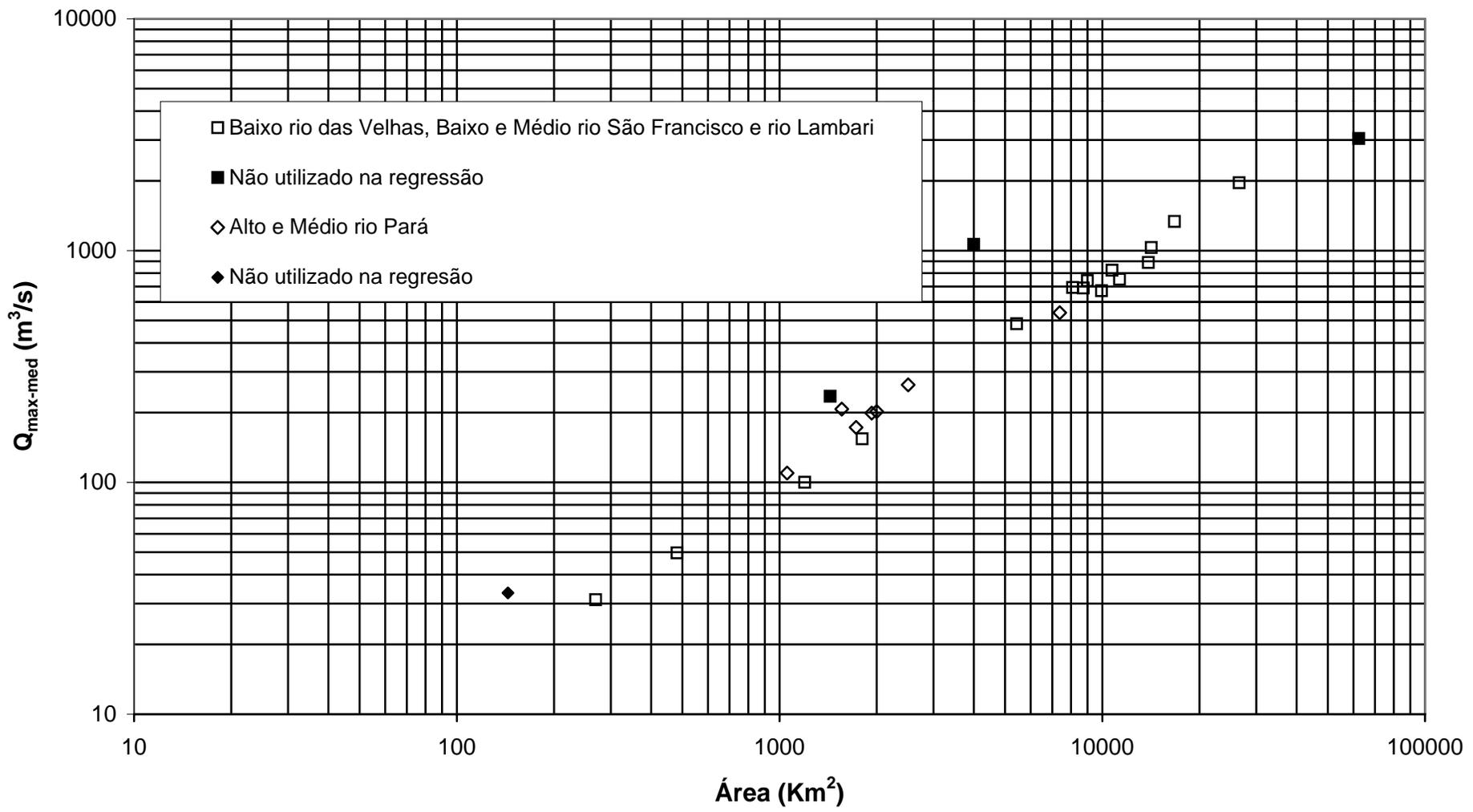


MAX-I
Área x Q_{max-med}



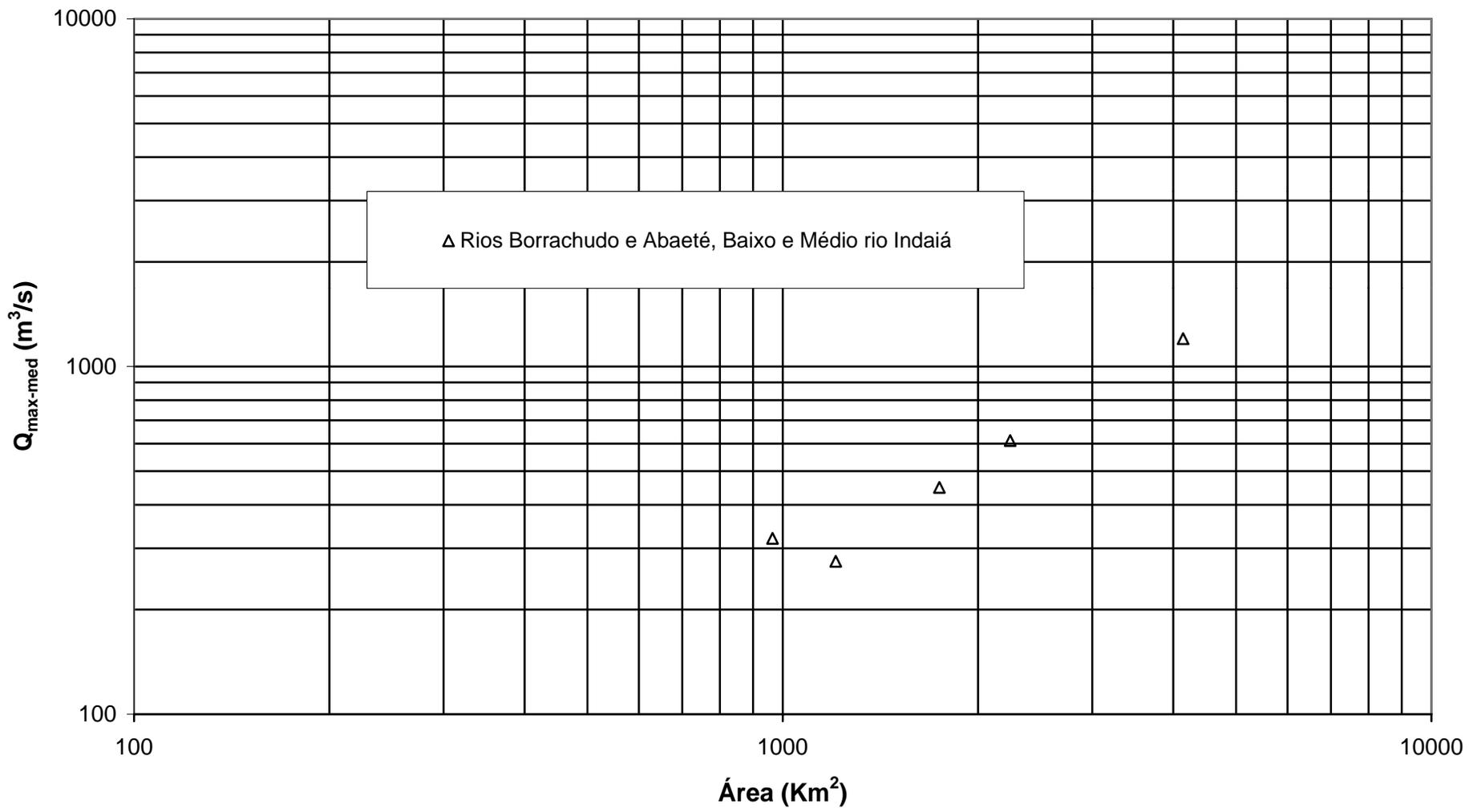
MAX-II e VI

Área x $Q_{\max\text{-med}}$



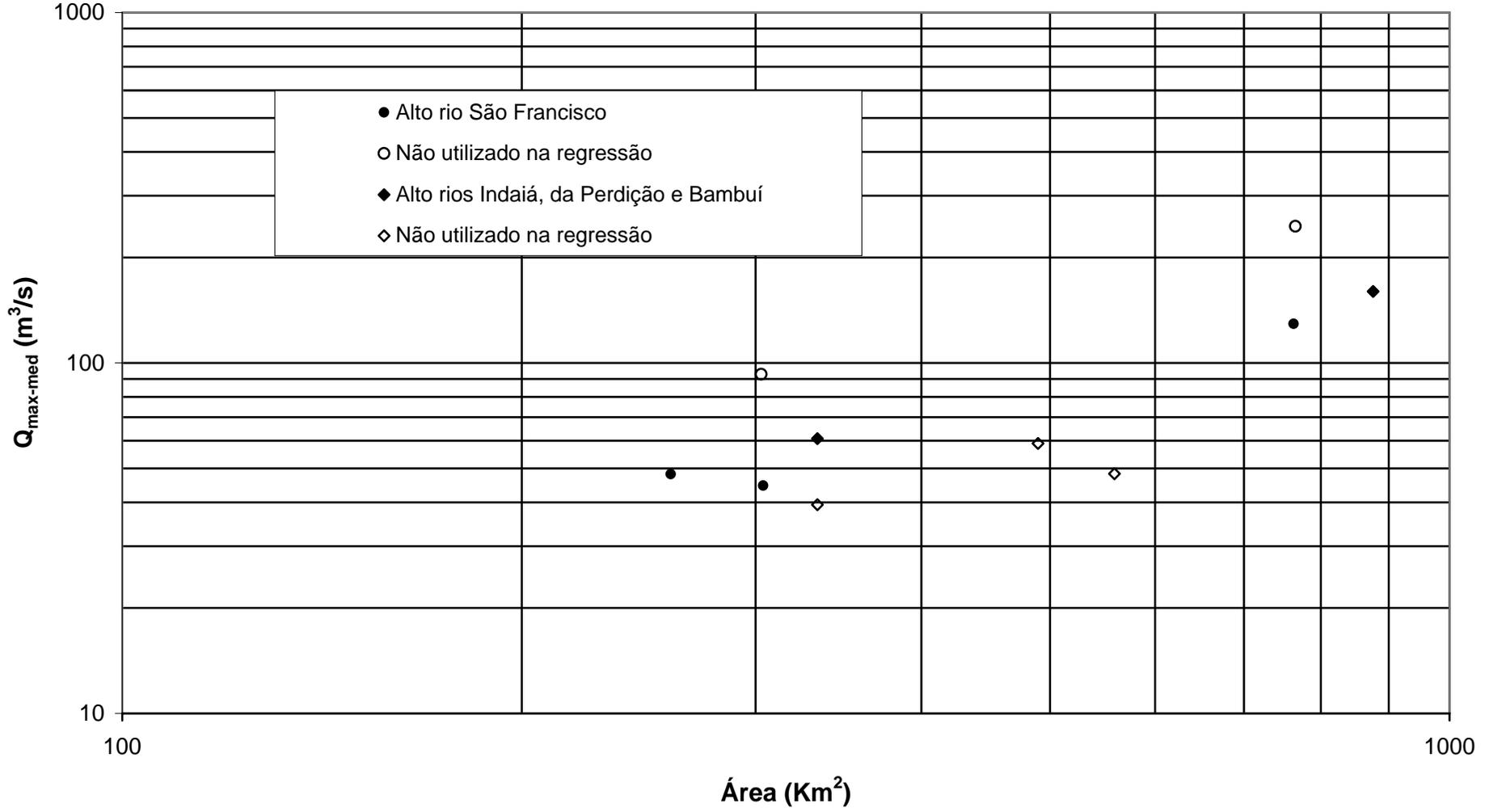
MAX-III

Área x $Q_{\text{max-med}}$



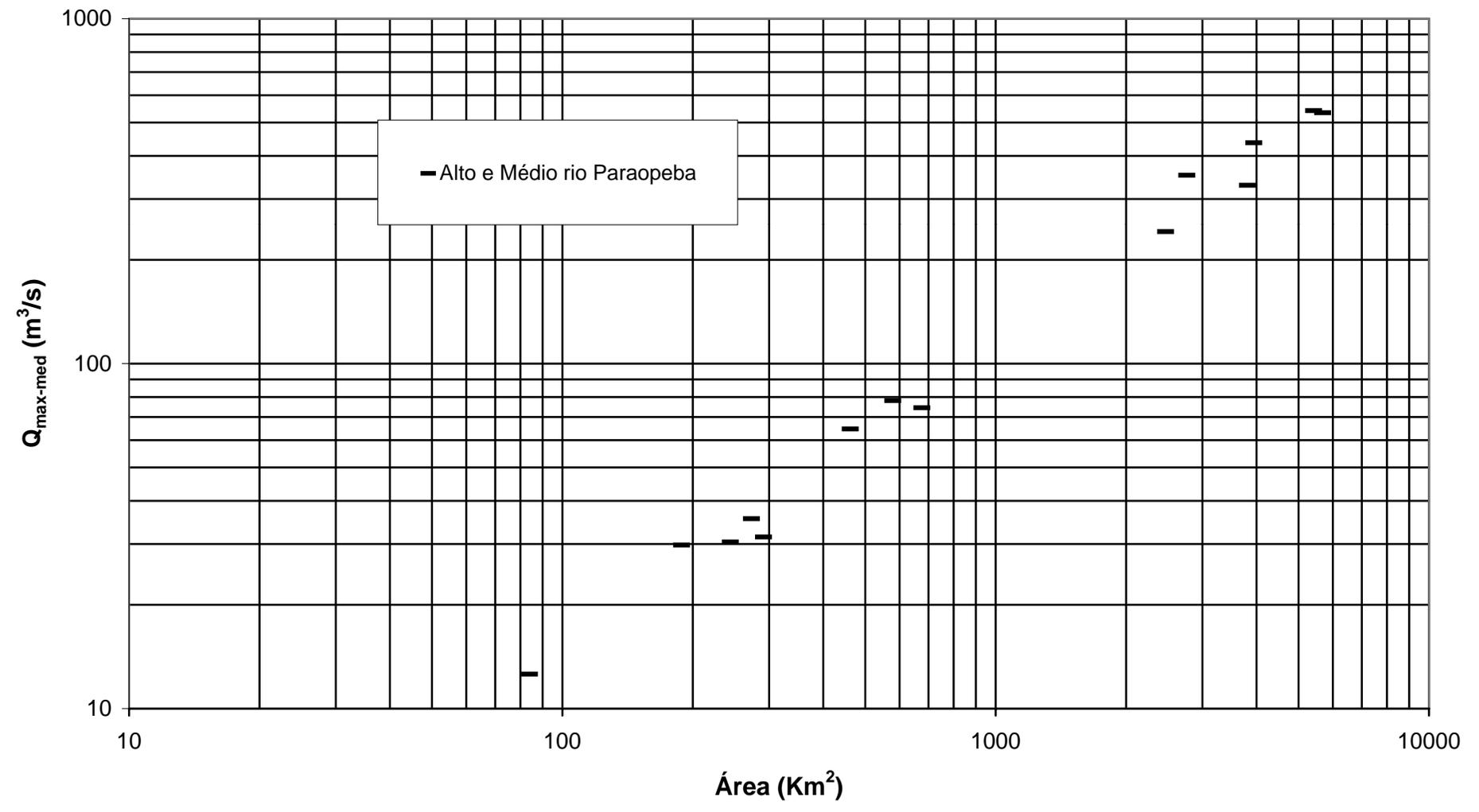
MAX-IV e V

Área x $Q_{\max\text{-med}}$

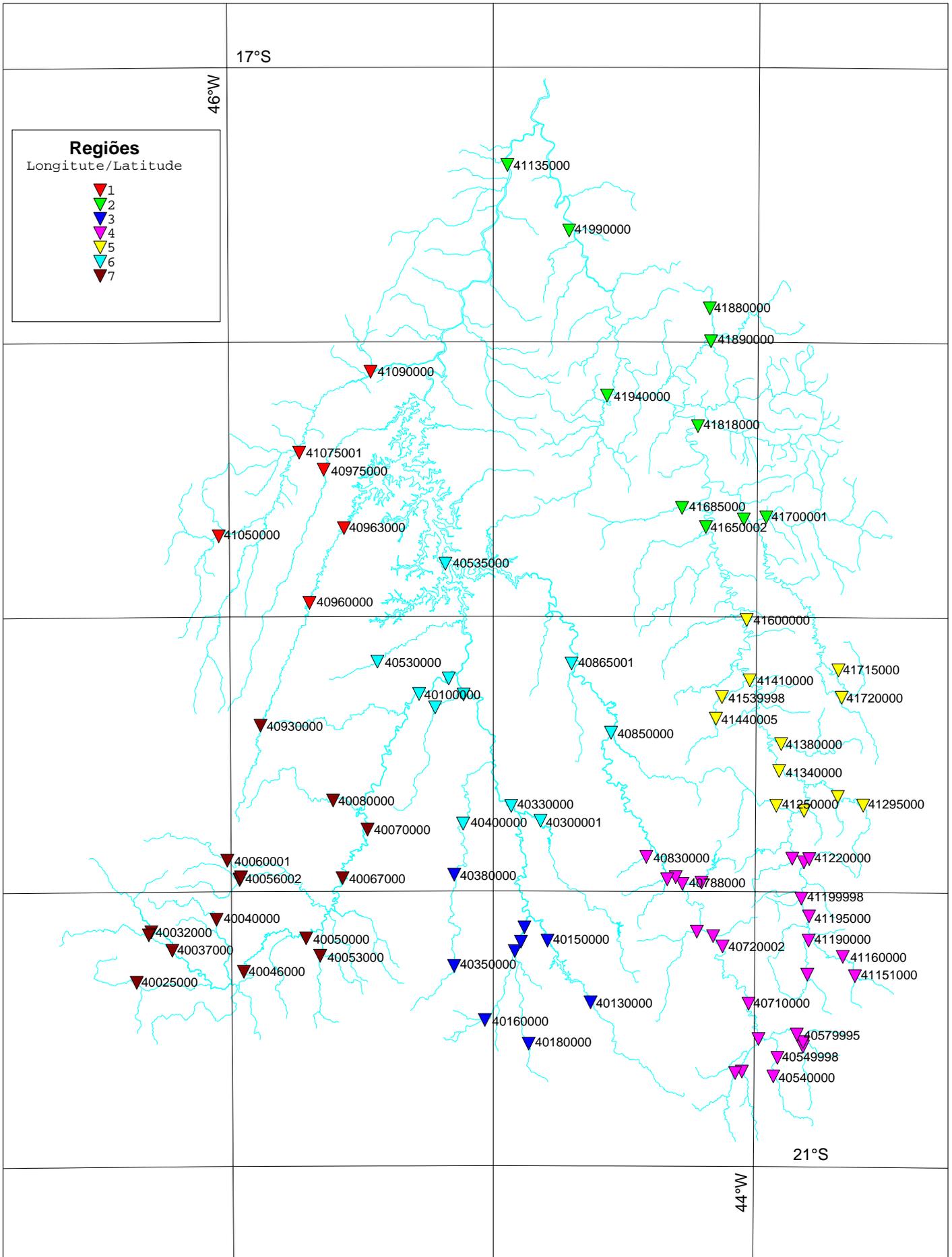


MAX-VII

