

**RELATÓRIO FINAL
VOLUME II**

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

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

VOLUME II

REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÉDIAS

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

Belo Horizonte, dezembro de 2001

**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 II**

REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÉDIAS

**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 II

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 MÉDIAS DE LONGO TERMO.....	04
3.2 – REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÉDIAS ANUAIS.....	05
3.2.1 – Medida de discordância - DI	08
3.2.2 – Medida de heterogeneidade - H	09
3.2.3 – Teste de aderência - Z.....	10
4 – COLETA E ANÁLISE DOS DADOS BÁSICOS	12
5 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E CLIMÁTICAS	12
6 – REGIONALIZAÇÃO DAS VAZÕES MÉDIAS	15
6.1 – VAZÕES MÉDIAS DE LONGO PERÍODO	15
6.1.1 – Definição da regiões homogêneas	15
6.1.2 – Equações de Regressão	16
6.1.3 – Aplicação dos Resultados	18
6.2 – VAZÕES MÉDIAS ANUAIS	22
6.2.1 – Análise dos dados	22
6.2.2 – Definição das regiões homogêneas.....	22
6.2.3 – Seleção das distribuições de frequência regionais.....	26
6.2.4 – Definição das equações de regressão regionais	27
6.2.5 – Aplicação dos Resultados	31
7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	33
8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

ANEXOS

ANEXO A – MOMENTOS-L: CONCEITOS BÁSICOS

ANEXO B – SÉRIES DE VAZÕES MÉDIAS ANUAIS

ANEXO C – TESTE DE MANN-KENDAL

**ANEXO D – COEFICIENTES DE AUTO-CORRELAÇÃO
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 – GRÁFICOS ENTRE OS VALORES OBSERVADOS e CALCULADOS
PELOS MODELOS DE VAZÕES MÉDIAS DE LONGO TERMO E
VAZÕES MÉDIAS ANUAIS**

ANEXO I – TABELA DA DISTRIBUIÇÃO NORMAL PARAMETRIZADA

ANEXO DE MAPAS

- **MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS**
- **POLÍGONOS DE THIESSEN**
- **MAPA DE REGIÕES HOMOGÊNEAS PARA AS VAZÕES MÉDIAS DE LONGO TERMO**
- **MAPA DE REGIÕES HOMOGÊNEAS PARA AS VAZÕES MÉDIAS 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 – Estações utilizadas na regressão das vazões médias de longo termo

Tabela 6.2 – Matriz de correlação entre as variáveis dos modelos de vazões médias de longo termo

Tabela 6.3 – Modelos de regressão ajustados para as Q_{MLT}

Tabela 6.4 – Séries reunidas para a regionalização das vazões médias anuais

Tabela 6.5 – Estações que formam as regiões homogêneas para as vazões médias anuais

Tabela 6.6 – Valores regionais das razões-L e dos momentos-L

Tabela 6.7 – Resultados do teste de aderência (Z)

Tabela 6.8 – Parâmetros da distribuição Log-Normal por região

Tabela 6.9 – Quantis regionais adimensionalizados

Tabela 6.10 - Matriz de correlação entre as variáveis dos modelos de vazões médias Anuais

Tabela 6.11 - Modelos de regressão ajustados para as Q_{med} Anuais

1 – INTRODUÇÃO

Uma rede hidrometeorológica, ainda que densa, dificilmente atenderá com seus dados às necessidades de informação para a gestão de recursos hídricos, em especial no subsídio à outorga de vazões. Sempre haverá a necessidade de se determinar a disponibilidade hídrica onde se originam as demandas, que muitas vezes são locais sem monitoramento ou com dados constituindo séries de curta duração ou com períodos longos de falhas de observação.

Com a finalidade de se espacializar a informação hidrológica, normalmente pontual (das estações), possibilitando a transferência de informações de uma região para outra, mesmo que não monitorada, mas considerada de comportamento hidrológico semelhante, são utilizadas metodologias denominadas pelo termo regionalização.

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.

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.

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 os parâmetros 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.

Os resultados dos estudos de regionalização das vazões médias de longo termo permitem a avaliação da disponibilidade hídrica máxima de uma bacia, uma vez que a vazão média é a maior vazão que pode ser regularizada. A probabilidade de ocorrência das vazões médias

anuais, apesar de pouco utilizada em projetos hidrológicos, permite indicar os limites de variação dentro de determinados riscos, caracterizando a variabilidade anual.

Este volume apresenta os estudos de regionalização das vazões médias anuais e de longo período 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 regionalização da vazão média de longo termo foi realizada através da análise de regressão com as características fisiográficas e climáticas da região. A metodologia adotada para a regionalização das vazões médias 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

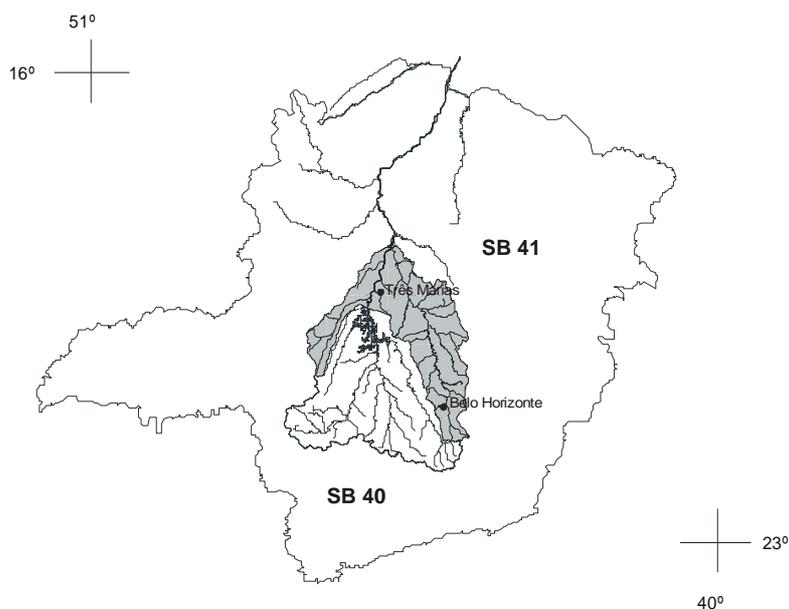


Figura 2.1 – Localização das Sub-bacias 40 e 41 no Estado de Minas Gerias

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

Os estudos de regionalização ora desenvolvidos basearam-se na metodologia consolidada pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, reunida e apresentada em Tucci (2000) .

As metodologias adotadas para as regionalizações da vazão média de longo termo e das vazões médias anuais estão descritas nos próximos itens.

3.1 – REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÉDIAS DE LONGO TERMO

O método consiste na análise de regressão entre as vazões médias de longo termo e as características físicas e meteorológicas de regiões consideradas homogêneas.

A definição das regiões baseia-se na análise dos indicadores hidrológicos regionais como apresentado por Tucci (2000) e no exame de mapas temáticos, tais como, os de geologia, geomorfologia, solos e cobertura vegetal que auxiliariam a definição dos limites dessas regiões.

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 a vazão média de longo termo. 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 as equações de regressão utilizadas para regionalização de vazões médias de longo termo, destacam-se as equações lineares e potenciais. A forma destas equações estão apresentados a seguir:

$$Q_{mlt} = aA + bP + cDD + \dots$$

$$Q_{mlt} = a A^b P^c DD^d \dots$$

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 :

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum (Q_{obs} - Q_{cal})^2}{N - 1}} \quad (3.1.1)$$

Desvios percentuais médios absolutos:

$$DPMA = \frac{\sum \left(\frac{|Q_{obs} - Q_{cal}|}{Q_{obs}} \right)}{N} 100 \quad (3.1.2)$$

onde,

Q_{obs} é a vazão observada,

Q_{cal} é vazão calculada.

3.2 – REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÉDIAS ANUAIS

A regionalização das vazões médias 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:

$$\hat{\mu}_j = f(\text{características da bacia}) \quad (3.2.1)$$

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:

$$X_T = (X/\mu)_T \hat{\mu}_j \quad (3.2.2)$$

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 $r = 2$ e 3 ;
- 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:

$$\bar{l}_r = \frac{\sum_{j=1}^N n_j l_{r,j}}{\sum_{j=1}^N n_j} \quad \text{para } r = 1, 2, 3 \text{ e } 4 \quad (3.2.3)$$

$$\bar{t} = \frac{\sum_{j=1}^N n_j t_j}{\sum_{j=1}^N n_j} \quad (3.2.4)$$

$$\bar{t}_r = \frac{\sum_{j=1}^N n_j t_{r,j}}{\sum_{j=1}^N n_j} \quad \text{para } r = 3 \text{ e } 4 \quad (3.2.5)$$

- 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.

3.2.1 – 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_j um vetor (1x3) contendo essas razões-L, dado por:

$$u_j = \left(t_1^{(j)} \quad t_3^{(j)} \quad t_4^{(j)} \right)^T \quad (3.2.6)$$

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

$$\bar{u} = N^{-1} \sum_{j=1}^N u_j \quad (3.2.7)$$

$$u = \left(t_1^{(R)} \quad t_3^{(R)} \quad t_4^{(R)} \right)^T \quad (3.2.8)$$

Temos que a matriz de covariância amostral é dada por

$$S = (N-1)^{-1} \sum_{j=1}^N (u_j - \bar{u})(u_j - \bar{u})^T \quad (3.2.9)$$

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:

$$D_j = \frac{N}{3(N-1)} \left(u_j - \bar{u} \right)^T S^{-1} \left(u_j - \bar{u} \right) \quad (3.2.10)$$

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 - Di

Nº de locais na região	Di	Nº de locais na região	Di
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)

3.2.2 – 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:

$$V = \frac{\sum_{j=1}^N n_j \left(\bar{x}_j - \bar{x} \right)^2}{\sum_{j=1}^N n_j} \quad (3.2.11)$$

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:

$$f(x) = \alpha^{-1} \left\{ \left[1 - \frac{k(x - \xi)}{\alpha} \right]^{\frac{1}{k}} [F(x)]^{1-h} \right\} \quad (3.2.12)$$

$$F(x) = \left\{ 1 - h \left[1 - \frac{k(x - \xi)}{\alpha} \right]^{\frac{1}{k}} \right\}^{\frac{1}{h}} \quad (3.2.13)$$

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\frac{1 - (F(x))^h}{h} \right]^k \right\} \quad (3.2.14)$$

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 (3.2.8), 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} :

$$\mu_{SIM} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{SIM}} V_{SIM}}{N_{SIM}} \quad (3.2.15)$$

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

$$H = \frac{V - \mu_{SIM}}{\sigma_{SIM}} \quad (3.2.16)$$

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

$$\sigma_{SIM} = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^{N_{SIM}} (V_{SIM} - \mu_{SIM})^2}{N_{SIM} - 1}} \quad (3.2.17)$$

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"

3.2.3 – 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: l , \bar{t} , \bar{t}_3 e \bar{t}_4 . Denote por τ_4^{DIST} 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 $\bar{t}_3^{-(m)}$, e a curtose-L regional $\bar{t}_4^{-(m)}$, para a $m^{ésima}$ região simulada;"

(vi) "calcule a medida de tendenciosidade de \bar{t}_4 , σ_4 :"

$$\tau_4 = (N_{SIM})^{-1} \sum_{m=1}^{N_{SIM}} (\bar{t}_4^{-(m)} - \bar{t}_4) \quad (3.2.18)$$

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

$$\sigma_4 = \sqrt{(N_{SIM})^{-1} \left[\sum_{m=1}^{N_{SIM}} (\bar{t}_4^{-(m)} - \bar{t}_4)^2 - N_{SIM} \tau_4^2 \right]} \quad (3.2.19)$$

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

$$Z^{DIST} = \frac{(\tau_4^{DIST} - \bar{t}_4 + \beta_4)}{\sigma_4} \quad (3.2.20)$$

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

(x) "plote a curva de frequência 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."

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 fisiográficas e climáticas da região em estudo estão descritas em detalhes no Volume I mencionado acima, 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. O mapa com os polígonos de Thiessen também faz parte do Anexo de Mapas deste volume.

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)	Area (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 Suaçuí 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	194,6	1,09	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 MÉDIAS

6.1 - VAZÃO MÉDIA DE LONGO PERÍODO

6.1.1 Definição das regiões homogêneas

Os dados das 90 estações apresentadas na Tabela 5.1 foram submetidos ao teste de Mann-Kendal para verificar a estacionaridade das séries. As séries reprovadas foram eliminadas da amostra. Assim, foi possível utilizar as informações das 85 estações apresentadas na Tabela 6.1. Os resultados do teste estão apresentados no Anexo C.

Para a definição das regiões homogêneas levou-se em consideração as características físicas e climáticas da área em estudo. Foram analisadas as isoietas relativas às médias anuais dos anos hidrológicos de 1964 a 1991, bem como a classificação climática constante no Volume I deste relatório.

Em uma primeira análise, foram plotadas as médias de longo período de todas as estações intervenientes, em relação as suas respectivas áreas. Obteve-se o ajuste de uma reta com coeficiente de determinação bastante alto, mas que apresentava diversas tendências, ora acima, ora abaixo da mesma, além do desvio significativo de várias estações.

Procurou-se então agrupá-las, considerando as características físicas e climáticas e as tendências observadas em relação à reta de regressão relativa a todas as estações. Várias simulações foram realizadas até a obtenção de grupos de estações que apresentavam os menores desvios dos pontos em relação às retas de regressão correspondentes. A análise de indicadores regionais está apresentada no Anexo E.

Obteve-se como resultado a definição de cinco regiões descritas a seguir:

REGIÃO A: Alto São Francisco

Região que abrange a cabeceira do rio São Francisco e seus afluentes até o ribeirão Jorge Grande, cuja bacia está incluída até a estação Taquaral, código 40080000. As estações representativas desta região estão apresentadas na Tabela 6.1.

REGIÃO B: Região do Alto Pará

Área que abrange as nascentes do rio Pará e seus afluentes até o rio Lambarí, cuja bacia está incluída até a estação Álvaro da Silveira, código 40400000. As estações representativas desta região estão apresentadas na Tabela 6.1.

REGIÃO C: Região do Alto Paraopeba, Alto rio das Velhas e do rio Cipó.

Região representada pela bacia do rio Paraopeba, incluindo seus afluentes localizados a montante da serra dos Dois Irmãos, a bacia do rio das Velhas até a bacia do rio Arrudas, além das bacias dos rios Taquaraçu e Cipó, além das cabeceiras do rio Paraúna. As estações representativas desta região estão apresentadas na Tabela 6.1.

REGIÃO D: Bacia do Baixo rio das Velhas

Região que abrange toda a bacia do rio das Velhas a jusante da bacia do rio Jequitibá, excluindo a bacia do rio Cipó, e que inclui toda a área a jusante da barragem de Três Marias, excluindo a bacia do rio Abaeté. As estações que representam esta região estão apresentadas na Tabela 6.1.

REGIÃO E: Região do Médio São Francisco e Médio Velhas.

Toda a região restante, que inclui parcela da bacia do rio São Francisco, Paraopeba, ao norte da serra dos dois Irmãos, do rio das Velhas em sua porção média, além das bacias dos rios Indaiá, Borrachudo e Abaeté. As estações representativas desta região estão listadas na Tabela 6.1.

O Anexo de Mapas apresenta o mapa de regiões homogêneas para as vazões médias de longo termo.

6.1.2 Equações de Regressão

Uma vez definidas as regiões de comportamento homogêneo em relação às vazões médias de longo termo, foram calculadas as equações de regressão relativas a esta variável, em função das características físicas e da precipitação média da bacia.

Foi adotada a equação não linear do tipo:

$$Q = Cx_1^{a_1} \cdot x_2^{a_2} \dots x_n^{a_n} \quad (6.1.2.1)$$

Onde x_1, x_2, \dots, x_n são as variáveis independentes e C, a_1, a_2, \dots, a_n são parâmetros.

As variáveis independentes adotadas para representar as características físicas da bacia foram:

A, a área de drenagem da bacia, dada em km^2

L, o comprimento do talvegue principal, dado em km

I, a declividade do curso d' água em m/km

A variável climática adotada foi:

P, a precipitação média anual da bacia, dada em m.

Para cada região foi inicialmente calculada a matriz de correlação com a finalidade de se avaliar as correlações parciais entre as variáveis. Observou-se que, de um modo geral, para todas as regiões, a maior correlação se verifica entre a vazão e a área, observando-se também, com exceção da região D, correlação considerável entre a área e o comprimento principal do talvegue.

A matriz de correlação entre as variáveis está apresentada na tabela 6.2.

Foram realizados experimentos adotando todas as possibilidades possíveis de permutação entre as variáveis independentes, mantendo-se sempre a área e a precipitação, com o objetivo de se obter a melhor equação de regressão ou seja, aquela que apresenta o melhor coeficiente de determinação, associado ao menor erro padrão e menor número de variáveis.

Para o resultado de cada simulação foram examinadas as relações entre os resíduos e cada uma das variáveis intervenientes, para verificar a inexistência de alguma tendência entre os mesmos. Também foram aplicados os testes mencionados no item 3.1 com um nível de significância de 5%.

Utilizou-se a estatística F, para um nível de significância de 5%, para determinar se as correlações obtidas ocorreram por acaso. Verificou-se que todas as correlações obtidas foram aprovadas neste teste.

Os resumos dos resultados obtidos estão apresentados na Tabela 6.3. O modelo adotado para cada região foi selecionado levando em consideração as estatísticas apresentadas e estão hachurados na Tabela 6.3.

As equações adotadas com respectivos limites inferiores de área de drenagem amostrada em cada região foram as seguintes:

a) REGIÃO A - Alto São Francisco

$$Q_{mlt} = 0,0092A^{0,9713}P^{2,2470} \quad (A > 259 \text{ Km}^2) \quad (6.1.2.2)$$

b) REGIÃO B - Alto Pará

$$Q_{mlt} = 0,0281A^{0,9170} \quad (A > 144 \text{ Km}^2) \quad (6.1.2.3)$$

c) REGIÃO C - Alto Paraopeba, Alto Velhas e Cipó

$$Q_{mlt} = 0,0212A^{0,9733} \quad (A > 85 \text{ Km}^2) \quad (6.1.2.4)$$

d) REGIÃO D - Baixo rio das Velhas

$$Q_{mlt} = 0,0077A^{1,0508} \quad (A > 460 \text{ Km}^2) \quad (6.1.2.5)$$

e) REGIÃO E - Médios São Francisco, Velhas, Pará e Paraopeba

$$Q_{mlt} = 0,0040A^{1,0141}P^{3,2943} \quad (A > 84 \text{ Km}^2) \quad (6.1.2.6)$$

onde,

Q_{mlt} é vazão média de longo termo em m³/s

A é a área de drenagem em km²

P é a precipitação anual média em m

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

6.1.3 Aplicação dos resultados

Utilizando-se as equações regionais de regressão e o mapa das regiões é possível estimar a vazão média de longo período ao longo de qualquer curso d'água inserido na área em estudo.

Para exemplificar a aplicação dos resultados deste estudo de regionalização, resolveremos o seguinte problema:

Suponhamos que se deseja calcular a vazão média de longo período no rib. dos Paulos, na localidade de Curralinho dos Paulos.

Para se obter esta informação deve-se realizar as seguintes etapas:

- a) determinar em qual região está localizado o ribeirão dos Paulos;
- b) determinar a área de drenagem do ribeirão até a localidade onde se deseja estimar a vazão média de longo período;
- c) aplicar a equação de regressão correspondente a esta região.

Verifica-se que a localidade, onde se deseja estimar a vazão média de longo termo, está inserida na região C, e que a equação de regressão correspondente (6.1.2.4) é:

$$Q_{mlt} = 0,0212 A^{0,9733}$$

A área de drenagem foi calculada em 220 km².

Assim a vazão média de longo período nesta localidade corresponde a:

$$Q_{mlt} = 0,0212 \cdot 220^{0,9733}$$

$$Q_{mlt} = 4,04\text{m}^3/\text{s}$$

$$Q_{esp} = 18,4\text{l/skm}^2$$

Estações da Região A	
40025000	Vargem Bonita
40032000	Fazenda Samburá
40035000	Fazenda Samburá
40037000	Fazenda da Barra
40040000	Fazenda Ajudas
40046000	Porto Sabino
40050000	Iguatama
40053000	Calciolândia
40056002	Fazenda Capoeirão
40056200	Mont. do Bom Sucesso
40056500	Ponte Capoeirão
40060001	Tapiraí Jusante
40067000	Ponte Olegário Maciel
40070000	Ponte do Chumbo
40080000	Taquaral
Estações Região B	
40130000	Ponte do Vilela
40150000	Carmo do Cajuru
40160000	Lamounier
40170000	Marilândia (Ponte Br-494)
40180000	Carmo da Mata
40185000	Pari
40190002	Divinópolis
40300001	Jaguaruna Jusante
40330000	Velho da Taipa
40350000	Usina Camarão
40380000	Araújos
40400000	Estação Álvaro da Silveira
Estações da Região C	
40540000	Jurema
40549998	S. Brás do Suaçuí Mont.
40573000	Joaquim Murinho
40577000	Ponte Jubileu
40579995	Congonhas Linígrafo
40665000	Usina João Ribeiro
40680000	Entre Rios de Minas
40700002	Jeceaba
40710000	Belo Vale
40720002	Melo Franco
40740000	Alberto Flores
40770000	Conceição do Itaguá
41151000	Fazenda Água Limpa Jusante
41160000	Gulpiara
41180000	Itabirito Linígrafo
41190000	Aguiar Moreira

Cont. da Região C	
41199998	Honório Bicalho -Montante
41220000	Siderúrgica
41230000	Sabará
41242100	General Carneiro
41295000	José de Melo
41300000	Taquaraçu
41700001	Usina Paraúna
41715000	Faz. Cachoeira
41720000	Faz. do Cipó
41780002	Presidente Juscelino

Estações da Região D	
41135000	Pirapora Barreiro
41410000	Jequitibá
41539998	Faz. da Contagem Montante
41600000	Pirapama
41650002	Ponte do Licínio Jusante
41818000	Santo Hipólito
41890000	Estação de Curimataí
41940000	Ponte do Bicudo
41990000	Várzea da Palma

Estações da Região E	
40100000	Porto das Andorinhas
40102000	Porto da Barra
40450001	Porto Pará (CEMIG)
40500000	Martinho Campos
40530000	Abaeté
40535000	Barra do Paraopeba
40788000	São Joaquim de Bicas (CEMIG)
40790000	Betim
40800001	Ponte Nova do Paraopeba
40818000	Juatuba
40830000	Fazenda Escola Florestal
40850000	Ponte da Taquara
40865001	Porto do Mesquita (CEMIG)
40930000	Barra do Funchal
40960000	Fazenda Bom Jardim
40963000	Porto Indaiá (CEMIG)
40975000	Fazenda São Félix
41050000	Major Porto
41075001	Porto do Passarinho
41090000	Canoeiros
41250000	Vespasiano
41260000	Pinhões
41340000	Ponte Raul Soares

Tabela 6.1 - Estações utilizadas na regressão da vazão média de longo termo.

Região A - Alto São Francisco

	Q_{mlt} (m ³ /s)	Área(km ²)	$P_{médio}$ (m)	L (Km)	$I_{equiv.}$ (m/km)
Q_{mlt} (m ³ /s)	1				
Área(km ²)	0,99814	1			
$P_{médio}$ (m)	-0,14090	-0,15959	1		
L (km)	0,98676	0,98495	-0,14430	1	
$I_{equiv.}$ (m/km)	-0,71181	-0,71212	0,54072	-0,71740	1

Região B - Alto Pará

	Q_{mlt} (m ³ /s)	Área(km ²)	$P_{médio}$ (m)	L (Km)	$I_{equiv.}$ (m/km)
Q_{mlt} (m ³ /s)	1				
Área(km ²)	0,99838	1			
$P_{médio}$ (m)	-0,10063	-0,120989	1		
L (Km)	0,86980	0,86817	-0,30500	1	
$I_{equiv.}$ (m/km)	-0,61426	-0,59533	0,03185	-0,77557	1

Região C - Alto rios Paraopeba, Velhas e rio Cipó

	Q_{mlt} (m ³ /s)	Área(km ²)	$P_{médio}$ (m)	L (Km)	$I_{equiv.}$ (m/km)
Q_{mlt} (m ³ /s)	1				
Área(km ²)	0,99319	1			
$P_{médio}$ (m)	-0,25007	-0,23858	1		
L (Km)	0,884997	0,91787	-0,11767	1	
$I_{equiv.}$ (m/km)	-0,195187	-0,19434	0,38040	-0,20480	1

Região D - Baixo rio das Velhas

	Q_{mlt} (m ³ /s)	Área(km ²)	$P_{médio}$ (m)	L (Km)	$I_{equiv.}$ (m/km)
Q_{mlt} (m ³ /s)	1				
Área(km ²)	-0,58027	1			
$P_{médio}$ (m)	-0,53065	0,997228	1		
L (Km)	-0,75721	0,395024	0,37361	1	
$I_{equiv.}$ (m/km)	0,237444	0,97923	0,963519	0,317223	1

Região E - Médios São Francisco - Pará - Paraopeba - Velhas

	Q_{mlt} (m ³ /s)	Área(km ²)	$P_{médio}$ (m)	L (Km)	$I_{equiv.}$ (m/km)
Q_{mlt} (m ³ /s)	1				
Área(km ²)	0,996636	1			
$P_{médio}$ (m)	-0,06734	-0,10667	1		
L (Km)	0,9424	0,940838	0,005743	1	
$I_{equiv.}$ (m/km)	-0,51794	-0,51605	-0,07164	-0,59592	1

Tabela 6.2 - Matriz de correlação entre as variáveis dos modelos de vazões médias de longo termo.

Região A - Alto São Francisco

Nº V.	Modelo	R ² ajust	F	F _{crit.}	E. P.
4	$Q_{mlt} = 0,0115.A^{0,8970} \cdot P^{2,7834} \cdot L^{0,0185} \cdot I^{-0,0979}$	0,9740	132,08	3,47	1,2273
3	$Q_{mlt} = 0,0085.A^{0,9148} \cdot P^{2,2481} \cdot L^{0,1080}$	0,9753	184,99	3,58	1,2212
2	$Q_{mlt} = 0,0092.A^{0,9713} \cdot P^{2,2470}$	0,9703	298,74	3,88	1,2123
1	$Q_{mlt} = 0,0263.A^{0,9639}$	0,9656	394,10	4,66	1,2657

Região B - Alto Pará

Nº V.	Modelo	R ² ajust	F	F _{crit.}	E. P.
4	$Q_{mlt} = 0,0239.A^{0,9359} \cdot P^{0,2189} \cdot L^{-0,0154} \cdot I^{0,0207}$	0,9956	624,94	4,12	1,0744
3	$Q_{mlt} = 0,0265A^{0,9355} \cdot P^{0,1714} \cdot L^{-0,0324}$	0,9961	948,82	4,06	1,0696
2	$Q_{mlt} = 0,0246.A^{0,9177} \cdot P^{0,3348}$	0,9965	1571,35	4,25	1,0661
1	$Q_{mlt} = 0,0281.A^{0,9170}$	0,9968	3433,11	4,96	1,0632

Região C - Alto Paraopeba, Alto Velhas e rio Cipó

Nº V.	Modelo	R ² ajust	F	F _{crit.}	E. P.
4	$Q_{mlt} = 0,0147.A^{0,9124} \cdot P^{0,8844} \cdot L^{-0,1180} \cdot I^{-0,0231}$	0,9696	208,52	2,81	1,2041
3	$Q_{mlt} = 0,0140A^{0,9142} \cdot P^{0,7266} \cdot L^{0,1342}$	0,9707	288,47	3,02	1,2000
2	$Q_{mlt} = 0,0141.A^{0,9864} \cdot P^{0,8788}$	0,9705	428,53	3,40	1,2008
1	$Q_{mlt} = 0,0212.A^{0,9733}$	0,9700	842,071	4,24	1,2026

Região D - Baixo rio das Velhas

Nº V.	Modelo	R ² ajust	F	F _{crit.}	E. P.
4	$Q_{mlt} = 0,0067.A^{1,1536} \cdot P^{0,7465} \cdot L^{-0,1752} \cdot I^{-0,0465}$	0,9884	150,72	9,11	1,8617
3	$Q_{mlt} = 0,00619A^{1,14996} \cdot P^{0,7170} \cdot L^{-0,1509}$	0,9913	267,62	6,59	1,1442
2	$Q_{mlt} = 0,00741.A^{1,0381} \cdot P^{0,5385}$	0,9954	857,61	5,14	1,1168
1	$Q_{mlt} = 0,0077.A^{1,0508}$	0,9953	1704,27	5,59	1,1171

Região E - Médio rios São Francisco, Velhas, Pará e Paraopeba

Nº V.	Modelo	R ² ajust	F	F _{crit.}	E. P.
4	$Q_{mlt} = 0,0029.A^{1,0150} \cdot P^{3,1817} \cdot L^{0,0713} \cdot I^{0,0812}$	0,9961	1346,87	2,96	1,0980
3	$Q_{mlt} = 0,0041A^{0,9794} \cdot P^{3,1666} \cdot L^{0,0568}$	0,9958	1653,61	3,16	1,1023
2	$Q_{mlt} = 0,0040.A^{1,0141} \cdot P^{3,2943}$	0,9964	3080,68	19,00	1,0978
1	$Q_{mlt} = 0,0141.A^{1,0132}$	0,9893	2044,29	4,30	1,1752

Tabela 6.3 – Modelos de regressão ajustados para a Q_{MLT}

6.2 – VAZÕES MÉDIAS ANUAIS

6.2.1 – Análise dos dados

A primeira etapa consistiu na montagem das séries de vazões médias anuais referentes ao ano hidrológico da região em estudo, que inicia em outubro e finaliza em setembro. Foram reunidas séries de 90 estações com um período de observação variando de 5 a 61 anos, conforme está apresentado na Tabela 6.4. 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 no Anexo C.

A seguir foram calculados os coeficientes de auto-correlação das séries para verificar a independência serial e montada a matriz de correlação entre as estações para verificar a independência espacial. O Anexo D apresenta os resultados obtidos.

Como algumas séries não foram consideradas estacionárias não foi possível trabalhar com todas elas. No caso da análise de frequência regional utilizou-se as séries com mais de 10 anos de observações totalizando 69 estações, as quais estão apresentadas na Tabela 6.5.