Área x $Q_{\text{max-med}}$

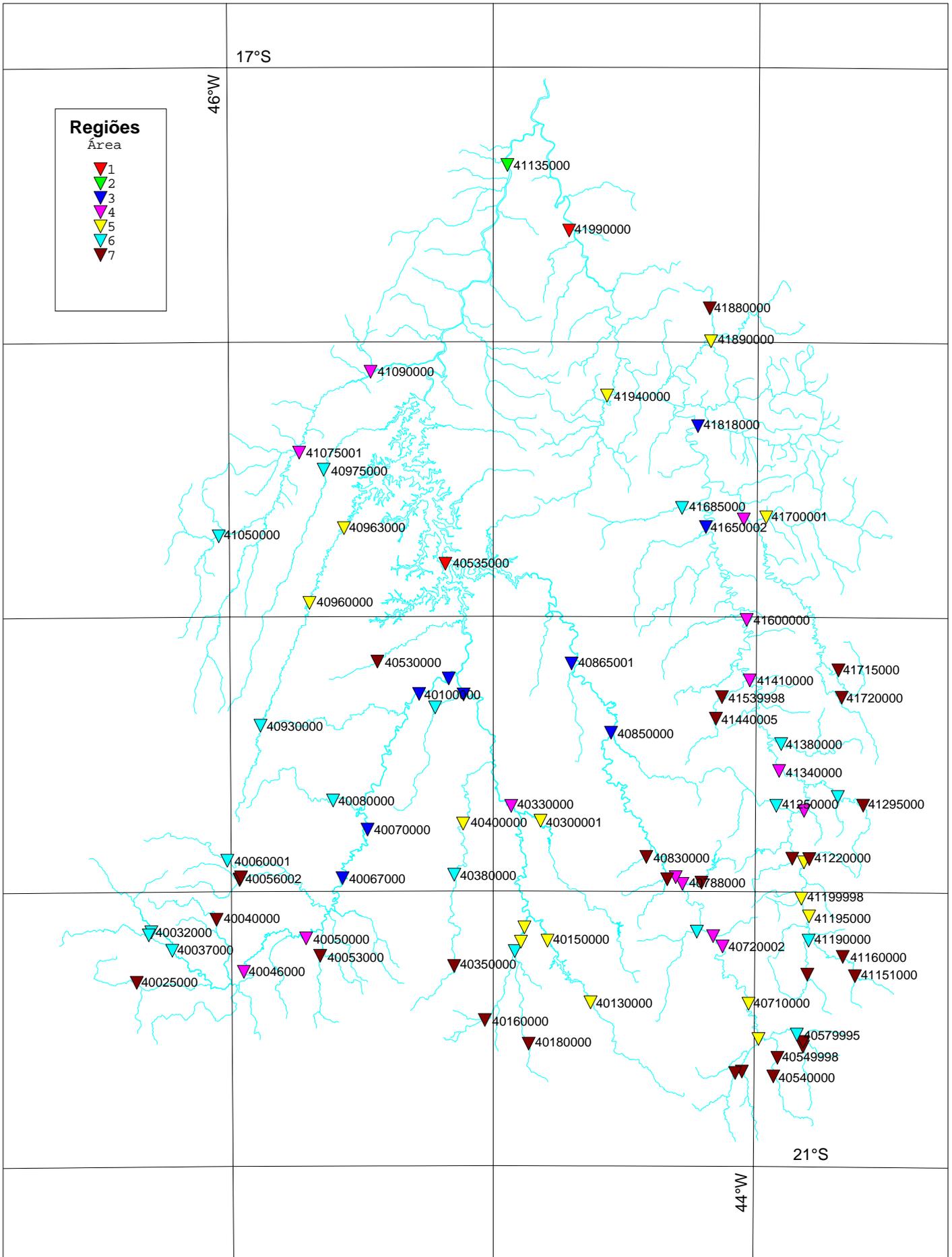


Análise de Agrupamento (Cluster Analysis) Longitude e Latitude

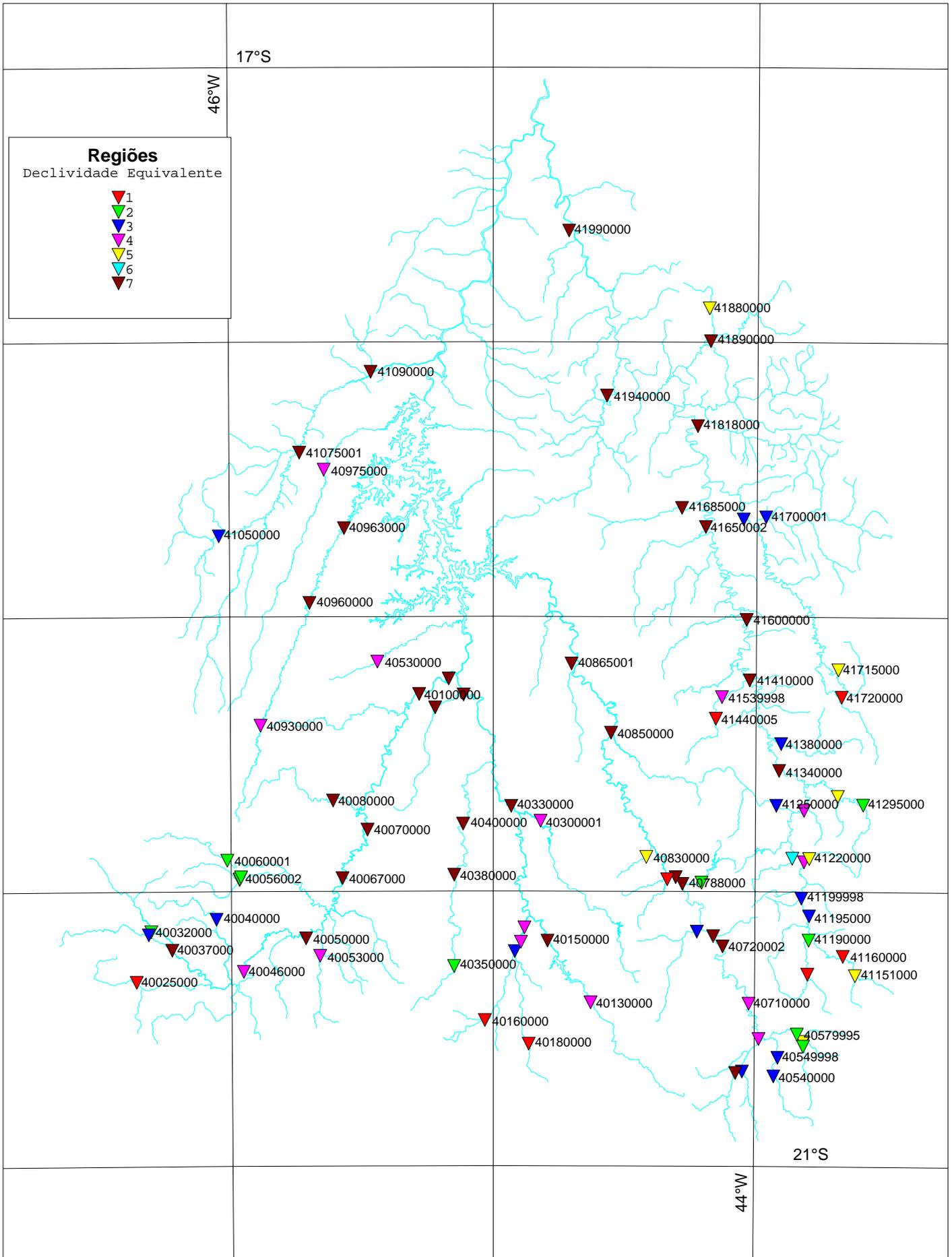


Análise de Agrupamento (Cluster Analysis)

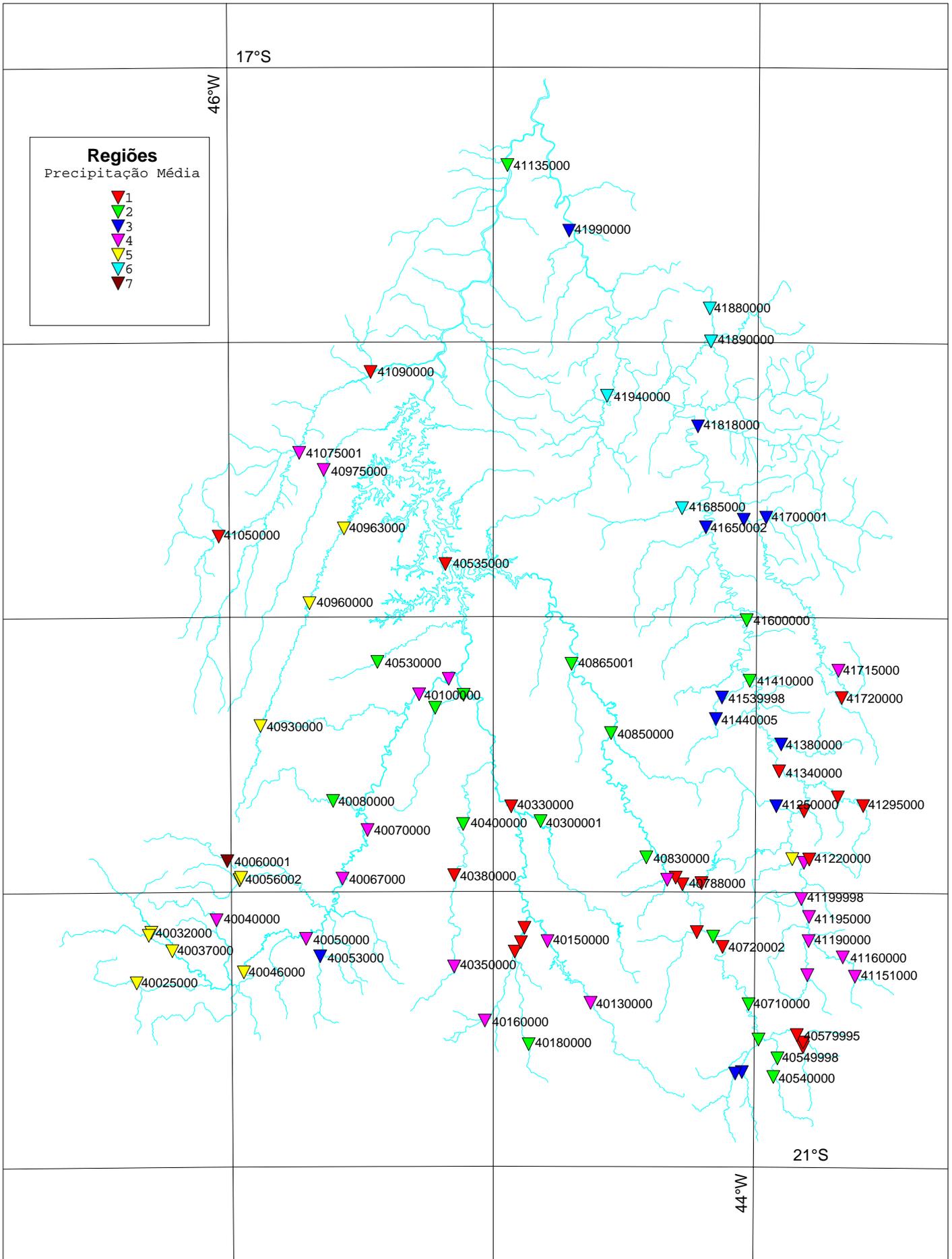
Área



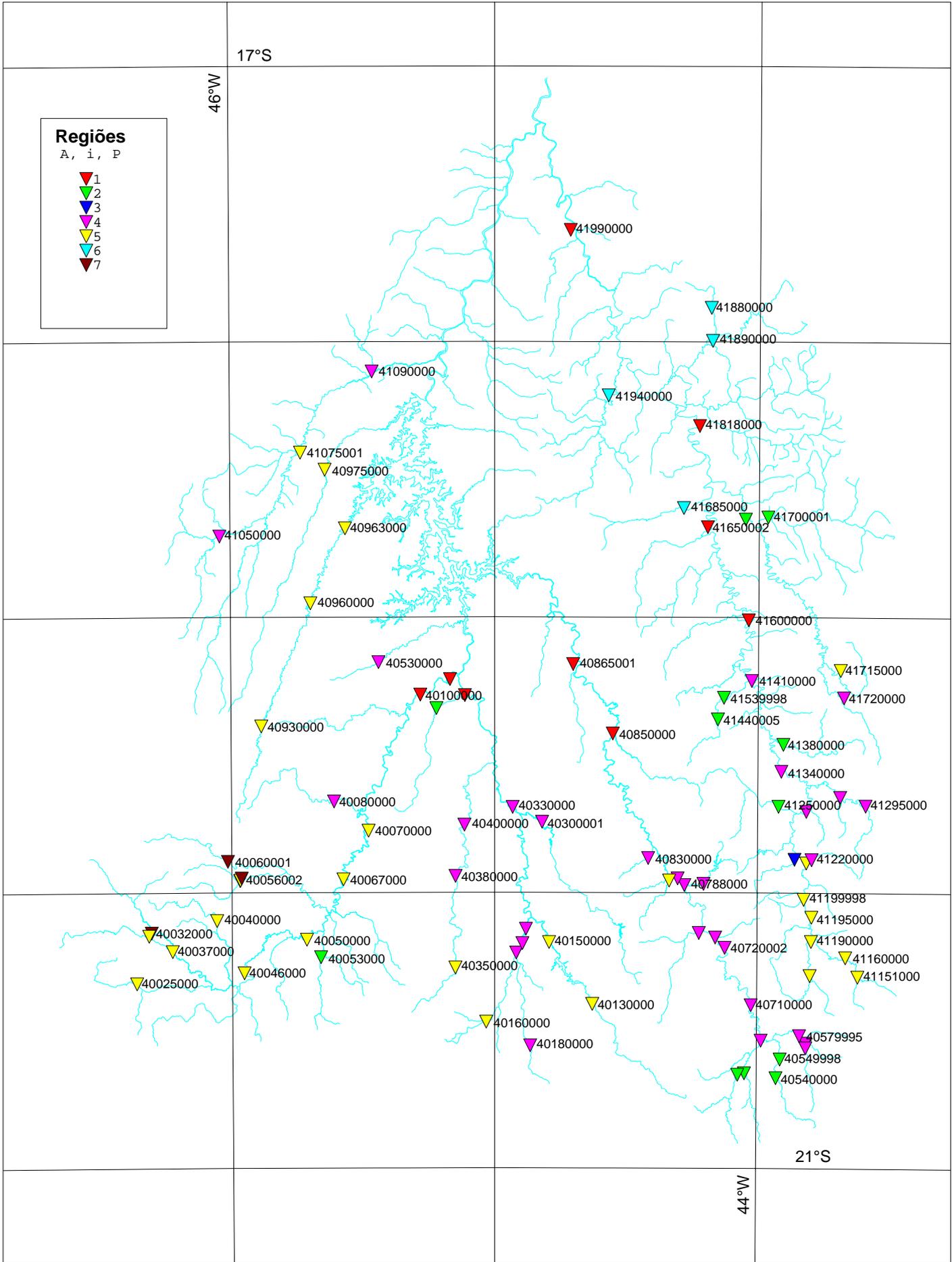
Análise de Agrupamento (Cluster Analysis) Declividade Equivalente



Análise de Agrupamento (Cluster Analysis) Precipitação Média



Análise de Agrupamento (Cluster Analysis) A, i, P



ANEXO F

MOMENTOS-L e RAZÕES-L AMOSTRAIS

	Código	N	L1	L2	T2	T3	T4	T5
1	40025000	36	92,82	27,2033	0,2931	0,4133	0,2664	-0,0273
2	40032000	24	129,33	24,4721	0,1892	0,2365	0,1388	0,0697
3	40035000	6	121,17	16,6333	0,1373	-0,0321	0,008	0,2204
4	40037000	25	245,56	53,41	0,2175	0,2831	0,1769	0,1486
5	40040000	31	48,16	10,4215	0,2164	0,1647	0,1096	0,0325
6	40046000	9	353,22	73,75	0,2088	0,2795	-0,007	0,0057
7	40050000	56	483,77	85,0698	0,1758	0,1552	0,151	0,0313
8	40053000	30	44,67	10,4822	0,2347	0,0207	0,0831	0,0675
9	40056002	22	39,42	4,255	0,1079	-0,1476	0,2022	0,022
10	40056200	12	60,83	5,2833	0,0869	-0,2933	0,2797	-0,2669
11	40056500	15	58,94	10,4133	0,1767	-0,0232	0,0478	0,1059
12	40060001	49	48,31	6,5707	0,1360	0,2194	0,1679	0,059
13	40067000	10	742,8	104,8444	0,1411	0,0637	-0,0515	-0,3169
14	40070000	23	671,43	89,1779	0,1328	0,1904	0,1075	-0,0193
15	40080000	29	64,62	22,1985	0,3435	0,5701	0,4736	0,3527
16	40100000	39	889,36	150,722	0,1695	0,4264	0,3877	0,2384
17	40102000	20	1032,4	188,6421	0,1827	0,1665	0,0332	-0,041
18	40130000	16	172,76	34,1438	0,1976	0,1684	0,0837	-0,0633
19	40150000	22	263,75	66,6333	0,2526	0,0849	0,1207	-0,0389
20	40160000	9	26,1	6,7972	0,2604	0,2899	-0,1019	-0,1454
21	40170000	28	109,71	31,8542	0,2903	0,4332	0,3148	0,209
22	40180000	11	33,34	5,2218	0,1566	0,0309	0,1684	-0,2478
23	40185000	25	199,09	56,5777	0,2842	0,3166	0,2491	0,1661
24	40190002	19	202,16	39,4737	0,1953	0,0768	-0,0216	-0,0539
25	40300001	25	207,19	56,7857	0,2741	0,3521	0,3451	0,2109
26	40330000	47	539,36	117,4218	0,2177	0,1244	0,1424	0,0471
27	40350000	15	31,21	5,9867	0,1918	0,2565	0,2951	0,2111
28	40380000	15	100,19	14,4219	0,1439	0,0043	0,1574	0,0832
29	40400000	40	154,25	27,3028	0,1770	0,2275	0,1913	0,036
30	40450001	49	753,47	162,5944	0,2158	0,1703	0,1522	-0,0344
31	40500000	22	49,03	11,2654	0,2298	0,4571	0,361	0,2278
32	40530000	22	49,68	9,6433	0,1941	0,1753	0,2307	0,0861
33	40535000	5	1590,2	469,3	0,2951	0,2316	-0,5651	-1,5956
34	40540000	8	48,4	8,6321	0,1783	0,3049	0,0025	-0,1961
35	40549998	33	64,69	16,0981	0,2488	0,3614	0,2232	0,1518
36	40573000	15	31,46	6,1419	0,1952	0,1389	-0,0006	0,0861
37	40577000	21	30,41	5,6167	0,1847	0,0015	0,0047	-0,0774
38	40579995	47	78,19	19,4653	0,2489	0,1752	0,1479	0,0453
39	40665000	30	29,95	5,7669	0,1926	0,2268	0,0843	-0,0618
40	40680000	55	93,2	26,0444	0,2794	0,4323	0,3323	0,2511
41	40700002	12	241,58	47,7197	0,1975	0,2054	0,1271	0,1049
42	40710000	25	351,64	80,3233	0,2284	0,1414	0,2304	0,1892
43	40720002	14	329,07	44,6758	0,1358	0,1199	-0,0165	0,0133
44	40740000	28	437,07	102,7831	0,2352	0,2706	0,3001	0,189
45	40770000	15	74,53	13,6524	0,1832	0,1935	0,0697	-0,1484
46	40788000	10	541,7	99,6556	0,1840	0,0704	0,3256	-0,0769
47	40790000	18	29,8	7,0055	0,2351	0,1463	0,2406	0,1852
48	40800001	57	534,18	99,6259	0,1865	0,1288	0,107	0,0188
49	40818000	20	35,54	5,6689	0,1595	-0,0301	-0,0182	-0,0718
50	40830000	13	12,59	3,4238	0,2719	0,4621	0,4278	0,411
51	40850000	27	690,11	110,4302	0,1600	0,1065	0,2371	0,0686
52	40865001	18	823	186,085	0,2261	0,4449	0,3093	0,1211
53	40930000	25	159,96	25,661	0,1604	-0,04	0,1688	0,0567
54	40960000	20	463,45	92,6711	0,2000	0,2666	0,0993	0,0384
55	40963000	12	612,58	189,8561	0,3099	0,2501	0,0908	0,0603

	Código	N	L1	L2	T2	T3	T4	T5
56	40975000	18	320,39	105,7745	0,3301	0,3547	0,0894	0,0508
57	41050000	31	275,29	68,7183	0,2496	0,2269	0,1228	0,051
58	41075001	11	1202,64	363,7455	0,3025	0,1147	0,0774	0,0621
59	41090000	8	1060,63	210,7679	0,1987	-0,1216	0,0875	-0,1643
60	41135000	10	3050	701,1111	0,2299	0,2988	0,2028	0,0629
61	41151000	37	38,43	10,5973	0,2758	0,1444	-0,0056	-0,0509
62	41160000	4						
63	41180000	31	99,82	32,5703	0,3263	0,2229	0,0187	0,0071
64	41190000	5	89,18	17,8	0,1996	0,6584	0,4213	0,5719
65	41195000	15	257,13	41,581	0,1617	0,0655	0,2516	0,1036
66	41199998	27	271,56	68,141	0,2509	0,1243	0,1098	0,0236
67	41220000	5	51,28	17,31	0,3376	-0,1184	-0,3547	1,7782
68	41230000	7	269	41,4286	0,1540	0,1628	0,3241	0,5103
69	41242100	7	28,29	5,8429	0,2065	0,0073	-0,1027	-0,3407
70	41250000	23	101,55	27,3937	0,2698	0,1684	0,1121	0,1074
71	41260000	18	569,83	138,4739	0,2430	-0,0301	-0,0641	0,0001
72	41295000	24	41,47	6,9089	0,1666	0,0978	0,2927	0,1266
73	41300000	50	117,42	37,4704	0,3191	0,3461	0,2573	0,0872
74	41340000	42	575,93	137,5244	0,2388	0,0856	0,086	0,0023
75	41380000	21	147,94	31,5919	0,2135	0,0265	0,0938	0,0718
76	41410000	27	622,48	148,8775	0,2392	0,1307	0,1251	0,0088
77	41440005	28	25,63	8,3624	0,3263	0,3721	0,3847	0,3053
78	41539998	30	28,27	3,4308	0,1214	0,0315	0,0763	-0,0717
79	41600000	24	693,96	166,0851	0,2393	0,0362	0,0438	0,0054
80	41650002	27	823,33	148,49	0,1804	0,0578	0,1001	0,0086
81	41685000	29	56,69	18,7559	0,3309	0,1057	0,0499	0,1057
82	41700001	23	290,87	91,1522	0,3134	0,1486	0,0507	0,0072
83	41715000	4						
84	41720000	21	82,02	18,1543	0,2213	0,4193	0,0866	-0,0917
85	41780002	23	1064,57	238,7708	0,2243	0,0819	0,0012	-0,0381
86	41818000	46	1336,89	239,5367	0,1792	0,0088	0,0629	0,0376
87	41880000	20	21,56	4,6516	0,2158	0,2102	0,3678	0,2142
88	41890000	22	235,5	49,0628	0,2083	0,062	-0,0107	0,0496
89	41940000	19	243,79	28,7135	0,1178	-0,0521	0,0305	0,0045
90	41990000	52	1964,75	323,4551	0,1646	0,0065	0,0552	-0,0145