6.2.2 – Definição das regiões homogêneas

As regiões homogêneas foram definidas a partir da análise das informações fisiográficas e climatológicas da bacia, além do uso de informações estatísticas e da utilização da medida de heterogeneidade proposta por Hosking e Wallis (1993). Inicialmente foi realizada uma análise dos indicadores regionais e o coeficiente de escoamento, conforme está apresentado no Anexo E. Esta análise permitiu a definição de 5 regiões. A seguir foram plotadas as curvas empíricas adimensionais para verificação destas regiões. O fator de adimensionalização utilizado foi a média das séries. Ao final desta etapa optou-se por criar mais uma região. As curvas plotadas constam 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 6 regiões definidas na primeira parte deste item. 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. Ressalta-se porém que a região I (Alto rio das Velhas e Paraopeba) e a região IV (Bacia do rio Pará), apresentaram medidas de heterogeneidade negativas, $H = -0,41$ e $-1,05$ respectivamente, indicando uma possível correlação entre os dados da região. Este fato, segundo Hosking e Wallis (1997), desde que os graus de dependência sejam pequenos, não devem ser uma preocupação nas estimativas regionais. O mapa com a delimitação destas regiões está apresentado no Anexo de Mapas. As descrições das regiões são as seguintes:

REGIÃO I – Alto rio das Velhas e Paraopeba

Esta região compreende as nascentes do rio das Velhas até a estação de Aguiar Moreira, código 41190000 e o Alto rio Paraopeba até a estação de Congonhas-Linígrafo, Código 40579995, englobando o rio Maranhão e as nascentes do rio Paraopeba.

REGIÃO II – Médio rio das Velhas e Paraopeba

A região é formada pela bacia do rio Brumado e a bacia do rio Paraopeba a jusante de Congonhas-Linígrafo, código 40579995, até a estação de Conceição do Itaguá, código 40770000, englobando as bacias dos rios Macaúbas e Manso. Também forma esta região a bacia do rio das Velhas a jusante de Aguiar Moreira, código 40190000, até Ponte Raul Soares, código 41340000, englobando as bacias dos ribeirões Arrudas, Sabará e da Mata, além da bacia do rio Taquaraçu. Esta região apresenta continuidade pela margem direita do rio das Velhas até a estação de Presidente Juscelino, código 41780002, aglutinando as bacias dos rios Jaboticatubas e Cipó.

REGIÃO III- Baixo rio das Velhas

Esta região compreende a margem esquerda da bacia do rio das Velhas a jusante de Ponte Raul Soares, código 41340000, até a foz no encontro com o rio São Francisco. A margem direita da bacia do rio das Velhas passa a compor esta região a jusante da estação de Presidente Juscelino, código 41780002, na bacia do rio Cipó. Também compõe esta região a bacia do rio São Francisco a jusante da barragem de Três Marias, excluindo a bacia do rio Abaeté.

REGIÃO IV – Rio Pará

Esta região é formada por toda bacia do rio Pará até a foz, no encontro com rio São Francisco.

REGIÃO V – Alto rio São Francisco

Refere-se ao Alto São Francisco, compreendendo a área de drenagem do rio São Francisco até localidade de Iguatama, acrescida das nascentes dos rios Bambuí e Perdição.

REGIÃO VI – Médio São Francisco, Indaiá, Borrachudo, Abaeté e baixo Paraopeba

A região é formada pelas bacias dos rios Abaeté, Borrachudo e Indaiá, além da bacia do rio São Francisco a jusante de Iguatama, excluindo a bacia do rio Pará e a parcela da bacia do rio Bambuí pertencente à região V. A bacia do rio Paraopeba, a jusante da confluência com o rio Manso, também pertence a este grupo.

A Tabela 6.5 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	37
2	40032000	Fazenda Samburá	Samburá	68/69 a 93/94	24
3	40035000	Fazenda Samburá	Santo Antônio	39/40 a 45/46	7
4	40037000	Fazenda da Barra	Santo Antônio	67/68 a 98/99	26
5	40040000	Fazenda Ajudas	Ajudas	66/67 a 98/99	32
6	40046000	Porto Sabino	São Francisco	43/44 a 55/56	10
7	40050000	Iguatama	São Francisco	35/36 a 98/99	57
8	40053000	Calciolândia	São Miguel	66/67 a 98/99	31
9	40056002	Fazenda Capoeirão	BambuÍ	39/40 a 60/61	22
10	40056200	Mont. Bom Sucesso	BambuÍ	75/76 a 90/91	13
11	40056500	Ponte Capoeirão	BambuÍ	43/44 a 67/68	15
12	40060001	Tapirai - Jusante	Perdição	39/40 a 98/99	49
13	40067000	Ponte Olegário Maciel	São Francisco	39/40 a 64/65	10
14	40070000	Ponte do Chumbo	São Francisco	68/69 a 98/99	25
15	40080000	Taquaral	Jorge Grande	68/69 a 98/99	31
16	40100000	Porto das Andorinhas	São Francisco	58/59 a 98/99	41
17	40102000	Porto da Barra	São Francisco	39/40 a 64/65	23
18	40130000	Ponte do Vilela	Pará	38/39 a 78/79	16
19	40150000	Carmo do Cajuru	Pará	36/37 a 98/99	58
20	40160000	Lamounier	Gama	38/39 a 46/47	9
21	40170000	Marilândia	Itapecerica	67/68 a 98/99	28
22	40180000	Carmo da Mata	Boa Vista	38/39 a 60/61	12
23	40185000	Pari	Itapecerica	73/74 a 98/99	26
24	40190002	Divinópolis	Itapecerica	36/37 a 76/77	19
25	40300001	Jaguaruna - Jusante	São João	45/46 a 98/99	25
26	40330000	Velho da Taipa	Pará	43/44 a 98/99	48
27	40350000	Usina Camarão	Lambari	38/39 a 88/89	15
28	40380000	Araújos	Lambari	43/44 a 79/80	19
29	40400000	Est. Álvaro da Silveira	Lambari	36/37 a 97/98	42
30	40450001	Porto Pará	Pará	39/40 a 94/95	46
31	40500000	Martinho Campos	Picão	73/74 a 98/99	22
32	40530000	Abaeté	Marmelada	73/74 a 94/95	22
33	40535000	Barra do Paraopeba	São Francisco	43/44 a 53/54	7
34	40540000	Jurema	Paraopeba	38/39 a 50/51	8
35	40549998	S. Brás do Suaçuí Montante	Paraopeba	56/57 a 98/99	35
36	40573000	Joaquim Murtinho	Bananeiras	46/47 a 64/65	16
37	40577000	Ponte Jubileu	Soledade	42/43 a 64/65	22
38	40579995	Congonhas - Linígrafo	Maranhão	38/39 a 98/99	45
39	40665000	Usina João Ribeiro	Camapuã	38/39 a 84/85	31
40	40680000	Entre Rios de Minas	Brumado	38/39 a 98/99	55
41	40700002	Jeceaba	Paraopeba	43/44 a 55/56	13
42	40710000	Belo Vale	Paraopeba	65/66 a 89/90	25
43	40720002	Melo Franco	Paraopeba	36/37 a 50/51	15
44	40740000	Alberto Flores	Paraopeba	67/68 a 98/99	29
45	40770000	Conceição do Itaguá	Manso	66/67 a 87/88	16

	Código	Estação	Nome do Curso d'água	Período Ano hidrológico	Nº de anos utilizados
46	40788000	São Joaquim de Bicas	Paraopeba	82/83 a 94/95	12
47	40790000	Betim	Betim	38/39 a 64/65	24
48	40800001	Ponte Nova do Paraopeba	Paraopeba	38/39 a 98/99	61
49	40818000	Juatuba	Serra Azul	42/43 a 64/65	23
50	40830000	Fazenda Escola Florestal	Florestal	47/48 a 62/63	14
51	40850000	Ponte Taquara	Paraopeba	67/68 a 98/99	30
52	40865001	Porto do Mesquita	Paraopeba	77/78 a 94/95	18
53	40930000	Barra do Funchal	Indaiá	40/41 a 90/91	25
54	40960000	Fazenda Bom Jardim	Indaiá	72/73 a 92/93	21
55	40963000	Porto Indaiá	Indaiá	77/78 a 94/95	18
56	40975000	Faz. São Félix	Borrachudo	68/69 a 97/98	23
57	41050000	Major Porto	Areado	68/69 a 98/99	31
58	41075001	Porto Passarinho	Abaeté	76/77 a 98/99	18
59	41090000	Canoeiros	Abaeté	66/67 a 74/75	8
60	41350000	Pirapora-Barreiro	São Francisco	43/44 a 98/99	42
61	41151000	Fazenda Água Limpa Jusante	Velhas	56/57 a 98/99	36
62	41160000	Gulpiara	Velhas	30/31 a 40/41	7
63	41180000	Itabirito-Linígrafo	Sardinha	66/67 a 98/99	31
64	41190000	Aguiar Moreira	Itabirito	28/29 a 41/42	5
65	41195000	Rio Acima	Velhas	26/27 a 44/45	19
66	41199998	Honório Bicalho Montante	Velhas	71/72 a 98/99	28
67	41220000	Siderúrgica	Sabará	41/42 a 57/58	5
68	41230000	Sabará	Velhas	40/41 a 52/53	9
69	41242100	General Carneiro	Arrudas	39/40 a 54/55	7
70	41250000	Vespasiano	da Mata	39/40 a 98/99	47
71	41260000	Pinhões	Velhas	80/81 a 98/99	19
72	41295000	José de Melo	Vermelho	41/42 a 64/65	24
73	41300000	Taquaraçu	Taquaraçu	43/44 a 98/99	53
74	41340000	Ponte Raul Soares	Velhas	38/39 a 98/99	53
75	41380000	Ponte Preta	Jaboticatubas	46/47 a 98/99	50
76	41410000	Jequitibá	Velhas	66/67 a 98/99	34
77	41440005	Represa Jusante	Jequitibá	67/68 a 98/99	31
78	41539998	Fazenda Contagem Montante	Jequitibá	66/67 a 98/99	33
79	41600000	Pirapama	Velhas	56/57 a 98/99	31
80	41650002	Ponte do Licínio Jusante	Velhas	57/58 a 98/99	33
81	41685000	Ponte do Picão	Picão	67/68 a 98/99	29
82	41700001	Usina Paraúna	Paraúna	59/60 a 84/85	28
83	41715000	Fazenda Cachoeira	Riachinho	42/43 a 51/52	5
84	41720000	Fazenda Cipó	Cipó	39/40 a 61/62	21
85	41780002	Presidente Juscelino Jusante	Paraúna	74/75 a 98/99	24
86	41818000	Santo Hipólito	Velhas	43/44 a 98/99	49
87	41880000	Buenópolis	Pedras	42/43 a 64/65	21
88	41890000	Estação Curimataí	Curimataí	72/73 a 98/99	26
89	41940000	Ponte do Bicudo	Bicudo	73/74 a 96/97	20
90	41990000	Várzea da Palma	Velhas	39/40 a 98/99	57

Tabela 6.4 - Séries reunidas para a regionalização das vazões médias anuais

Região I		40185000	Pari
40549998	São Brás do Suaçuí Montante	40190002	Divinópolis
40573000	Joaquim Murtinho	40300001	Jaguaruna Jusante
40577000	Ponte Jubileu	40330000	Velho da Taipa
40579995	Congonhas Linígrafo	40350000	Usina Camarão
41151000	Fazenda Água Limpa Jusante	40380000	Araújos
41180000	Itabirito Linígrafo	40400000	Estação Álvaro da Silveira
Região II		40450001	Porto Pará
40665000	Usina João Ribeiro	40500000	Martinho Campos
40680000	Entre Rios de Minas	Região V	
40700002	Jeceaba	40025000	Vargem Bonita
40710000	Belo Vale	40032000	Fazenda Samburá
40720002	Melo Franco	40037000	Fazenda da Barra
40770000	Conceição do Itaguá	40040000	Fazenda Ajudas
41199998	Honório Bicalho-Montante	40046000	Porto Sabino
41260000	Pinhões	40050000	Iguatama
41295000	José de Melo	40056002	Fazenda Capoeirão
41300000	Taquaraçu	Região VI	
41340000	Ponte Raul Soares	40053000	Calciolândia
41380000	Ponte Preta	40067000	Ponte Olegário Maciel
41700001	Usina Paraúna	40070000	Ponte do Chumbo
41720000	Fazenda do Cipó	40080000	Taquaral
41780002	Presidente Juscelino	40100000	Porto das Andorinhas
Região III		40102000	Porto da Barra
41135000	Pirapora-Barreiro	40530000	Abaeté
41410000	Jequitibá	40788000	São Joaquim de Bicas (CEMIG)
41539998	Faz. Contagem Montante	40790000	Betim
41600000	Pirapama	40800001	Ponte Nova do Paraopeba
41650002	Ponte do Licínio Jusante	40818000	Juatuba
41818000	Santo Hipólito	40850000	Ponte da Taquara
41880000	Buenópolis	40865001	Porto do Mesquita (CEMIG)
41890000	Estação de Curimataí	40930000	Barra do Funchal
41990000	Várzea da Palma	40960000	Fazenda Bom Jardim
Região IV		40963000	Porto Indaiá (CEMIG)
40130000	Ponte do Vilela	40975000	Fazenda São Félix
40150000	Carmo do Cajuru	41050000	Major Porto
40170000	Marilândia	41075000	Porto Passarinho
40180000	Carmo da Mata		

Tabela 6.5 - Estações que formam as regiões homogêneas para as vazões médias anuais

6.2.3 – 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, Generalizada de Valores Extremos, Generalizada de Pareto, Generalizada Normal e Pearson tipo III, 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 6.6 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)
I	1	0,1534	0,1534	0,1621	0,1059
II	1	0,1742	0,1742	0,1436	0,1474
III	1	0,1945	0,1945	0,1794	0,1321
IV	1	0,1777	0,1777	0,1679	0,1297
V	1	0,1685	0,1685	0,0996	0,0938
VI	1	0,1925	0,1925	0,1356	0,1479

Tabela 6.6 – Valores Regionais das Razões-L e dos momentos-L .

Em todas as regiões a distribuição Log-Normal, ou Generalizada Normal, apresentou o ajuste adequado segundo os critérios do teste de aderência de Hosking e Wallis (1993), ou seja, se $|Z^{\text{DIST}}| \leq 1,64$. A Tabela 6.7 apresenta os resultados dos testes de aderência para as regiões .

Região	Z
I	1,48
II	-0,51
III	0,71
IV	0,72
V	1,58
VI	-0,68

Tabela 6.7 - Resultados dos testes de aderência (Z).

As funções densidade de probabilidade e de distribuição acumulada da Log-Normal, e inversa da distribuição são apresentados por Hosking (1997) como:

$$f(x) = \frac{e^{ky-y^2/2}}{\alpha\sqrt{2\pi}} \quad y = \begin{cases} -k^{-1} \log\{1 - k(x-\xi)/\alpha\} & k \neq 0 \\ (x-\xi)/\alpha & k = 0 \end{cases} \quad (6.2.1)$$

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

$x(F)$ não apresenta forma analítica explícita.

Φ , é a função de distribuição acumulada da Normal parametrizada.

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

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

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

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:

$$X = \begin{cases} \xi + \alpha(1 - e^{-kZ}) / k & k \neq 0 \\ \xi + \alpha Z & k = 0 \end{cases} \quad (6.2.2)$$

A Tabela da distribuição Normal Parametrizada está apresentada no Anexo I. Os parâmetros da distribuição Log-Normal foram estimados utilizando os momentos-L e as razões-L regionais apresentados na Tabela 6.6. Os parâmetros calculados para as seis regiões encontram-se na Tabela 6.8.

Região	Posição (ξ)	Escala (α)	Forma (k)
I	0,955	0,260	-0,334
II	0,955	0,298	-0,295
III	0,938	0,326	-0,370
IV	0,947	0,300	-0,346
V	0,970	0,294	-0,204
VI	0,953	0,330	-0,279

Tabela 6.8 - Parâmetros da Distribuição Log-Normal por região.

Após a determinação dos parâmetros da distribuição, foram estimados os quantis regionais associados a vários períodos de retorno, de acordo com a equação (6.2.2); os valores obtidos estão apresentados na Tabela 6.9.

Reg.	Tr (anos)							
	1,01	2	5	10	20	25	50	100
I	0,534	0,955	1,208	1,371	1,525	1,573	1,722	1,870
II	0,453	0,955	1,240	1,419	1,586	1,638	1,796	1,951
III	0,429	0,938	1,260	1,473	1,676	1,741	1,941	2,141
IV	0,467	0,947	1,240	1,431	1,612	1,669	1,845	2,019
V	0,425	0,970	1,240	1,401	1,545	1,589	1,720	1,845
VI	0,388	0,953	1,266	1,461	1,642	1,698	1,868	2,034

Tabela 6.9 - Quantis Regionais adimensionalizados.

A escolha pela distribuição Log-Normal nas seis regiões ocorreu pelos bons 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 Blom.

6.2.4 – Definição das equações de regressão regionais

Para cada uma das regiões homogêneas foram realizadas regressões múltiplas entre a vazões médias das séries, 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 6.10, podemos verificar uma forte correlação entre as variáveis explicativas área de drenagem e comprimento do talvegue principal.

As regressões para as regiões foram realizadas com as estações apresentadas na Tabela 6.5. Como a região I apresenta um número reduzido de estações, optou-se por fazer a análise de regressão em conjunto com a II. O mesmo fato ocorreu com a região V, que foi analisada juntamente com a VI.

Os resultados das regressões estão apresentados na Tabela 6.11, 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 6.11, os resultados dos testes mencionados no item 3.1 para um nível de significância de 5% e na análise dos resíduos.

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

a) REGIÕES I e II

$$Q_{med} = 0,0161A^{1,0111} \quad (A > 175 \text{ Km}^2) \quad (6.2.3)$$

b) REGIÃO III

$$Q_{med} = 0,0075A^{1,0552} \quad (A > 148 \text{ Km}^2) \quad (6.2.4)$$

c) REGIÃO IV

$$Q_{med} = 0,0290A^{0,9107} \quad (A > 144 \text{ Km}^2) \quad (6.2.5)$$

d) REGIÕES V e VI

$$Q_{med} = 0,0038A^{0,9971}P^{3,8117} \quad (A > 188 \text{ Km}^2) \quad (6.2.6)$$

onde

Q_{med} (m^3/s) é vazão média anual (ano hidrológico)

A (Km^2) é a área de drenagem

P (m) é a precipitação anual média.

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 H.

REGIÕES I e II

	Q_{med} (m³/s)	Área (Km²)	P_{médio} (m)	I_{equiv.} (m/km)	L (km)
Q_{med} (m³/s)	1				
Área (Km²)	0,9949	1			
P_{médio} (m)	-0,0786	-0,0594	1		
I_{equiv.} (m/km)	-0,5723	-0,5824	0,3363	1	
L (km)	0,9217	0,9453	0,0292	-0,6366	1

REGIÃO III

	Q_{med} (m³/s)	Área (Km²)	P_{médio} (m)	I_{equiv.} (m/km)	L (km)
Q_{med} (m³/s)	1				
Área (Km²)	0,9966	1			
P_{médio} (m)	0,3326	0,2747	1		
I_{equiv.} (m/km)	-0,4734	-0,4463	-0,6189	1	
L (km)	0,9781	0,9636	0,4324	-0,5269	1

REGIÃO IV

	Q_{med} (m³/s)	Área (Km²)	P_{médio} (m)	I_{equiv.} (m/km)	L (km)
Q_{med} (m³/s)	1				
Área (Km²)	0,9983	1			
P_{médio} (m)	-0,1140	-0,1479	1		
I_{equiv.} (m/km)	-0,5172	-0,5080	0,0865	1	
L (km)	0,9382	0,9362	-0,2003	-0,6435	1

REGIÕES V e VI

	Q_{med} (m³/s)	Área (Km²)	P_{médio} (m)	I_{equiv.} (m/km)	L (km)
Q_{med} (m³/s)	1				
Área (Km²)	0,9927	1			
P_{médio} (m)	-0,1614	-0,2236	1		
I_{equiv.} (m/km)	-0,6986	-0,6879	0,3141	1	
L (km)	0,9324	0,9513	-0,2381	-0,7240	1

Tabela 6.10 - Matriz de correlação entre as variáveis dos modelos de vazões médias anuais.

REGIÕES I e II

Nº V.	Modelo	R²_{ajust}	F	F_{crit.}	E. P.
4	$Q_{med} = 0,0857A^{0,9456}P^{0,3987}I^{0,1036}L^{0,1997}$	0,9770	214	3,01	1,1839
3	$Q_{med} = 0,0106A^{1,0332}P^{0,6236}I^{0,0448}$	0,9772	287	3,20	1,1830
2	$Q_{med} = 0,0121A^{1,0158}P^{0,7088}$	0,9782	450	3,55	1,1786
1	$Q_{med} = 0,0161A^{1,0111}$	0,9784	906	4,38	1,1780

REGIÃO III

Nº V.	Modelo	R²_{ajust}	F	F_{crit.}	E. P.
4	$Q_{med} = 0,0057A^{1,2239}P^{0,7642}I^{0,0374}L^{-0,2471}$	0,9956	397	9,12	1,1383
3	$Q_{med} = 0,0089A^{1,0190}P^{0,4985}I^{-0,04382}$	0,9965	673	6,59	1,1217
2	$Q_{med} = 0,0075A^{1,0372}P^{0,5746}$	0,9979	1869	5,14	1,1012
1	$Q_{med} = 0,0075A^{1,0552}$	0,9977	3420	5,59	1,1059

REGIÃO IV

Nº V.	Modelo	R²_{ajust}	F	F_{crit.}	E. P.
4	$Q_{med} = 0,0057A^{0,9049}P^{1,4475}I^{0,2467}L^{0,2303}$	0,9900	297	3,84	1,1132
3	$Q_{med} = 0,0093A^{0,9826}P^{1,4811}I^{0,1474}$	0,9883	338	3,86	1,1231
2	$Q_{med} = 0,0116A^{0,9113}P^{2,4149}$	0,9875	476	4,10	1,1271
1	$Q_{med} = 0,0290A^{0,9107}$	0,9850	787	4,84	2,6777

REGIÕES V e VI

Nº V.	Modelo	R²_{ajust}	F	F_{crit.}	E. P.
4	$Q_{med} = 0,0048A^{0,9471}P^{3,9016}I^{-0,0628}L^{0,0248}$	0,9916	735	2,84	1,1399
3	$Q_{med} = 0,0049A^{0,9614}P^{3,9048}I^{-0,0640}$	0,9919	1025	3,05	1,1366
2	$Q_{med} = 0,0038A^{0,9971}P^{3,8117}$	0,9917	1503	3,42	1,1383
1	$Q_{med} = 0,0206A^{0,9815}$	0,9774	1082	4,26	1,2390

Tabela 6.11 - Modelos de regressão ajustados para Q_{med} Anuais.

6.2.5 – Aplicação dos resultados

Utilizando as equações regionais de regressão, as distribuições Log-Normal ajustadas às regiões homogêneas e o mapa de delimitação dessas regiões é possível determinar a vazão média anual associada a uma probabilidade de ocorrência em qualquer ponto ao longo dos cursos d'água das diferentes regiões homogêneas. Para ilustrar o uso da regionalização das vazões médias anuais resolveremos o seguinte problema:

Suponhamos que se deseja calcular no rib. dos Paulos, na localidade de Curralinho dos Paulos, a vazão anual, referente ao ano hidrológico, com probabilidade de excedência de 5%. As etapas para solução são as seguintes:

a) Definir em qual região homogênea o rib. dos Paulos está localizado.

O rib. dos Paulos está localizado no município de Resende Costa e pertence à bacia do rio Brumado. Analisando o mapa de regiões homogêneas apresentado no Anexo de Mapas, observa-se que este ribeirão está na Região II.

b) Calcular o quantil regional adimensionalizado referente a probabilidade de excedência de 5%, ou seja, um tempo de retorno de 20 anos.

Para isto, basta utilizar a distribuição Log-Normal, equação (6.2.2), com os parâmetros apresentados na Tabela 6.8.

Região	Posição (ξ)	Escala (α)	Forma (k)
II	0,955	0,298	-0,295

$$X = \xi + \alpha(1 - e^{-kZ}) / k$$

Z é a variável reduzida normal, que pode ser obtida em tabelas da distribuição normal parametrizada, conforme está apresentado no Anexo I. O valor de Z é função da probabilidade de não excedência, ou

$$P = 1 - 0,05 = 0,95 \text{ (95\%)}, \text{ que corresponde a um Z igual a } 1,644853$$

Aplicando a equação (6.2.2), temos:

$$X = 0,955 + \{[0,298 \times (1 - \exp(-(-0,295 \times 1,644853)))] / (-0,295)\} = 1,586$$

Este valor também pode ser obtido na Tabela 6.9, considerando o tempo de retorno de 20 anos e a região II.

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

Caso não se disponha de dados no local, é possível fazer a estimativa da média das vazões médias anuais através da equação de regressão da região homogênea. Neste exemplo vamos estimar a vazão com a equação de regressão (6.2.3), referente a região II.

$$Q_{med} = 0,0161A^{1,0111}$$

onde

Q_{med} (m^3/s) é vazão média anual (ano hidrológico); e
 A (Km^2) é a área de drenagem.

Para utilizarmos a equação (6.2.3), é necessário delimitar a área de drenagem do rib. dos Paulos até a localidade de Curralinho dos Paulos.

Neste exemplo, temos:

$$A = 220 \text{ Km}^2$$

$$Q_{med} = 0,0161(220)^{1,0111} = 3,761 \text{ m}^3/s$$

A média das vazões médias anuais é igual a $3,761 \text{ m}^3/s$.

d) Cálculo da vazão associada a uma probabilidade de excedência de 5%.

A estimativa desta vazão é realizada através da equação (3.2.2):

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

$(X/\mu)_T$ é igual a 1,586 e foi calculado no item b)

$\hat{\mu}_j$ é igual a $3,761 \text{ m}^3/s$ e foi calculado no item c)

$$X_T = 1,586 \cdot 3,761 = 5,965 \text{ m}^3/s$$

Assim, a vazão anual no rib. do Paulos em Curralinho dos Paulos, associada a probabilidade de excedência de 5% é igual a $5,965 \text{ m}^3/s$.

7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em relação às vazões médias de longo período, a bacia do rio São Francisco, inserida na área em estudo, apresenta 5 regiões homogêneas, conforme apresentado no Anexo de Mapas. A vazão média de longo período, pode ser satisfatoriamente descrita através de regressão apenas com a área de drenagem em três destas regiões: Região B, Região C e Região D. As vazões médias de longo período das demais regiões são satisfatoriamente avaliadas através de regressão com a área de drenagem e precipitação média anual.

Analisando os indicadores regionais no Anexo E, verificamos que as regiões A – Alto São Francisco e a região C – Alto rios Paraopeba, Velhas e Cipó apresentam maior dispersão na relação entre as vazões médias de longo período e as áreas de drenagem com desvios superiores a 20% em algumas estações. Esta dispersão pode ser explicada pela presença de algumas séries bastante curtas e observadas em um período não representativo da média da região. Verifica-se também que as estações localizadas na cabeceira do rio São Francisco apresentam vazões específicas superiores às observadas nas estações com áreas de drenagem semelhantes localizadas em outras áreas da bacia. Isto poderia indicar a existência de uma região com regime diferenciado, o que não pode ser caracterizado, devido à baixa densidade da rede no local.

Observou-se entretanto, que algumas bacias apresentavam comportamento diferenciado das regiões onde estavam localizadas, como as bacias do ribeirão da Mata e Ribeirão Picão, ambas inseridas na Região E e que apresentam vazões inferiores às calculadas pelo modelo da região. Como não foram constadas 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.

Em relação às vazões médias anuais, a bacia do alto São Francisco, especificamente em sua porção que engloba as sub-bacias 40 e 41, apresenta seis regiões homogêneas em termos de vazões médias anuais, conforme está apresentado no Anexo de Mapas. Todas as regiões têm como distribuição regional a distribuição Log-Normal com três parâmetros e apresentam o parâmetro de forma negativo. Analisando os resultados das razões-L regionais verifica-se que região I apresenta o menor L-CV regional, que é uma medida análoga ao coeficiente de variação, e a região III o maior. Em termos de assimetria-L, a maior é observada na região III e a menor na região V. O fator de adimensionalização, ou seja, a média das séries de vazões médias anuais, pode ser estimado nas regiões I a IV através de equações de regressão, onde a área de drenagem é a única variável explicativa. No caso das regiões V e VI, a área de drenagem e a precipitação média anual são as variáveis explicativas.

Durante os trabalhos observou-se que algumas bacias, pertencentes às regiões homogêneas de vazões médias anuais apresentadas no Anexo de Mapas, mostram um comportamento diferenciado das regiões nas quais estão inseridas. A bacia do ribeirão da Mata, na região II, apresenta vazões específicas menores, bem como as bacias dos rios Picão e Bicudo, afluentes do rio das Velhas, ambas na região III. Na bacia do rio também denominado Picão, afluente do rio Pará, na Região IV, verifica-se o mesmo fenômeno. Como as séries de dados dessas bacias não apresentam maiores problemas, estes fatos parecem indicar a existência de sub-regiões que não podem ser definidas, no momento, por causa da densidade de estações. Assim, recomenda-se maior cautela no uso das informações geradas para estas bacias e aumento da densidade de estações nas mesmas.