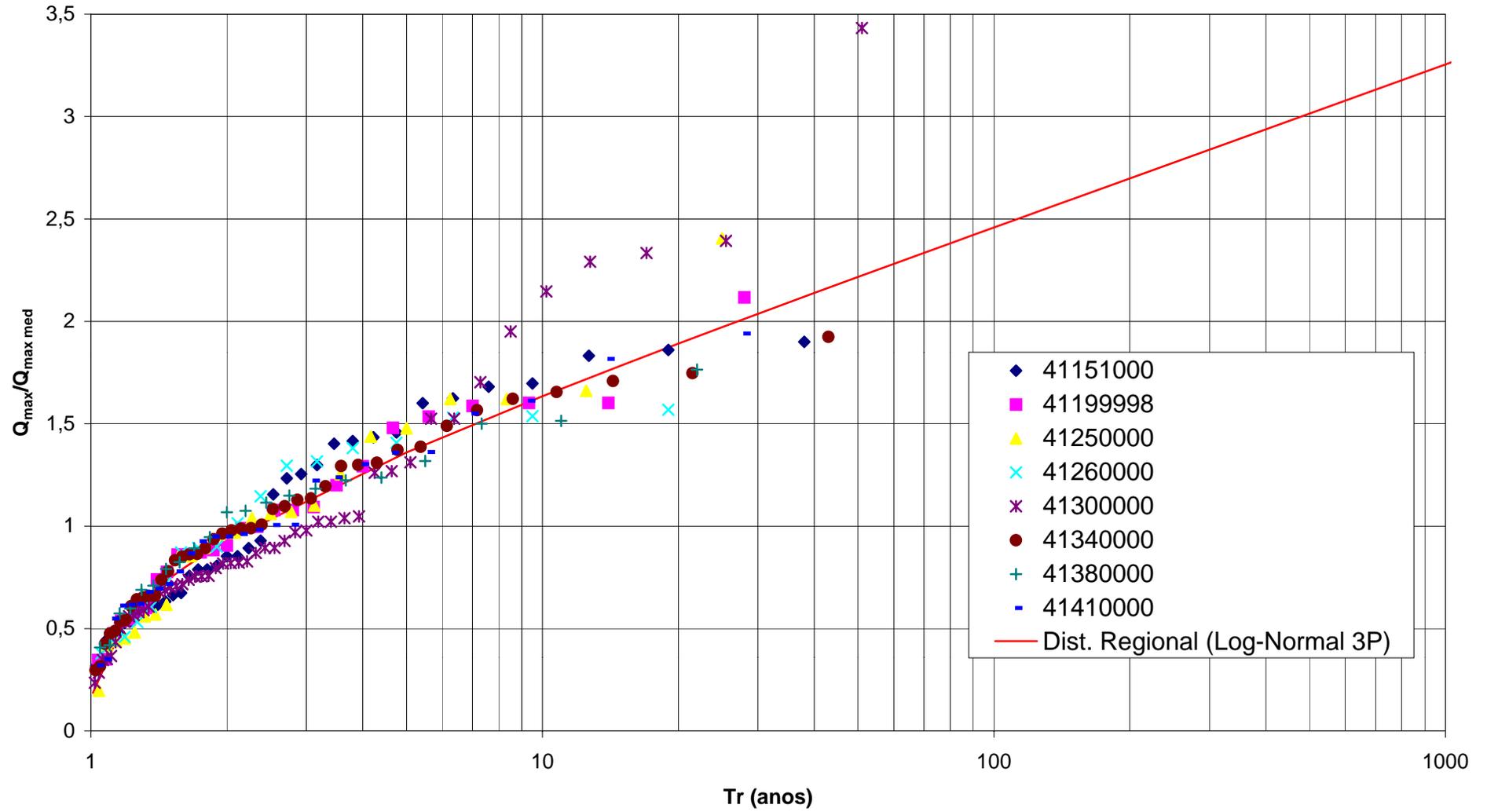
ANEXO G

DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS ADIMENSIONAIS

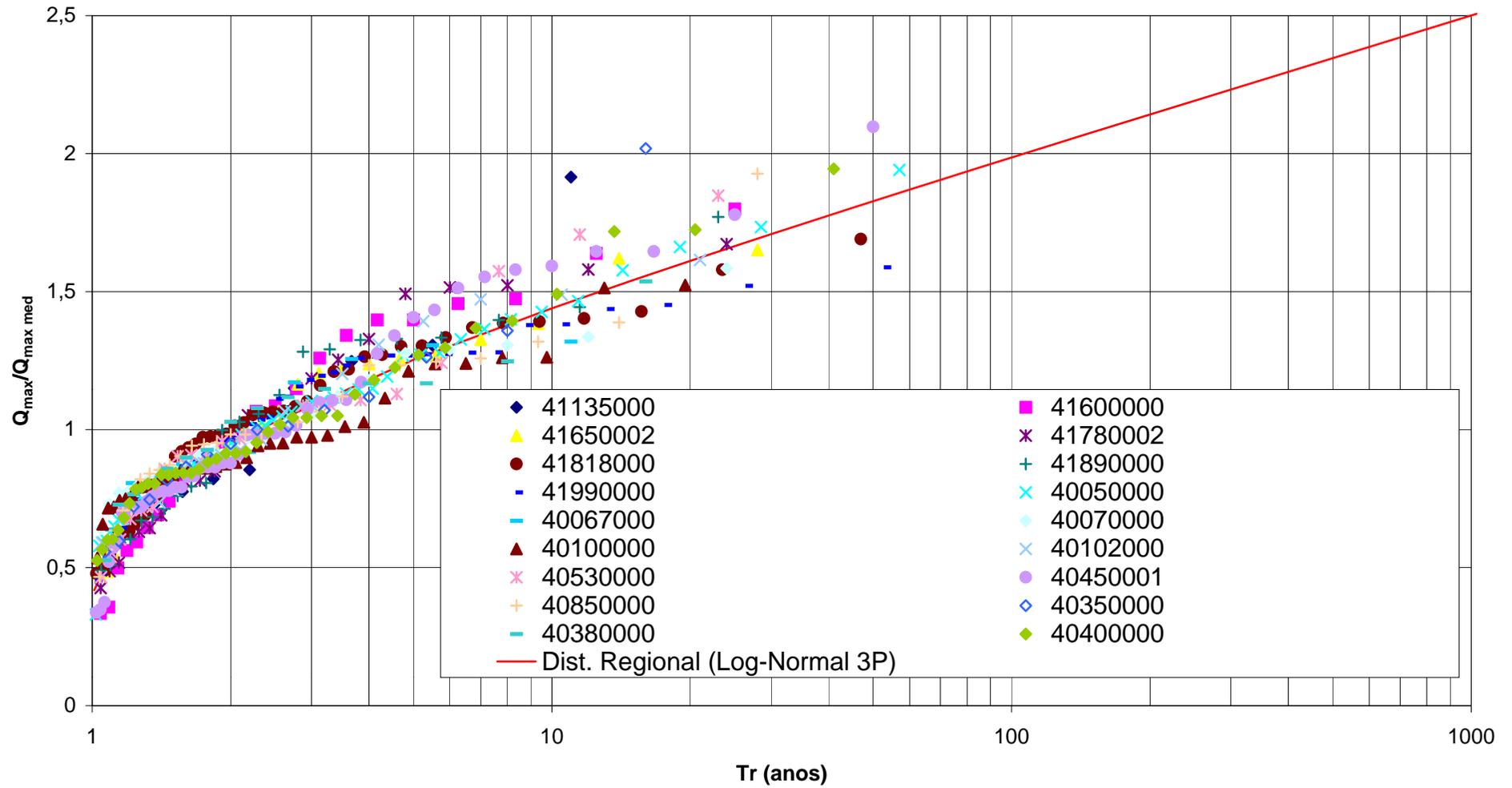
DISTRIBUIÇÕES REGIONAIS ADIMENSIONAIS

DIAGRAMA CURTOSE-L x ASSIMETRIA-L

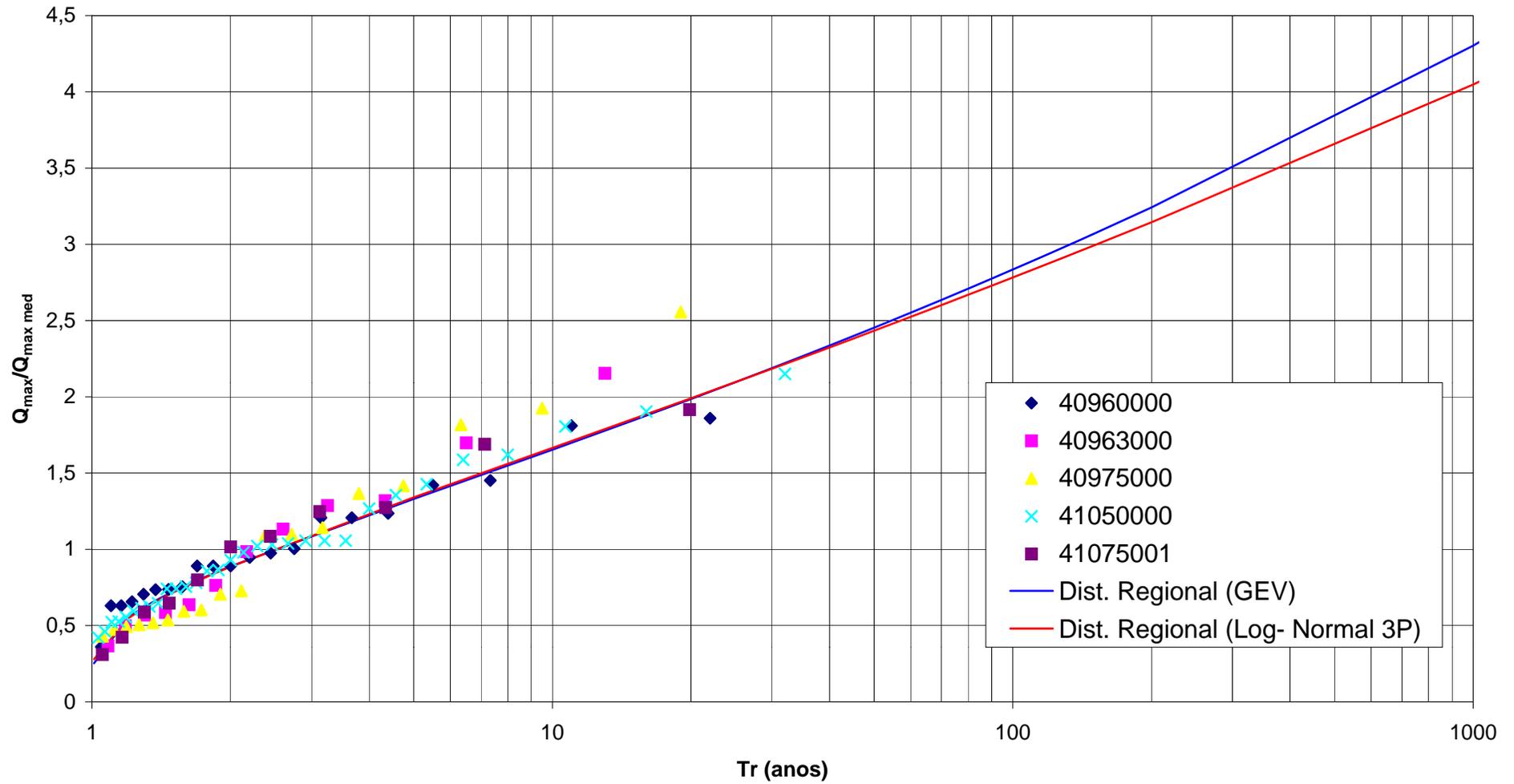
CURVAS DE FREQUÊNCIA REGIÃO MAX-I



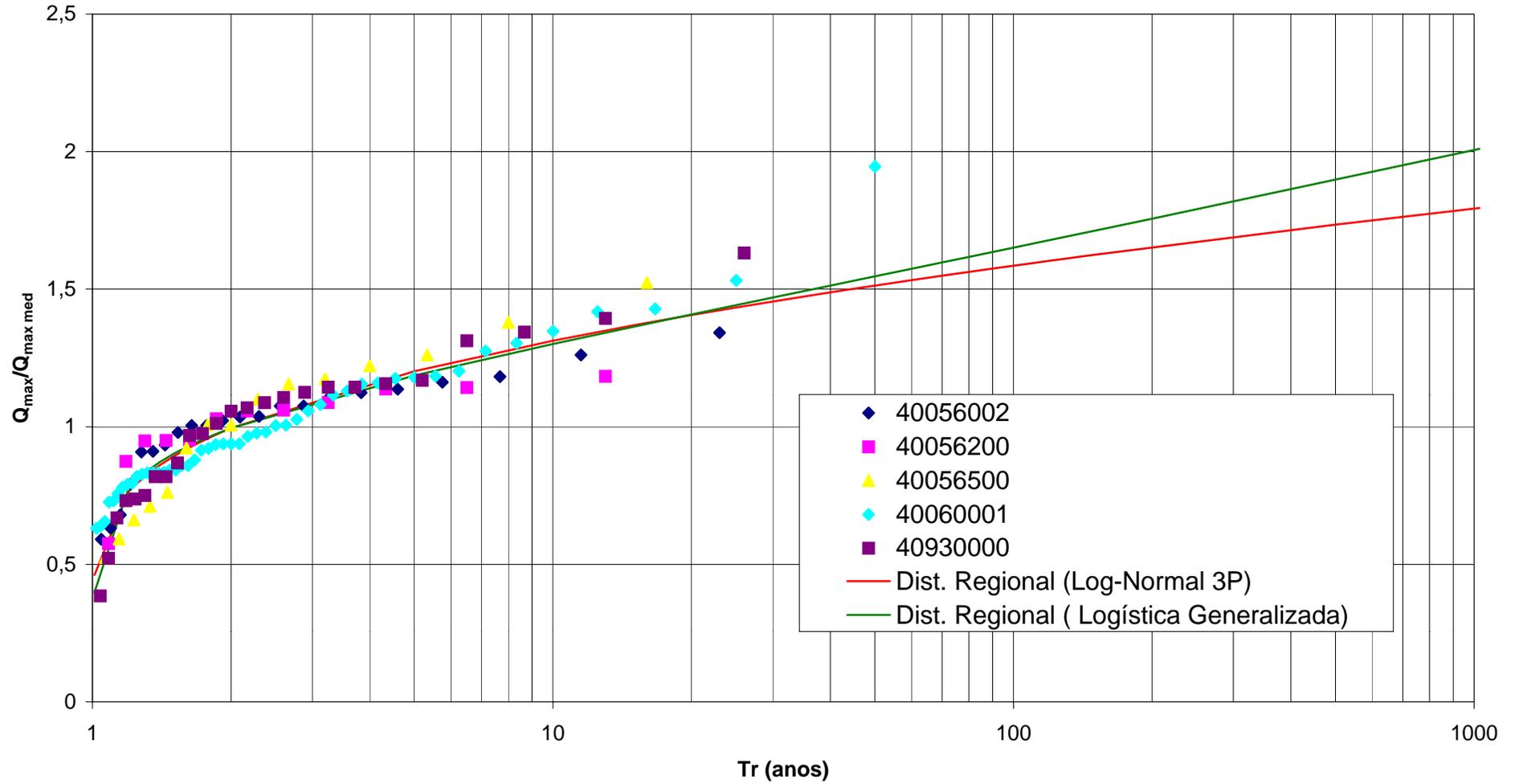
CURVAS DE FREQUÊNCIA REGIÃO MAX-II



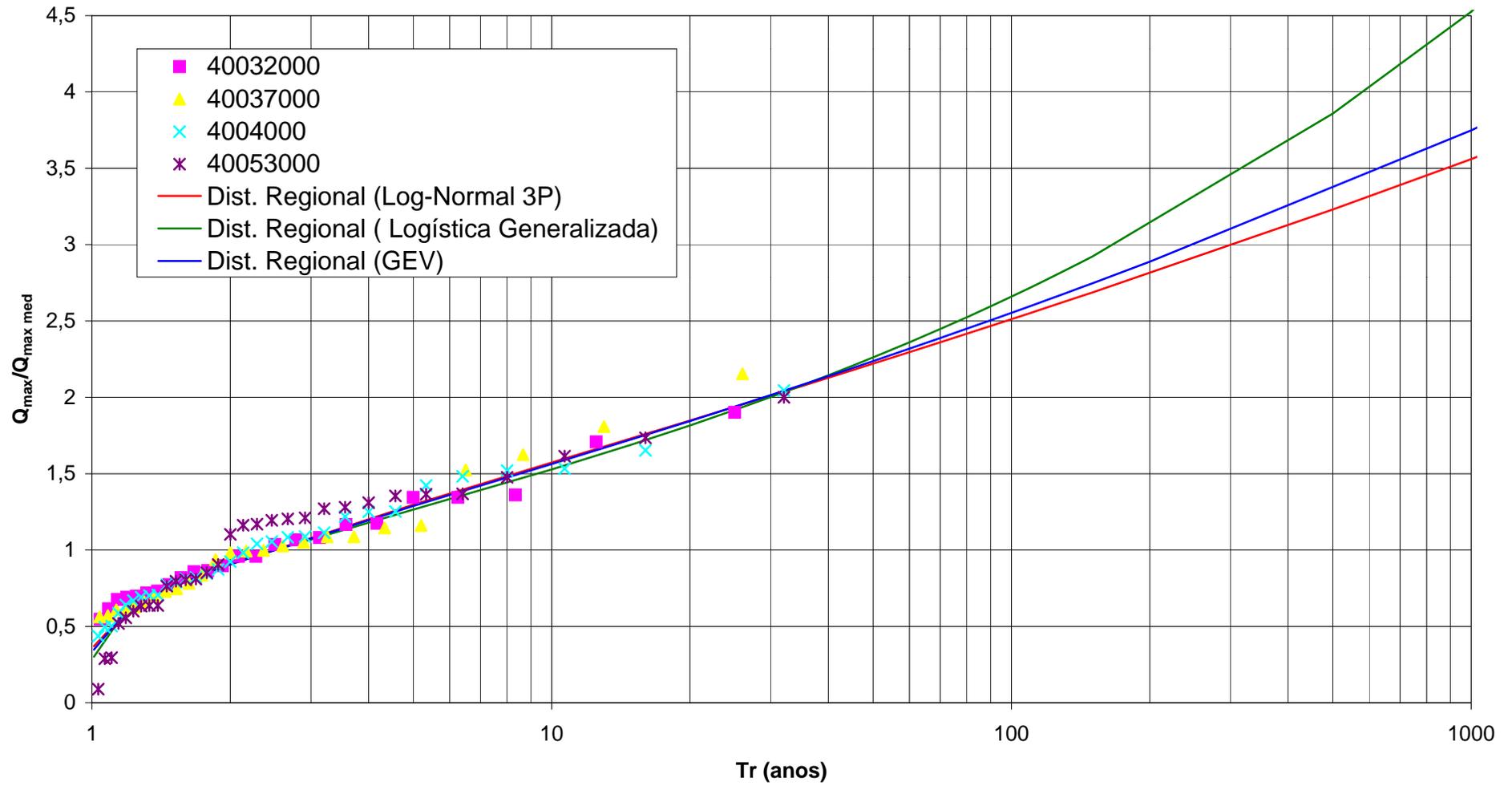
CURVAS DE FREQUÊNCIA REGIÃO MAX-III



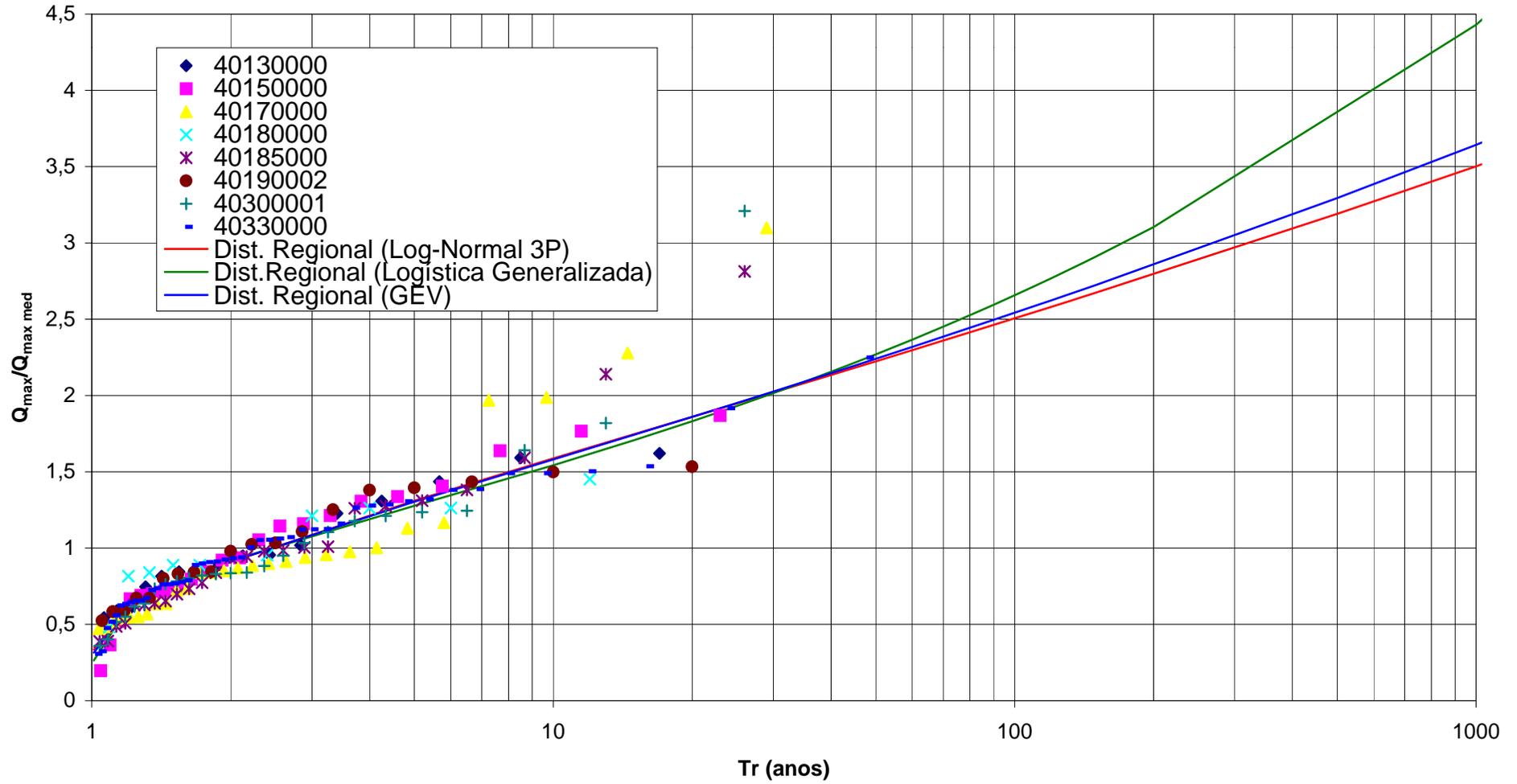
CURVAS DE FREQUÊNCIA REGIÃO MAX-IV



CURVAS DE FREQUÊNCIA REGIÃO MAX-V



CURVAS DE FREQUÊNCIA REGIÃO MAX-VI



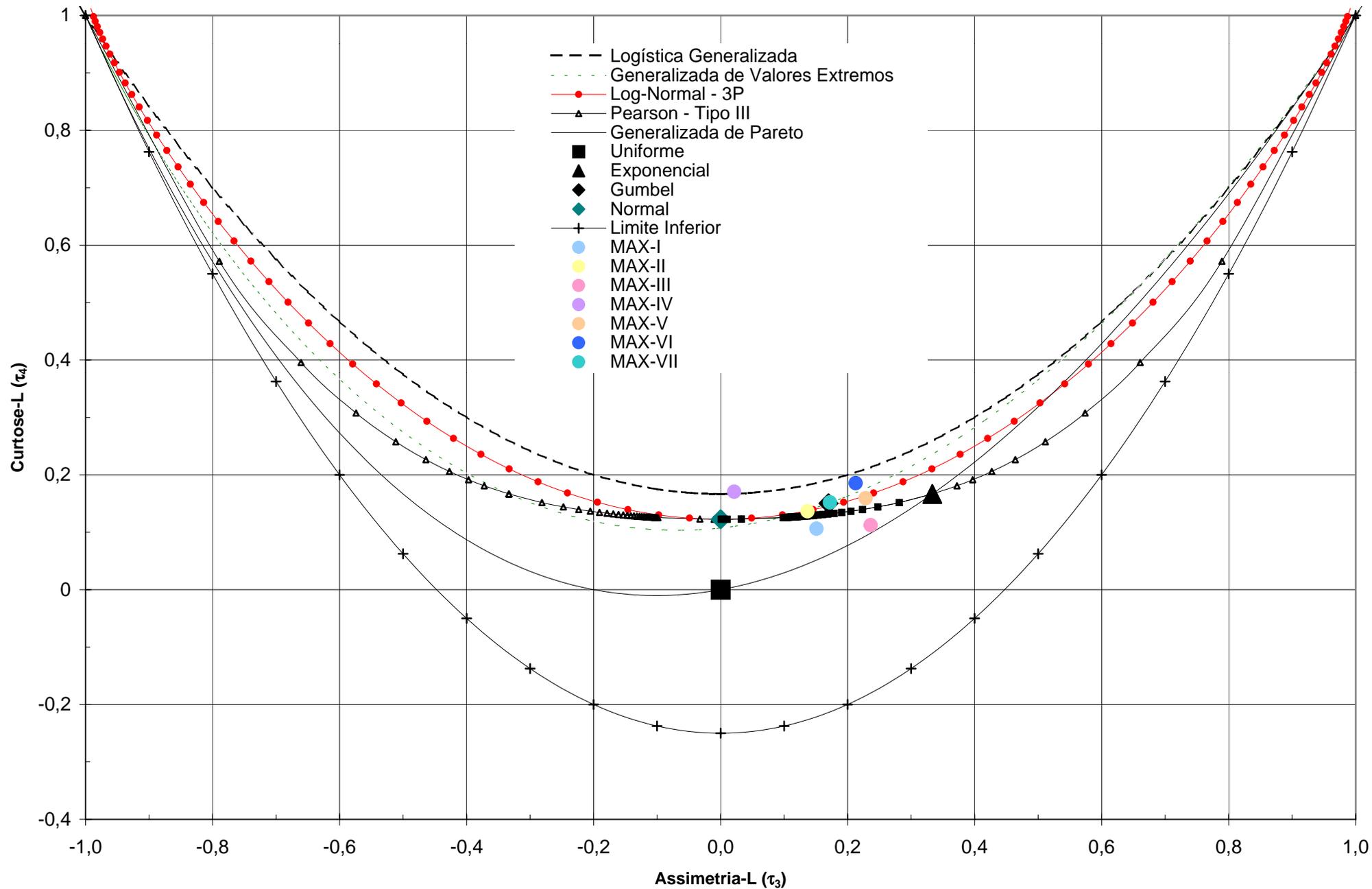


Diagrama Assimetria-L x Curtose-L

ANEXO H

TABELA DA DISTRIBUIÇÃO NORMAL PARAMETRIZADA

Variável Normal Reduzida, Z

P (X≤x)	Z	P (X≤x)	Z	P (X≤x)	Z
0,999990	4,2655	0,97100	1,8957	0,92000	1,4051
0,999980	4,1071	0,97000	1,8808	0,91800	1,3917
0,999950	3,8906	0,96900	1,8663	0,91600	1,3787
0,999900	3,7195	0,96800	1,8522	0,91400	1,3658
0,999800	3,5402	0,96700	1,8384	0,91200	1,3532
0,999600	3,3528	0,96600	1,8250	0,91000	1,3408
0,999500	3,2905	0,96500	1,8119	0,90800	1,3285
0,999000	3,0902	0,96400	1,7991	0,90600	1,3165
0,999000	3,0902	0,96300	1,7866	0,90400	1,3047
0,998000	2,8782	0,96200	1,7744	0,90200	1,2930
0,997000	2,7478	0,96100	1,7624	0,90000	1,2816
0,996000	2,6521	0,96000	1,7507	0,89000	1,2265
0,995000	2,5758	0,95850	1,7335	0,88000	1,1750
0,994000	2,5121	0,95700	1,7169	0,87000	1,1264
0,993000	2,4573	0,95550	1,7007	0,86000	1,0803
0,992000	2,4089	0,95400	1,6849	0,85000	1,0364
0,991000	2,3656	0,95250	1,6696	0,84000	0,9945
0,990000	2,3263	0,95100	1,6546	0,83000	0,9542
0,989500	2,3080	0,95000	1,6449	0,82000	0,9154
0,988000	2,2571	0,94800	1,6258	0,81000	0,8779
0,987000	2,2262	0,94650	1,6118	0,80000	0,8416
0,986000	2,1973	0,94500	1,5982	0,79000	0,8064
0,985000	2,1701	0,94350	1,5849	0,78000	0,7722
0,984000	2,1444	0,94200	1,5718	0,77000	0,7388
0,983000	2,1201	0,94050	1,5590	0,76000	0,7063
0,982000	2,0969	0,94000	1,5548	0,75000	0,6745
0,981000	2,0748	0,93750	1,5341	0,74000	0,6433
0,980000	2,0537	0,93600	1,5220	0,73000	0,6128
0,979000	2,0335	0,93450	1,5102	0,72000	0,5828
0,978000	2,0141	0,93300	1,4985	0,71000	0,5534
0,977000	1,9954	0,93150	1,4871	0,70000	0,5244
0,976000	1,9774	0,93000	1,4758	0,66000	0,4125
0,975000	1,9600	0,92800	1,4611	0,62000	0,3055
0,974000	1,9431	0,92600	1,4466	0,58000	0,2019
0,973000	1,9268	0,92400	1,4325	0,54000	0,1004
0,972000	1,9110	0,92200	1,4187	0,50000	0,0000

A variável normal central reduzida, Z, para um nível de probabilidade pode ser aproximada pelas seguintes equações:

$$\text{Para } 0 < P(Z) \leq 0,5 \quad Z \approx - \left(W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \right), \text{ com } W = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{P(Z)^2} \right)}$$

$$P(Z) > 0,5 \quad Z \approx \left(W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \right), \text{ com } W = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{(1 - P(Z))^2} \right)}$$

Para os dois casos temos:

$$C_0 = 2,515517$$

$$d_1 = 1,432788$$

$$C_1 = 0,802853$$

$$d_2 = 0,189269$$

$$C_2 = 0,010328$$

$$d_3 = 0,001308$$

Fonte: KITE, G. W. *Frequency and risk analysis in hydrology*. Water Resources Publications. Colorado, 1977, 224p.

ANEXO I

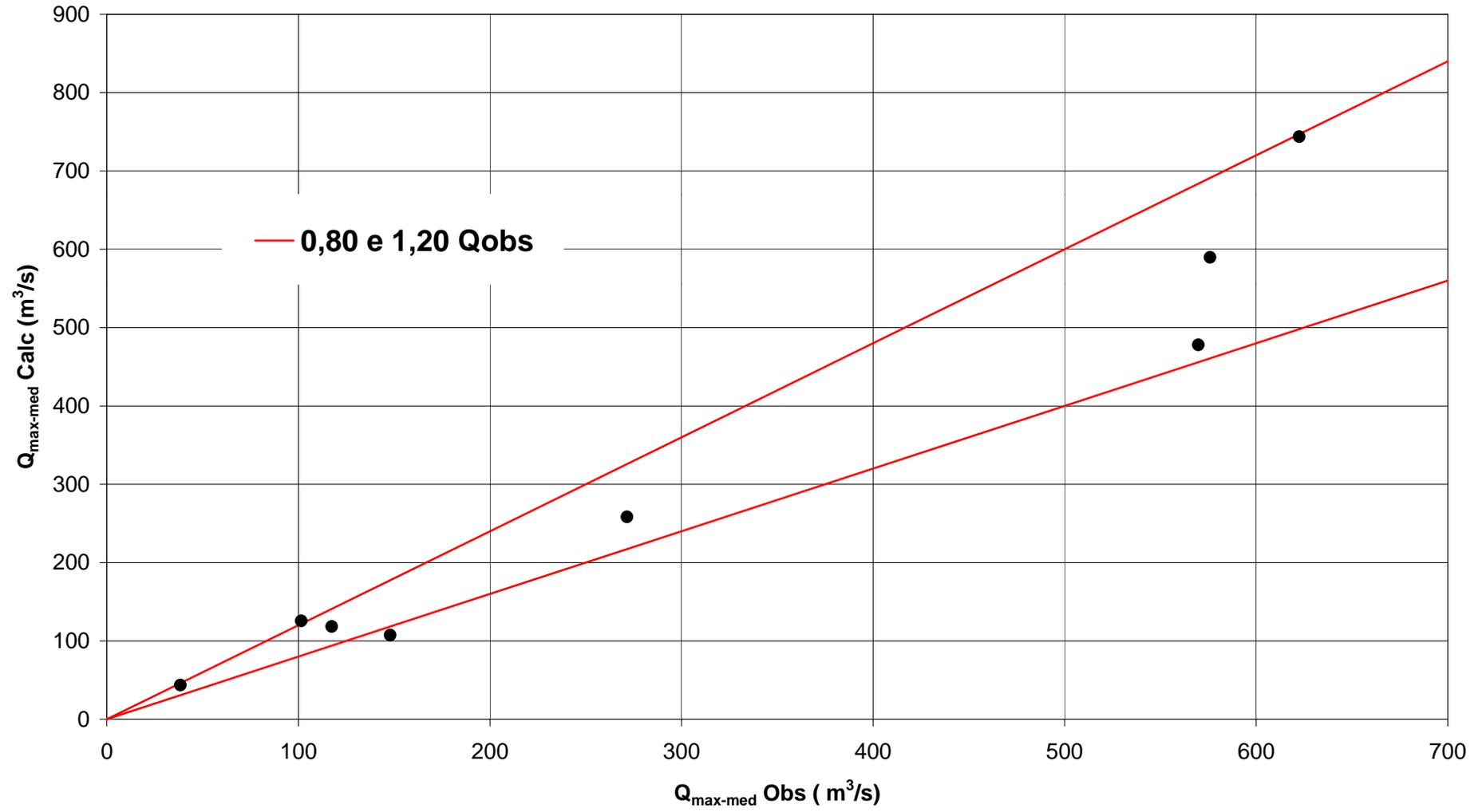
**GRÁFICOS ENTRE OS VALORES OBSERVADOS
e CALCULADOS PELOS MODELOS DE
ESTIMATIVA DAS MÉDIAS DAS VAZÕES
MÁXIMAS ANUAIS**

REGIÃO MAX-I

	Código	Estação	Bacia	Área (Km²)	Q_{obs} (m³/s)	Q_{calc} (m³/s)	Dif%
1	41151000	Fazenda Água Limpa Jusante	Velhas	174,6	38,43	43,53	13,3
2	41199998	Honório Bicalho-Montante	Velhas	1697,8	271,56	258,29	-4,9
3	41250000	Vespasiano	Velhas	675,7	101,55	125,57	23,7
4	41260000	Pinhões	Velhas	3727,4	569,83	478,01	-16,1
5	41300000	Taquaraçu	Velhas	626	117,42	118,28	0,7
6	41340000	Ponte Raul Soares	Velhas	4874,2	575,93	589,70	2,4
7	41380000	Ponte Preta	Velhas	553,4	147,94	107,40	-27,4
8	41410000	Jequitibá	Velhas	6557,7	622,48	743,87	19,5
						DPMA	DQM
						13,5	22,937

Resíduos entre os valores observados e os calculados

REGIÃO MAX-I



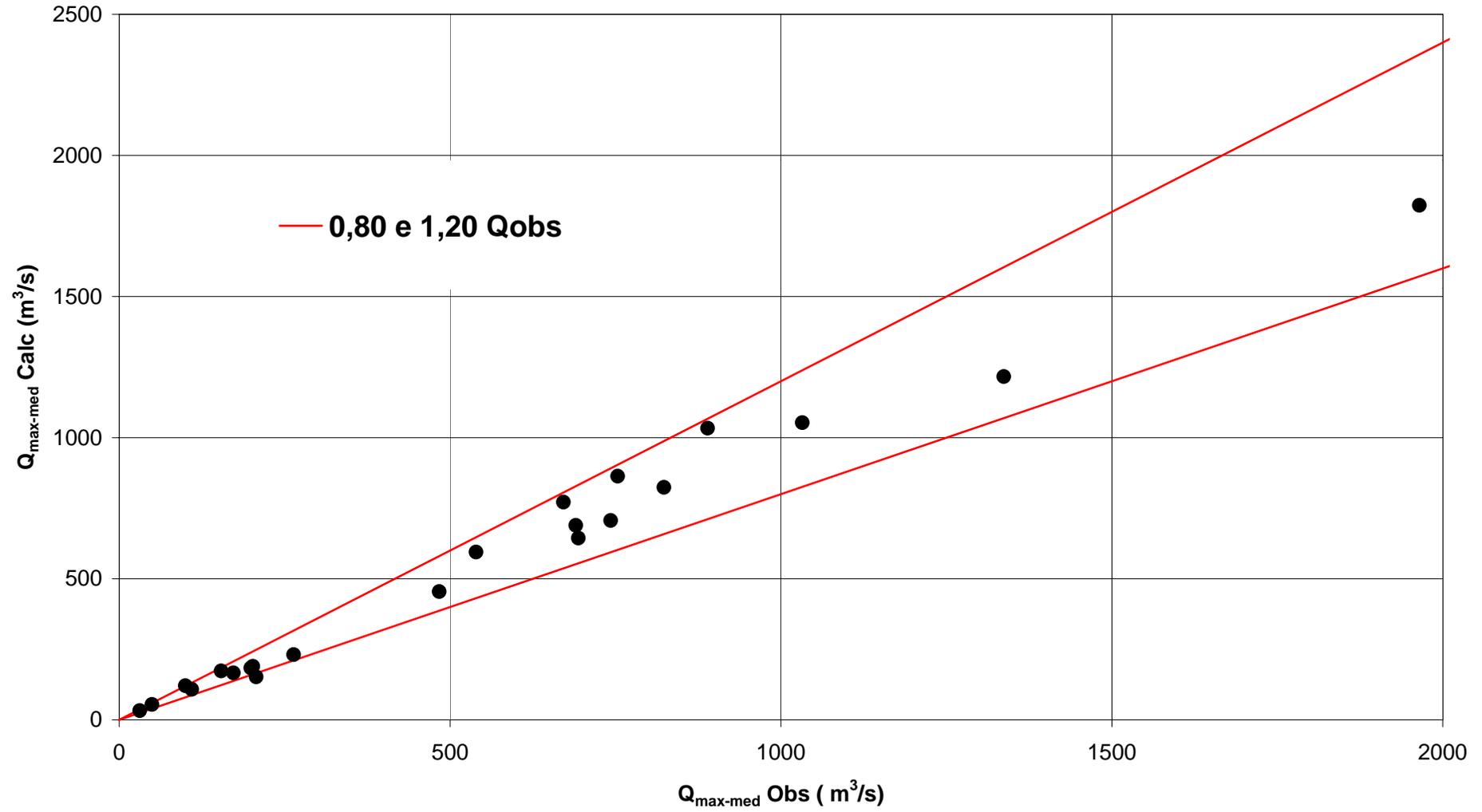
REGIÕES MAX-II e MAX-VI

	Código	Estação	Bacia	Área (Km²)	Q_{obs} (m³/s)	Q_{calc} (m³/s)	Dif%
1	40050000	Iguatama	São Francisco	5426,3	483,77	454,31	-6,1
2	40067000	Ponte Olegário Maciel	São Francisco	8986,9	742,8	706,46	-4,9
3	40070000	Ponte do Chumbo	São Francisco	9939,4	671,43	771,57	14,9
4	40100000	Porto das Andorinhas	São Francisco	13881,8	889,36	1033,57	16,2
5	40102000	Porto da Barra	São Francisco	14180,1	1032,4	1052,98	2,0
6	40350000	Usina Camarão	Pará	269,1	31,21	32,79	5,1
7	40380000	Araújos	Pará	1195,8	100,19	120,93	20,7
8	40400000	Estação Álvaro da Silveira	Pará	1801,7	154,25	173,11	12,2
9	40450001	Porto Pará (CEMIG)	Pará	11302,2	753,47	863,39	14,6
10	40530000	Abaeté	São Francisco	481,3	49,68	54,53	9,8
11	40850000	Ponte da Taquara	Paraopeba	8734	690,11	689,03	-0,2
12	41600000	Pirapama	Velhas	8085,6	693,96	644,06	-7,2
13	41650002	Ponte do Licínio Jusante	Velhas	10711,6	823,33	823,78	0,1
14	41818000	Santo Hipólito	Velhas	16721,9	1336,89	1216,42	-9,0
15	41990000	Várzea da Palma	Velhas	26553	1964,75	1823,17	-7,2
16	40130000	Ponte do Vilela	Pará	1725,7	172,76	166,71	-3,5
17	40150000	Carmo do Cajuru	Pará	2504,1	263,75	230,91	-12,5
18	40170000	Marilândia	Pará	1055	109,71	108,38	-1,2
19	40185000	Pari	Pará	1930,5	199,09	183,90	-7,6
20	40190002	Divinópolis	Pará	2000,2	202,16	189,70	-6,2
21	40300001	Jaguaruna Jusante	Pará	1558	207,19	152,44	-26,4
22	40330000	Velho da Taipa	Pará	7378,3	539,36	594,48	10,2