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.
- 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 analysis 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 analysis. 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 analysis". 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-UFG. 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	$+\frac{1}{1+k}$	$+\frac{[1 - (1 + k)]}{k}$	$+\left[\frac{1}{k} - \frac{1}{\text{sen}(k)}\right]$	$+\frac{1 - \exp(k^2/2)}{k}$
λ_2	$\frac{1}{(1+k)(2+k)}$	$\frac{(1 - 2^{-k})(1+k)}{k}$	$\frac{k}{\text{sen}(k)}$	$-\frac{e^{k^2/2}}{k} \left[1 - 2\left(-\frac{k}{\sqrt{2}}\right)\right]$
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	$\xi = \lambda_1 - (2+k)\lambda_2$	$\xi = \lambda_1 - \frac{[1 - (1+k)]}{k}$	$\xi = \lambda_1 - \left[\frac{1}{k} - \frac{1}{\text{sen}(k)}\right]$	$\xi = \lambda_1 - \frac{1 - e^{k^2/2}}{k}$
Parâmetro de Escala	$\alpha = (1+k)(2+k)\lambda_2$	$\alpha = \frac{\lambda_2 k}{(1-2^{-k})(1+k)}$	$\alpha = \frac{\lambda_2 \text{sen}(k)}{k}$	$\alpha = \frac{\lambda_2 k \exp(-k^2/2)}{1 - 2(-k^2/\sqrt{2})}$
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

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

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

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

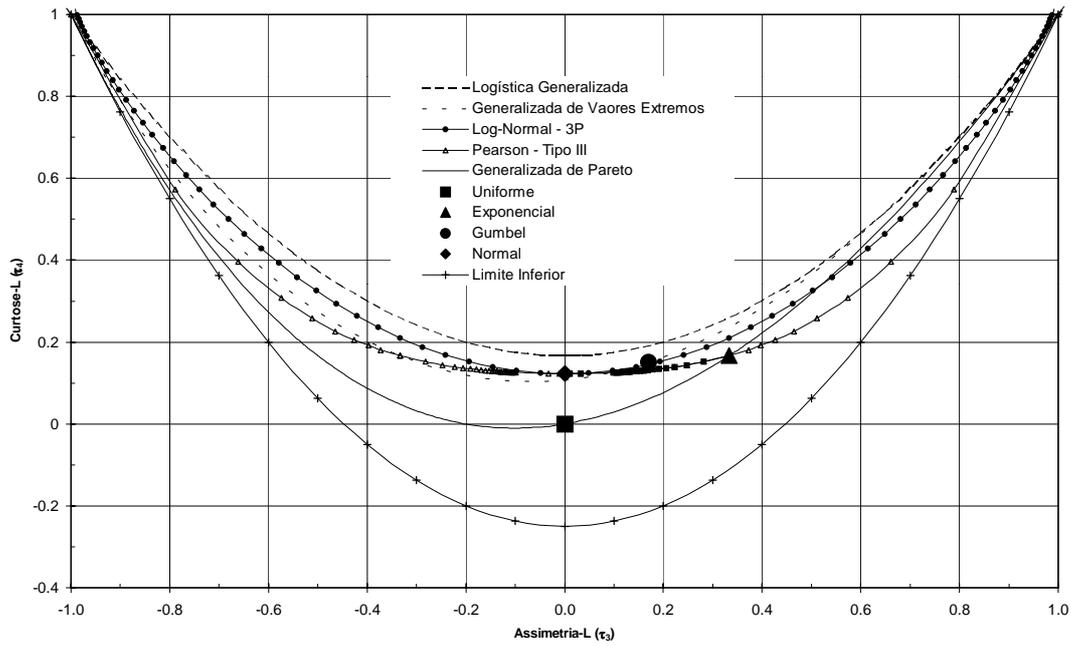


Figura I-1: Diagrama de Momentos-L para Algumas Distribuições de Probabilidades.

(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 MÉDIAS 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	37																			
2	40032000	24																			
3	40035000	7																			
4	40037000	26													17,973	14,229	16,187	19,382	13,030	13,176	19,418
5	40040000	32																			
6	40046000	10																	59,950	61,308	108,800
7	40050000	57									60,708	89,183	131,058		109,475	86,225	91,642	159,658	72,067		
8	40053000	31																			
9	40056002	22													6,258	5,775	6,284	8,615	4,303	6,137	9,524
10	40056200	13																			
11	40056500	15																	5,544	9,515	16,047
12	40060001	49													12,006	11,621	11,042	18,095	8,844	10,797	15,682
13	40067000	10													176,958	148,117	153,608	238,142			
14	40070000	25																			
15	40080000	31																			
16	40100000	41																			
17	40102000	23													244,575	228,108	205,408	363,350	151,700	215,958	321,442
18	40130000	16												47,167	30,858						
19	40150000	58										49,483	64,300	64,458	33,842	43,033	38,683	57,575	37,075	36,833	40,125
20	40160000	9												4,201	2,427	2,982	2,052	5,203	2,171	2,367	2,677
21	40170000	28																			
22	40180000	12												3,755	2,695	2,753	2,815	4,622	2,324	2,543	3,321
23	40185000	26																			
24	40190002	19										32,000	43,913	41,354	24,630	29,717	26,714	46,998	24,910	26,425	30,925
25	40300001	25																			28,083
26	40330000	48																	91,758	94,725	103,700
27	40350000	15												5,369	3,698	4,726	3,250				
28	40380000	19																	18,761		
29	40400000	42										24,421	42,083	42,092	29,617	32,408	23,000	37,592	23,967	26,808	36,350
30	40450001	46													136,810	179,900	142,870	245,690	144,650		
31	40500000	22																			
32	40530000	22																			
33	40535000	7																	335,667		
34	40540000	8												7,055	5,475	7,332	6,407				7,517
35	40549998	35																			
36	40573000	16																			
37	40577000	22																6,544	4,619	4,430	3,776
38	40579995	45											13,647	10,797	11,767	10,603	17,058	11,554	11,129	9,876	
39	40665000	31											4,812	3,331				5,408	4,492	3,564	
40	40680000	55											10,408	8,438	11,116	8,213	15,487	11,464	8,706	7,424	
41	40700002	13																	47,167	45,175	39,650
42	40710000	25																			
43	40720002	15										58,308	73,942	70,833	54,650	66,825	63,158	88,758	65,575	64,708	57,033
44	40740000	29																			
45	40770000	16																			

Vazões Médias 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	37								5,718	9,284	13,860	12,677			9,326	8,489	11,264	7,648		
2	40032000	24																			
3	40035000	7																			
4	40037000	26																			
5	40040000	32																			
6	40046000	10			79,100	111,833	84,808	49,200	44,683	39,350	68,092										
7	40050000	57	137,592	92,050	95,633	96,700	141,717	101,392	60,225	56,042	45,558	74,808	145,117	81,892	83,100				64,167	170,975	156,825
8	40053000	31																			
9	40056002	22	9,757	4,522	4,557	5,162	9,471	9,410	5,578	3,669	3,501	5,763	6,705	6,592	6,078	8,549	11,478				
10	40056200	13																			
11	40056500	15	14,220	7,023	7,520			12,532	7,072	4,606	4,669			10,414	8,239	11,917	15,554				
12	40060001	49				16,481		13,787	7,704			10,536	14,927	12,098	9,725	11,981				17,278	
13	40067000	10			153,842			200,825	89,417									183,942	108,719	308,340	
14	40070000	25																			
15	40080000	31																			
16	40100000	41												150,992	197,792	275,875	223,333	216,100	137,767	348,875	296,333
17	40102000	23	320,583	209,842	227,358	221,075	319,683	317,250	136,725			237,258	177,583	164,275	217,100	299,500	248,917	242,825	153,727	381,893	
18	40130000	16																			30,333
19	40150000	58	43,058	31,425	63,683	48,800	60,992	49,092	26,296	19,658	21,950	30,208	47,267	34,675	22,667	36,658	59,875	25,258	29,967	28,350	51,633
20	40160000	9	3,529																		43,833
21	40170000	28																			
22	40180000	12	3,122	2,113	4,297											3,557					
23	40185000	26																			
24	40190002	19	34,075	26,617	42,592	35,600	36,500	39,650	20,492					13,291	10,544						
25	40300001	25		23,719	43,631	22,228	25,013	26,672	17,853	12,399	11,535	17,452									
26	40330000	48	109,158	88,800	161,025	108,758								78,058	55,958	75,717	121,642	71,000	81,833	60,800	125,050
27	40350000	15																			115,808
28	40380000	19		17,357	27,357		24,123	26,608	15,952	10,495	9,242			15,307	12,344	13,503	23,487				
29	40400000	42	31,917	24,832	39,092	31,675	32,442	34,833	20,296					16,764	18,508	33,975					
30	40450001	46	185,420							80,380	81,340	115,800		110,440	80,730	111,700	194,790	112,490	132,390	209,800	187,810
31	40500000	22																			
32	40530000	22																			
33	40535000	7	528,500			388,667	538,333	451,917	222,858	183,958											
34	40540000	8			7,528	5,273	6,857														
35	40549998	35										7,018	5,922	5,028	5,328	12,214	6,336	5,475			10,342
36	40573000	16	5,087			4,383		5,384	3,760	2,710	2,792	3,006	3,705	3,350	2,922	2,945	5,527	3,122	3,131	3,121	5,592
37	40577000	22	4,026	3,344	5,480	3,651	4,452	4,104	3,257	2,384	2,914	2,443		3,477	2,432	3,102	4,427	2,351	2,748	3,073	4,934
38	40579995	45	10,787	8,852	12,617	7,974	11,939	9,881	7,520			7,148	9,054	8,395			7,905	6,769	6,739	11,922	10,553
39	40665000	31	4,932	3,312	4,911	3,546	5,677	4,894	2,594	2,897	2,421	2,791	4,177							4,565	3,587
40	40680000	55	11,446	6,592	11,160	9,387	15,387	8,876	6,450	5,732	4,759	5,625		5,578	5,353	6,934	11,942			9,997	8,598
41	40700002	13	47,300	36,533	65,150	41,508	56,525	49,400	29,992	26,552	24,845	31,900									
42	40710000	25																			59,250
43	40720002	15	67,075	55,550	80,750	57,025	77,867														
44	40740000	29																			
45	40770000	16																			

Vazões Médias 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	37			7,565	3,883	8,685	8,632	9,362	7,269	6,884	10,182	6,890	9,394	8,647	7,716	12,982	12,776	9,165	9,350	
2	40032000	24		14,524	19,262	9,628	18,287	21,221	16,399	16,505	16,696	20,252	15,117	25,300	22,108	15,564	29,275	30,633	22,812	23,802	
3	40035000	7																			
4	40037000	26		27,299	26,190	11,755	20,573	20,111	22,819	16,123	16,023	26,686	15,711	29,638	27,850	25,349					
5	40040000	32	6,749	6,150	3,624	5,775		3,472	5,989	4,036	4,026	4,010	6,523	4,306	6,923	6,267	3,273	8,830	8,065	5,917	6,119
6	40046000	10																			
7	40050000	57	163,183	117,625	77,383	94,883	39,967	106,075	121,000	107,058	90,692	90,983	125,100	93,025	128,033	134,242	77,500	189,325	193,258	129,433	140,725
8	40053000	31	5,855	3,936	2,599	3,367	0,725	5,686	3,932	2,775	2,421	3,015	3,754	4,151	4,598	5,766	1,870	7,388	7,452	4,173	6,110
9	40056002	22																			
10	40056200	13									6,148	8,361	5,491	6,778	8,257		12,184	10,472	8,543	9,342	
11	40056500	15		10,244																	
12	40060001	49	16,026	13,089	8,401	14,261	6,410	10,666	16,689	10,896	10,675	9,871	12,410	10,034	12,935	13,505	8,756	16,688	18,517	14,998	14,963
13	40067000	10																			
14	40070000	25			115,733	154,575		161,550					194,792	154,167	215,800	216,983	126,267	312,550	319,358	207,658	235,142
15	40080000	31			4,166	9,631	2,229	10,727	9,212	9,577	7,713	3,759	9,016	7,967	14,802	9,081	5,460	21,623	19,622	10,660	13,367
16	40100000	41	313,992	245,925	140,800	192,125	71,158	199,175	232,167	203,217	176,908	156,550	238,692	194,792	274,825	270,342	157,392	394,058	403,000	257,517	298,283
17	40102000	23																			
18	40130000	16	35,417	23,642	22,337	24,191	11,117	26,742	27,458	28,158	23,435	21,025	26,492	24,442	33,933						
19	40150000	58	49,275	33,258	34,183	37,100	22,083	34,558	37,317	34,392	27,317	23,508			50,867	46,283	35,200	43,642	68,375	47,892	
20	40160000	9																			
21	40170000	28		12,754	11,727	15,047			16,896	13,006	11,812	10,722	14,001	12,077			11,435	19,433	29,842	20,473	23,938
22	40180000	12																			
23	40185000	26								25,612	22,127	21,183	28,084	24,815	40,642	44,692	23,942	39,567	60,483	42,025	48,633
24	40190002	19										23,467	28,658								
25	40300001	25														24,650	17,286		40,808	26,542	
26	40330000	48	112,325	78,733	69,158	82,100	37,917	83,650	112,983	96,217	73,092	64,708	108,017	80,442		139,267	97,292	143,892	204,375	141,292	183,150
27	40350000	15											3,896	3,141	5,754	6,886	3,343	5,803	8,389	4,170	5,989
28	40380000	19								17,124	10,624	11,328	15,757	13,952	24,467	24,334					
29	40400000	42			20,238	23,744	8,505	22,699	28,384	21,527	14,228	14,832	21,423	19,139	34,942	33,750	19,884			30,967	40,200
30	40450001	46	183,330	131,700	108,170	127,330	56,600	136,690	168,440	136,110	104,490	89,940	131,170	108,330	230,100	191,440	129,860	229,660	294,630	195,500	248,620
31	40500000	22								5,884	5,292				10,324	6,356	13,605	15,326	10,278	13,194	
32	40530000	22								6,450	5,659	2,415	7,314	6,637	12,771	9,256	5,333	14,622	13,502	7,505	7,876
33	40535000	7																			
34	40540000	8																			
35	40549998	35	12,653	6,912	5,411			8,944	7,067	5,508	5,185	7,383	6,905	12,748			8,386	9,442	11,917	7,710	8,876
36	40573000	16																			
37	40577000	22																			
38	40579995	45						11,952	10,894	8,361	7,162	10,377	10,162	15,918	9,567	8,949	12,373	13,013	7,662	12,237	
39	40665000	31	4,161					4,413	3,877	2,590	2,291	5,565	4,284	6,587	5,737	4,947	6,391		4,885	5,819	
40	40680000	55	9,897			8,021	4,627	10,036	9,241	7,876	7,212	6,386	9,668	8,555	11,558	9,055	9,431	12,172	15,941	10,963	12,658
41	40700002	13																			
42	40710000	25	58,567	40,617	32,175	40,350	20,715	46,817	55,933	48,783	37,167	31,800	50,942	44,958	73,042	59,708	51,508	65,517	84,758	51,108	68,125
43	40720002	15																			
44	40740000	29		54,867	43,175	50,725	26,667	61,458	74,742	64,467			66,417	58,017	94,783	77,033	63,408	79,033	103,992	62,242	88,925
45	40770000	16	12,134	9,551	7,296	9,079	5,217	16,035					10,297	8,408	16,967	11,267	10,367	15,695	17,966	13,427	

Vazões Médias Anuais (m³/s)

		ANO HIDROLÓGICO																			
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	Max	Média	DP	Assimetria	
1	40025000	37	8,517	7,197	6,181	6,899	7,292	11,600	12,666	11,008	8,254	7,807	8,222		7,481	6,832	13,9	8,9	2,2	0,492	
2	40032000	24	17,182	18,153	15,099	13,522	12,031			25,892	19,332						30,6	19,1	5,2	0,530	
3	40035000	7															19,4	16,2	2,8	0,044	
4	40037000	26		18,702	16,578	14,922	14,102	26,944	29,982	25,948	21,186	19,632	14,520	26,461	19,085	19,427	30,0	21,3	5,4	0,024	
5	40040000	32	4,604	5,043	4,177	2,822	2,428	6,425	8,055	7,049	6,192	5,311	3,923	5,992	4,519	4,197	8,8	5,3	1,6	0,216	
6	40046000	10															111,8	70,7	25,3	0,582	
7	40050000	57	98,325	105,475	80,667	72,225	81,067	120,867	151,750	133,375	107,233	101,417	81,475	141,833	99,250	90,450	193,3	106,8	34,5	0,489	
8	40053000	31	2,455	3,957	1,733	1,745	3,443			4,198	3,301	3,301	2,206	6,394	3,797	4,908	7,5	3,9	1,7	0,436	
9	40056002	22															11,5	6,7	2,2	0,523	
10	40056200	13	6,218			4,944	4,958	9,563									12,2	7,8	2,3	0,407	
11	40056500	15															16,0	9,7	3,8	0,334	
12	40060001	49	11,531	10,437	10,068	9,419	8,499	16,004	16,288	12,545	10,146	10,489	8,048	13,471	11,442	10,367	18,5	12,3	3,0	0,331	
13	40067000	10															308,3	176,2	63,1	0,859	
14	40070000	25	162,692	165,525	132,067	111,342	125,517	204,908		220,802	174,767	159,150	129,375	235,608	166,425	153,975	319,4	182,3	54,8	1,066	
15	40080000	31	9,422	6,680	7,883	5,381	8,642	14,722	15,928	11,743	7,956	8,411	7,952	12,744	9,639	9,959	21,6	9,9	4,3	0,909	
16	40100000	41	210,300	204,125	172,625	142,267	163,533	255,275	312,592	284,333	220,600	193,267	165,233	308,000	215,250	197,583	403,0	227,1	70,8	0,521	
17	40102000	23															381,9	243,7	68,6	0,400	
18	40130000	16															47,2	27,3	7,7	0,653	
19	40150000	58	38,658	31,850	32,450	26,217	28,092		52,541	47,258	35,492	32,342	30,000		32,425	27,092	68,4	39,3	12,1	0,627	
20	40160000	9															5,2	3,1	1,1	1,202	
21	40170000	28	15,787	16,359	12,271	11,807	10,932	12,684	19,096	14,985	11,804	8,872	8,887	18,306	12,913	12,803	29,8	14,7	4,7	1,605	
22	40180000	12															4,6	3,2	0,8	0,627	
23	40185000	26	29,583	29,402	21,073	17,905	16,728	22,713	33,992	26,558	21,798	17,630	17,012	30,796	20,762	21,154	60,5	28,8	11,1	1,272	
24	40190002	19															47,0	32,4	7,7	0,404	
25	40300001	25		12,898	18,449		16,220	20,966	23,100	22,767	20,718	21,459			18,351		43,6	21,5	8,0	1,264	
26	40330000	48	111,158	92,267	88,925	76,658	77,725	106,283	132,667	119,075	100,208	91,425	87,058	134,833	94,267	83,792	204,4	101,0	31,7	1,069	
27	40350000	15	3,782			2,990											8,4	4,7	1,6	0,923	
28	40380000	19															27,4	17,5	5,9	0,359	
29	40400000	42				20,899		24,555	36,058	34,400		22,087		32,903	26,853		42,1	27,5	8,1	-0,085	
30	40450001	46	152,570	121,740	118,990	100,670	100,570	139,390	187,650	160,670	141,940	122,940					294,6	147,9	50,8	0,792	
31	40500000	22	9,865	5,082	7,462	6,284	7,337	7,651	12,544	7,747	8,020	7,878	5,477	12,132	8,522	8,127	15,3	8,8	2,9	0,729	
32	40530000	22	7,196	4,236	6,744	3,839	5,082	7,864	9,903	8,396	6,847	4,845					14,6	7,5	3,1	0,895	
33	40535000	7															538,3	378,6	139,9	-0,288	
34	40540000	8															7,5	6,7	0,9	-0,824	
35	40549998	35	6,741	6,809	6,705	7,658	5,957			9,682	7,092	6,404	7,540	10,017	5,122	6,219	12,7	7,7	2,2	1,000	
36	40573000	16															5,6	3,8	1,1	0,843	
37	40577000	22															6,5	3,7	1,1	0,810	
38	40579995	45	8,512		7,791	6,241	6,791	4,367			8,708				7,833	10,383	11,317	17,1	9,9	2,5	0,502
39	40665000	31															6,6	4,3	1,2	0,004	
40	40680000	55	6,813	10,767	10,615	9,168	5,942	19,798	14,786	10,932	12,873	7,783	9,438	19,720	9,530	6,687	19,8	9,7	3,3	1,083	
41	40700002	13															65,2	41,7	11,8	0,368	
42	40710000	25	45,975	46,908	42,017	36,967	34,183										84,8	49,1	14,4	0,487	
43	40720002	15															88,8	66,8	10,1	0,749	
44	40740000	29	59,925	56,492	54,517	47,258	44,983	79,917		71,342	60,050	49,775	58,567	87,617	50,325	43,958	104,0	63,3	17,2	0,453	
45	40770000	16		11,173	10,626												18,0	11,6	3,6	0,289	

Vazões Médias 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	12																			
47	40790000	24												2,378	1,440	2,286	1,989				3,061
48	40800001	61												111,350	76,125	99,325	91,900	145,326	90,542	89,859	79,042
49	40818000	23																5,748	4,536	4,346	3,940
50	40830000	14																			
51	40850000	30																			
52	40865001	18																			
53	40930000	25														16,663	17,650	28,014	12,644	20,463	29,314
54	40960000	21																			
55	40963000	18																			
56	40975000	23																			
57	41050000	31																			
58	41075001	18																			
59	41090000	8																			
60	41135000	42																	966,000	1289,000	
61	41151000	36																			
62	41160000	7				8,297	5,573					6,827	6,008	6,106	5,117	6,451					
63	41180000	31																			
64	41190000	5			13,447							10,291	11,652		9,742		10,494				
65	41195000	19	66,250	40,350	67,917	56,392	66,017	38,675	40,550	32,208	35,008	23,092	29,650	32,608	31,267	23,433	30,808	27,133	35,483	26,958	33,250
66	41199998	28																			
67	41220000	5																3,017			
68	41230000	9															41,300	41,083		54,642	46,958
69	41242100	7														2,697	3,925				
70	41250000	47													4,963	7,057			8,686	10,942	9,531
71	41260000	19																			
72	41295000	24																			
73	41300000	53																4,389	7,417	4,966	7,104
74	41340000	53																	11,280	16,262	15,666
75	41380000	50												81,600	62,233	76,458	69,333	122,267	97,850	121,400	9,999
76	41410000	34																			
77	41440005	31																			
78	41539998	33																			
79	41600000	31																			
80	41650002	33																			
81	41685000	29																			
82	41700001	28																			
83	41715000	5																	3,067	2,286	
84	41720000	21													8,204		8,952	10,131	7,488	8,571	7,972
85	41780002	24																			
86	41818000	49																		262,408	329,567
87	41880000	21																		2,504	1,503
88	41890000	26																			
89	41940000	20																			
90	41990000	57													227,700	346,342	306,850	481,333	370,375	463,750	399,667

Vazões Médias 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	12																				
47	40790000	24	2,437	2,074	4,320	2,351	3,143	2,696	1,566	1,324	0,979	1,232	1,964	1,857	0,643	1,525	3,327	3,032	2,816	2,156	3,821	
48	40800001	61	90,025	72,567	134,484	82,659	111,792	95,317	59,459	53,042	52,600	62,284	85,609	67,817	52,517	64,592	122,042	64,784	63,467	54,200	112,525	109,725
49	40818000	23	3,565	3,565	7,222	3,544	4,730	5,159	4,452	3,710	2,717	5,063	5,642	3,611	2,962	4,131	5,325	3,060	3,207	2,553	5,295	
50	40830000	14		1,444		1,407	1,577	1,480	1,405		0,829	1,199	1,337	0,916	0,863	1,413	1,536	0,873	1,287			
51	40850000	30																				
52	40865001	18																				
53	40930000	25	23,389	12,428	20,466	21,031	29,768	23,887	10,537													
54	40960000	21																				
55	40963000	18																				
56	40975000	23																				
57	41050000	31																				
58	41075001	18																				
59	41090000	8																				
60	41135000	42			766,333	914,833	922,083	526,917		495,333	635,833	1052,667		477,583								
61	41151000	36										3,062	3,504	2,115	2,410	3,684	2,397			4,976	2,913	
62	41160000	7																				
63	41180000	31																				
64	41190000	5																				
65	41195000	19																				
66	41199998	28																				
67	41220000	5									3,574	4,235	4,209							4,715		
68	41230000	9	38,600	39,025		46,350	40,533	34,767														
69	41242100	7				4,017	3,466	3,267	3,107	3,066												
70	41250000	47	7,353	7,622	17,475	7,977	11,591	10,002	6,642	4,487	3,771	6,483	9,059	6,698	2,918	5,512	10,374					
71	41260000	19																				
72	41295000	24	4,659	5,039	10,643	4,424	5,269	5,046	4,115	3,336	3,465	3,412	5,240	4,592	2,134	3,796	5,583	3,947	3,150	2,503	5,229	
73	41300000	53	10,523			8,928	10,402	11,114	8,469	7,337	6,855	7,512	11,652	10,677	4,982	8,632	12,992	8,427	6,410	5,017	12,992	13,098
74	41340000	53					90,383	98,042	62,708	51,433	50,433	58,067	98,425	79,092	43,833	70,750	114,033	66,617	65,133	59,258	109,758	98,867
75	41380000	50	6,838	9,708	12,407	6,617	8,303	9,471	6,270		3,872	5,159	8,700	7,221	3,279	5,223		5,657	8,057	3,498	8,582	7,180
76	41410000	34																				118,958
77	41440005	31																				
78	41539998	33																				6,674
79	41600000	31										138,567										
80	41650002	33											139,908	75,142								182,883
81	41685000	29																				
82	41700001	28													32,969	33,372	19,066				34,632	30,711
83	41715000	5				1,322	2,014	2,566														
84	41720000	21	5,921	9,600	12,557	5,193	8,063	9,397	4,819	6,024	4,215	5,908	10,148	9,333	5,565		10,906	9,018				
85	41780002	24																				
86	41818000	49				183,192	244,483	269,758	165,383	133,333	118,442	144,025	243,883					173,550	166,767	156,025	274,758	249,083
87	41880000	21	1,433	1,195	1,891	0,715	1,072	1,370	0,769	0,701	0,724	1,160	1,505	1,294	1,356	1,458	1,598	1,007	0,861	0,898	3,575	
88	41890000	26																				
89	41940000	20																				
90	41990000	57	319,000	374,250		250,042	347,083	381,267	230,850	189,358			336,408	268,417	156,258	295,433	429,675	247,025	232,675	213,108	380,442	342,608

Vazões Médias 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	12																140,300	91,800	121,700		
47	40790000	24																				
48	40800001	61	101,967	74,150	56,350	72,609	34,475	79,975	97,259	86,809	67,550	54,642	88,125	73,567	133,492	103,867	80,692	109,125	147,542	92,892	133,758	
49	40818000	23																				
50	40830000	14																				
51	40850000	30		104,392	78,217	100,000	45,575	109,708	132,975	120,833	93,150	73,142	121,408	99,475	213,683	173,433	128,133	175,475	233,008	147,275	206,650	
52	40865001	18												113,330	253,380	168,660	129,090	198,600	242,940	158,750	228,410	
53	40930000	25			9,912	23,961		18,328	24,530	20,169	13,778						29,957				17,212	
54	40960000	21							38,778	33,061	23,816	16,027	34,899	35,348	49,680	37,577	26,959	66,077	54,992	32,451	33,021	
55	40963000	18												43,420	59,020	43,860	31,780	96,230	71,660	37,020	39,560	
56	40975000	23			14,407	19,198				17,197	16,389	10,362	14,032	19,597	22,837	21,841	15,987			17,796	21,123	
57	41050000	31			12,119	24,566	7,606	18,667	16,938	17,320	15,782	10,850	18,200	19,311	23,910	24,122	21,668	42,084	33,533	20,378	22,189	
58	41075001	18												65,258	74,475	87,650	85,233	73,792	161,450	132,617	79,242	78,850
59	41090000	8	82,483	101,858	60,125	96,433		93,767	81,008	78,533	71,444											
60	41135000	42	877,750		596,853	659,508	495,083	561,000	862,288	827,333	694,000	661,167	596,417	866,083	1338,250	1184,500	784,167	1447,750	1686,500	1056,500	1022,167	
61	41151000	36				2,723	2,099		3,430	3,045	2,467	1,852	2,919	3,007	6,172	4,275	3,302	4,902	4,361	3,367	5,125	
62	41160000	7																				
63	41180000	31	8,086	7,508	6,192	6,253		5,362	8,338	8,348	8,068	6,029	8,552	7,188	12,583	10,923	8,725	10,012	10,147	8,035	11,903	
64	41190000	5																				
65	41195000	19																				
66	41199998	28						24,450	30,250	25,767	22,198	17,565	28,150	22,292	41,725	37,908	32,733	39,892	41,808	30,175	45,525	
67	41220000	5																				
68	41230000	9																				
69	41242100	7																				
70	41250000	47			4,733	6,608			5,797	5,912	6,169	2,876	8,322	6,079	18,005	9,967	7,793	14,943		10,520	14,615	
71	41260000	19															56,325	93,633	93,675	62,733	101,667	
72	41295000	24																				
73	41300000	53	10,718	5,642	5,882	7,267	3,407	7,821	7,426	9,695	6,069	4,140	10,780	10,222	23,451	13,962	10,535	15,057	15,655	10,515	16,986	
74	41340000	53		64,958	58,858	67,200	35,783	58,833	64,942	66,883	56,658	38,058	75,608	66,058	124,417	92,367	77,733	123,783		87,208	136,350	
75	41380000	50	5,674	4,144	4,445	5,514	2,958	6,413	7,023	7,049	5,017	3,506	7,341	4,989	15,082	10,120	9,394	6,836	12,426			
76	41410000	34	87,917	77,750	69,817	80,292	42,092	69,975	77,125	78,192	65,775	43,833	88,917	76,033	148,233	111,800	91,733	151,408	139,100	97,992	159,675	
77	41440005	31		1,061	0,906	1,527		1,590	1,446	1,705	1,655	0,954	2,092	3,102	5,281	2,926	2,391	4,962	3,799	3,143	4,961	
78	41539998	33	3,459	2,572	2,285	3,233	1,920		3,332	3,292	3,140	1,783	4,171	4,395	8,617	5,967	4,249	9,263	7,595	6,017	8,275	
79	41600000	31				92,225	48,008	81,242	88,350	88,592	73,683	48,783	107,725	86,608	184,883	134,625	106,833	171,700	158,167	115,892	182,350	
80	41650002	33	129,500	116,942	102,575				110,558	109,850	89,875	56,508	125,317	100,200	228,892	157,908	118,742	216,500	189,408	130,383	219,142	
81	41685000	29		3,834	1,616	2,051			2,591	2,975		1,627	4,807	2,615	8,264	5,642	3,390	7,411	5,037	3,266	6,531	
82	41700001	28	28,657	26,557	33,687	29,455	19,952	30,747	34,107	22,792	27,941	23,982	35,345	30,352	62,525	44,099	33,718	59,217	40,782	30,833	46,167	
83	41715000	5																				
84	41720000	21																				
85	41780002	24									79,375	53,289	84,108	78,117		93,100	60,558	142,933	92,608	61,350	131,017	
86	41818000	49	178,067	161,475	140,808	170,575	98,400	175,592	169,967	150,558	144,350	107,975	220,200	174,633	383,725	261,167	183,575	361,850	291,750	197,542	356,417	
87	41880000	21																				
88	41890000	26							17,657	14,505			11,057	17,957	19,142	33,721	21,715	20,020	25,506	12,433	11,703	23,659
89	41940000	20								23,473	15,956	9,561	23,083	18,117	41,457	28,184	14,568	36,147	33,582	13,705	31,904	
90	41990000	57	246,350	227,192	199,333	239,800	140,408	256,717	249,892	217,583	204,900	155,333	320,383	305,625	592,250	417,500	279,183	519,000	408,917	280,800	514,917	

Vazões Médias Anuais (m³/s)

		ANO HIDROLÓGICO																			
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	Max	Média	DP	Assimetria	
46	40788000	12	87,100	78,100	77,300	59,400	62,200	99,600	97,700	94,800		64,800					140,3	89,6	24,1	0,775	
47	40790000	24															4,3	2,3	0,9	0,366	
48	40800001	61	88,150	79,425	79,500	58,342	64,733	104,758	99,525	95,700	86,100	71,800	86,200	126,550	66,300	58,975	147,5	86,1	25,1	0,545	
49	40818000	23															7,2	4,3	1,1	0,666	
50	40830000	14															1,6	1,3	0,3	-0,669	
51	40850000	30	129,842	106,975	145,192	86,875	108,217	161,658	158,825								233,0	130,3	44,5	0,604	
52	40865001	18	139,850	107,300	137,040	92,480	103,460	152,620	158,350	149,680	128,870						253,4	153,5	48,7	0,873	
53	40930000	25	11,642	10,662	12,589			22,067									30,0	19,2	6,4	0,159	
54	40960000	21	26,880	22,394	28,056	20,703	26,277	37,263	44,961	41,551							66,1	34,8	12,0	0,935	
55	40963000	18	35,590	24,100	29,910	22,910	25,310	42,350	57,300	40,900	29,600	24,760					96,2	42,0	18,9	1,633	
56	40975000	23	23,568	12,167		20,645	13,981		23,373	22,456	24,081	12,425	12,178	22,824	20,541		24,1	18,2	4,3	-0,291	
57	41050000	31	19,857	10,004	15,107	12,767	14,144	19,167	34,826	24,444	24,002	12,037	12,213	22,639	17,819	12,731	42,1	19,4	7,6	1,131	
58	41075001	18	72,942	35,892						71,692	79,750	32,792	40,017	82,517	60,867	44,579	161,5	75,5	31,6	1,272	
59	41090000	8															101,9	83,2	13,8	-0,294	
60	41135000	42	986,583	814,583	664,167	612,167	521,750	706,583	1199,667	941,167	869,000	668,750	759,000	969,083	879,083	711,333	1686,5	846,8	272,5	1,028	
61	41151000	36	4,069	3,330	3,192	2,239	2,768	3,458	4,528	4,125			2,212	3,001	4,550	2,743	2,116	6,2	3,3	1,0	0,793
62	41160000	7															8,3	6,3	1,0	1,138	
63	41180000	31	9,977	7,652	8,372	6,348	6,935	9,057	9,385	8,814	7,053	5,640	7,117		5,982	5,231	12,6	8,1	1,9	0,590	
64	41190000	5															13,4	11,1	1,5	1,198	
65	41195000	19															67,9	38,8	14,5	1,190	
66	41199998	28	34,367	27,575	32,433	21,850	22,392	34,175	33,175	34,808	28,375	23,683	28,142	44,500	29,092	18,800	45,5	30,5	7,7	0,326	
67	41220000	5															4,7	4,0	0,7	-0,545	
68	41230000	9															54,6	42,6	5,9	1,021	
69	41242100	7															4,0	3,4	0,5	0,252	
70	41250000	47	6,596	4,395	9,063	7,147	7,222	9,447	11,742	8,424	10,044	6,237	8,885		8,156	5,993	18,0	8,2	3,3	1,126	
71	41260000	19	59,967	48,767	66,458	47,800	55,600	77,717	72,908	65,375	58,775	47,508	64,850	86,592	55,517	44,450	101,7	66,3	17,1	0,769	
72	41295000	24															10,6	4,9	1,8	1,451	
73	41300000	53	9,445	6,622	11,179	7,236	8,637	11,250	14,170	10,847	8,600	6,351	8,882		8,617	5,449	23,5	9,8	3,8	1,041	
74	41340000	53	80,875	57,500	82,333		69,331	91,667	96,875	85,617	80,017	65,200	85,108	110,608	69,100	56,675	136,4	78,8	23,4	0,565	
75	41380000	50	6,415	4,361	7,199	4,763	5,112	7,842	8,517	6,617	5,786	5,687	9,438	11,586	6,655	5,275	15,1	7,0	2,6	0,927	
76	41410000	34	89,525	69,942	103,900	68,658	82,850	123,192	119,408	103,000	93,825	79,842	110,558	135,308	84,458	65,000	159,7	94,3	29,3	0,565	
77	41440005	31	2,322	1,724	3,992	1,923	2,428	3,513	4,027	2,853	2,880	2,129	3,142	5,304	3,556	2,120	5,3	2,8	1,3	0,566	
78	41539998	33	3,799	2,569	6,302	3,263	3,947	6,250	6,322	4,470	4,947	3,133	5,447	8,188	5,282	3,070	9,3	4,8	2,1	0,609	
79	41600000	31	107,425	80,758	123,500	81,492	93,367	134,708	142,108	118,300	109,825	90,183	120,883	165,033	105,142	76,775	184,9	111,5	35,8	0,428	
80	41650002	33	120,050	89,592	136,300	86,892	99,542	150,325	175,033	136,100	128,875	96,858	142,567	199,408	121,183	89,217	228,9	132,5	43,2	0,707	
81	41685000	29	3,798	2,737	2,886	1,361	2,143	3,713	5,589	2,926	2,391	1,874	2,562	5,175	1,345	1,665	8,3	3,5	1,8	1,037	
82	41700001	28	25,855	24,058	30,765	33,027											62,5	33,0	10,1	1,532	
83	41715000	5															3,1	2,3	0,6	-0,366	
84	41720000	21															12,6	8,0	2,2	0,007	
85	41780002	24	68,867	51,583	76,833	61,992	57,983	88,417	109,833	84,308	66,367	56,283	62,550	100,333	62,184	57,642	142,9	78,4	24,1	1,275	
86	41818000	49	189,592	142,767	211,133	145,675	151,125	236,742	285,883	213,433	185,858	155,242	195,933	298,458	175,158	141,258	383,7	205,2	68,7	0,868	
87	41880000	21															3,6	1,4	0,7	2,061	
88	41890000	26	14,456	6,686	10,606	6,359	14,056	18,705	23,789	16,585	15,154	12,301	11,536	18,612	16,758	27,435	33,7	17,0	6,4	0,640	
89	41940000	20	26,887	10,301	12,701	9,942					16,715	10,999	9,545	25,262			41,5	20,6	9,9	0,618	
90	41990000	57	311,608	199,475	270,117	204,300	249,967	341,992	438,417	311,308	280,683	205,867	267,617	410,825	248,175	225,158	592,3	304,1	98,9	0,786	

Vazões Médias 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	37	0,902
40032000	Fazenda Samburá	24	0,769
40035000	Fazenda Samburá	7	0,3
40037000	Fazenda da Barra	26	0,441
40040000	Fazenda Ajudas	32	0,114
40046000	Porto Sabino	10	0,894
40050000	Iguatama	57	1,315
40053000	Calciolândia	31	0,323
40056002	Fazenda Capoeirão	22	0,508
40056200	Mont. Bom Sucesso	13	0,183
40056500	Ponte Capoeirão	15	0,495
40060001	Tapiraí-Jus.	49	0,888
40067000	Ponte Olegário Maciel	10	0,537
40070000	Ponte do Chumbo	25	0,07
40080000	Taquaral	31	1,122
40100000	Porto das Andorinhas	41	0,438
40102000	Porto da Barra	23	0,211
40130000	Ponte do Vilela	16	1,126
40150000	Carmo do Cajuru	58	1,945
40160000	Lamounier	9	0,104
40170000	Marilândia	28	0,494
40180000	Carmo da Mata	12	0,343
40185000	Pari	26	1,807
40190002	Divinópolis	19	0,63
40300001	Jaguaruna-Jus.	25	1,004
40330000	Velho da Taipa	48	1,04
40350000	Usina Camarão	15	0,297
40380000	Araújos	19	0,63
40400000	Est. Álvaro da Silveira	42	1,214
40450001	Porto Pará	46	0,473
40500000	Martinho Campos	22	0,338
40530000	Abaeté	22	0
40535000	Barra do Paraopeba	7	0,901
40540000	Jurema	8	0,371
40549998	São Brás do Suaçuí	35	0,454
40573000	Joaquim Murtinho	16	0,135
40577000	Ponte Jubileu	22	2,594
40579995	Congonhas-Linígrafo	45	2,24
40665000	Usina João Ribeiro	31	1,326
40680000	Entre Rios de Minas	55	1,278
40700002	Jeceaba	13	1,647
40710000	Belo Vale	25	0,257
40720002	Melo Franco	15	0
40740000	Alberto Flores	29	0,281
40770000	Conceição Itaguá	16	1,486

Código	Estação	N	MK
40788000	São Joaquim de Bicas	12	1,440
40790000	Betim	24	0,025
40800001	Ponte Nova do Paraopeba	61	0,168
40818000	Juatuba	23	1,347
40830000	Faz. Escola Florestal	14	1,314
40850000	Ponte da Taquara	30	1,677
40865001	Porto do Mesquita	18	1,970
40930000	Barra do Funchal	25	0,677
40960000	Fazenda Bom Jardim	21	0,091
40963000	Porto Indaiá	18	2,045
40975000	Fazenda São Félix	23	1,162
41050000	Major Porto	31	0,306
41075001	Porto Passarinho	18	1,818
41090000	Canoeiros	8	1,361
41135000	Pirapora-Barreiro	42	0,824
41151000	Faz. Água Limpa-Jus.	36	0,695
41160000	Gulpiara	7	0,601
41180000	Itabirito-Linígrafo	31	0,442
41190000	Aguiar Moreira	5	0,735
41195000	Rio Acima	19	3,149
41199998	Honório Bicalho-Mont.	28	0,375
41220000	Siderúrgica	5	2,205
41230000	Sabará	9	1,355
41242100	General Carneiro	7	0,901
41250000	Vespasiano	47	0,477
41260000	Pinhões	19	1,539
41295000	José de Melo	24	2,456
41300000	Taquaraçu	53	0,414
41340000	Ponte Raul Soares	53	0,422
41380000	Ponte Preta	50	0,422
41410000	Jequitibá	34	1,453
41440005	Represa Jus.	31	3,161
41539998	Faz. da Contagem	33	1,627
41600000	Pirapama	31	1,19
41650002	Ponte do Licínio Jus.	33	0,418
41685000	Ponte do Picão	29	0,957
41700001	Usina Paraúna	28	1,205
41715000	Fazenda Cachoeira	5	0,245
41720000	Fazenda Cipó	21	0,332
41780002	Presidente Juscelino Jus.	24	0,769
41818000	Santo Hipólito	49	0,112
41880000	Buenópolis	21	0,393
41890000	Estação de Curimataí	26	0,264
41940000	Ponte do Bicudo	20	1,46
41990000	Várzea da Palma	57	0,902

ANEXO D

COEFICIENTES DE AUTO-CORRELAÇÃO

VERIFICAÇÃO DA INDEPENDÊNCIA ESPACIAL

AUTOCORRELAÇÃO

Foram calculados os coeficientes de autocorrelação das séries utilizadas no estudo a partir da seguinte equação:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (Z_t - \bar{Z})(Z_{t+k} - \bar{Z})}{\sum_{t=1}^N (Z_t - \bar{Z})^2}$$

$k = 1, 2, 3, \dots, N-4$ (Lag)

Z_t valor observado na série no tempo t

\bar{Z} , média da série

Observando-se os coeficientes de autocorrelação apresentados a seguir e os respectivos correlogramas, verifica-se que poucas estações apresentaram valores absolutos de coeficiente maiores que 0,50. Isto ocorreu geralmente na primeira correlação ou lag igual a 1. Além disso, observa-se também que algumas estações apresentaram periodicidade.

Apesar desses fatos, essas estações foram utilizadas, pois de acordo com Hosking e Wallis (1997) a presença de pequena dependência serial em dados anuais geram efeitos pouco significativos na estimativa dos quantis.

		Lag																					
	Código	Período	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	40025000	1969 a 1995	0,369	-0,007	-0,155	-0,294	-0,152	-0,188	-0,097	0,075	0,276	0,240	-0,123	-0,207	-0,094	-0,021	-0,018	-0,009	0,057	0,094	0,099	-0,091	-0,190
2	40032000	1968 a 1989	0,322	0,206	0,255	-0,039	-0,143	-0,181	-0,242	-0,333	-0,089	-0,060	-0,248	-0,085	-0,122	-0,103	0,033	-0,019	0,045	0,090			
3	40035000	1939 a 1945	-0,294	-0,558	0,475																		
4	40037000	1986 a 1998	0,310	-0,099	-0,388	-0,351	-0,087	0,151	-0,066	-0,015	0,011												
5	40040000	1971 a 1998	0,226	-0,005	-0,008	-0,258	-0,197	-0,147	-0,337	-0,142	0,272	0,079	-0,055	0,090	-0,007	0,101	0,144	-0,113	-0,102	0,043	-0,113	-0,046	-0,022
6	40046000	1949 a 1955	0,498	-0,121	-0,423																		
7	40050000	1963 a 1998	0,272	0,047	-0,078	-0,290	-0,103	-0,201	-0,061	-0,092	-0,002	0,110	-0,169	-0,083	-0,154	-0,072	0,122	-0,027	0,266	0,186	0,014	0,054	-0,138
8	40053000	1966 a 1989	0,090	0,140	0,073	-0,209	0,073	-0,216	-0,158	-0,180	-0,311	0,075	-0,089	-0,067	0,072	-0,168	0,180	0,016	0,073	0,154	0,032	0,041	
9	40056002	1939 a 1960	0,283	-0,364	-0,344	0,070	0,167	-0,063	-0,306	-0,147	0,176	0,128	-0,108	-0,186	-0,035	0,243	0,155	-0,076	-0,074	0,086			
10	40056200	1975 a 1979	-0,487																				
11	40056500	1943 a 1948	0,220	-0,640																			
12	40060001	1966 a 1998	0,143	-0,097	0,010	-0,336	-0,143	0,051	-0,027	-0,084	0,225	0,127	-0,246	-0,008	-0,147	-0,196	0,082	-0,055	-0,017	0,222	0,107	-0,067	-0,051
13	40067000	Menos de 4 anos contínuos																					
14	40070000	1976 a 1990	0,330	0,085	0,167	-0,249	-0,295	-0,290	-0,303	-0,035	0,062	-0,038	0,030										
15	40080000	1968 a 1998	0,241	0,006	-0,006	-0,139	-0,038	-0,108	-0,100	-0,026	0,177	0,079	-0,162	-0,084	-0,082	-0,102	-0,011	-0,109	-0,029	0,134	0,054	0,012	-0,093
16	40100000	1958 a 1998	0,281	0,048	-0,056	-0,200	-0,022	-0,209	-0,139	-0,177	-0,029	0,034	-0,163	0,008	-0,123	-0,032	0,137	-0,010	0,233	0,195	0,030	0,000	-0,109
17	40102000	1939 a 1952	-0,248	-0,420	0,015	0,219	0,138	-0,086	-0,310	0,113	0,266	-0,279											
18	40130000	1965 a 1978	0,086	-0,047	-0,194	-0,339	0,045	0,073	0,172	-0,269	-0,144	-0,084											
19	40150000	1936 a 1975	0,313	0,061	-0,108	0,082	0,025	0,035	-0,076	0,102	0,056	0,017	-0,007	0,136	0,039	0,088	-0,077	-0,013	-0,055	0,099	-0,071	-0,085	-0,106
20	40160000	1938 a 1946	-0,441	-0,021	-0,333	0,495	-0,112																
21	40170000	1980 a 1998	0,449	0,196	0,001	-0,086	-0,028	-0,125	-0,047	-0,014	0,057	-0,071	-0,287	-0,227	-0,217	0,013	-0,022						
22	40180000	1938 a 1948	-0,385	-0,253	0,116	0,242	-0,430	0,250	0,021														
23	40185000	1973 a 1998	0,528	0,315	0,256	0,056	-0,005	-0,116	-0,200	-0,171	-0,153	-0,206	-0,281	-0,139	-0,133	-0,076	-0,121	-0,192	-0,032	0,013	-0,025	0,041	0,044
24	40190002	1936 a 1952	-0,179	-0,142	-0,135	-0,006	0,045	-0,041	-0,141	0,079	0,044	-0,250	0,164	0,032	0,200								
25	40300001	1947 a 1955	0,302	0,132	0,061	-0,187	-0,310																
26	40330000	1957 a 1977	0,076	-0,216	-0,308	0,020	0,034	-0,195	0,125	-0,036	-0,048	-0,181	0,020	0,327	0,001	-0,093	-0,134	0,125	0,027				
27	40350000	1976 a 1985	-0,184	-0,244	0,206	-0,047	-0,150	-0,147															
28	40380000	1973 a 1979	0,396	-0,048	-0,169																		
29	40400000	1936 a 1952	-0,218	-0,137	0,089	-0,210	0,047	-0,100	-0,128	0,191	-0,024	-0,121	0,309	-0,078	0,090								
30	40450001	1964 a 1994	0,466	0,216	0,124	-0,121	-0,173	-0,128	-0,220	-0,296	-0,190	-0,175	-0,264	-0,157	-0,034	-0,094	-0,030	0,007	0,150	0,253	0,212	0,139	-0,017
31	40500000	1979 a 1998	0,180	0,086	0,123	-0,334	-0,161	-0,037	-0,023	-0,053	0,142	-0,055	-0,217	0,041	-0,169	-0,004	0,107	-0,138					
32	40530000	1973 a 1994	0,298	0,001	0,084	-0,103	-0,157	-0,238	-0,418	-0,174	0,037	-0,004	0,026	-0,018	0,101	0,135	-0,016	-0,122	-0,036	-0,003			
33	40535000	1949 a 1953	0,368																				
34	40540000	Menos de 4 anos contínuos																					
35	40549998	1980 a 1989	0,287	0,311	-0,061	-0,127	-0,327	-0,113															
36	40573000	1951 a 1964	-0,047	-0,245	-0,193	0,343	-0,050	-0,174	-0,205	0,026	0,202	-0,150											
37	40577000	1942 a 1955	0,276	0,285	-0,045	-0,050	-0,191	0,222	-0,122	0,130	-0,044	-0,183											
38	40579995	1938 a 1952	-0,103	0,217	-0,048	0,180	-0,065	0,151	-0,251	0,089	-0,229	-0,199	-0,097										
39	40665000	1943 a 1956	0,180	0,149	-0,083	-0,264	0,003	-0,085	0,147	0,034	-0,204	-0,107											
40	40680000	1969 a 1998	0,095	-0,109	0,119	0,052	0,050	0,270	-0,260	-0,060	0,164	0,053	-0,130	-0,015	-0,039	0,090	0,019	-0,177	-0,142	-0,019	0,021	-0,133	-0,189
41	40700002	1943 a 1955	0,277	0,329	-0,100	-0,297	-0,176	-0,206	-0,057	-0,007	-0,082												
42	40710000	1965 a 1989	0,385	0,250	0,087	0,000	-0,090	0,019	-0,232	-0,295	-0,267	-0,217	-0,243	-0,158	-0,024	-0,155	-0,019	0,039	0,084	0,142	0,167	0,069	0,054
43	40720002	1936 a 1950	-0,402	0,191	-0,439	0,142	-0,102	0,176	-0,229	0,256	-0,120	0,065	0,015										
44	40740000	1976 a 1990	0,122	0,126	0,148	-0,034	-0,338	-0,009	-0,371	-0,030	-0,032	-0,144	-0,059										
45	40770000	1976 a 1983	0,002	-0,347	0,208	0,159																	

Coeficientes de Autocorrelação

		Lag																						
	Código	Período	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
1	40025000	1969 a 1995	-0,135	-0,003																				
2	40032000	1968 a 1989																						
3	40035000	1939 a 1945																						
4	40037000	1986 a 1998																						
5	40040000	1971 a 1998	-0,015	0,008	0,074																			
6	40046000	1949 a 1955																						
7	40050000	1963 a 1998	-0,146	-0,133	-0,007	0,119	0,082	0,098	-0,019	-0,056	0,010	-0,019	0,034											
8	40053000	1966 a 1989																						
9	40056002	1939 a 1960																						
10	40056200	1975 a 1979																						
11	40056500	1943 a 1948																						
12	40060001	1966 a 1998	-0,081	-0,095	0,134	0,143	-0,063	0,051	-0,025	-0,056														
13	40067000	Menos de 4 anos contínuos																						
14	40070000	1976 a 1990																						
15	40080000	1968 a 1998	-0,089	-0,039	-0,005	0,052	-0,025	0,022																
16	40100000	1958 a 1998	-0,110	-0,194	-0,059	0,078	0,038	0,081	-0,040	-0,038	0,051	0,038	0,052	-0,092	-0,045	0,005	0,043	0,009						
17	40102000	1939 a 1952																						
18	40130000	1965 a 1978																						
19	40150000	1936 a 1975	0,067	0,029	-0,096	-0,222	-0,080	-0,010	0,045	0,005	-0,038	-0,030	-0,112	-0,137	-0,056	-0,034	-0,057							
20	40160000	1938 a 1946																						
21	40170000	1980 a 1998																						
22	40180000	1938 a 1948																						
23	40185000	1973 a 1998	0,030																					
24	40190002	1936 a 1952																						
25	40300001	1947 a 1955																						
26	40330000	1957 a 1977																						
27	40350000	1976 a 1985																						
28	40380000	1973 a 1979																						
29	40400000	1936 a 1952																						
30	40450001	1964 a 1994	-0,057	-0,063	-0,038	-0,016	0,027	0,031																
31	40500000	1979 a 1998																						
32	40530000	1973 a 1994																						
33	40535000	1949 a 1953																						
34	40540000	Menos de 4 anos contínuos																						
35	40549998	1980 a 1989																						
36	40573000	1951 a 1964																						
37	40577000	1942 a 1955																						
38	40579995	1938 a 1952																						
39	40665000	1943 a 1956																						
40	40680000	1969 a 1998	-0,089	-0,056	0,030	0,046	-0,126																	
41	40700002	1943 a 1955																						
42	40710000	1965 a 1989																						
43	40720002	1936 a 1950																						
44	40740000	1976 a 1990																						
45	40770000	1976 a 1983																						

Coeficientes de Autocorrelação

		Lag																					
Código	Período	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
46	40788000	1982 a 1992	0,243	0,277	-0,087	-0,313	-0,307	-0,247	-0,224														
47	40790000	1945 a 1964	0,327	0,203	0,193	0,052	-0,093	-0,306	-0,342	-0,311	-0,266	-0,294	-0,115	0,052	0,017	0,090	0,025	0,205					
48	40800001	1976 a 1998	0,121	-0,080	0,127	-0,006	-0,133	0,072	-0,278	-0,037	0,117	-0,079	-0,024	0,145	-0,100	0,036	-0,106	-0,263	0,023	0,128	-0,156		
49	40818000	1942 a 1964	-0,076	-0,261	-0,122	0,234	0,092	-0,186	-0,076	0,279	0,140	-0,207	-0,133	0,050	-0,049	0,017	-0,205	0,122	0,028	0,035	-0,089		
50	40830000	1954 a 1962	-0,171	-0,533	0,224	0,337	-0,249																
51	40850000	1967 a 1991	0,380	0,265	0,256	0,034	0,055	0,116	-0,147	-0,188	-0,112	-0,237	-0,178	-0,125	-0,093	-0,239	-0,122	-0,109	-0,061	0,094	0,048	-0,014	-0,022
52	40865001	1977 a 1994	0,168	0,065	0,253	-0,047	-0,130	0,134	-0,235	-0,066	-0,006	-0,257	-0,132	-0,093	-0,033	0,008							
53	40930000	1940 a 1952	-0,132	-0,495	-0,010	0,132	0,142	0,017	-0,257	0,086	0,154												
54	40960000	1972 a 1992	0,374	-0,033	0,000	-0,166	-0,188	-0,363	-0,520	-0,214	0,117	0,157	0,111	0,096	0,174	0,134	0,017	-0,090	-0,096				
55	40963000	1977 a 1994	0,339	-0,074	0,113	-0,006	-0,150	-0,102	-0,190	-0,119	0,086	0,086	-0,133	-0,190	-0,090	0,026							
56	40975000	1973 a 1980	0,454	-0,231	-0,492	-0,276																	
57	41050000	1968 a 1998	0,342	0,171	0,036	-0,144	-0,232	-0,279	-0,281	-0,142	0,069	0,161	-0,010	0,089	-0,103	-0,082	0,029	-0,119	-0,151	0,023	0,015	0,026	-0,084
58	41075001	1976 a 1986	0,290	-0,095	-0,044	-0,333	-0,505	-0,024	0,022														
59	41090000	Menos de 4 anos contínuos																					
60	41135000	1968 a 1998	0,543	0,152	0,212	0,134	-0,043	-0,146	-0,299	-0,311	-0,107	-0,147	-0,293	-0,197	-0,114	-0,055	-0,047	-0,123	-0,022	0,142	0,124	0,016	-0,015
61	41151000	1972 a 1992	0,337	0,042	0,010	-0,277	-0,226	-0,010	-0,146	-0,171	-0,212	-0,212	-0,075	0,096	0,296	0,197	0,055	-0,049	-0,079				
62	41160000	1936 a 1940	-0,256																				
63	41180000	1971 a 1995	0,277	0,089	0,026	-0,067	0,051	0,326	-0,195	-0,163	-0,244	-0,386	-0,139	0,018	-0,110	-0,077	-0,148	-0,189	0,037	0,110	0,061	0,015	-0,005
64	41190000	Menos de 4 anos contínuos																					
65	41195000	1926 a 1944	0,498	0,660	0,276	0,338	-0,043	-0,040	-0,188	-0,105	-0,277	-0,232	-0,285	-0,204	-0,307	-0,184	-0,204						
66	41199998	1971 a 1998	0,249	0,041	0,167	-0,043	-0,072	0,054	-0,411	-0,251	-0,101	-0,232	-0,066	0,175	-0,061	0,058	0,048	-0,149	-0,010	0,115	-0,094	-0,046	-0,035
67	41220000	Menos de 4 anos contínuos																					
68	41230000	Menos de 4 anos contínuos																					
69	41242100	1950 a 1954	0,272																				
70	41250000	1943 a 1960	0,221	0,046	0,076	0,121	0,001	-0,088	-0,126	-0,111	-0,175	-0,296	-0,139	0,134	-0,051	-0,107							
71	41260000	1980 a 1998	0,084	-0,153	0,184	-0,275	-0,053	0,120	-0,177	0,003	0,175	-0,103	-0,043	0,088	-0,151	-0,006	0,067						
72	41295000	1941 a 1964	0,177	0,105	0,318	0,257	0,040	0,151	-0,153	0,055	-0,006	-0,255	-0,166	0,011	-0,190	-0,207	-0,210	-0,068	-0,085	-0,087	-0,097	-0,044	
73	41300000	1949 a 1995	0,342	0,082	0,085	0,083	0,139	0,070	-0,103	-0,126	-0,052	-0,276	-0,208	-0,027	0,130	0,031	-0,158	-0,126	-0,024	0,094	0,004	-0,084	-0,057
74	41340000	1950 a 1965	0,146	-0,459	-0,206	0,277	0,187	-0,178	-0,276	0,073	0,195	-0,050	-0,205	-0,202									
75	41380000	1981 a 1998	0,137	-0,245	0,074	-0,126	-0,045	0,022	-0,191	-0,147	-0,030	-0,163	0,045	0,203	-0,054	0,033							
76	41410000	1965 a 1998	0,317	0,160	0,308	0,005	0,041	0,101	-0,257	-0,209	-0,091	-0,263	-0,129	0,002	-0,016	-0,095	-0,037	-0,121	-0,022	0,092	0,013	-0,128	-0,127
77	41440005	1971 a 1998	0,261	-0,056	0,250	-0,015	-0,075	0,058	-0,286	-0,244	0,000	-0,204	-0,167	0,093	0,107	0,113	0,120	-0,120	-0,037	0,135	0,026	-0,113	-0,113
78	41539998	1972 a 1998	0,238	-0,028	0,240	-0,159	-0,128	0,006	-0,381	-0,260	-0,031	-0,208	-0,103	0,145	0,127	0,094	0,074	-0,131	-0,034	0,110	0,019	-0,059	-0,057
79	41600000	1969 a 1998	0,296	0,119	0,273	-0,009	0,066	0,088	-0,317	-0,291	-0,122	-0,224	-0,118	0,040	-0,001	-0,037	0,034	-0,098	-0,018	0,119	-0,032	-0,124	-0,135
80	41650002	1972 a 1998	0,165	-0,026	0,202	-0,189	-0,112	-0,004	-0,387	-0,210	-0,055	-0,184	0,009	0,179	0,103	0,103	0,081	-0,183	-0,026	0,106	-0,047	-0,063	-0,052
81	41685000	1975 a 1998	0,138	0,090	0,248	-0,064	0,123	0,085	-0,158	-0,085	-0,056	-0,087	-0,081	0,044	-0,059	-0,130	-0,035	-0,297	-0,081	0,054	-0,158	-0,032	
82	41700001	1964 a 1988	0,227	0,173	0,428	-0,059	-0,147	-0,011	-0,218	-0,329	-0,183	-0,026	-0,228	-0,092	-0,018	-0,115	-0,032	0,032	0,004	0,010	0,027	0,040	0,015
83	41715000	Menos de 4 anos contínuos																					
84	41720000	1941 a 1958	0,040	-0,257	0,213	-0,165	-0,072	0,166	-0,243	0,050	0,272	-0,227	-0,166	-0,041	-0,097	0,014							
85	41780002	1979 a 1998	-0,081	-0,176	0,296	-0,231	-0,098	0,058	-0,073	-0,049	0,143	0,047	-0,035	0,108	-0,191	-0,107	0,118	-0,159					
86	41818000	1961 1998	0,220	0,062	0,274	-0,057	0,017	0,085	-0,164	-0,227	-0,089	-0,227	-0,219	0,056	0,026	0,002	-0,014	-0,185	-0,018	0,097	-0,018	-0,008	-0,129
87	41880000	1944 a 1964	0,015	-0,052	-0,046	0,142	-0,047	-0,079	-0,033	0,018	-0,062	-0,188	-0,157	-0,076	0,020	-0,058	-0,165	0,160	-0,098				
88	41890000	1975 a 1998	0,300	0,075	-0,019	-0,234	-0,159	0,086	0,061	-0,180	-0,223	-0,264	-0,061	0,019	0,116	0,018	-0,116	-0,195	-0,007	0,050	0,069	0,205	
89	41940000	1973 a 1988	0,090	-0,116	0,239	-0,168	-0,159	-0,022	-0,232	-0,095	-0,166	-0,221	0,103	0,110									
90	41990000	1956 a 1998	0,280	0,024	0,196	0,022	0,068	0,050	-0,110	-0,211	-0,140	-0,246	-0,174	0,078	0,032	-0,033	-0,085	-0,187	-0,014	0,119	-0,005	-0,094	-0,097