DPMA
9,0 DQM
14,36

Resíduos entre os valores observados e os calculados

REGIÕES MAX-II e MAX-VI

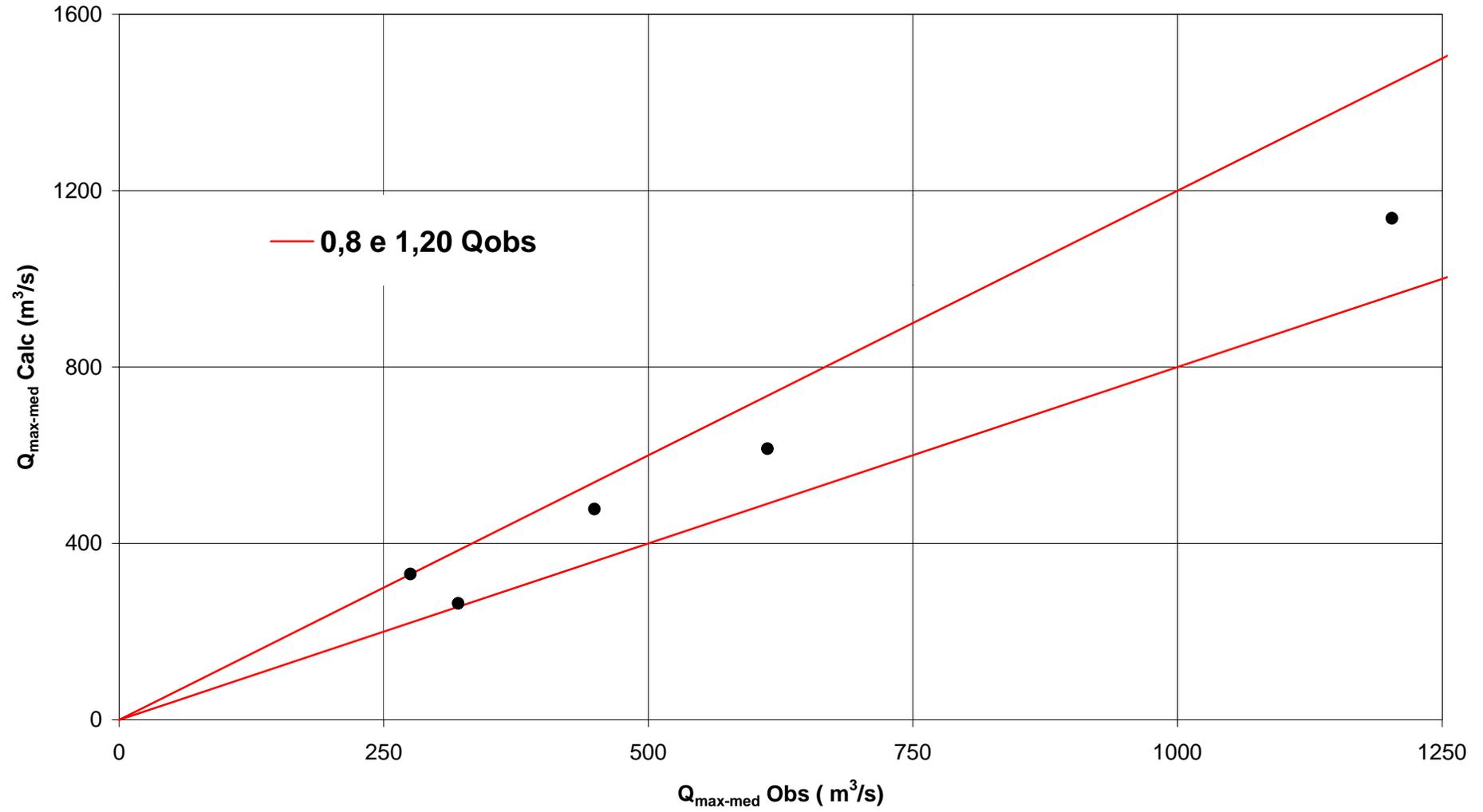


REGIÃO MAX-III

	Código	Estação	Bacia	Área (Km²)	Q_{obs} (m³/s)	Q_{calc} (m³/s)	Dif%
1	41050000	Major Porto	Abaeté	1206,9	275,29	330,62	20,1
2	41075001	Porto do Passarinho	Abaeté	4142,9	1202,64	1137,44	-5,4
3	40975000	Fazenda São Felix	Borrachudo	964,2	320,39	264,02	-17,6
4	40960000	Fazenda Bom Jardim	Indaiá	1743,5	449,1	477,93	6,4
5	40963000	Porto Indaiá (CEMIG)	Indaiá	2242,4	612,58	614,97	0,4
						DPMA	DQM
						10,0	26,605

Resíduos entre os valores observados e os calculados

REGIÃO MAX-III

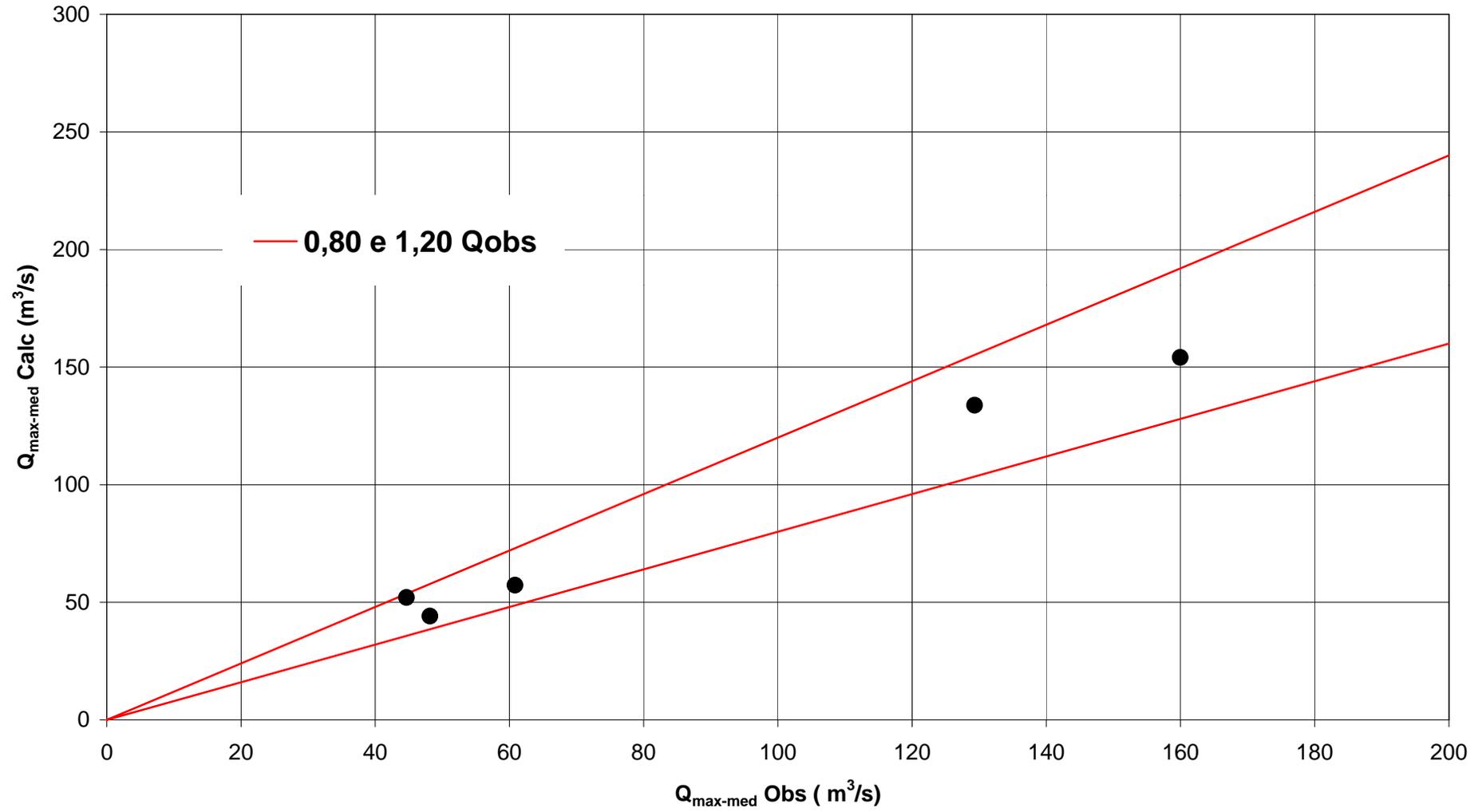


REGIÕES MAX-IV e MAX-V

Código	Estação	Bacia	Área (Km²)	Q_{obs} (m³/s)	Q_{calc} (m³/s)	Dif%
1 40053000	Calciolândia	São Francisco	304	44,67	51,99	16,4
2 40032000	Fazenda Samburá	São Francisco	763	129,33	133,76	3,4
3 40040000	Fazenda Ajudas	São Francisco	259	48,16	44,11	-8,4
4 40056200	Montante do Bom Sucesso	São Francisco	334	60,83	57,27	-5,9
5 40930000	Barra do Funchal	Indaiá	875,8	159,96	154,11	-3,7
					DPMA	DQM
					7,6	2,92

Resíduos entre os valores observados e os calculados

REGIÕES MAX-IV e MAX-V

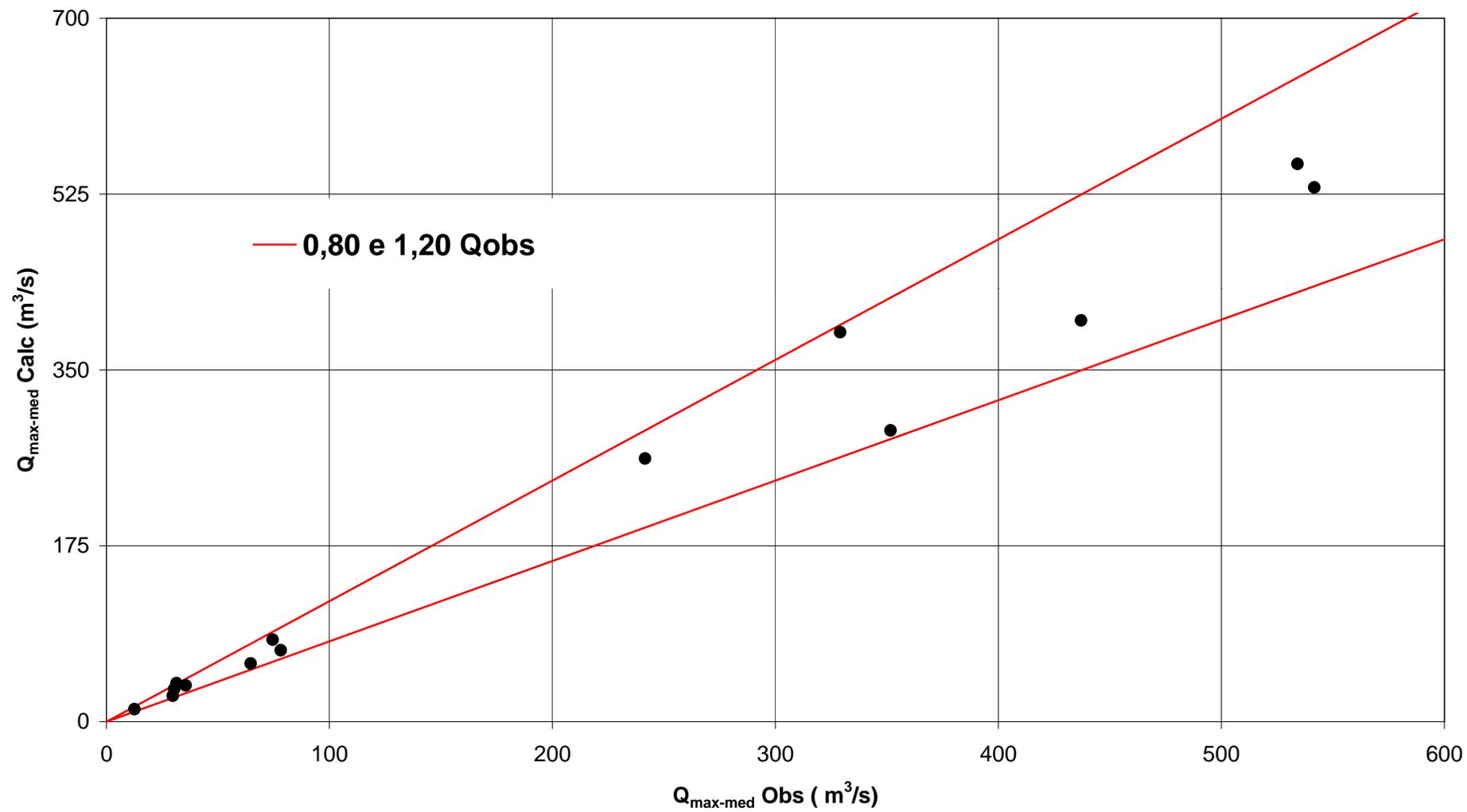


REGIÃO MAX-VII

	Código	Estação	Bacia	Área (Km²)	Q_{obs} (m³/s)	Q_{calc} (m³/s)	Dif%
1	40549998	São Brás do Suaçui Montante	Paraopeba	461,4	64,69	57,95	-10,4
2	40573000	Joaquim Murtinho	Paraopeba	291,1	31,46	38,28	21,7
3	40577000	Ponte Jubileu	Paraopeba	244	30,41	32,66	7,4
4	40579995	Congonhas Linígrafo	Paraopeba	578,5	78,19	71,03	-9,2
5	40700002	Jeceaba	Paraopeba	2465,1	241,58	261,86	8,4
6	40710000	Belo Vale	Paraopeba	2760,1	351,64	289,90	-17,6
7	40720002	Melo Franco	Paraopeba	3810,4	329,07	387,53	17,8
8	40740000	Alberto Flores	Paraopeba	3939,2	437,07	399,30	-8,6
9	40770000	Conceição do Itaguá	Paraopeba	675,2	74,53	81,63	9,5
10	40788000	São Joaquim de Bicas (Cemig)	Paraopeba	5414,2	541,7	531,65	-1,9
11	40790000	Betim	Paraopeba	188,3	29,8	25,86	-13,2
12	40800001	Ponte Nova do Paraopeba	Paraopeba	5680,4	534,18	555,12	3,9
13	40818000	Juatuba	Paraopeba	273	35,54	36,13	1,7
14	40830000	Fazenda Escola Florestal	Paraopeba	83,9	12,59	12,49	-0,8
						DPMA	DQM
						9,4	7,62

Resíduos entre os valores observados e os calculados

REGIÃO MAX-VII



ANEXO J

AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DA REGIONALIZAÇÃO

Código	Estação	Reg	Bacia	Área (Km ²)	Q _{max-med-calc} (m ³ /s)	Tr (anos)	1,01	2	5	10	20	25	50	100	150
						Q/Q _{max-med}	0,186	0,929	1,360	1,634	1,891	1,971	2,217	2,458	2,599
41151000	Fazenda Água Limpa Jusante	MAX-I	Velhas	174,6	43,5	41151000	8,1	40,4	59,2	71,2	82,3	85,8	96,5	107,0	113,1
41199998	Honório Bicalho-Montante	MAX-I	Velhas	1697,8	258,3	41199998	48,1	239,9	351,3	422,1	488,4	509,2	572,6	634,9	671,2
41250000	Vespasiano	MAX-I	Velhas	675,7	125,6	41250000	23,4	116,7	170,8	205,2	237,5	247,6	278,4	308,7	326,3
41260000	Pinhões	MAX-I	Velhas	3727,4	478,0	41260000	89,1	444,1	650,1	781,3	904,0	942,4	1059,7	1175,1	1242,1
41300000	Taquaraçu	MAX-I	Velhas	626	118,3	41300000	22,0	109,9	160,9	193,3	223,7	233,2	262,2	290,8	307,4
41340000	Ponte Raul Soares	MAX-I	Velhas	4874,2	589,7	41340000	109,9	547,8	802,0	963,8	1115,2	1162,6	1307,3	1449,7	1532,4
41380000	Ponte Preta	MAX-I	Velhas	553,4	107,4	41380000	20,0	99,8	146,1	175,5	203,1	211,7	238,1	264,0	279,1
41410000	Jequitibá	MAX-I	Velhas	6557,7	743,9	41410000	138,7	691,1	1011,7	1215,8	1406,7	1466,5	1649,1	1828,6	1933,0