Coeficientes de Autocorrelação

		Lag																							
	Código	Período	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	
46	40788000	1982 a 1992																							
47	40790000	1945 a 1964																							
48	40800001	1976 a 1998																							
49	40818000	1942 a 1964																							
50	40830000	1954 a 1962																							
51	40850000	1967 a 1991																							
52	40865001	1977 a 1994																							
53	40930000	1940 a 1952																							
54	40960000	1972 a 1992																							
55	40963000	1977 a 1994																							
56	40975000	1973 a 1980																							
57	41050000	1968 a 1998	0,036	-0,036	0,057	0,016	-0,003	0,054																	
58	41075001	1976 a 1986																							
59	41090000	Menos de 4 anos contínuos																							
60	41135000	1968 a 1998	-0,017	-0,013	0,042	0,019	0,010	0,018																	
61	41151000	1972 a 1992																							
62	41160000	1936 a 1940																							
63	41180000	1971 a 1995																							
64	41190000	Menos de 4 anos contínuos																							
65	41195000	1926 a 1944																							
66	41199998	1971 a 1998	-0,028	0,087	0,072																				
67	41220000	Menos de 4 anos contínuos																							
68	41230000	Menos de 4 anos contínuos																							
69	41242100	1950 a 1954																							
70	41250000	1943 a 1960																							
71	41260000	1980 a 1998																							
72	41295000	1941 a 1964																							
73	41300000	1949 a 1995	0,020	-0,095	-0,100	-0,021	-0,023	0,057	-0,035	-0,148	-0,046	0,055	0,001	-0,007	0,011	0,015	0,014	-0,031	-0,040	0,006	0,032	0,024	0,003	-0,009	
74	41340000	1950 a 1965																							
75	41380000	1981 a 1998																							
76	41410000	1965 a 1998	-0,051	-0,020	-0,016	-0,021	-0,025	0,025	0,017	-0,017	0,036														
77	41440005	1971 a 1998	-0,066	-0,034	-0,089																				
78	41539998	1972 a 1998	-0,020	0,000																					
79	41600000	1969 a 1998	-0,063	0,037	0,031	-0,026	-0,071																		
80	41650002	1972 a 1998	-0,015	0,044																					
81	41685000	1975 a 1998																							
82	41700001	1964 a 1988																							
83	41715000	Menos de 4 anos contínuos																							
84	41720000	1941 a 1958																							
85	41780002	1979 a 1998																							
86	41818000	1961 1998	-0,074	-0,020	-0,012	0,023	0,038	0,071	-0,005	-0,046	-0,018	0,055	0,055	-0,044	-0,037										
87	41880000	1944 a 1964																							
88	41890000	1975 a 1998																							
89	41940000	1973 a 1988																							
90	41990000	1956 a 1998	-0,008	-0,097	0,025	0,064	-0,046	0,039	0,014	-0,037	0,009	0,103	0,029	-0,083	-0,056	0,016	0,082	0,006	-0,066	0,005					

Coeficientes de Autocorrelação

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	38/39	39/40	40/41	41/42	45/46	48/49	49/50	50/51
40540000	7.055	5.475	7.332	6.407	7.517	7.528	5.273	6.857
40579995	13.647	10.797	11.767	10.603	9.876	12.617	7.974	11.939

<i>40540000 40579995</i>	
40540000	1
40579995	0.614444 1

Estação	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78	78/79	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	87/88	88/89	89/90	94/95	97/98	98/99
40549998	8.944	7.067	5.508	5.185	7.383	6.905	12.748	8.386	9.442	11.917	7.710	8.876	6.741	6.705	7.658	5.957	6.404	5.122	6.219
40579995	11.952	10.894	8.361	7.162	10.377	10.162	15.918	8.949	12.373	13.013	7.662	12.237	8.512	7.791	6.241	6.791	8.708	7.833	10.383
41151000	3.430	3.045	2.467	1.852	2.919	3.007	6.172	3.302	4.902	4.361	3.367	5.125	4.069	3.192	2.239	2.768	2.212	2.743	2.116
41180000	8.338	8.348	8.068	6.029	8.552	7.188	12.583	8.725	10.012	10.147	8.035	11.903	9.977	8.372	6.348	6.935	5.640	5.982	5.231

<i>40549998 40579995 41151000 41180000</i>			
40549998	1		
40579995	0.817587	1	
41151000	0.826088	0.783908	1
41180000	0.771166	0.717139	0.940298 1

Estação	42/43	43/44	44/45	45/46	46/47	47/48	48/49	49/50	50/51	51/52	52/53	55/56	57/58	61/62	62/63	63/64	64/65
40577000	6.544	4.619	4.430	3.776	4.026	3.344	5.480	3.651	4.452	4.104	3.257	2.443	3.477	2.351	2.748	3.073	4.934
40579995	17.058	11.554	11.129	9.876	10.787	8.852	12.617	7.974	11.939	9.881	7.520	7.148	8.395	7.905	6.769	6.739	11.922

<i>40577000 40579995</i>	
40577000	1
40579995	0.951915 1

Estação	43/44	44/45	45/46	46/47	47/48	48/49	49/50	50/51	51/52	52/53	53/54	54/55	55/56
40665000	5.408	4.492	3.564	4.932	3.312	4.911	3.546	5.677	4.894	2.594	2.897	2.421	2.791
40680000	11.464	8.706	7.424	11.446	6.592	11.160	9.387	15.387	8.876	6.450	5.732	4.759	5.625
40700002	47.167	45.175	39.650	47.300	36.533	65.150	41.508	56.525	49.400	29.992	26.552	24.845	31.900

	40665000	40680000	40700002
40665000	1		
40680000	0.916971	1	
40700002	0.890866	0.855194	1

Estação	65/66	66/67	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78	78/79	79/80	80/81	81/82	83/84	84/85
40665000	3.587	4.161	4.413	3.877	2.590	2.291	5.565	4.284	6.587	5.737	4.947	6.391	4.885	5.819
40680000	8.598	9.897	9.241	7.876	7.212	6.386	9.668	8.555	11.558	9.055	9.431	12.172	10.963	12.658
40710000	59.250	58.567	55.933	48.783	37.167	31.800	50.942	44.958	73.042	59.708	51.508	65.517	51.108	68.125

	40665000	40680000	40710000
40665000	1		
40680000	0.864051	1	
40710000	0.832946	0.846575	1

Estação	67/68	68/69	69/70	70/71	71/72	76/77	77/78	78/79	81/82	83/84	86/87	87/88
40710000	40.617	32.175	40.350	20.715	46.817	50.942	44.958	73.042	65.517	51.108	46.908	42.017
40770000	9.551	7.296	9.079	5.217	16.035	10.297	8.408	16.967	15.695	13.427	11.173	10.626
41300000	5.642	5.882	7.267	3.407	7.821	10.780	10.222	23.451	15.057	10.515	6.622	11.179
41340000	64.958	58.858	67.200	35.783	58.833	75.608	66.058	124.417	123.783	87.208	57.500	82.333
41380000	4.144	4.445	5.514	2.958	6.413	7.341	4.989	15.082	10.120	6.836	4.361	7.199
41700001	26.557	33.687	29.455	19.952	30.747	35.345	30.352	62.525	59.217	30.833	24.058	30.765

	40710000	40770000	41300000	41340000	41380000	41700001
40710000	1					
40770000	0.874844	1				
41300000	0.899123	0.730713	1			
41340000	0.909631	0.754836	0.914323	1		
41380000	0.892188	0.787795	0.977807	0.91222	1	
41700001	0.855996	0.708772	0.900485	0.92818	0.922065	1

Estação	74/75	75/76	76/77	77/78	79/80	80/81	81/82	83/84	84/85	85/86	86/87	87/88	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	97/98	98/99
41300000	6.069	4.140	10.780	10.222	13.962	10.535	15.057	10.515	16.986	9.445	6.622	11.179	8.637	11.250	14.170	10.847	8.600	6.351	8.882	8.617	5.449
41340000	56.658	38.058	75.608	66.058	92.367	77.733	123.783	87.208	136.350	80.875	57.500	82.333	69.331	91.667	96.875	85.617	80.017	65.200	85.108	69.100	56.675
41780002	79.375	53.289	84.108	78.117	93.100	60.558	142.933	61.350	131.017	68.867	51.583	76.833	57.983	88.417	109.833	84.308	66.367	56.283	62.550	62.184	57.642

	41300000	41340000	41780002
41300000	1		
41340000	0.929796	1	
41780002	0.849521	0.844753	1

Estação	44/45	46/47	49/50	50/51	51/52	52/53	54/55	55/56	56/57	57/58	58/59	61/62
41295000	7.104	4.659	4.424	5.269	5.046	4.115	3.465	3.412	5.240	4.592	2.134	3.947
41300000	16.262	10.523	8.928	10.402	11.114	8.469	6.855	7.512	11.652	10.677	4.982	8.427
41380000	9.999	6.838	6.617	8.303	9.471	6.270	3.872	5.159	8.700	7.221	3.279	5.657
41720000	8.571	5.921	5.193	8.063	9.397	4.819	4.215	5.908	10.148	9.333	5.565	9.018

	41295000	41300000	41380000	41720000
41295000	1			
41300000	0.979705	1		
41380000	0.929703	0.918422	1	
41720000	0.565352	0.615818	0.702466	1

Estação	72/73	73/74	75/76	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	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99
41135000	862.288	827.333	661.167	596.417	866.083	1338.250	1184.500	784.167	1447.750	1686.500	1056.500	1022.167	986.583	814.583	664.167	612.167	521.750	706.583	1199.667	941.167	869.000	668.750	759.000	969.083	879.083	711.333
41410000	77.125	78.192	43.833	88.917	76.033	148.233	111.800	91.733	151.408	139.100	97.992	159.675	89.525	69.942	103.900	68.658	82.850	123.192	119.408	103.000	93.825	79.842	110.558	135.308	84.458	65.000
41440005	1.446	1.705	0.954	2.092	3.102	5.281	2.926	2.391	4.962	3.799	3.143	4.961	2.322	1.724	3.992	1.923	2.428	3.513	4.027	2.853	2.880	2.129	3.142	5.304	3.556	2.120
41539998	3.332	3.292	1.783	4.171	4.395	8.617	5.967	4.249	9.263	7.595	6.017	8.275	3.799	2.569	6.302	3.263	3.947	6.250	6.322	4.470	4.947	3.133	5.447	8.188	5.282	3.070
41600000	88.350	88.592	48.783	107.725	86.608	184.883	134.625	106.833	171.700	158.167	115.892	182.350	107.425	80.758	123.500	81.492	93.367	134.708	142.108	118.300	109.825	90.183	120.883	165.033	105.142	76.775
41650002	110.558	109.850	56.508	125.317	100.200	228.892	157.908	118.742	216.500	189.408	130.383	219.142	120.050	89.592	136.300	86.892	99.542	150.325	175.033	136.100	128.875	96.858	142.567	199.408	121.183	89.217
41818000	169.967	150.558	107.975	220.200	174.633	383.725	261.167	183.575	361.850	291.750	197.542	356.417	189.592	142.767	211.133	145.675	151.125	236.742	285.883	213.433	185.858	155.242	195.933	298.458	175.158	141.258
41890000	17.657	14.505	11.057	17.957	19.142	33.721	21.715	20.020	25.506	12.433	11.703	23.659	14.456	6.686	10.606	6.359	14.056	18.705	23.789	16.585	15.154	12.301	11.536	18.612	16.758	27.435
41990000	249.892	217.583	155.333	320.383	305.625	592.250	417.500	279.183	519.000	408.917	280.800	514.917	311.608	199.475	270.117	204.300	249.967	341.992	438.417	311.308	280.683	205.867	267.617	410.825	248.175	225.158

	41135000	41410000	41440005	41539998	41600000	41650002	41818000	41890000	41990000
41135000	1								
41410000	0.692829	1							
41440005	0.593285	0.902157	1						
41539998	0.699716	0.956516	0.959289	1					
41600000	0.703497	0.990979	0.921667	0.963859	1				
41650002	0.739626	0.982091	0.910938	0.959097	0.992358	1			
41818000	0.738642	0.957186	0.886776	0.936198	0.971848	0.982476	1		
41890000	0.420788	0.517477	0.535396	0.521043	0.553545	0.596376	0.64734	1	
41990000	0.743995	0.914682	0.848789	0.892425	0.935407	0.949662	0.98118	0.72647	1

Estação	44/45	45/46	49/50	50/51	51/52	52/53	53/54	56/57	61/62	62/63	63/64	64/65
41818000	329.567	285.708	183.192	244.483	269.758	165.383	133.333	243.883	173.550	166.767	156.025	274.758
41880000	2.504	1.503	0.715	1.072	1.370	0.769	0.701	1.505	1.007	0.861	0.898	3.575
41990000	463.750	399.667	250.042	347.083	381.267	230.850	189.358	336.408	247.025	232.675	213.108	380.442

	41818000	41880000	41990000
41818000	1		
41880000	0.734849	1	
41990000	0.999009	0.723884	1

Estação	65/66	66/67	67/68	68/69	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75	75/76
40130000	30.333	35.417	23.642	22.337	24.191	11.117	26.742	27.458	28.158	23.435	21.025
40150000	43.833	49.275	33.258	34.183	37.100	22.083	34.558	37.317	34.392	27.317	23.508
40330000	115.808	112.325	78.733	69.158	82.100	37.917	83.650	112.983	96.217	73.092	64.708
40450001	187.810	183.330	131.700	108.170	127.330	56.600	136.690	168.440	136.110	104.490	89.940

	40130000	40150000	40330000	40450001
40130000	1			
40150000	0.886668	1		
40330000	0.928139	0.869017	1	
40450001	0.9267	0.92573	0.979176	1

Estação	38/39	39/40	40/41	41/42	42/43	43/44	44/45	45/46	46/47
40150000	64.458	33.842	43.033	38.683	57.575	37.075	36.833	40.125	43.058
40160000	4.201	2.427	2.982	2.052	5.203	2.171	2.367	2.677	3.529
40180000	3.755	2.695	2.753	2.815	4.622	2.324	2.543	3.321	3.122
40190002	41.354	24.630	29.717	26.714	46.998	24.910	26.425	30.925	34.075
40400000	42.092	29.617	32.408	23.000	37.592	23.967	26.808	36.350	31.917

	40150000	40160000	40180000	40190002	40400000
40150000	1				
40160000	0.876479	1			
40180000	0.824579	0.924184	1		
40190002	0.919362	0.97843	0.958843	1	
40400000	0.812808	0.795118	0.782573	0.807064	1

Estação	67/68	68/69	69/70	72/73	73/74	74/75	75/76	80/81	81/82	82/83	83/84	85/86	86/87	87/88	88/89	89/90	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	97/98	98/99
40150000	33.258	34.183	37.100	37.317	34.392	27.317	23.508	35.200	43.642	68.375	47.892	38.658	31.850	32.450	26.217	28.092	52.541	47.258	35.492	32.342	30.000	32.425	27.092
40170000	12.754	11.727	15.047	16.896	13.006	11.812	10.722	11.435	19.433	29.842	20.473	15.787	16.359	12.271	11.807	10.932	19.096	14.985	11.804	8.872	8.887	12.913	12.803
40330000	78.733	69.158	82.100	112.983	96.217	73.092	64.708	97.292	143.892	204.375	141.292	111.158	92.267	88.925	76.658	77.725	132.667	119.075	100.208	91.425	87.058	94.267	83.792

	40150000	40170000	40330000
40150000	1		
40170000	0.888851	1	
40330000	0.938054	0.910587	1

Estação	38/39	39/40	40/41	41/42	42/43	43/44	44/45	45/46	46/47	47/48	48/49
40150000	64.458	33.842	43.033	38.683	57.575	37.075	36.833	40.125	43.058	31.425	63.683
40180000	3.755	2.695	2.753	2.815	4.622	2.324	2.543	3.321	3.122	2.113	4.297
40190002	41.354	24.630	29.717	26.714	46.998	24.910	26.425	30.925	34.075	26.617	42.592
40400000	42.092	29.617	32.408	23.000	37.592	23.967	26.808	36.350	31.917	24.832	39.092

	40150000	40180000	40190002	40400000
40150000	1			
40180000	0.888265	1		
40190002	0.926615	0.950705	1	
40400000	0.855164	0.838552	0.843886	1

Estação	43/44	47/48	48/49	58/59	59/60	60/61	73/74	74/75	75/76	79/80
40150000	37.075	31.425	63.683	22.667	36.658	59.875	34.392	27.317	23.508	46.283
40330000	91.758	88.800	161.025	55.958	75.717	121.642	96.217	73.092	64.708	139.267
40380000	18.761	17.357	27.357	12.344	13.503	23.487	17.124	10.624	11.328	24.334
40400000	23.967	24.832	39.092	16.764	18.508	33.975	21.527	14.228	14.832	33.750

	40150000	40330000	40380000	40400000
40150000	1			
40330000	0.915726	1		
40380000	0.917152	0.963526	1	
40400000	0.930993	0.958971	0.992385	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	7.565	8.685	8.632	9.362	7.269	6.884	10.182	6.890	9.394	8.647	7.716	7.197	6.181	6.899	7.292	11.008	8.254
40032000	19.262	18.287	21.221	16.399	16.505	16.696	20.252	15.117	25.300	22.108	15.564	18.153	15.099	13.522	12.031	25.892	19.332
40037000	26.190	20.573	20.111	22.819	16.123	16.023	26.686	15.711	29.638	27.850	25.349	18.702	16.578	14.922	14.102	25.948	21.186
40040000	5.775	3.472	5.989	4.036	4.026	4.010	6.523	4.306	6.923	6.267	3.273	5.043	4.177	2.822	2.428	7.049	6.192
40050000	94.883	106.075	121.000	107.058	90.692	90.983	125.100	93.025	128.033	134.242	77.500	105.475	80.667	72.225	81.067	133.375	107.233

	40025000	40032000	40037000	40040000	40050000
40025000	1				
40032000	0.763063	1			
40037000	0.730666	0.778457	1		
40040000	0.651681	0.913161	0.721145	1	
40050000	0.823967	0.901732	0.703762	0.859133	1

Estação	39/40	40/41	41/42	42/43	43/44	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
40050000	109.475	86.225	91.642	159.658	72.067	137.592	92.050	95.633	96.700	141.717	101.392	60.225	56.042	45.558	74.808	145.117	81.892	83.100
40056002	6.258	5.775	6.284	8.615	4.303	9.757	4.522	4.557	5.162	9.471	9.410	5.578	3.669	3.501	5.763	6.705	6.592	6.078

	40050000	40056002
40050000	1	
40056002	0.767844	1

Estação	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	85/86	86/87	87/88	88/89	89/90	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99
40053000	2.599	3.367	0.725	5.686	3.932	2.775	2.421	3.015	3.754	4.151	4.598	5.766	1.870	7.388	7.452	4.173	6.110	2.455	3.957	1.733	1.745	3.443	3.301	2.206	6.394	3.797	4.908
40080000	4.166	9.631	2.229	10.727	9.212	9.577	7.713	3.759	9.016	7.967	14.802	9.081	5.460	21.623	19.622	10.660	13.367	9.422	6.680	7.883	5.381	8.642	8.411	7.952	12.744	9.639	9.959
40100000	140.800	192.125	71.158	199.175	232.167	203.217	176.908	156.550	238.692	194.792	274.825	270.342	157.392	394.058	403.000	257.517	298.283	210.300	204.125	172.625	142.267	163.533	193.267	165.233	308.000	215.250	197.583
40850000	78.217	100.000	45.575	109.708	132.975	120.833	93.150	73.142	121.408	99.475	213.683	173.433	128.133	175.475	233.008	147.275	206.650	129.842	106.975	145.192	86.875	108.217	115.675	134.993	201.742	115.510	87.965

	40053000	40080000	40100000	40850000
40053000	1			
40080000	0.8352218	1		
40100000	0.893792	0.9345505	1	
40850000	0.7041471	0.8029005	0.8605011	1

Estação	39/40	40/41	41/42	49/50	51/52	52/53	62/63	63/64	64/65
40067000	176.958	148.117	153.608	153.842	200.825	89.417	183.942	108.719	308.340
40102000	244.575	228.108	205.408	221.075	317.250	136.725	242.825	153.727	381.893
40790000	1.440	2.286	1.989	2.351	2.696	1.566	2.816	2.156	3.821

	40067000	40102000	40790000
40067000	1		
40102000	0.9672019	1	
40790000	0.8228863	0.790692	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	89/90	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99
40053000	2.599	3.367	5.686	3.754	4.151	4.598	5.766	1.870	7.388	7.452	4.173	6.110	2.455	3.957	1.733	1.745	3.443	3.301	2.206	6.394	3.797	4.908
40070000	115.733	154.575	161.550	194.792	154.167	215.800	216.983	126.267	312.550	319.358	207.658	235.142	162.692	165.525	132.067	111.342	125.517	159.150	129.375	235.608	166.425	153.975
40080000	4.166	9.631	10.727	9.016	7.967	14.802	9.081	5.460	21.623	19.622	10.660	13.367	9.422	6.680	7.883	5.381	8.642	8.411	7.952	12.744	9.639	9.959
40100000	140.800	192.125	199.175	238.692	194.792	274.825	270.342	157.392	394.058	403.000	257.517	298.283	210.300	204.125	172.625	142.267	163.533	193.267	165.233	308.000	215.250	197.583
40850000	78.217	100.000	109.708	121.408	99.475	213.683	173.433	128.133	175.475	233.008	147.275	206.650	129.842	106.975	145.192	86.875	108.217	115.675	134.993	201.742	115.510	87.965

	40053000	40070000	40080000	40100000	40850000
40053000	1				
40070000	0.8795792	1			
40080000	0.8261398	0.9210503	1		
40100000	0.8780622	0.9978555	0.929339	1	
40850000	0.6417937	0.8128833	0.7531513	0.828245	1

Estação	82/83	83/84	84/85	85/86	86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	94/95
40080000	19.622	10.660	13.367	9.422	6.680	7.883	5.381	8.642	14.722	15.928	11.743	8.411
40100000	403.000	257.517	298.283	210.300	204.125	172.625	142.267	163.533	255.275	312.592	284.333	193.267
40530000	13.502	7.505	7.876	7.196	4.236	6.744	3.839	5.082	7.864	9.903	8.396	4.845
40788000	140.300	91.800	121.700	87.100	78.100	77.300	59.400	62.200	99.600	97.700	94.800	64.800
40800001	147.542	92.892	133.758	88.150	79.425	79.500	58.342	64.733	104.758	99.525	95.700	71.800
40865001	242.940	158.750	228.410	139.850	107.300	137.040	92.480	103.460	152.620	158.350	149.680	100.720

	40080000	40100000	40530000	40788000	40800001	40865001
40080000	1					
40100000	0.9374196	1				
40530000	0.9396684	0.9301187	1			
40788000	0.8866089	0.9395234	0.8902972	1		
40800001	0.878274	0.9228075	0.8604179	0.9934472	1	
40865001	0.8376007	0.8845227	0.8572525	0.9735593	0.9783259	1

Estação	77/78	78/79	79/80	80/81	83/84	84/85	85/86	86/87	88/89	89/90	91/92	92/93
40960000	35.348	49.680	37.577	26.959	32.451	33.021	26.880	22.394	20.703	26.277	44.961	41.551
40963000	43.420	59.020	43.860	31.780	37.020	39.560	35.590	24.100	22.910	25.310	57.300	40.900
40975000	19.597	22.837	21.841	15.987	17.796	21.123	23.568	12.167	20.645	13.981	23.373	22.456

	40960000	40963000	40975000
40960000	1		
40963000	0.9541785	1	
40975000	0.6205229	0.6864721	1

ANEXO E

ESTUDOS DE INDICADORES REGIONAIS

Região A

Alto São Francisco

	Área (km²)	Q_{mit} (m³/s)	Q_{mit esp} (l/skm²)	L (km)	I_{equiv} (m/km)	P médio (m)	C_{esc}
40025000 Vargem Bonita	303	8,89	29,3	37,1	4,55	1,594	0,58
40032000 Fazenda Samburá	763	18,9	24,7	64,0	3,36	1,651	0,47
40035000 Fazenda Samburá	547,2	15,5	28,3	57,1	2,99	1,571	0,57
40037000 Fazenda da Barra	765,4	21,8	28,5	72,6	0,60	1,571	0,57
40040000 Fazenda Ajudas	259	5,17	20,0	30,3	2,73	1,508	0,42
40046000 Porto Sabino	4388,2	76,1	17,3	115,9	1,31	1,559	0,35
40050000 Iguatama	5426,3	106	19,6	196,0	0,36	1,539	0,40
40053000 Calciolândia	304	3,92	12,9	40,2	1,79	1,365	0,30
40056002 Fazenda Capoeirão	334	6,98	20,9	59,4	3,22	1,591	0,41
40056200 Montante Bom Sucesso	334	7,26	21,0	59,6	3,23	1,590	0,42
40056500 Ponte Capoeirão	489,7	9,83	20,1	60,4	3,18	1,640	0,39
40060001 Tapiraí Jusante	559,1	12,0	21,5	46,9	3,81	1,795	0,38
40067000 Ponte Olegário Maciel	8986,9	171	19,0	257,2	0,28	1,535	0,39
40070000 Ponte do Chumbo	9939,4	179	18,1	314,8	0,22	1,522	0,37
40080000 Taquaral	650,8	9,67	14,9	56,8	1,00	1,425	0,33

Região B

Alto Pará

	Área (km²)	Q_{mit} (m³/s)	Q_{mit esp} (l/skm²)	L (km)	I_{equiv} (m/km)	P médio (m)	C_{esc}
40130000 Ponte do Vilela	1725,7	27,4	15,9	75,8	1,92	1,533	0,33
40150000 Carmo do Cajuru	2504,1	38,8	15,5	121,1	1,12	1,507	0,32
40160000 Lamounier	162,6	3,02	18,6	21,7	4,30	1,503	0,39
40170000 Marilândia	1055	15,0	14,2	52,1	2,28	1,479	0,30
40180000 Carmo da Mata	144	2,91	20,2	23,6	5,93	1,433	0,44
40185000 Pari	1930,5	28,7	14,8	69,0	1,84	1,460	0,32
40190002 Divinópolis	2000,2	31,7	15,9	82,7	1,65	1,457	0,34
40300001 Jaguaruna Jusante	1558	22,0	14,1	119,1	1,82	1,432	0,31
40330000 Velho da Taipa	7378,3	102	13,8	219,4	0,75	1,456	0,30
40350000 Usina Camarão	269,1	4,53	16,8	40,6	3,16	1,502	0,35
40380000 Araújos	1195,8	18,0	15,1	109,6	0,98	1,445	0,33
40400000 Estação Álvaro da Silveira	1801,7	27,0	15,0	148,5	1,03	1,438	0,33

Região C

Altos rios Paraopeba e Velhas e rio Cipó

	Área (km²)	Q_{mit} (m³/s)	Q_{mit esp} (l/skm²)	L (km)	I_{equiv} (m/km)	P médio (m)	C_{esc}
40540000 Jurema	353	6,76	19,1	33,1	2,81	1,402	0,43
40549998 S. Brás do Suaçuí Montante	461	7,78	16,9	52,0	2,69	1,400	0,38
40573000 Joaquim Murinho	291	4,08	14,0	32,7	3,94	1,462	0,30
40577000 Ponte Jubileu	244	3,70	15,2	18,3	7,20	1,466	0,33
40579995 Congonhas Linígrafo	579	9,63	16,6	41,6	3,18	1,464	0,36
40665000 Usina João Ribeiro	293	4,32	14,7	45,7	2,44	1,373	0,34
40680000 Entre Rios de Minas	486	9,38	19,3	47,3	1,25	1,369	0,44
40700002 Jeceaba	2465	43,0	17,5	88,9	1,81	1,409	0,39
40710000 Belo Vale	2760	49,8	18,0	118,9	1,59	1,408	0,40
40720002 Melo Franco	3810	65,2	17,1	178,9	1,20	1,472	0,37
40740000 Alberto Flores	3939	61,9	15,7	187,4	1,21	1,422	0,35
40770000 Conceição do Itaguá	675	11,7	17,4	53,8	2,96	1,485	0,37
41151000 Fazenda Água Limpa Jusante	175	3,26	18,7	26,2	8,59	1,498	0,39
41160000 Gulpiara	284	6,14	21,6	40,7	5,39	1,498	0,46
41180000 Itabirito Linígrafo	330	7,98	24,2	47,7	5,25	1,518	0,50
41190000 Aguiar Moreira	539	11,2	20,8	74,9	3,86	1,523	0,43
41199998 Honório Bicalho -Montante	1698	29,8	17,5	90,3	2,56	1,535	0,36
41220000 Siderúrgica	232	3,33	14,3	35,0	7,82	1,446	0,31
41230000 Sabará	2273	39,0	17,2	116,3	2,12	1,529	0,35
41242100 General Carneiro	206	3,48	16,9	29,9	138,25	1,571	0,34
41295000 José de Melo	291	4,86	16,7	32,6	3,54	1,448	0,36
41300000 Taquaraçu	626	9,97	15,9	46,4	7,02	1,447	0,35
41700001 Usina Paraúna	1733	32,8	18,9	80,4	2,75	1,266	0,47
41715000 Faz. Cachoeira	85	2,24	26,4	24,3	8,55	1,520	0,55
41720000 Faz. do Cipó	341	9,56	28,0	46,0	4,28	1,454	0,61
41780002 Presidente Juscelino	3996	78,9	19,8	100,4	2,48	1,345	0,46