Código	Estação	Reg	Bacia	Área (Km ²)	Q _{max-med-calc} (m ³ /s)	Tr (anos)	1,01	2	5	10	20	25	50	100	150
						Q/Q _{max-med}	0,418	0,955	1,253	1,439	1,612	1,665	1,828	1,986	2,077
40050000	Iguatama	MAX-II	São Francisco	5426,3	454,3	40050000	190,0	433,9	569,3	653,9	732,1	756,5	830,3	902,3	943,8
40067000	Ponte Olegário Maciel	MAX-II	São Francisco	8986,9	706,5	40067000	295,4	674,7	885,3	1.016,9	1.138,5	1.176,3	1.291,1	1.403,0	1.467,7
40070000	Ponte do Chumbo	MAX-II	São Francisco	9939,4	771,6	40070000	322,6	736,8	966,9	1.110,6	1.243,4	1.284,8	1.410,1	1.532,3	1.602,9
40100000	Porto das Andorinhas	MAX-II	São Francisco	13881,8	1033,6	40100000	432,2	987,1	1.295,2	1.487,7	1.665,7	1.721,0	1.888,9	2.052,7	2.147,2
40102000	Porto da Barra	MAX-II	São Francisco	14180,1	1053,0	40102000	440,3	1.005,6	1.319,5	1.515,7	1.697,0	1.753,3	1.924,4	2.091,2	2.187,5
40350000	Usina Camarão	MAX-II	Pará	269,1	32,8	40350000	13,7	31,3	41,1	47,2	52,8	54,6	59,9	65,1	68,1
40380000	Araújos	MAX-II	Pará	1195,8	120,9	40380000	50,6	115,5	151,5	174,1	194,9	201,4	221,0	240,2	251,2
40400000	Estação Álvaro da Silveira	MAX-II	Pará	1801,7	173,1	40400000	72,4	165,3	216,9	249,2	279,0	288,3	316,4	343,8	359,6
40450001	Porto Pará (CEMIG)	MAX-II	Pará	11302,2	863,4	40450001	361,0	824,5	1.081,9	1.242,8	1.391,4	1.437,7	1.577,9	1.714,7	1.793,7
40530000	Abaeté	MAX-II	São Francisco	481,3	54,5	40530000	22,8	52,1	68,3	78,5	87,9	90,8	99,7	108,3	113,3
40850000	Ponte da Taquara	MAX-II	Paraopeba	8734	689,0	40850000	288,1	658,0	863,5	991,8	1.110,4	1.147,3	1.259,3	1.368,4	1.431,5
41600000	Pirapama	MAX-II	Velhas	8085,6	644,1	41600000	269,3	615,1	807,1	927,1	1.037,9	1.072,4	1.177,1	1.279,1	1.338,0
41650002	Ponte do Licínio Jusante	MAX-II	Velhas	10711,6	823,8	41650002	344,5	786,7	1.032,3	1.185,8	1.327,6	1.371,7	1.505,5	1.636,0	1.711,4
41818000	Santo Hipólito	MAX-II	Velhas	16721,9	1216,4	41818000	508,6	1.161,7	1.524,3	1.750,9	1.960,3	2.025,5	2.223,1	2.415,8	2.527,1
41990000	Várzea da Palma	MAX-II	Velhas	26553	1823,2	41990000	762,4	1.741,1	2.284,7	2.624,3	2.938,2	3.035,8	3.332,0	3.620,8	3.787,6

Código	Estação	Reg	Bacia	Área (Km ²)	Q _{max-med-calc} (m ³ /s)	Tr (anos)	1,01	2	5	10	20	25	50	100	150
						Q/Q _{max-med}	0,253	0,889	1,331	1,653	1,986	2,096	2,454	2,835	3,069
41050000	Major Porto	MAX-III	Abaete	1206,9	330,6	41050000	83,6	293,8	440,0	546,5	656,5	693,1	811,3	937,2	1014,8
41075001	Porto do Passarinho	MAX-III	Abaete	4142,9	1137,4	41075001	287,7	1010,7	1513,9	1880,1	2258,6	2384,5	2791,1	3224,3	3491,4
40975000	Fazenda São Felix	MAX-III	Borrachudo	964,2	264,0	40975000	66,8	234,6	351,4	436,4	524,3	553,5	647,9	748,4	810,4
40960000	Fazenda Bom Jardim	MAX-III	Indaiá	1743,5	477,9	40960000	120,9	424,7	636,1	790,0	949,0	1001,9	1172,8	1354,8	1467,0
40963000	Porto Indaiá (CEMIG)	MAX-III	Indaiá	2242,4	615,0	40963000	155,5	546,4	818,5	1016,5	1221,1	1289,2	1509,0	1743,2	1887,6

Código	Estação	Reg	Bacia	Área (Km ²)	Q _{max-med-calc} (m ³ /s)	Tr (anos)	1,01	2	5	10	20	25	50	100	150
						Q/Q _{max-med}	0,398	0,995	1,186	1,301	1,408	1,442	1,547	1,651	1,713
40056200	Montante do Bom Sucesso	MAX-IV	São Francisco	334	57,3	40056200	22,8	57,0	67,9	74,5	80,6	82,6	88,6	94,6	98,1
40930000	Barra do Funchal	MAX-IV	Indaiá	875,8	154,1	40930000	61,3	153,3	182,8	200,5	217,0	222,2	238,3	254,4	263,9

Quantis calculados pela regionalização (m³/s)

Código	Estação	Reg	Bacia	Área (Km ²)	Q _{max-med-calc} (m ³ /s)	Tr (anos)	1,01	2	5	10	20	25	50	100	150
						Q/Q _{max-med}	0,348	0,906	1,288	1,563	1,845	1,938	2,237	2,553	2,747
40053000	Calciolândia	MAX-V	São Francisco	304,0	52,0	40053000	18,1	47,1	67,0	81,3	95,9	100,8	116,3	132,8	142,8
40032000	Fazenda Samburá	MAX-V	São Francisco	763,0	133,8	40032000	46,5	121,3	172,3	209,1	246,8	259,2	299,3	341,5	367,4
40040000	Fazenda Ajudas	MAX-V	São Francisco	259,0	44,1	40040000	15,3	40,0	56,8	69,0	81,4	85,5	98,7	112,6	121,2

Código	Estação	Reg	Bacia	Área (Km ²)	Q _{max-med-calc} (m ³ /s)	Tr (anos)	1,01	2	5	10	20	25	50	100	150
						Q/Q _{max-med}	0,264	0,918	1,278	1,543	1,831	1,931	2,270	2,657	2,911
40130000	Ponte do Vilela	MAX-VI	Pará	1.725,7	166,7	40130000	43,9	153,0	213,0	257,2	305,3	322,0	378,3	443,0	485,2
40150000	Carmo do Cajuru	MAX-VI	Pará	2.504,1	230,9	40150000	60,9	212,0	295,0	356,3	422,9	446,0	524,1	613,6	672,1
40170000	Marilândia	MAX-VI	Pará	1.055,0	108,4	40170000	28,6	99,5	138,5	167,2	198,5	209,3	246,0	288,0	315,4
40185000	Pari	MAX-VI	Pará	1.930,5	183,9	40185000	48,5	168,8	235,0	283,7	336,8	355,2	417,4	488,6	535,3
40190002	Divinópolis	MAX-VI	Pará	2.000,2	189,7	40190002	50,0	174,1	242,4	292,7	347,4	366,3	430,5	504,0	552,1
40300001	Jaguaruna Jusante	MAX-VI	Pará	1.558,0	152,4	40300001	40,2	139,9	194,8	235,2	279,2	294,4	346,0	405,1	443,7
40330000	Velho da Taipá	MAX-VI	Pará	7.378,3	594,5	40330000	156,7	545,7	759,5	917,2	1088,6	1148,1	1349,2	1579,6	1730,3

Código	Estação	Reg	Bacia	Área (Km ²)	Q _{max-med-calc} (m ³ /s)	Tr (anos)	1,01	2	5	10	20	25	50	100	150
						Q/Q _{max-med}	0,298	0,941	1,257	1,480	1,715	1,795	2,060	2,355	2,544
40549998	São Brás do Suaçui Montante	MAX-VII	Paraopeba	461,4	57,9	40549998	17,3	54,5	72,9	85,8	99,4	104,0	119,4	136,5	147,4
40573000	Joaquim Murtinho	MAX-VII	Paraopeba	291,1	38,3	40573000	11,4	36,0	48,1	56,7	65,7	68,7	78,9	90,2	97,4
40577000	Ponte Jubileu	MAX-VII	Paraopeba	244,0	32,7	40577000	9,7	30,7	41,1	48,3	56,0	58,6	67,3	76,9	83,1
40579995	Congonhas Linígrafo	MAX-VII	Paraopeba	578,5	71,0	40579995	21,2	66,8	89,3	105,1	121,8	127,5	146,3	167,3	180,7
40700002	Jeceaba	MAX-VII	Paraopeba	2465,1	261,9	40700002	78,2	246,4	329,2	387,6	449,2	470,1	539,5	616,7	666,1
40710000	Belo Vale	MAX-VII	Paraopeba	2760,1	289,9	40710000	86,5	272,8	364,5	429,2	497,3	520,5	597,3	682,8	737,5
40740000	Alberto Flores	MAX-VII	Paraopeba	3939,2	399,3	40740000	119,2	375,7	502,0	591,1	685,0	716,9	822,7	940,4	1015,7
40770000	Conceição do Itaguá	MAX-VII	Paraopeba	675,2	81,6	40770000	24,4	76,8	102,6	120,8	140,0	146,6	168,2	192,3	207,7
40788000	São Joaquim de Bicas (Cemig)	MAX-VII	Paraopeba	5414,2	531,6	40788000	158,7	500,3	668,4	787,0	912,0	954,5	1095,3	1252,1	1352,4
40790000	Betim	MAX-VII	Paraopeba	188,3	25,9	40790000	7,7	24,3	32,5	38,3	44,4	46,4	53,3	60,9	65,8
40800001	Ponte Nova do Paraopeba	MAX-VII	Paraopeba	5680,4	555,1	40800001	165,7	522,4	697,9	821,8	952,2	996,6	1143,7	1307,4	1412,1
40818000	Juatuba	MAX-VII	Paraopeba	273,0	36,1	40818000	10,8	34,0	45,4	53,5	62,0	64,9	74,4	85,1	91,9
40830000	Fazenda Escola Florestal	MAX-VII	Paraopeba	83,9	12,5	40830000	3,7	11,8	15,7	18,5	21,4	22,4	25,7	29,4	31,8

Quantis calculados pela regionalização (m³/s)

Código	Estação	Reg	Bacia	Área (Km ²)	Q _{max-med-calc} (m ³ /s)	Distribuição	Tr (anos)									
							1,01	2	5	10	20	25	50	100	150	
41151000	Fazenda Água Limpa Jusante	MAX-I	Velhas	174,6	43,5	41151000	Gumbel	6,2	35,2	52,5	64,0	75,0	78,5	89,3	99,9	106,2
41199998	Honório Bicalho-Montante	MAX-I	Velhas	1697,8	258,3	41199998	Gumbel	64,5	250,8	362,3	436,0	506,8	529,3	598,4	667,0	707,1
41250000	Vespasiano	MAX-I	Velhas	675,7	125,6	41250000	Gumbel	11,4	89,5	136,1	167,0	196,7	206,1	235,0	263,8	280,5
41260000	Pinhões	MAX-I	Velhas	3727,4	478,0	41260000	Gumbel	149,0	527,7	754,2	904,1	1047,9	1093,5	1234,0	1373,5	1454,9
41300000	Taquaraçu	MAX-I	Velhas	626	118,3	41300000	Gumbel	3,5	106,0	167,3	207,9	246,8	259,1	297,1	334,9	356,9
41340000	Ponte Raul Soares	MAX-I	Velhas	4874,2	589,7	41340000	Gumbel	158,0	534,1	759,0	907,9	1050,7	1096,0	1235,6	1374,1	1454,9
41380000	Ponte Preta	MAX-I	Velhas	553,4	107,4	41380000	Gumbel	51,9	138,3	190,0	224,2	257,0	267,4	299,5	331,3	349,9
41410000	Jequitibá	MAX-I	Velhas	6557,7	743,9	41410000	Gumbel	170,0	577,2	820,7	981,9	1136,5	1185,5	1336,6	1486,5	1574,0

Código	Estação	Reg	Bacia	Área (Km ²)	Q _{max-med-calc} (m ³ /s)	Distribuição	Tr (anos)									
							1,01	2	5	10	20	25	50	100	150	
40050000	Iguatama	MAX-II	São Francisco	5426,3	454,3	40050000	Gumbel	225,2	457,9	597,0	689,1	777,5	805,5	891,8	977,5	1027,5
40067000	Ponte Olegário Maciel	MAX-II	São Francisco	8986,9	706,5	40067000	Gumbel	424,2	710,9	882,4	995,9	1104,8	1139,3	1245,7	1351,3	1412,9
40070000	Ponte do Chumbo	MAX-II	São Francisco	9939,4	771,6	40070000	GEV	409,0	641,4	787,1	886,5	984,2	1015,6	1113,9	1213,6	1272,9
40100000	Porto das Andorinhas	MAX-II	São Francisco	13881,8	1033,6	40100000	GEV	493,9	783,7	1035,3	1246,0	1488,8	1575,5	1875,9	2231,3	2469,2
40102000	Porto da Barra	MAX-II	São Francisco	14180,1	1053,0	40102000	Gumbel	459,1	975,1	1283,5	1487,8	1683,7	1745,8	1937,2	2127,3	2238,1
40350000	Usina Camarão	MAX-II	Pará	269,1	32,8	40350000	GEV	15,3	28,6	38,2	45,5	53,1	55,7	64,1	73,3	79,1
40380000	Araújos	MAX-II	Pará	1195,8	120,9	40380000	Gumbel	56,4	95,8	119,4	135,0	150,0	154,7	169,4	183,9	192,4
40400000	Estação Álvaro da Silveira	MAX-II	Pará	1801,7	173,1	40400000	Gumbel	63,1	142,4	189,8	221,2	251,3	260,9	290,3	319,5	336,5
40450001	Porto Pará (CEMIG)	MAX-II	Pará	11302,2	863,4	40450001	GEV	259,6	703,9	969,8	1145,9	1315,0	1368,6	1533,9	1698,0	1793,7
40530000	Abaeté	MAX-II	São Francisco	481,3	54,5	40530000	GEV	20,6	46,7	62,4	73,0	83,1	86,3	96,4	106,3	112,2
40850000	Ponte da Taquara	MAX-II	Paraopeba	8734	689,0	40850000	Gumbel	354,5	656,5	837,1	956,7	1071,4	1107,7	1219,8	1331,0	1395,9
41600000	Pirapama	MAX-II	Velhas	8085,6	644,1	41600000	Gumbel	189,2	643,5	915,1	1094,9	1267,3	1322,1	1490,6	1657,9	1755,5
41650002	Ponte do Licínio Jusante	MAX-II	Velhas	10711,6	823,8	41650002	Gumbel	327,6	756,7	1013,2	1183,0	1345,9	1397,6	1556,8	1714,8	1806,9
41818000	Santo Hipólito	MAX-II	Velhas	16721,9	1216,4	41818000	Gumbel	608,9	1264,1	1655,8	1915,1	2163,9	2248,2	2485,8	2727,1	2867,8
41990000	Várzea da Palma	MAX-II	Velhas	26553	1823,2	41990000	Gumbel	932,2	1842,2	2386,2	2746,4	3091,9	3201,5	3539,1	3874,2	4069,7

Código	Estação	Reg	Bacia	Área (Km ²)	Q _{max-med-calc} (m ³ /s)	Distribuição	Tr (anos)									
							1,01	2	5	10	20	25	50	100	150	
41050000	Major Porto	MAX-III	Abaete	1206,9	330,6	41050000	GEV	84,2	248,2	359,9	440,2	522,3	549,5	636,6	728,5	784,8
41075001	Porto do Passarinho	MAX-III	Abaete	4142,9	1137,4	41075001	Gumbel	97,2	1092,1	1686,9	2080,7	2458,4	2578,2	2947,4	3313,8	3527,4
40975000	Fazenda São Felix	MAX-III	Borrachudo	964,2	264,0	40975000	Gumbel	288,2	461,2	575,7	685,6	720,4	827,7	934,3	996,4	
40960000	Fazenda Bom Jardim	MAX-III	Indaiá	1743,5	477,9	40960000	GEV	166,3	413,8	574,1	685,6	796,9	833,1	947,4	1065,1	1135,8
40963000	Porto Indaiá (CEMIG)	MAX-III	Indaiá	2242,4	615,0	40963000	GEV	103,2	530,9	837,9	1065,7	1304,6	1384,9	1646,6	1929,5	2106,0

Quantis calculados pela análise de frequência pontual (m³/s)