Região D

Baixo rio das Velhas

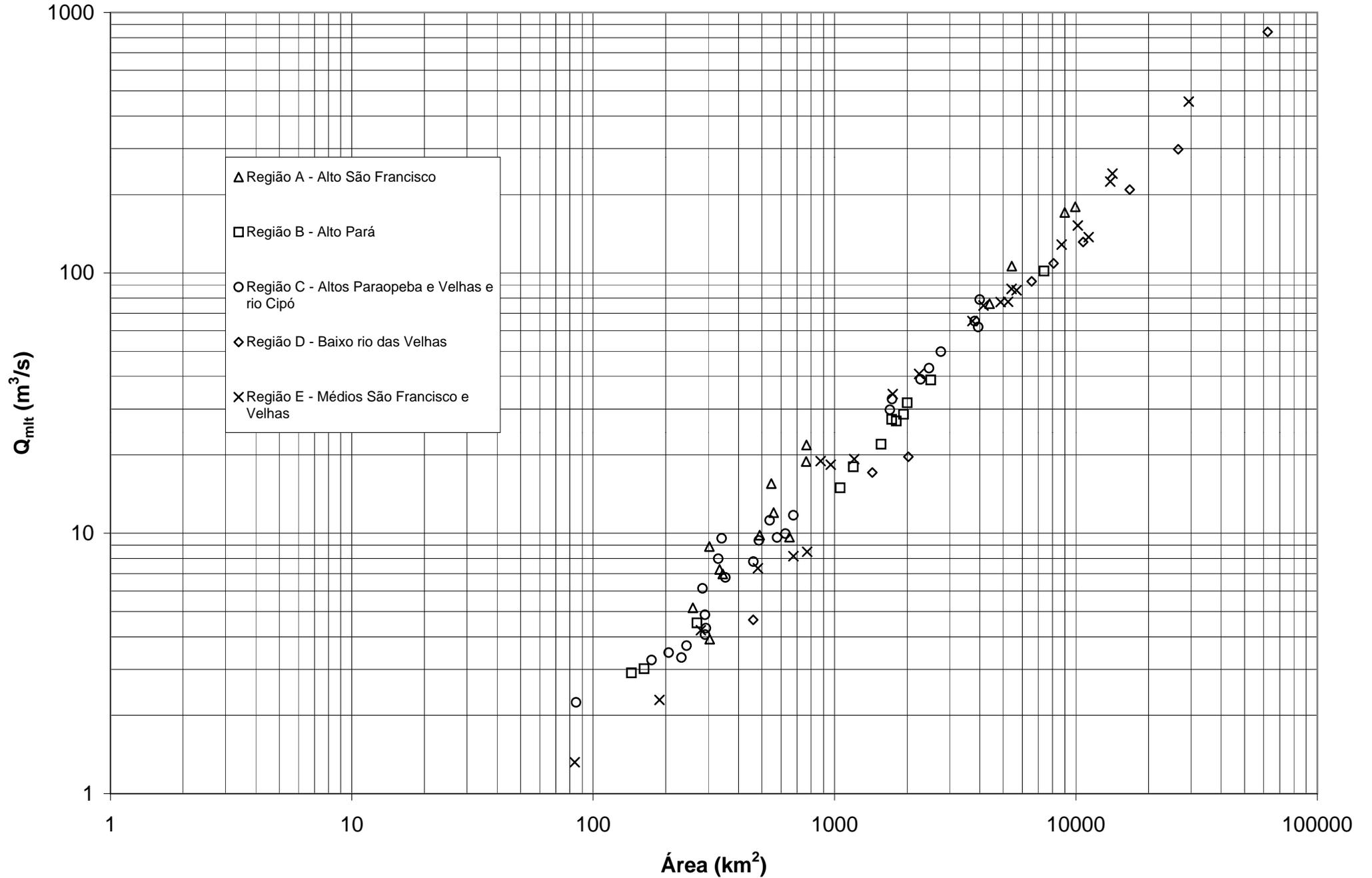
	Área (km²)	Q_{mt} (m³/s)	Q_{mt esp} (l/skm²)	L (km)	I_{equiv} (m/km)	P médio (m)	C_{esc}
41135000 Pirapora Barreiro	62334,3	842	13,5			1,414	0,30
41410000 Jequitibá	6557,7	92,7	14,1	288,8	0,76	1,423	0,31
41539998 Faz. da Contagem Montante	460,4	4,65	10,1	40,3	1,40	1,346	0,24
41600000 Pirapama	8085,6	109	13,5	360,8	0,61	1,406	0,30
41650002 Ponte do Licínio Jusante	10711,6	131	12,3	473,8	0,54	1,360	0,28
41818000 Santo Hipólito	16721,9	209	12,5	566,3	0,47	1,330	0,30
41890000 Estação de Curimatai	1434,7	17,1	11,9	75,7	1,02	1,108	0,34
41940000 Ponte do Bicudo	2023	19,7	9,7	111,5	1,07	1,216	0,25
41990000 Várzea da Palma	26553	298	11,2	707,3	0,44	1,271	0,28

Região E

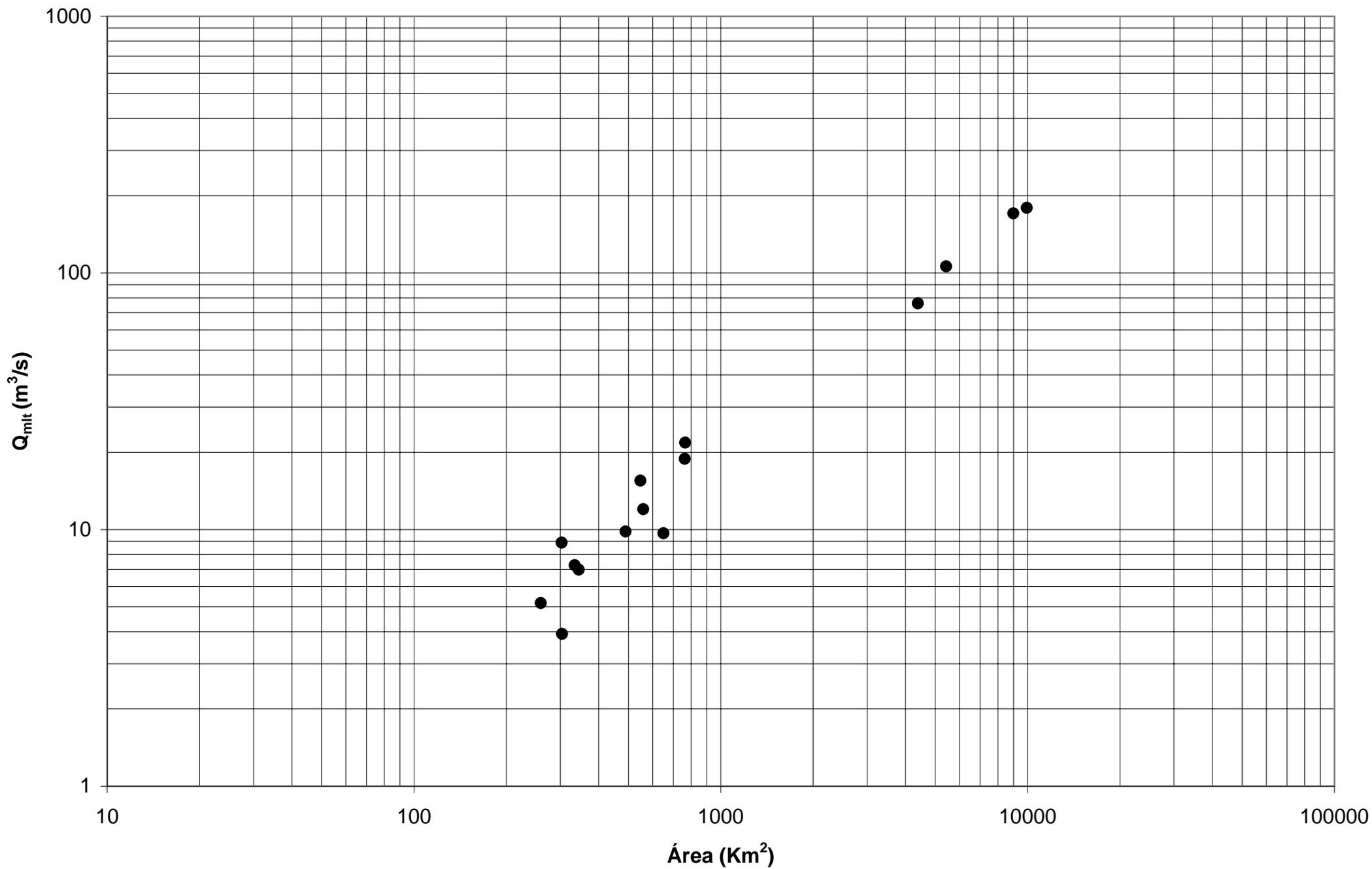
Médios São Francisco São Francisco, Pará, Paraopeba e Velhas

	Área (km²)	Q_{mt} (m³/s)	Q_{mt esp} (l/skm²)	L (km)	I_{equiv} (m/km)	P médio (m)	C_{esc}
40100000 Porto das Andorinhas	13881,8	224	16,2	412,4	0,19	1,494	0,34
40102000 Porto da Barra	14180,1	241	17,0	433,0	0,20	1,491	0,36
40450001 Porto Pará (CEMIG)	11302,2	148	13,1	293,1	0,46	1,431	0,29
40500000 Martinho Campos	769,7	8,49	11,0	56,2	1,04	1,393	0,25
40530000 Abaeté	481,3	7,34	15,3	52,7	2,00	1,438	0,33
40535000 Barra do Paraopeba	29366,18	455	15,5	0,0	0,00	1,454	0,34
40788000 São Joaquim de Bicas (CEMIG)	5414,2	86,8	16,0	218,2	1,08	1,448	0,35
40790000 Betim	188,3	2,29	12,2	26,4	3,10	1,460	0,26
40800001 Ponte Nova do Paraopeba	5680,4	85,7	15,1	236,3	1,00	1,449	0,35
40818000 Juatuba	279,4	4,24	15,2	40,0	4,52	1,531	0,31
40830000 Fazenda Escola Florestal	83,9	1,32	15,7	18,0	10,27	1,436	0,35
40850000 Ponte da Taquara	8734	128	14,7	346,3	0,66	1,434	0,32
40865001 Porto do Mesquita (CEMIG)	10191,5	152	14,9	419,8	0,60	1,414	0,33
40930000 Barra do Funchal	875,8	18,9	21,6	58,7	1,90	1,582	0,43
40960000 Fazenda Bom Jardim	1743,5	34,2	19,6	162,7	1,12	1,572	0,39
40963000 Porto Indaia (CEMIG)	2242,4	40,9	18,3	222,9	1,12	1,558	0,37
40975000 Fazenda São Félix	964,2	18,3	19,0	142,7	1,38	1,511	0,40
41050000 Major Porto	1206,9	19,3	16,0	60,0	2,29	1,475	0,34
41075001 Porto do Passarinho	4142,9	75,0	18,1	194,6	1,09	1,505	0,38
41090000 Canoeiros	5235	77,5	14,8	258,6	1,17	1,471	0,32
41250000 Vespasiano	675,7	8,17	12,1	55,7	2,35	1,329	0,29
41260000 Pinhões	3727,4	65,3	17,5	156,8	1,42	1,475	0,37
41340000 Ponte Raul Soares	4874,2	77,2	15,8	200,3	1,13	1,458	0,34

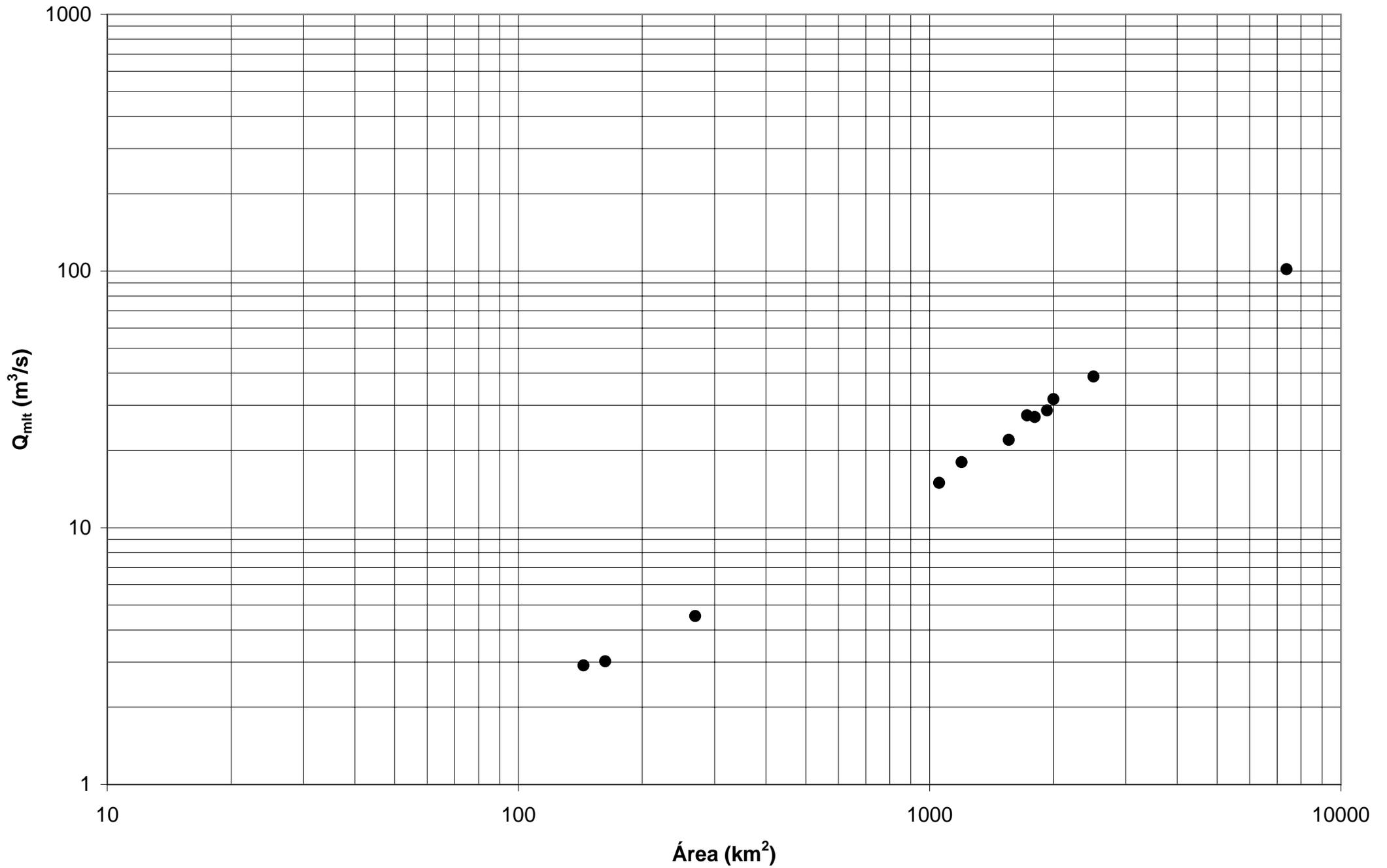
ÁREA X Q_{mlt}



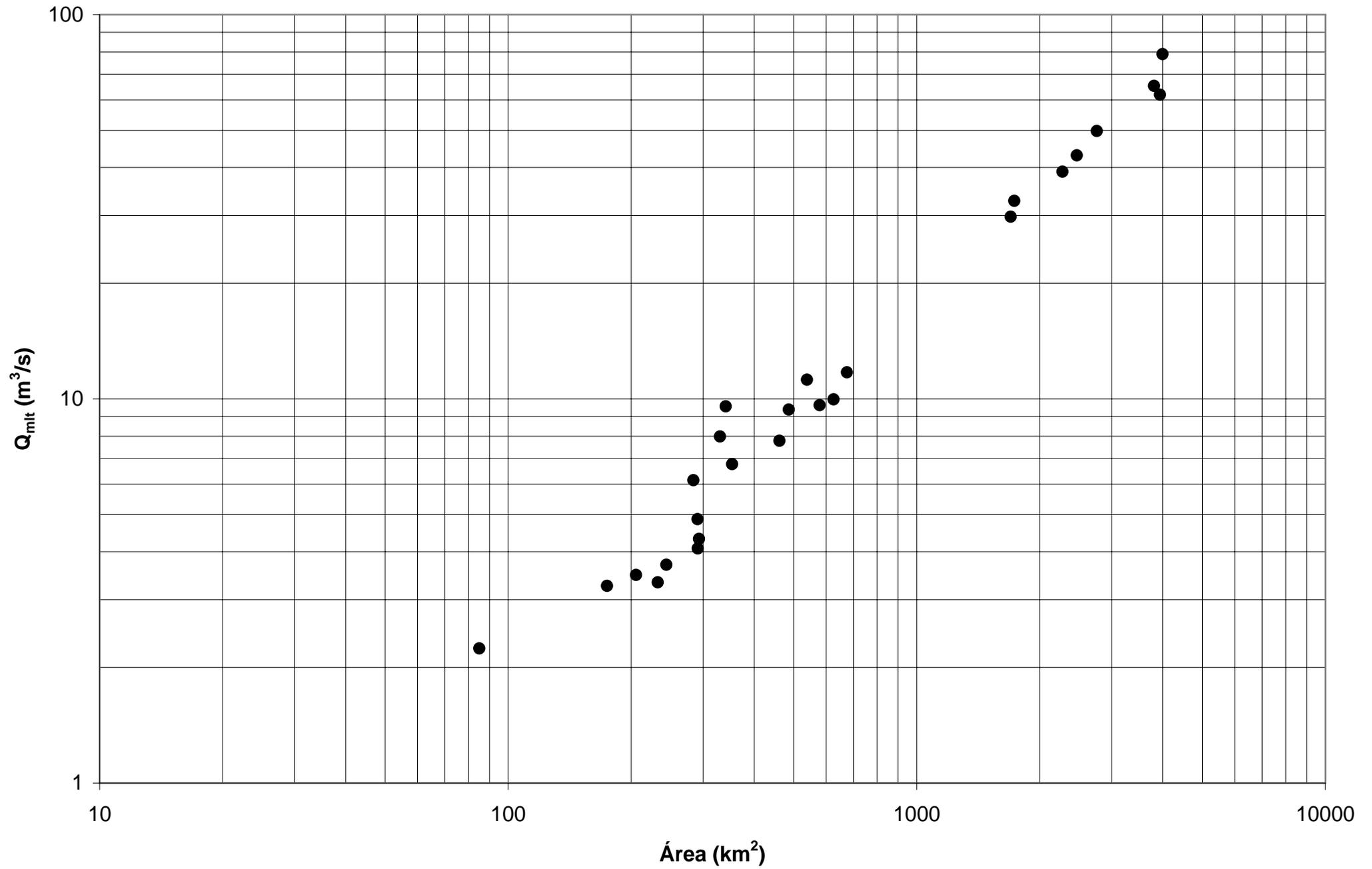
REGIÃO A - Alto São Francisco



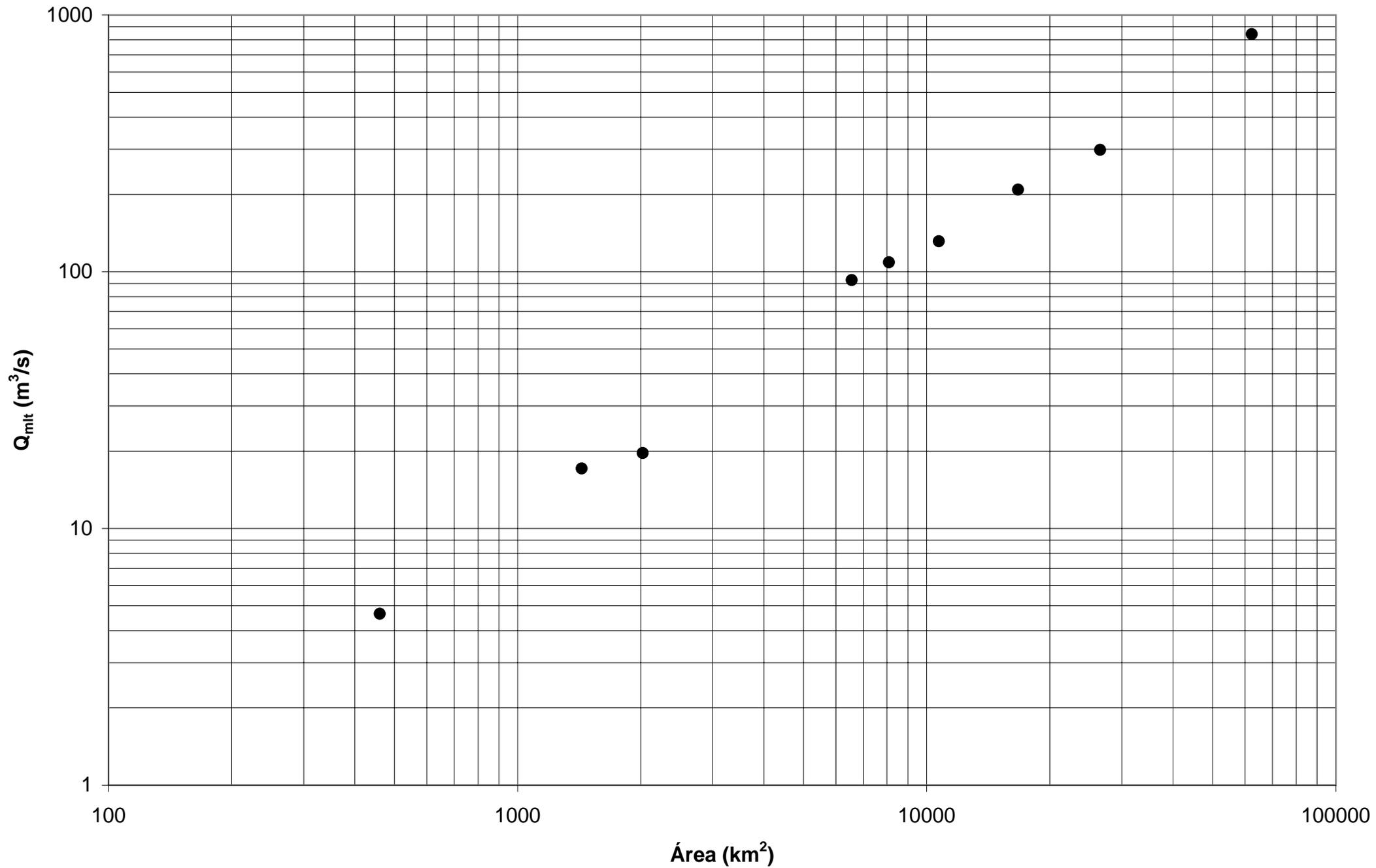
REGIÃO B - Região do Alto Pará



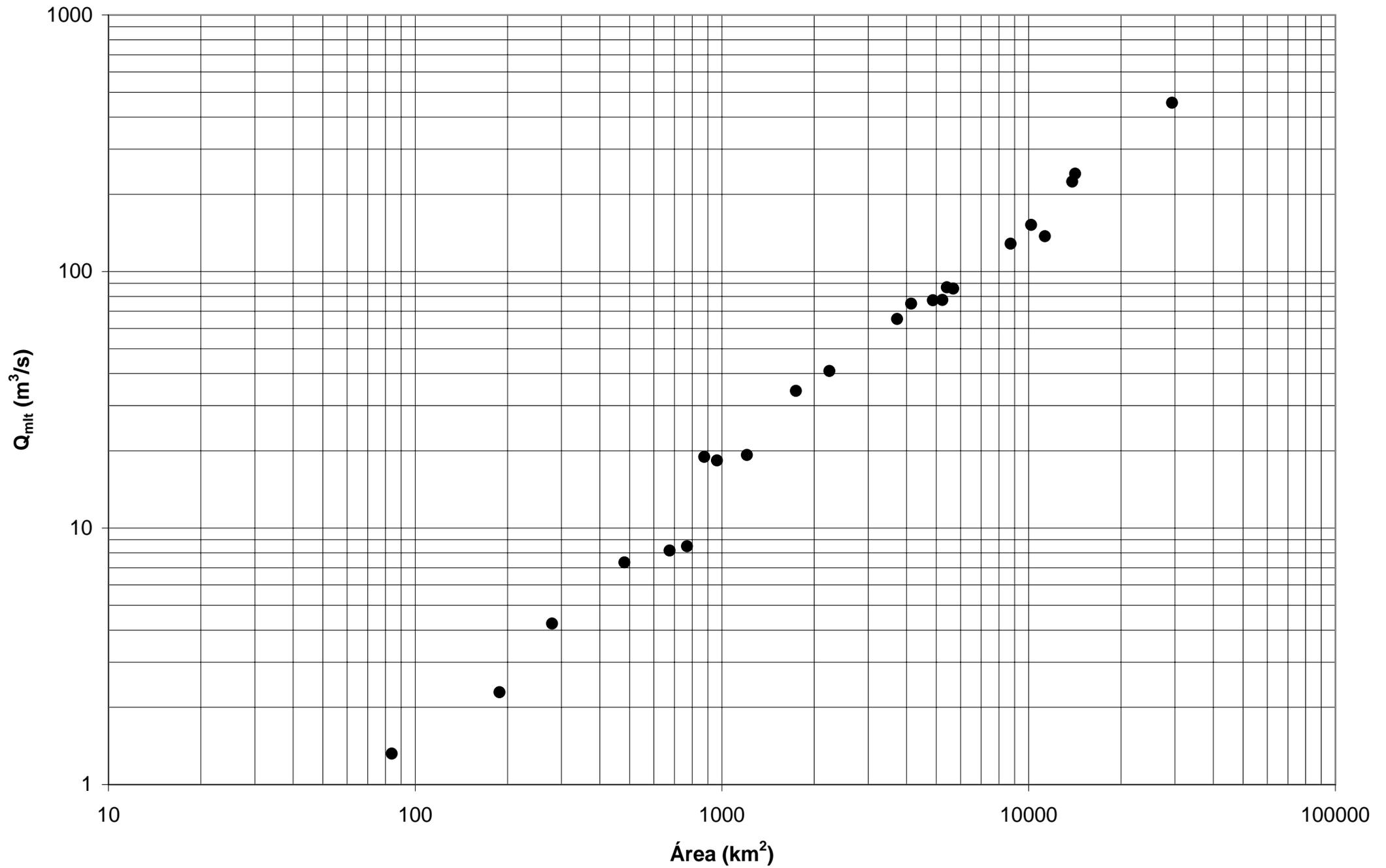
REGIÃO C - Região do Alto Paraopeba, Alto rio das Velhas e do rio Cipó



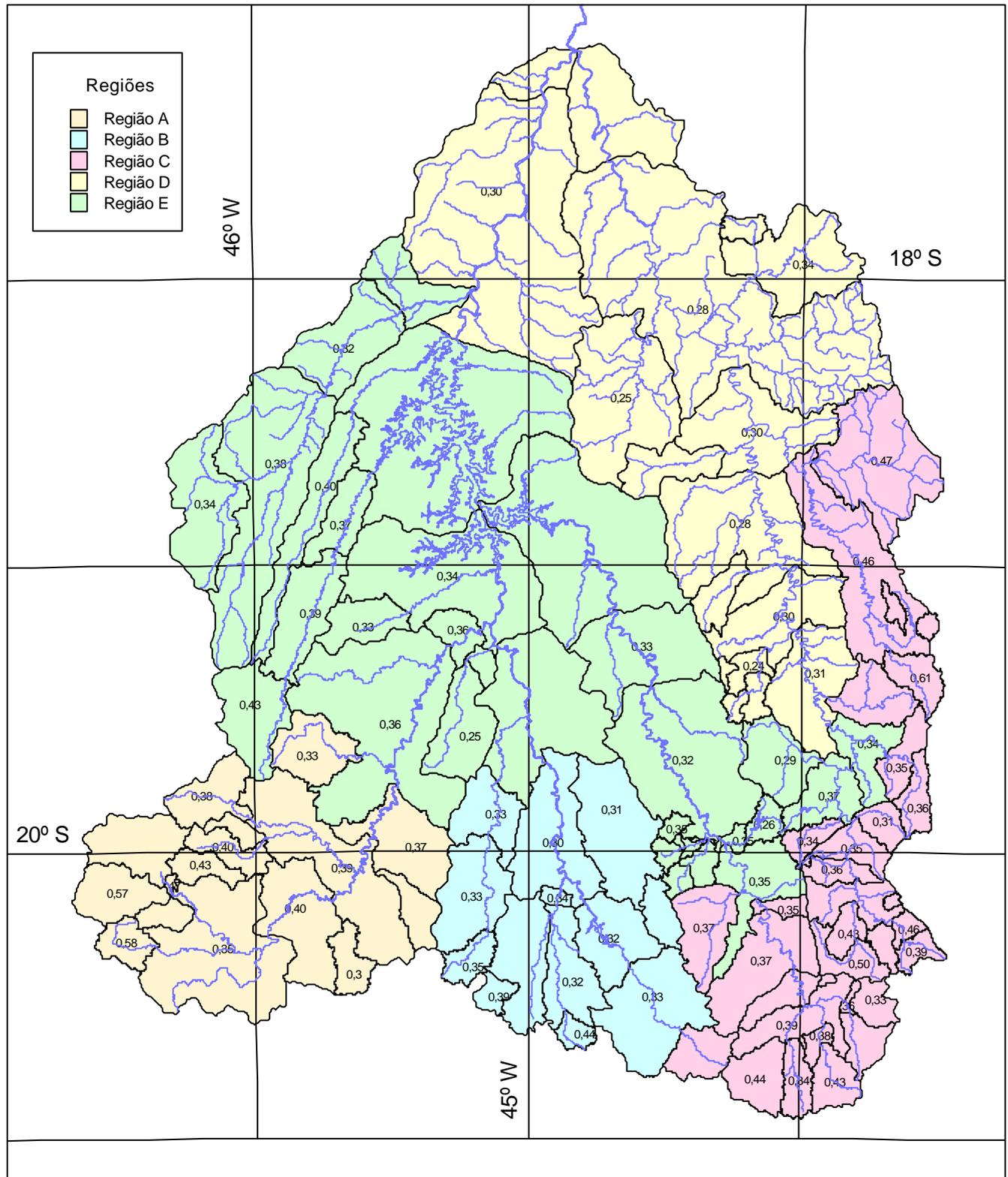
REGIÃO D - Baixo rio das Velhas



REGIÃO E - Médios São Francisco e Velhas



Coeficientes de Escoamento



Regiões Homogêneas para Vazões Médias de Longo Termo

Regiões I e II									
Alto e Médio rios das Velhas e Paraopeba									
Código	Estação	Área (Km ²)	Qmed	Qmlt (m ³ /s)	Qmlt esp (l/s/km ²)	L (km)	I equiv (m/km)	P médio (m)	Cesc
40549998	São Brás do Suaçuí Montante	461	7,68	7,78	16,9	52	2,69	1,400	0,38
40573000	Joaquim Murtinho	291	3,78	4,08	14,0	32,7	3,94	1,462	0,30
40577000	Ponte Jubileu	244	3,73	3,7	15,2	18,3	7,20	1,466	0,33
40579995	Congonhas Linígrafo	579	9,89	9,63	16,6	41,6	3,18	1,464	0,36
41151000	Fazenda Água Limpa Jusante	175	3,35	3,26	18,7	26,15	8,59	1,498	0,39
41180000	Itabirito Linígrafo	330	8,06	7,98	24,2	47,7	5,25	1,518	0,50
40665000	Usina João Ribeiro	293	4,31	4,32	14,7	45,7	2,44	1,373	0,34
40680000	Entre Rios de Minas	486	9,7	9,38	19,3	47,3	1,25	1,369	0,44
40700002	Jeceaba	2465	41,67	43,03	17,5	88,9	1,81	1,409	0,39
40710000	Belo Vale	2760	49,12	49,8	18,0	118,9	1,59	1,408	0,40
40720002	Melo Franco	3810	66,8	65,24	17,1	178,9	1,20	1,472	0,37
40770000	Conceição do Itaguá	675	11,6	11,72	17,4	53,8	2,96	1,485	0,37
41199998	Honório Bicalho-Montante	1698	30,49	29,79	17,5	90,33	2,56	1,535	0,36
41260000	Pinhões	3727	66,33	65,31	17,5	156,83	1,42	1,475	0,37
41295000	José de Melo	291	4,85	4,86	16,7	32,62	3,54	1,448	0,36
41300000	Taquaraçu	626	9,84	9,97	15,9	46,4	7,02	1,447	0,35
41340000	Ponte Raul Soares	4874	78,77	77,22	15,8	200,33	1,13	1,458	0,34
41380000	Ponte Preta	553	6,98	7	12,6	55,4	2,55	1,308	0,31
41700001	Usina Paraúna	1733	33,05	32,76	18,9	80,4	2,75	1,266	0,47
41720000	Fazendo do Cipó	341	8	9,56	28,0	46,02	4,28	1,454	0,61
41780002	Presidente Juscelino	3996	78,4	78,93	19,8	100,4	2,48	1,345	0,46