Código	Estação	Reg	Bacia	Área (Km ²)	Q _{max-med-calc} (m ³ /s)	Distribuição	Tr (anos)									
							1,01	2	5	10	20	25	50	100	150	
40056200	Montante do Bom Sucesso	MAX-IV	São Francisco	334	57,3	40056200	Gumbel	44,8	59,2	67,9	73,6	79,1	80,8	86,2	91,5	94,6
40930000	Barra do Funchal	MAX-IV	Indaia	875,8	154,1	40930000	Gumbel	82,0	152,2	194,1	221,9	248,6	257,0	283,0	308,9	324,0
Código	Estação	Reg	Bacia	Área (Km ²)	Q _{max-med-calc} (m ³ /s)	Distribuição	Tr (anos)									
							1,01	2	5	10	20	25	50	100	150	
40053000	Calciolândia	MAX-V	São Francisco	304,0	52,0	40053000	Gumbel	9,5	40,0	58,2	70,2	81,8	85,4	96,7	107,9	114,4
40032000	Fazenda Samburá	MAX-V	São Francisco	763,0	133,8	40032000	GEV	62,3	119,3	159,0	187,9	217,8	227,8	259,9	294,2	315,3
40040000	Fazenda Ajudas	MAX-V	São Francisco	259,0	44,1	40040000	Gumbel	16,5	45,0	62,0	73,3	84,1	87,6	98,1	108,6	114,8
Código	Estação	Reg	Bacia	Área (Km ²)	Q _{max-med-calc} (m ³ /s)	Distribuição	Tr (anos)									
							1,01	2	5	10	20	25	50	100	150	
40130000	Ponte do Vilela	MAX-VI	Pará	1.725,7	166,7	40130000	Gumbel	69,0	162,4	218,2	255,2	290,6	301,9	336,5	370,9	391,0
40150000	Carmo do Cajuru	MAX-VI	Pará	2.504,1	230,9	40150000	Gumbel	61,2	243,5	352,5	424,6	493,8	515,7	583,4	650,5	689,6
40170000	Marilândia	MAX-VI	Pará	1.055,0	108,4	40170000	Gumbel	12,9	100,0	152,1	186,6	219,7	230,2	262,5	294,6	313,3
40185000	Pari	MAX-VI	Pará	1.930,5	183,9	40185000	Gumbel	27,1	181,9	274,4	335,7	394,4	413,1	470,5	527,5	560,7
40190002	Divinópolis	MAX-VI	Pará	2.000,2	189,7	40190002	Gumbel	82,2	190,2	254,7	297,4	338,4	351,4	391,5	431,3	454,4
40300001	Jaguaruna Jusante	MAX-VI	Pará	1.558,0	152,4	40300001	Gumbel	34,6	189,9	282,8	344,3	403,2	421,9	479,6	536,8	570,1
40330000	Velho da Taipa	MAX-VI	Pará	7.378,3	594,5	40330000	Gumbel	182,5	503,7	695,7	822,8	944,7	983,4	1102,6	1220,9	1289,8
Código	Estação	Reg	Bacia	Área (Km ²)	Q _{max-med-calc} (m ³ /s)	Distribuição	Tr (anos)									
							1,01	2	5	10	20	25	50	100	150	
40549998	São Brás do Suaçui Montante	MAX-VII	Paraopeba	461,4	57,9	40549998	Gumbel	15,8	59,8	86,1	103,5	120,3	125,6	141,9	158,1	167,6
40573000	Joaquim Murtinho	MAX-VII	Paraopeba	291,1	38,3	40573000	Gumbel	12,8	29,6	39,6	46,3	52,7	54,7	60,9	67,1	70,7
40577000	Ponte Jubileu	MAX-VII	Paraopeba	244,0	32,7	40577000	Gumbel	13,3	28,7	37,9	44,0	49,8	51,7	57,4	63,0	66,3
40579995	Congonhas Linígrafo	MAX-VII	Paraopeba	578,5	71,0	40579995	GEV	19,5	72,1	103,9	125,2	145,7	152,2	172,4	192,5	204,3
40700002	Jeceaba	MAX-VII	Paraopeba	2465,1	261,9	40700002	GEV	104,4	224,3	302,2	356,5	410,7	428,4	484,1	541,7	576,2
40710000	Belo Vale	MAX-VII	Paraopeba	2760,1	289,9	40710000	Gumbel	107,5	327,2	458,6	545,5	628,9	655,4	736,9	817,8	865,0
40740000	Alberto Flores	MAX-VII	Paraopeba	3939,2	399,3	40740000	GEV	169,8	389,7	554,8	680,7	815,7	861,7	1013,9	1181,8	1288,3
40770000	Conceição do Itaguá	MAX-VII	Paraopeba	675,2	81,6	40770000	GEV	34,5	69,9	92,2	107,5	122,5	127,4	142,6	158,1	167,4
40788000	São Joaquim de Bicas (Cemig)	MAX-VII	Paraopeba	5414,2	531,6	40788000	Gumbel	238,8	511,4	674,4	782,3	885,7	918,6	1019,7	1120,1	1178,6
40790000	Betim	MAX-VII	Paraopeba	188,3	25,9	40790000	Gumbel	8,5	27,7	39,1	46,7	54,0	56,3	63,4	70,5	74,6
40800001	Ponte Nova do Paraopeba	MAX-VII	Paraopeba	5680,4	555,1	40800001	Gumbel	231,4	503,9	666,8	774,7	878,1	910,9	1012,0	1112,4	1170,9
40818000	Juatuba	MAX-VII	Paraopeba	273,0	36,1	40818000	Gumbel	18,3	33,8	43,1	49,2	55,1	57,0	62,7	68,4	71,8
40830000	Fazenda Escola Florestal	MAX-VII	Paraopeba	83,9	12,5	40830000	Gumbel	2,2	11,5	17,1	20,9	24,4	25,5	29,0	32,5	34,5

Quantis calculados pela análise de frequência pontual (m³/s)

$$[(Q_{reg} - Q_{afp})/Q_{afp}] \cdot 100$$

Código	Estação	Reg	Bacia	Área (Km ²)	Tr (anos)								
					1,01	2	5	10	20	25	50	100	150
41151000	Fazenda Água Limpa Jusante	MAX-I	Velhas	174,6	30,4%	14,9%	12,7%	11,2%	9,7%	9,3%	8,1%	7,1%	6,6%
41199998	Honório Bicalho-Montante	MAX-I	Velhas	1697,8	-25,3%	-4,3%	-3,0%	-3,2%	-3,6%	-3,8%	-4,3%	-4,8%	-5,1%
41250000	Vespasiano	MAX-I	Velhas	675,7	105,3%	30,4%	25,5%	22,9%	20,8%	20,1%	18,4%	17,0%	16,3%
41260000	Pinhões	MAX-I	Velhas	3727,4	-40,2%	-15,9%	-13,8%	-13,6%	-13,7%	-13,8%	-14,1%	-14,4%	-14,6%
41300000	Taquaraçu	MAX-I	Velhas	626	522,1%	3,6%	-3,9%	-7,0%	-9,4%	-10,0%	-11,8%	-13,2%	-13,9%
41340000	Ponte Raul Soares	MAX-I	Velhas	4874,2	-30,4%	2,6%	5,7%	6,2%	6,1%	6,1%	5,8%	5,5%	5,3%
41380000	Ponte Preta	MAX-I	Velhas	553,4	-61,4%	-27,9%	-23,1%	-21,7%	-21,0%	-20,8%	-20,5%	-20,3%	-20,2%
41410000	Jequitibá	MAX-I	Velhas	6557,7	-18,5%	19,7%	23,3%	23,8%	23,8%	23,7%	23,4%	23,0%	22,8%

Código	Estação	Reg	Bacia	Área (Km ²)	Tr (anos)								
					1,01	2	5	10	20	25	50	100	150
40050000	Iguatama	MAX-II	São Francisco	5426,3	-15,7%	-5,3%	-4,6%	-5,1%	-5,8%	-6,1%	-6,9%	-7,7%	-8,1%
40067000	Ponte Olegário Maciel	MAX-II	São Francisco	8986,9	-30,4%	-5,1%	0,3%	2,1%	3,1%	3,3%	3,6%	3,8%	3,9%
40070000	Ponte do Chumbo	MAX-II	São Francisco	9939,4	-21,1%	14,9%	22,8%	25,3%	26,3%	26,5%	26,6%	26,3%	25,9%
40100000	Porto das Andorinhas	MAX-II	São Francisco	13881,8	-12,5%	26,0%	25,1%	19,4%	11,9%	9,2%	0,7%	-8,0%	-13,0%
40102000	Porto da Barra	MAX-II	São Francisco	14180,1	-4,1%	3,1%	2,8%	1,9%	0,8%	0,4%	-0,7%	-1,7%	-2,3%
40350000	Usina Camarão	MAX-II	Pará	269,1	-10,4%	9,6%	7,5%	3,8%	-0,5%	-2,0%	-6,6%	-11,2%	-13,9%
40380000	Araújos	MAX-II	Pará	1195,8	-10,3%	20,5%	26,9%	28,9%	29,9%	30,1%	30,5%	30,6%	30,6%
40400000	Estação Álvaro da Silveira	MAX-II	Pará	1801,7	14,6%	16,1%	14,3%	12,6%	11,0%	10,5%	9,0%	7,6%	6,9%
40450001	Porto Pará (CEMIG)	MAX-II	Pará	11302,2	39,1%	17,1%	11,6%	8,4%	5,8%	5,0%	2,9%	1,0%	0,0%
40530000	Abaeté	MAX-II	São Francisco	481,3	10,6%	11,6%	9,5%	7,6%	5,7%	5,2%	3,4%	1,8%	1,0%
40850000	Ponte da Taquara	MAX-II	Paraopeba	8734	-18,7%	0,2%	3,1%	3,7%	3,6%	3,6%	3,2%	2,8%	2,5%
41600000	Pirapama	MAX-II	Velhas	8085,6	42,3%	-4,4%	-11,8%	-15,3%	-18,1%	-18,9%	-21,0%	-22,8%	-23,8%
41650002	Ponte do Licínio Jusante	MAX-II	Velhas	10711,6	5,1%	4,0%	1,9%	0,2%	-1,4%	-1,9%	-3,3%	-4,6%	-5,3%
41818000	Santo Hipólito	MAX-II	Velhas	16721,9	-16,5%	-8,1%	-7,9%	-8,6%	-9,4%	-9,7%	-10,6%	-11,4%	-11,9%
41990000	Várzea da Palma	MAX-II	Velhas	26553	-18,2%	-5,5%	-4,3%	-4,4%	-5,0%	-5,2%	-5,9%	-6,5%	-6,9%

Código	Estação	Reg	Bacia	Área (Km ²)	Tr (anos)								
					1,01	2	5	10	20	25	50	100	150
41050000	Major Porto	MAX-III	Abaete	1206,9	-0,7%	18,4%	22,3%	24,1%	25,7%	26,1%	27,4%	28,6%	29,3%
41075001	Porto do Passarinho	MAX-III	Abaete	4142,9	196,0%	-7,5%	-10,3%	-9,6%	-8,1%	-7,5%	-5,3%	-2,7%	-1,0%
40975000	Fazenda São Felix	MAX-III	Borrachudo	964,2		-18,6%	-23,8%	-24,2%	-23,5%	-23,2%	-21,7%	-19,9%	-18,7%
40960000	Fazenda Bom Jardim	MAX-III	Indaiá	1743,5	-27,3%	2,6%	10,8%	15,2%	19,1%	20,3%	23,8%	27,2%	29,2%
40963000	Porto Indaiá (CEMIG)	MAX-III	Indaiá	2242,4	50,7%	2,9%	-2,3%	-4,6%	-6,4%	-6,9%	-8,4%	-9,7%	-10,4%

Desvio percentual entre os quantis calculados pela regionalização e pela análise de frequência pontual

$$\left[\frac{(Q_{\text{reg}} - Q_{\text{afp}})}{Q_{\text{afp}}} \right] \cdot 100$$

Código	Estação	Reg	Bacia	Área (Km ²)	Tr (anos)									
					1,01	2	5	10	20	25	50	100	150	
40056200	Montante do Bom Sucesso	MAX-IV	São Francisco	334	-49,1%	-3,8%	0,1%	1,2%	2,0%	2,2%	2,8%	3,3%	3,7%	
40930000	Barra do Funchal	MAX-IV	Indaiá	875,8	-25,2%	0,8%	-5,8%	-9,7%	-12,7%	-13,5%	-15,8%	-17,6%	-18,5%	

Código	Estação	Reg	Bacia	Área (Km ²)	Tr (anos)									
					1,01	2	5	10	20	25	50	100	150	
40053000	Calciolândia	MAX-V	São Francisco	304,0	89,4%	17,9%	15,2%	15,8%	17,3%	18,0%	20,3%	23,0%	24,8%	
40032000	Fazenda Samburá	MAX-V	São Francisco	763,0	-25,3%	1,6%	8,4%	11,3%	13,3%	13,8%	15,1%	16,1%	16,5%	
40040000	Fazenda Ajudas	MAX-V	São Francisco	259,0	-7,0%	-11,1%	-8,4%	-5,9%	-3,3%	-2,4%	0,5%	3,7%	5,6%	

Código	Estação	Reg	Bacia	Área (Km ²)	Tr (anos)									
					1,01	2	5	10	20	25	50	100	150	
40130000	Ponte do Vilela	MAX-VI	Pará	1.725,7	-36,3%	-5,8%	-2,4%	0,8%	5,0%	6,6%	12,4%	19,4%	24,1%	
40150000	Carmo do Cajuru	MAX-VI	Pará	2.504,1	-0,6%	-12,9%	-16,3%	-16,1%	-14,4%	-13,5%	-10,2%	-5,7%	-2,5%	
40170000	Marilândia	MAX-VI	Pará	1.055,0	121,4%	-0,5%	-9,0%	-10,4%	-9,7%	-9,1%	-6,3%	-2,2%	0,7%	
40185000	Pari	MAX-VI	Pará	1.930,5	78,6%	-7,2%	-14,4%	-15,5%	-14,6%	-14,0%	-11,3%	-7,4%	-4,5%	
40190002	Divinópolis	MAX-VI	Pará	2.000,2	-39,2%	-8,4%	-4,8%	-1,6%	2,6%	4,2%	10,0%	16,9%	21,5%	
40300001	Jaguaruna Jusante	MAX-VI	Pará	1.558,0	16,1%	-26,3%	-31,1%	-31,7%	-30,8%	-30,2%	-27,9%	-24,5%	-22,2%	
40330000	Velho da Taipa	MAX-VI	Pará	7.378,3	-14,1%	8,4%	9,2%	11,5%	15,2%	16,7%	22,4%	29,4%	34,1%	

Código	Estação	Reg	Bacia	Área (Km ²)	Tr (anos)									
					1,01	2	5	10	20	25	50	100	150	
40549998	São Brás do Suaçui Montante	MAX-VII	Paraopeba	461,4	9,7%	-8,8%	-15,4%	-17,2%	-17,3%	-17,2%	-15,9%	-13,7%	-12,0%	
40573000	Joaquim Murtinho	MAX-VII	Paraopeba	291,1	-10,7%	21,7%	21,4%	22,4%	24,7%	25,7%	29,5%	34,4%	37,7%	
40577000	Ponte Jubileu	MAX-VII	Paraopeba	244,0	-26,9%	7,1%	8,4%	10,0%	12,5%	13,5%	17,3%	22,1%	25,3%	
40579995	Congonhas Linígrafo	MAX-VII	Paraopeba	578,5	8,6%	-7,3%	-14,1%	-16,0%	-16,4%	-16,2%	-15,1%	-13,1%	-11,6%	
40700002	Jeceaba	MAX-VII	Paraopeba	2465,1	-25,1%	9,8%	8,9%	8,7%	9,4%	9,7%	11,4%	13,9%	15,6%	
40710000	Belo Vale	MAX-VII	Paraopeba	2760,1	-19,5%	-16,6%	-20,5%	-21,3%	-20,9%	-20,6%	-18,9%	-16,5%	-14,7%	
40740000	Alberto Flores	MAX-VII	Paraopeba	3939,2	-29,8%	-3,6%	-9,5%	-13,2%	-16,0%	-16,8%	-18,9%	-20,4%	-21,2%	
40770000	Conceição do Itaguá	MAX-VII	Paraopeba	675,2	-29,5%	10,0%	11,4%	12,5%	14,3%	15,1%	17,9%	21,6%	24,1%	
40788000	São Joaquim de Bicas (Cemig)	MAX-VII	Paraopeba	5414,2	-33,6%	-2,2%	-0,9%	0,6%	3,0%	3,9%	7,4%	11,8%	14,7%	
40790000	Betim	MAX-VII	Paraopeba	188,3	-9,3%	-12,0%	-16,9%	-18,0%	-17,8%	-17,5%	-16,0%	-13,5%	-11,8%	
40800001	Ponte Nova do Paraopeba	MAX-VII	Paraopeba	5680,4	-28,4%	3,7%	4,7%	6,1%	8,4%	9,4%	13,0%	17,5%	20,6%	
40818000	Juatuba	MAX-VII	Paraopeba	273,0	-41,1%	0,5%	5,4%	8,7%	12,5%	13,8%	18,7%	24,3%	28,1%	
40830000	Fazenda Escola Florestal	MAX-VII	Paraopeba	83,9	70,7%	1,8%	-8,4%	-11,3%	-12,2%	-12,2%	-11,3%	-9,4%	-7,8%	

Desvio percentual entre os quantis calculados pela regionalização e pela análise de frequência pontual

ANEXO K

FOTOS DA CHEIA DE JAN/1997 EM ALGUMAS ESTAÇÕES

Fonte : DNAEE, CPRM. Campanha de medição de
descarga líquida no alto rio São Francisco e rio
Doce em janeiro de 1997. *Relatório Técnico*.
CPRM/BH. Jan/1997

Estação Ponte Raul Soares (41340000) – Base do linígrafo levado pela cheia



Estação Ponte Raul Soares (41340000) – Base do teleférico



Estação de Iguatama (40050000) – Elevação do nível do rio São Francisco



Estação de Velho da Taipa (40330000) – Apoio do cabo permanente de medição danificado pela cheia



Estação Ponte Nova do Paraopeba (40800001) – Teleférico e base danificados pela cheia



Estação Ponte Nova do Paraopeba (40800001) – Estação pluviográfica quase que completamente coberta por sedimentos



ANEXO DE MAPAS

- **MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS**
- **MAPA DE REGIÕES HOMOGÊNEAS PARA AS VAZÕES MÁXIMAS ANUAIS**