Região III									
Baixo rio da Velhas									
Código	Estação	Área (Km ²)	Qmed	Qmlt (m ³ /s)	Qmlt esp (l/s/km ²)	L (km)	I equiv (m/km)	P médio (m)	Cesc
41135000	Pirapora-Barreiro	62334	846,83	842,44	13,5			1,414	0,30
41410000	Jequitibá	6558	94,3	92,72	14,1	288,83	0,76	1,423	0,31
41539998	Faz. Contagem Montante	460	4,76	4,65	10,1	40,3	1,40	1,346	0,24
41600000	Pirapama	8086	111,54	108,76	13,5	360,83	0,61	1,406	0,30
41650002	Ponte do Licínio Jusante	10712	132,49	131,35	12,3	473,83	0,54	1,360	0,28
41818000	Santo Hipólito	16722	205,25	208,82	12,5	566,33	0,47	1,330	0,30
41880000	Buenópolis	148	1,36	1,37	9,2	26,2	11,38	1,108	0,26
41890000	Estação de Curimataí	1435	17,01	17,11	11,9	75,67	1,02	1,108	0,34
41990000	Várzea da Palma	26553	304,06	298,18	11,2	707,33	0,44	1,271	0,28

Região IV									
Rio Pará									
Código	Estação	Área (Km ²)	Qmed	Qmlt (m ³ /s)	Qmlt esp (l/s/km ²)	L (km)	I equiv (m/km)	P médio (m)	Cesc
40130000	Ponte do Vilela	1726	27,3	27,4	15,9	75,8	1,92	1,533	0,33
40150000	Carmo do Cajuru	2504	39,32	38,81	15,5	121,1	1,12	1,507	0,32
40170000	Marilândia	1055	14,67	14,95	14,2	52,1	2,28	1,479	0,30
40180000	Carmo da Mata	144	3,16	2,91	20,2	23,6	5,93	1,433	0,44
40185000	Pari	1931	28,8	28,66	14,8	69	1,84	1,460	0,32
40190002	Divinópolis	2000	32,38	31,71	15,9	82,7	1,65	1,457	0,34
40300001	Jaguaruna Jusante	1558	21,47	22	14,1	119,1	1,82	1,432	0,31
40330000	Velho da Taipá	7378	101,02	101,69	13,8	219,4	0,75	1,456	0,30
40350000	Usina Camarão	269	4,75	4,53	16,8	40,6	3,16	1,502	0,35
40380000	Araújos	1196	17,48	18,01	15,1	109,6	0,98	1,445	0,33
40400000	Estação Álvaro da Silveira	1802	27,5	26,99	15,0	148,5	1,03	1,438	0,33
40450001	Porto Pará (CEMIG)	11302	147,88	148,4	13,1	293,1	0,46	1,431	0,29
40500000	Martinho Campos	770	8,84	8,49	11,0	56,2	1,04	1,393	0,25

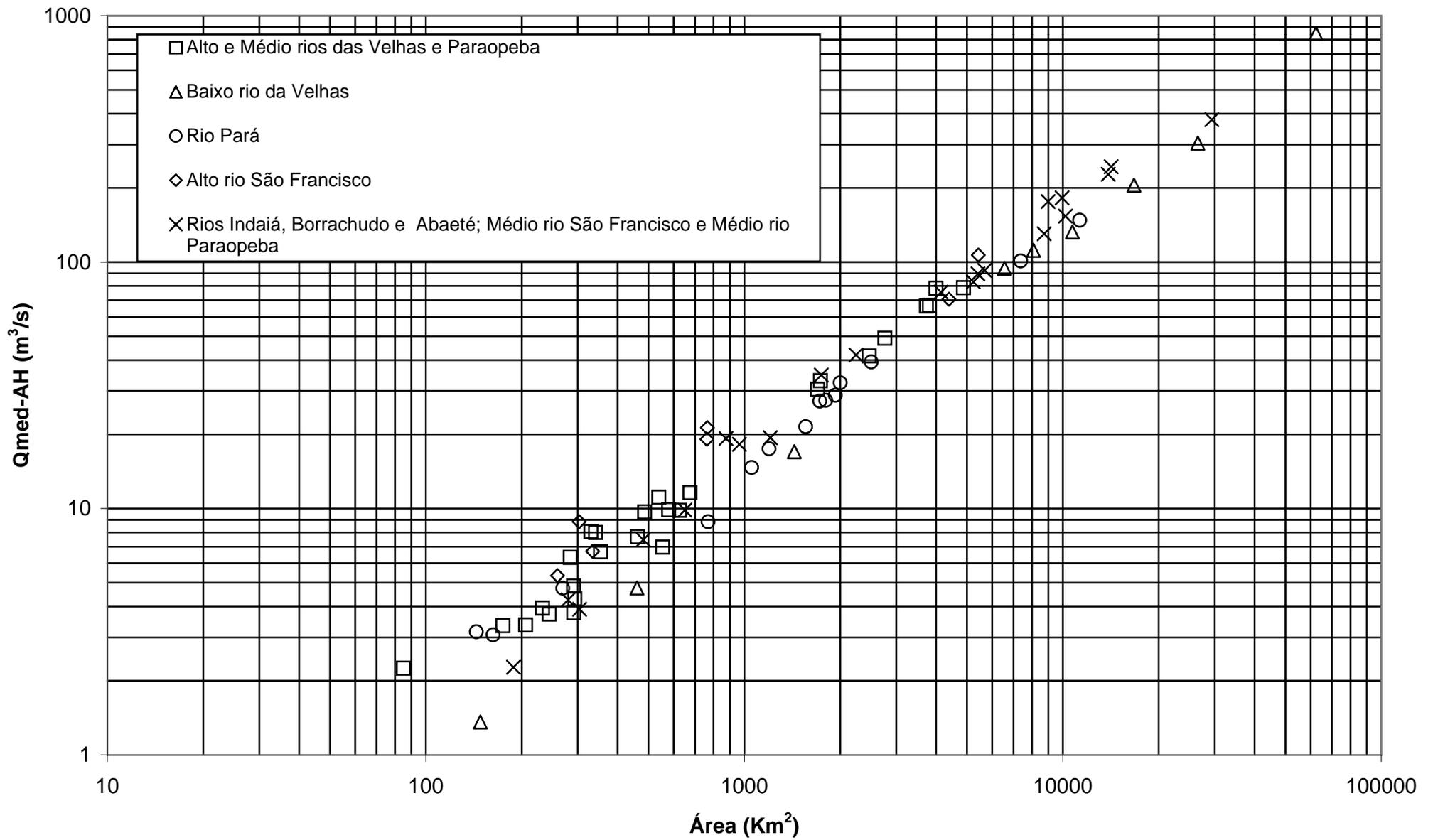
Região V
Alto rio São Francisco

Código	Estação	Área (Km²)	Qmed	Qmlt (m³/s)	Qmlt esp (l/s/km²)	L (km)	I equiv (m/km)	P médio (m)	Cesc
40025000	Vargem Bonita	303	8,85	8,89	29,3	37,1	4,55	1,594	0,58
40032000	Fazenda Samburá	763	19,11	18,87	24,7	64	3,36	1,651	0,47
40037000	Fazenda da Barra	765	21,29	21,82	28,5	72,6	0,60	1,571	0,57
40040000	Fazenda Ajudas	259	5,34	5,17	20,0	30,3	2,73	1,508	0,42
40046000	Porto Sabino	4388	70,71	76,12	17,3	115,9	1,31	1,559	0,35
40050000	Iguatama	5426	106,82	106,1	19,6	196	0,36	1,539	0,40
40056002	Fazenda Capoeirão	334	6,71	6,98	20,9	59,4	3,22	1,591	0,41

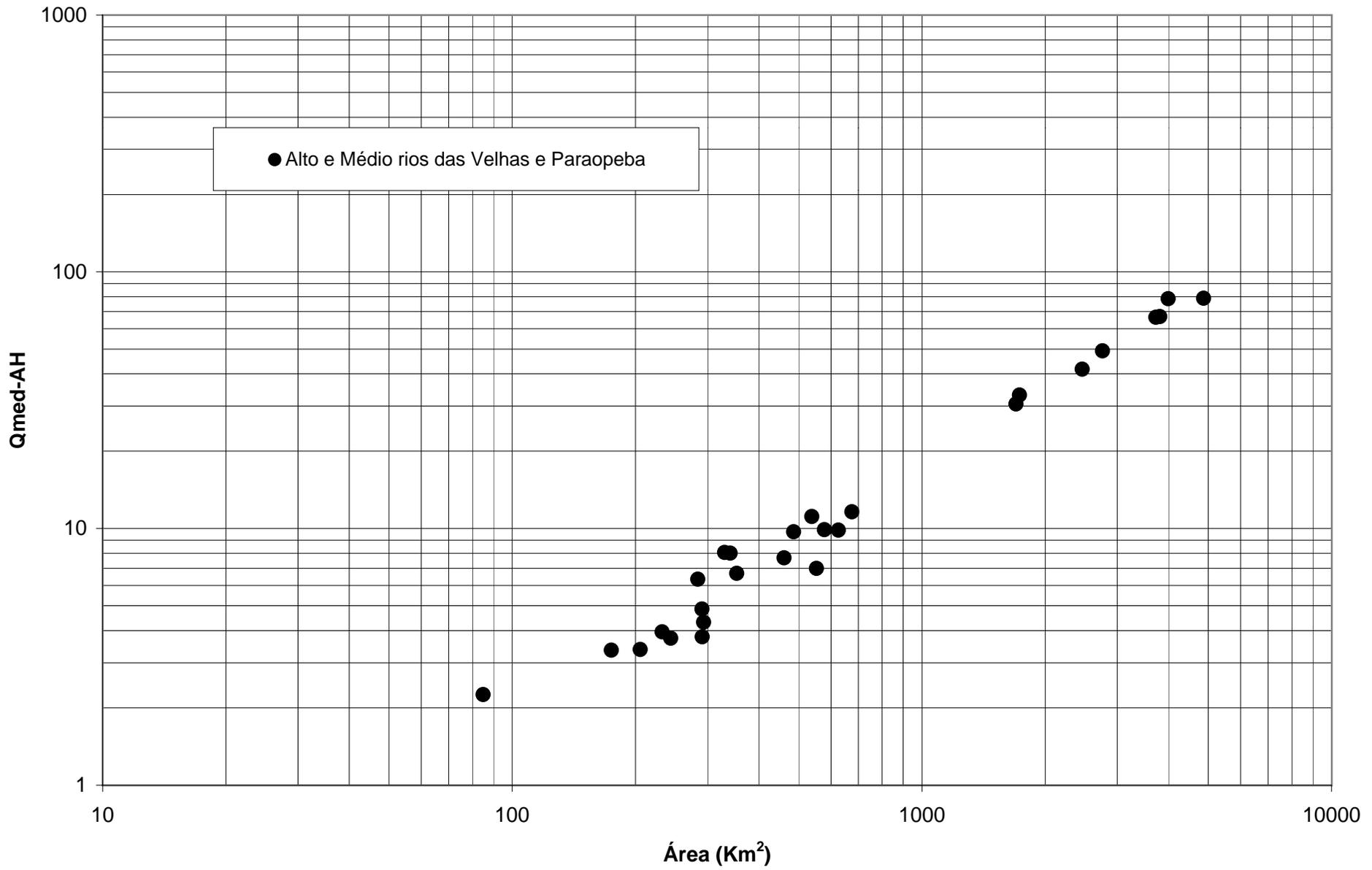
Região VI
Rios Indaiá, Borrachudo e Abaeté; Médio rio São Francisco e Médio rio Paraopeba

Código	Estação	Área (Km²)	Qmed	Qmlt (m³/s)	Qmlt esp (l/s/km²)	L (km)	I equiv (m/km)	P médio (m)	Cesc
40053000	Calciolândia	304	3,9	3,92	12,9	40,15	1,79	1,365	0,30
40067000	Ponte Olegário Maciel	8987	176,19	170,59	19,0	257,2	0,28	1,535	0,39
40070000	Ponte do Chumbo	9939	182,27	179,45	18,1	314,8	0,22	1,522	0,37
40080000	Taquaral	651	9,86	9,67	14,9	56,8	1,00	1,425	0,33
40100000	Porto das Andorinhas	13882	227,15	224,23	16,2	412,4	0,19	1,494	0,34
40102000	Porto da Barra	14180	243,74	240,59	17,0	433	0,20	1,491	0,36
40530000	Abaeté	481	7,47	7,34	15,3	52,7	2,00	1,438	0,33
40788000	São Joaquim de Bicas (CEMIG)	5414	89,57	86,77	16,0	218,2	1,08	1,448	0,35
40790000	Betim	188	2,27	2,29	12,2	26,4	3,10	1,460	0,26
40800001	Ponte Nova do Paraopeba	5680	92,57	90,44	15,9	236,33	1,00	1,449	0,35
40818000	Juatuba	273	4,26	4,24	15,5	40	4,52	1,531	0,32
40850000	Ponte da Taquara	8734	130,33	128,36	14,7	346,3	0,66	1,434	0,32
40865001	Porto do Mesquita (CEMIG)	10192	153,53	151,95	14,9	419,83	0,60	1,414	0,33
40930000	Barra do Funchal	876	19,24	18,94	21,6	58,7	1,90	1,582	0,43
40960000	Fazenda Bom Jardim	1744	34,8	34,24	19,6	162,7	1,12	1,572	0,39
40963000	Porto Indaiá (CEMIG)	2242	41,96	40,93	18,3	222,9	1,12	1,558	0,37
40975000	Fazenda São Felix	964	18,22	18,33	19,0	142,7	1,38	1,511	0,40
41050000	Major Porto	1207	19,39	19,26	16,0	60	2,29	1,475	0,34
41075001	Porto do Passarinho	4143	75,53	74,95	18,1	194,6	1,09	1,505	0,38

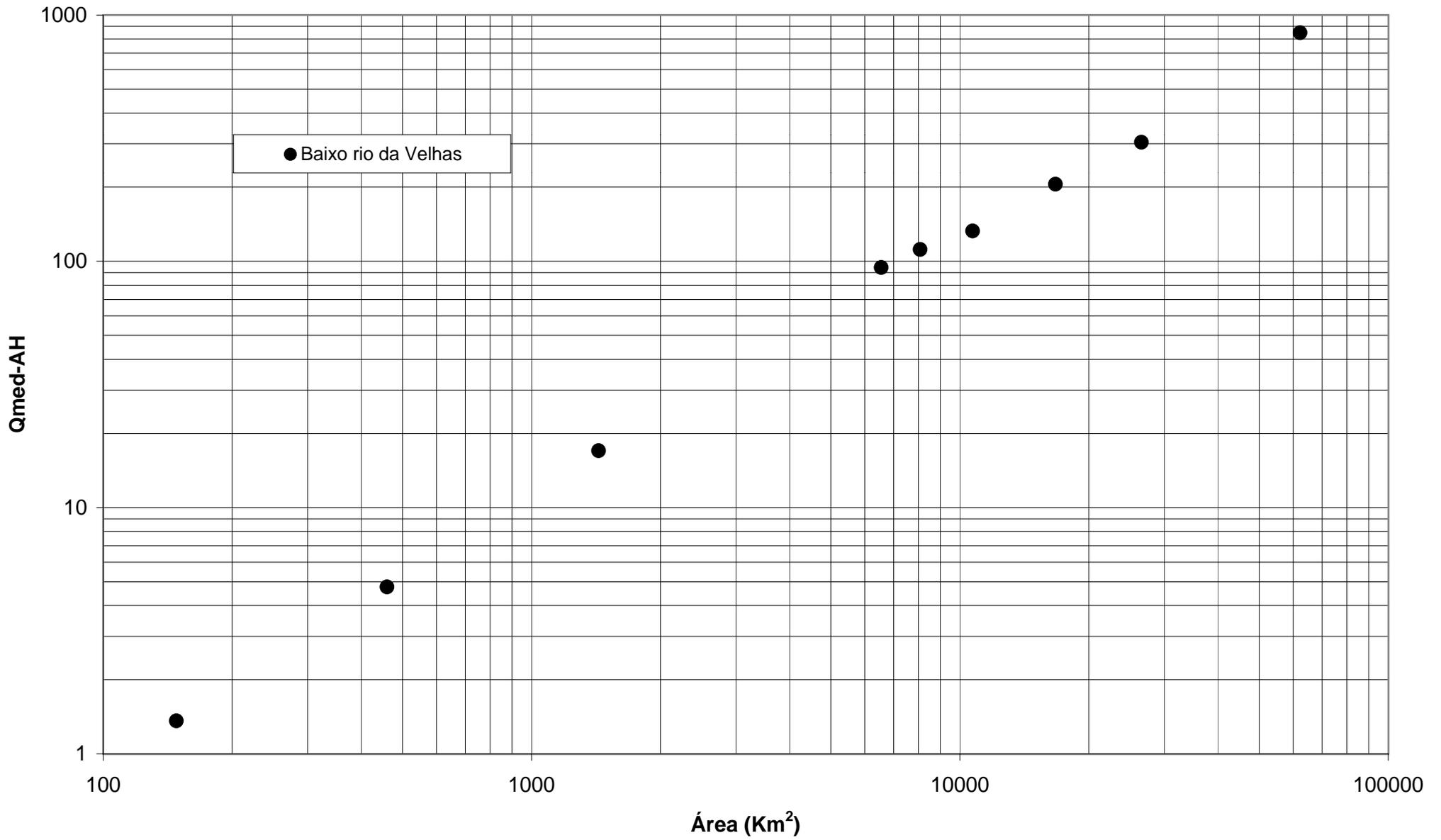
Área x Qmed-AH



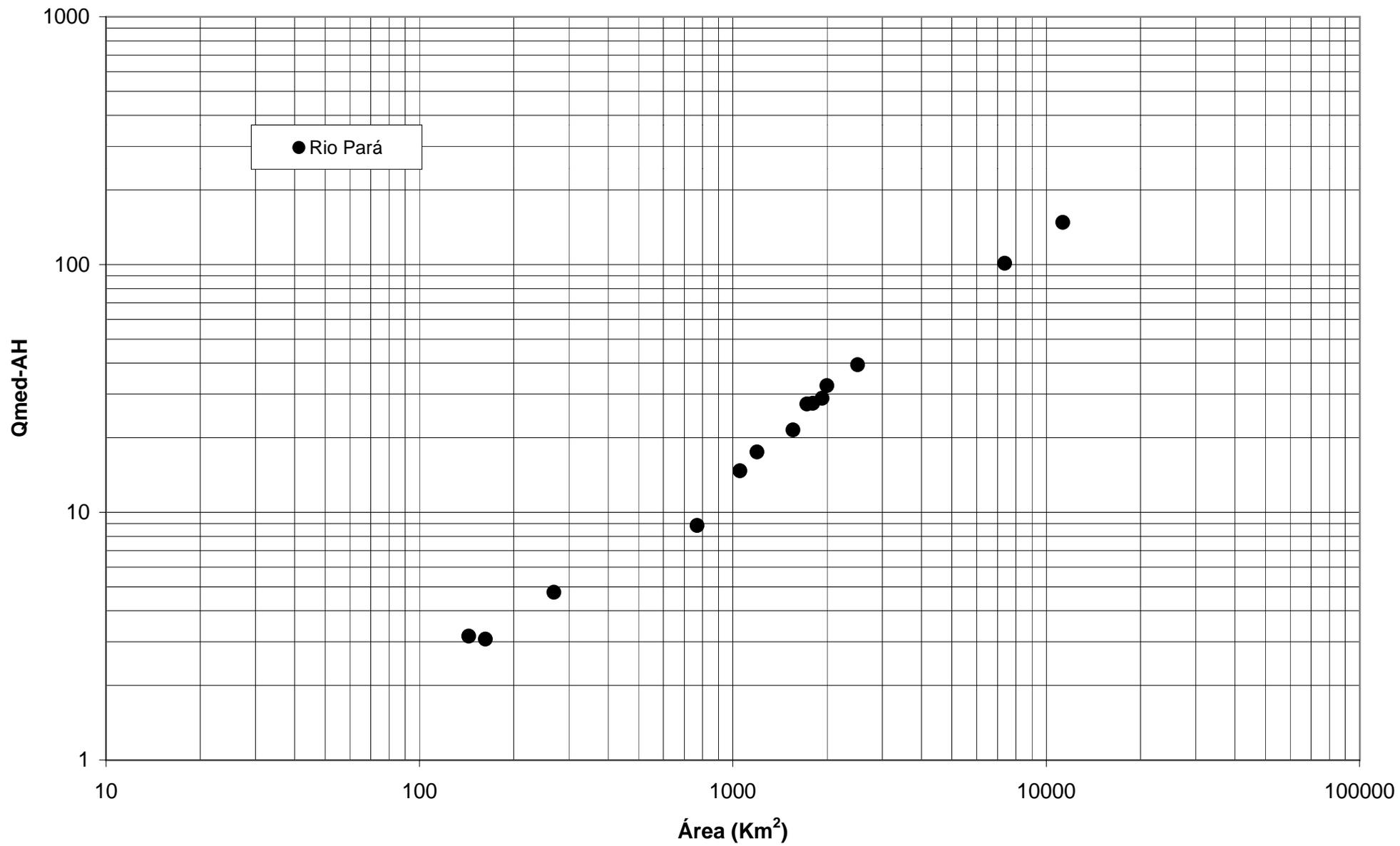
Área x Qmed-AH



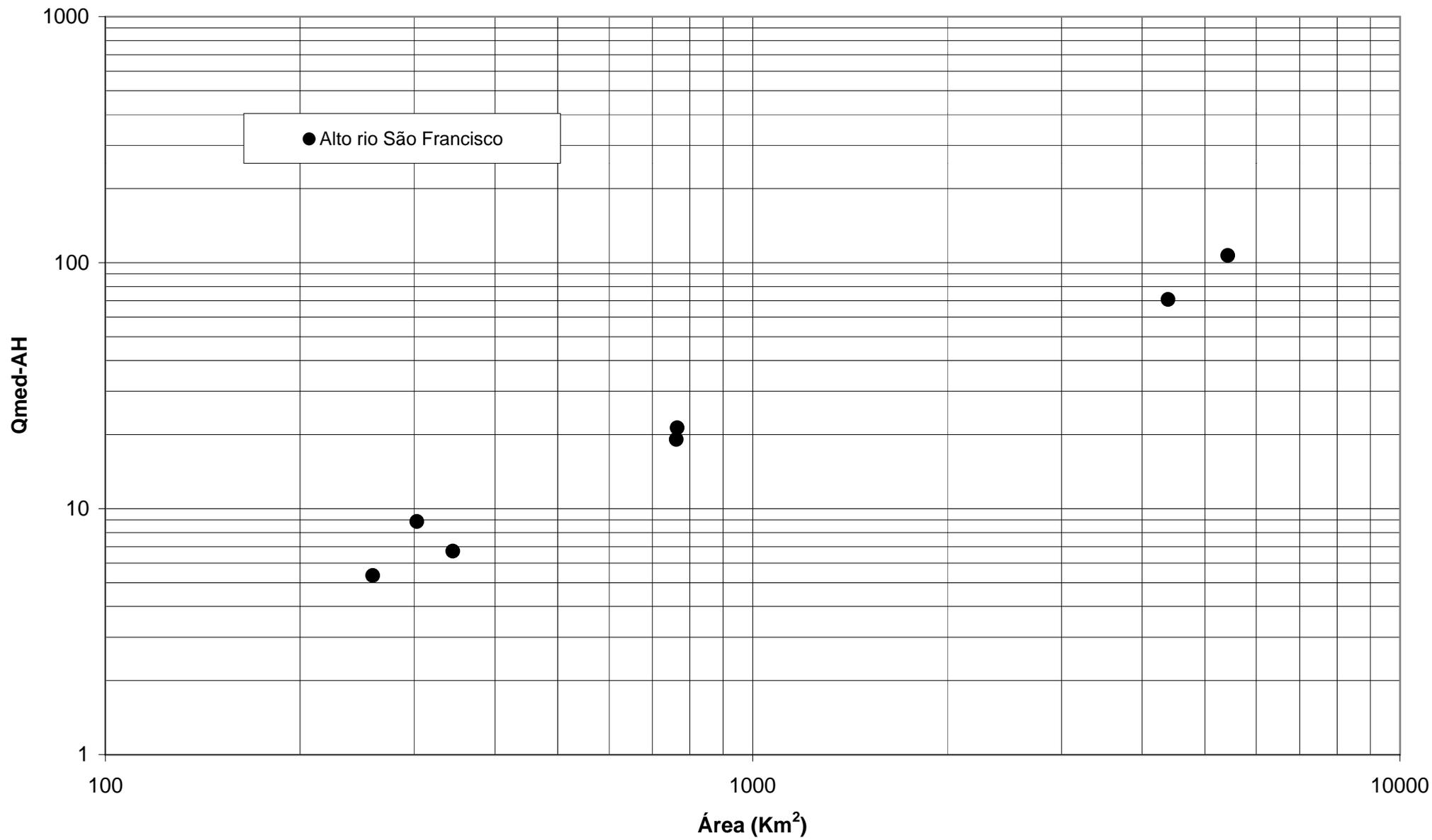
Área x Qmed-AH



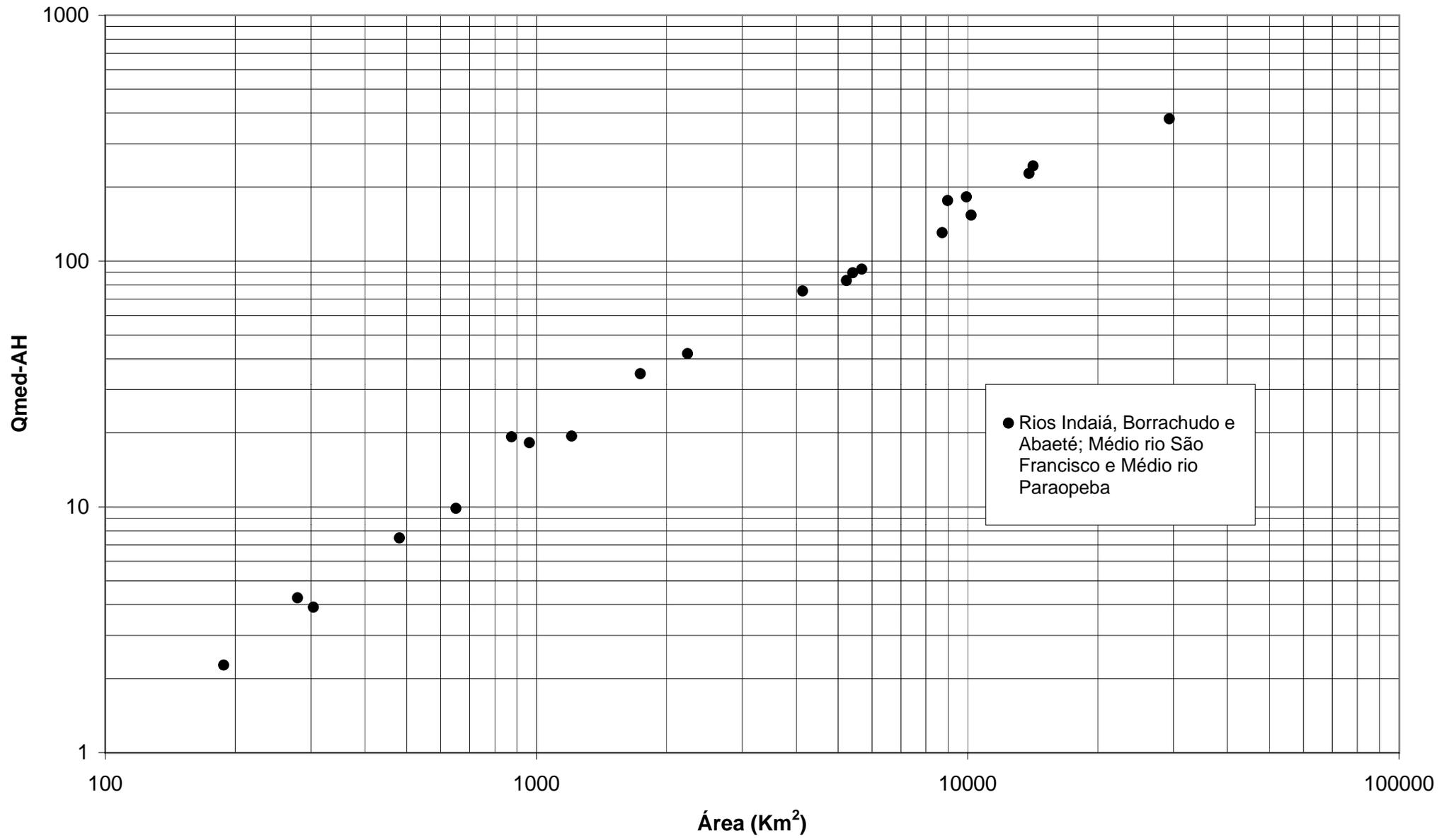
Área x Qmed-AH



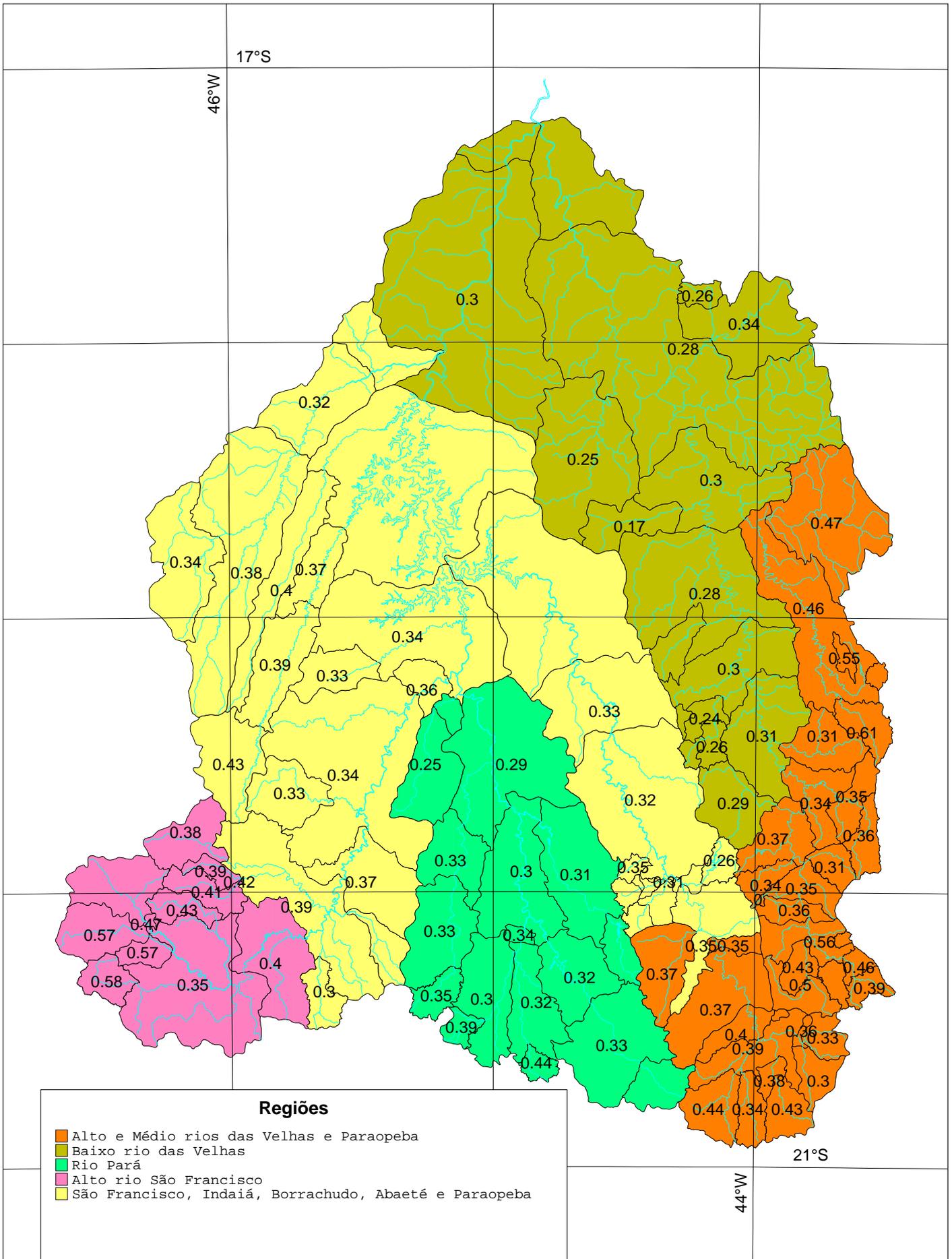
Área x Qmed-AH



Área x Qmed-AH



Coeficientes de Escoamento



Regiões Homôneas para Vazões Médias Anuais

ANEXO F

MOMENTOS-L e RAZÕES-L AMOSTRAIS

	Código	N	L1	L2	t2	t3	t4	t5
1	40025000	37	8,85	1,2523	0,1415	0,141	0,153	-0,0516
2	40032000	24	19,11	2,9982	0,1569	0,1313	0,1422	-0,0256
3	40035000	7	16,2	1,6814	0,1038	0,0151	-0,3016	-0,0348
4	40037000	26	21,29	3,1544	0,1482	0,0047	-0,0266	-0,0271
5	40040000	32	5,34	0,918	0,1719	0,04	0,0707	0,0451
6	40046000	10	70,71	14,9271	0,2111	0,1622	0,0359	-0,0696
7	40050000	57	106,82	19,5329	0,1829	0,1125	0,1204	-0,014
8	40053000	31	3,9	0,9527	0,2443	0,1018	0,1344	-0,0028
9	40056002	22	6,71	1,2674	0,1889	0,1323	0,0749	-0,0425
10	40056200	13	7,79	1,3213	0,1696	0,1031	0,0378	0,1296
11	40056500	15	9,67	2,2203	0,2296	0,0986	0,0223	-0,0147
12	40060001	49	12,27	1,7165	0,1399	0,0961	0,066	-0,0519
13	40067000	10	176,19	36,1537	0,2052	0,1823	0,2845	0,0866
14	40070000	25	182,27	30,1485	0,1654	0,2129	0,1451	0,0704
15	40080000	31	9,86	2,3197	0,2353	0,1666	0,2571	0,0336
16	40100000	41	227,15	39,8029	0,1752	0,1199	0,1391	0,0003
17	40102000	23	243,74	39,3472	0,1614	0,0995	0,098	-0,0289
18	40130000	16	27,3	4,159	0,1523	0,13	0,3451	-0,0035
19	40150000	58	39,32	6,8683	0,1747	0,1498	0,0973	0,0002
20	40160000	9	3,07	0,5989	0,1951	0,3632	0,1307	-0,0032
21	40170000	28	14,67	2,4275	0,1655	0,3195	0,2204	0,0581
22	40180000	12	3,16	0,4571	0,1447	0,1728	0,0913	-0,0382
23	40185000	26	28,8	5,9879	0,2079	0,306	0,141	0,0381
24	40190002	19	32,38	4,5142	0,1394	0,1226	0,0259	-0,0484
25	40300001	25	21,47	4,2846	0,1996	0,1848	0,2223	0,1596
26	40330000	48	101,02	17,1713	0,1700	0,1846	0,1964	0,0487
27	40350000	15	4,75	0,8952	0,1885	0,239	0,0624	0,0803
28	40380000	19	17,48	3,4254	0,1960	0,1025	-0,0146	-0,0586
29	40400000	42	27,5	4,6895	0,1705	-0,0043	0,0542	-0,0346
30	40450001	46	147,88	28,2943	0,1913	0,171	0,1379	0,0042
31	40500000	22	8,84	1,6725	0,1892	0,1974	0,0867	-0,0157
32	40530000	22	7,47	1,6987	0,2274	0,1848	0,2253	0,0369
33	40535000	7	378,56	85,2686	0,2252	-0,1025	-0,1131	0,0151
34	40540000	8	6,68	0,5184	0,0776	-0,2835	-0,0506	0,165
35	40549998	35	7,68	1,2264	0,1597	0,2534	0,1197	0,0138
36	40573000	16	3,78	0,5834	0,1543	0,2949	-0,0159	-0,1656
37	40579995	45	9,89	1,4238	0,1440	0,0725	0,123	0,0615
38	40665000	31	4,31	0,6913	0,1604	-0,0086	0,0617	0,0524
39	40680000	55	9,7	1,8154	0,1872	0,1706	0,1816	0,1003
40	40700002	13	41,67	6,954	0,1669	0,0681	0,1078	0,1524
41	40710000	25	49,12	8,1819	0,1666	0,0988	0,1691	0,0236
42	40720002	15	66,8	5,8033	0,0869	0,1937	0,0895	0,0855
43	40740000	29	63,27	9,7274	0,1537	0,1216	0,1618	-0,0268
44	40770000	16	11,6	2,0834	0,1796	0,0894	0,1302	-0,1269
45	40788000	12	89,57	13,8318	0,1544	0,1637	0,1643	0,1841
46	40790000	24	2,27	0,5193	0,2288	0,0705	0,1329	0,0306
47	40800001	61	86,06	14,1674	0,1646	0,1186	0,1157	0,0337
48	40818000	23	4,26	0,6522	0,1531	0,1208	0,0978	0,0515
49	40830000	14	1,26	0,153	0,1214	-0,2098	-0,0201	0,2145
50	40850000	30	130,33	25,1454	0,1929	0,1512	0,151	-0,0288
51	40865001	18	153,53	27,4747	0,1790	0,2214	0,1222	0,0187
52	40930000	25	19,24	3,7292	0,1938	0,0429	0,0094	0,0435
53	40960000	21	34,8	6,6871	0,1922	0,1768	0,2	0,0844
54	40963000	18	41,96	9,9717	0,2376	0,3372	0,2259	0,1749
55	40975000	23	18,22	2,5308	0,1389	-0,0939	-0,0439	0,0105

	Código	N	L1	L2	t2	t3	t4	t5
56	41050000	31	19,39	4,1114	0,2120	0,1751	0,1852	0,1252
57	41075001	18	75,53	16,526	0,2188	0,166	0,3361	0,255
58	41090000	8	83,21	8,2914	0,0996	-0,0703	0,1209	-0,2023
59	41135000	42	846,83	150,3143	0,1775	0,1893	0,1455	0,0928
60	41151000	36	3,35	0,5707	0,1704	0,1708	0,1117	0,035
61	41160000	7	6,34	0,5952	0,0939	0,2534	0,3552	0,2064
62	41180000	31	8,06	1,0561	0,1310	0,1137	0,1251	0,0762
63	41190000	5	11,12	0,878	0,0790	0,3941	0,2255	-0,3713
64	41199998	28	30,49	4,4498	0,1459	0,0826	0,0821	0,0015
65	41220000	5	3,95	0,405	0,1025	-0,1901	0,1728	0,8642
66	41230000	9	42,58	3,3325	0,0783	0,2461	0,28	-0,0197
67	41242100	7	3,37	0,2867	0,0851	0,0777	0,0548	-0,4269
68	41250000	47	8,19	1,7895	0,2185	0,1886	0,2047	0,0711
69	41260000	19	66,33	9,7123	0,1464	0,2102	0,0908	-0,0266
70	41295000	24	4,85	0,9614	0,1982	0,2068	0,2643	0,1391
71	41300000	53	9,84	2,0532	0,2087	0,1467	0,1627	0,0759
72	41340000	53	78,77	13,1815	0,1673	0,1414	0,1159	-0,0223
73	41380000	50	6,98	1,4207	0,2035	0,165	0,1553	0,0571
74	41410000	34	94,3	16,5002	0,1750	0,1549	0,1323	-0,0447
75	41539998	33	4,76	1,1734	0,2465	0,1653	0,061	-0,0167
76	41600000	31	111,54	20,396	0,1829	0,1175	0,1197	-0,0329
77	41650002	33	132,49	24,2824	0,1833	0,1742	0,1406	-0,0111
78	41685000	29	3,51	1,0171	0,2898	0,2551	0,1207	0,0331
79	41700001	28	33,05	5,1968	0,1572	0,2541	0,3039	0,1389
80	41715000	5	2,25	0,406	0,1804	-0,0936	0,3103	-0,0936
81	41720000	21	8	1,2845	0,1606	-0,0218	0,0691	0,1086
82	41780002	24	78,4	13,0426	0,1664	0,2951	0,1364	0,0882
83	41818000	49	205,25	38,0952	0,1856	0,2175	0,1096	-0,0109
84	41880000	21	1,36	0,3348	0,2462	0,3228	0,2867	0,2863
85	41890000	26	17,01	3,6035	0,2118	0,1207	0,1606	0,0453
86	41940000	20	20,6	5,6808	0,2758	0,1904	0,0009	0,0318
87	41990000	57	304,06	55,3215	0,1819	0,1728	0,1143	0,0178

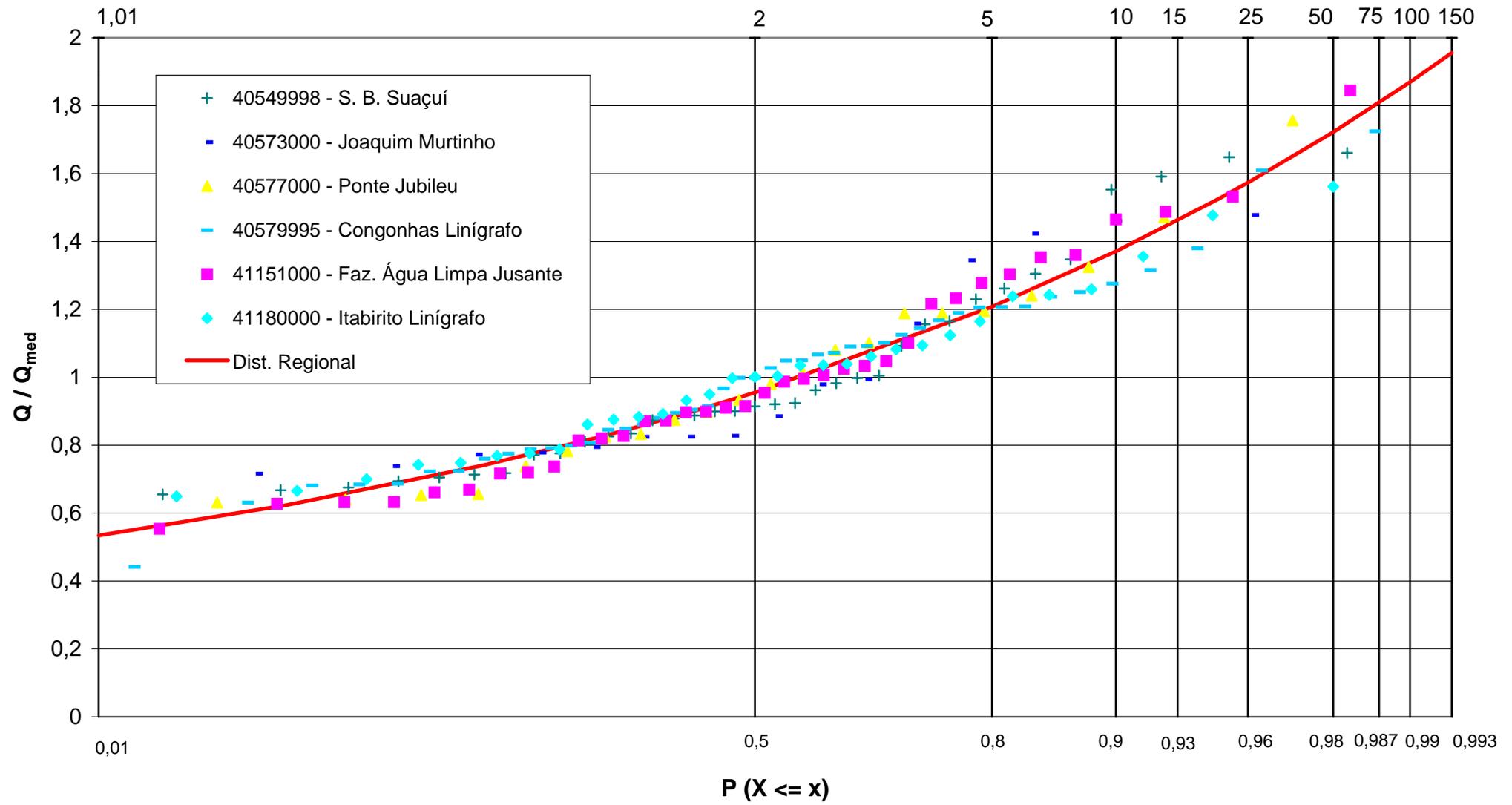
ANEXO G

DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS ADIMENSIONAIS

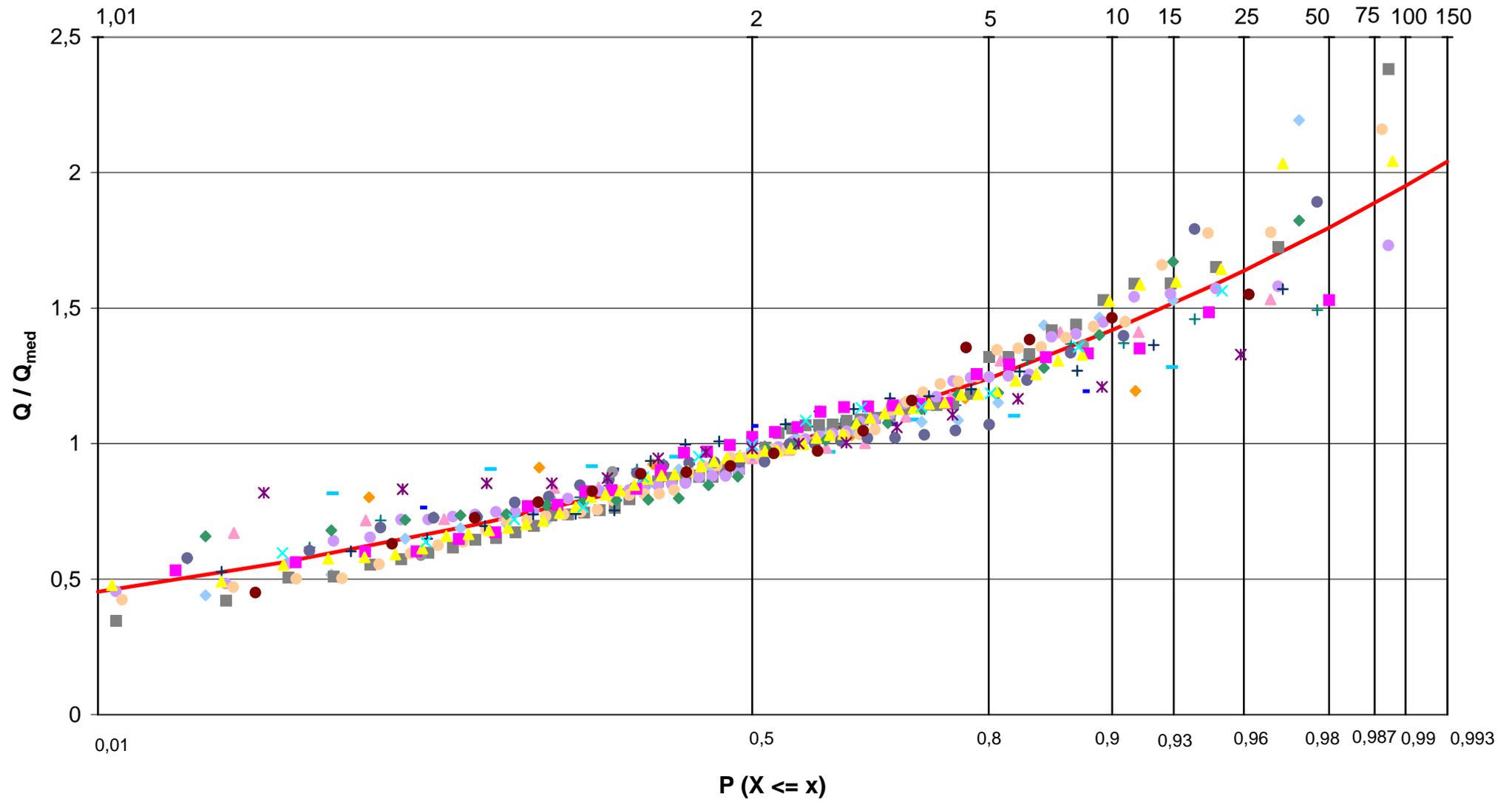
DISTRIBUIÇÕES REGIONAIS ADIMENSIONAIS

DIAGRAMA CURTOSE-L x ASSIMETRIA-L

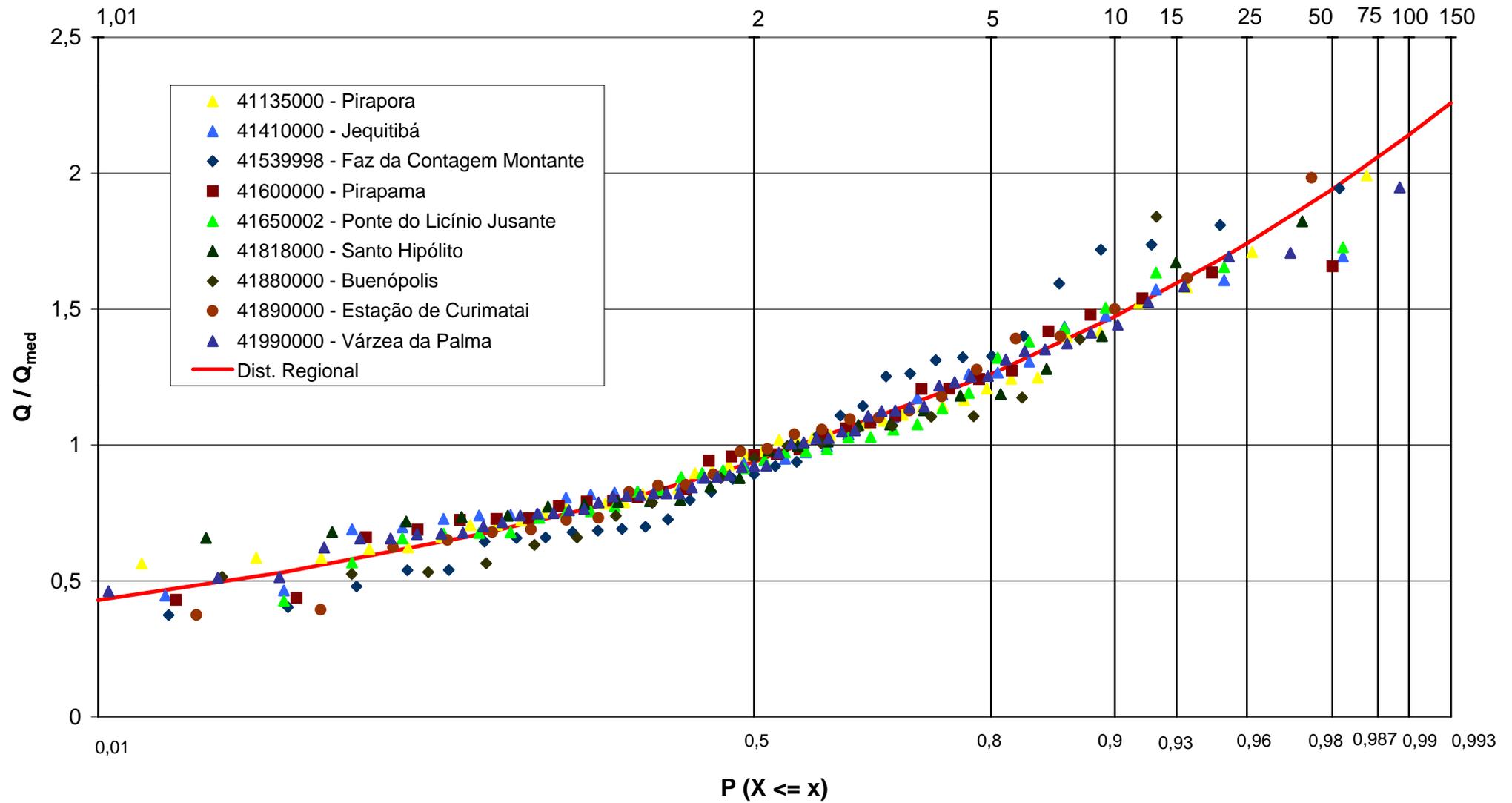
Papel Normal
REGIÃO I
Tr (anos)



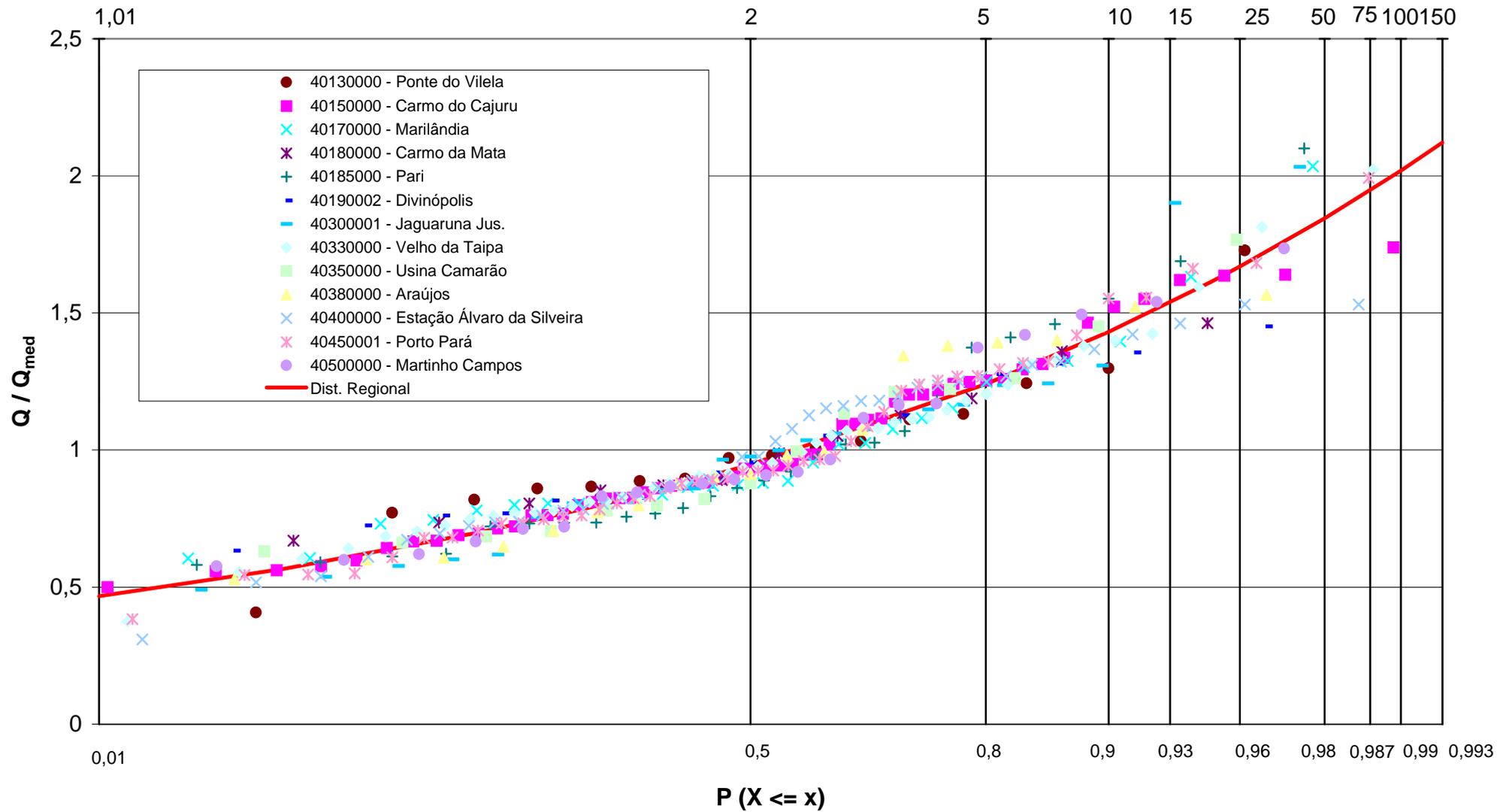
Papel Normal
REGIÃO II
Tr (anos)



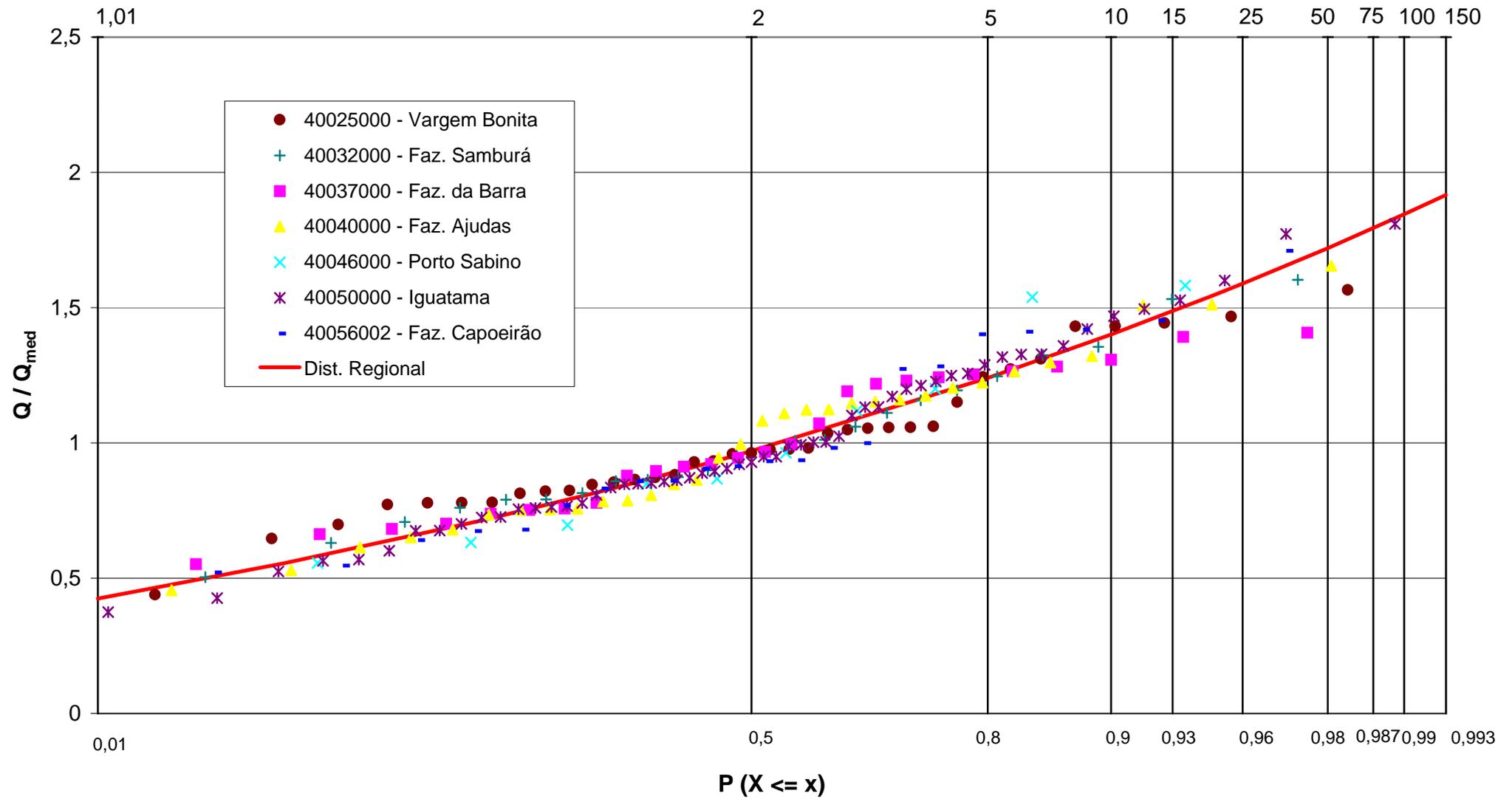
Papel Normal
REGIÃO III
Tr (anos)



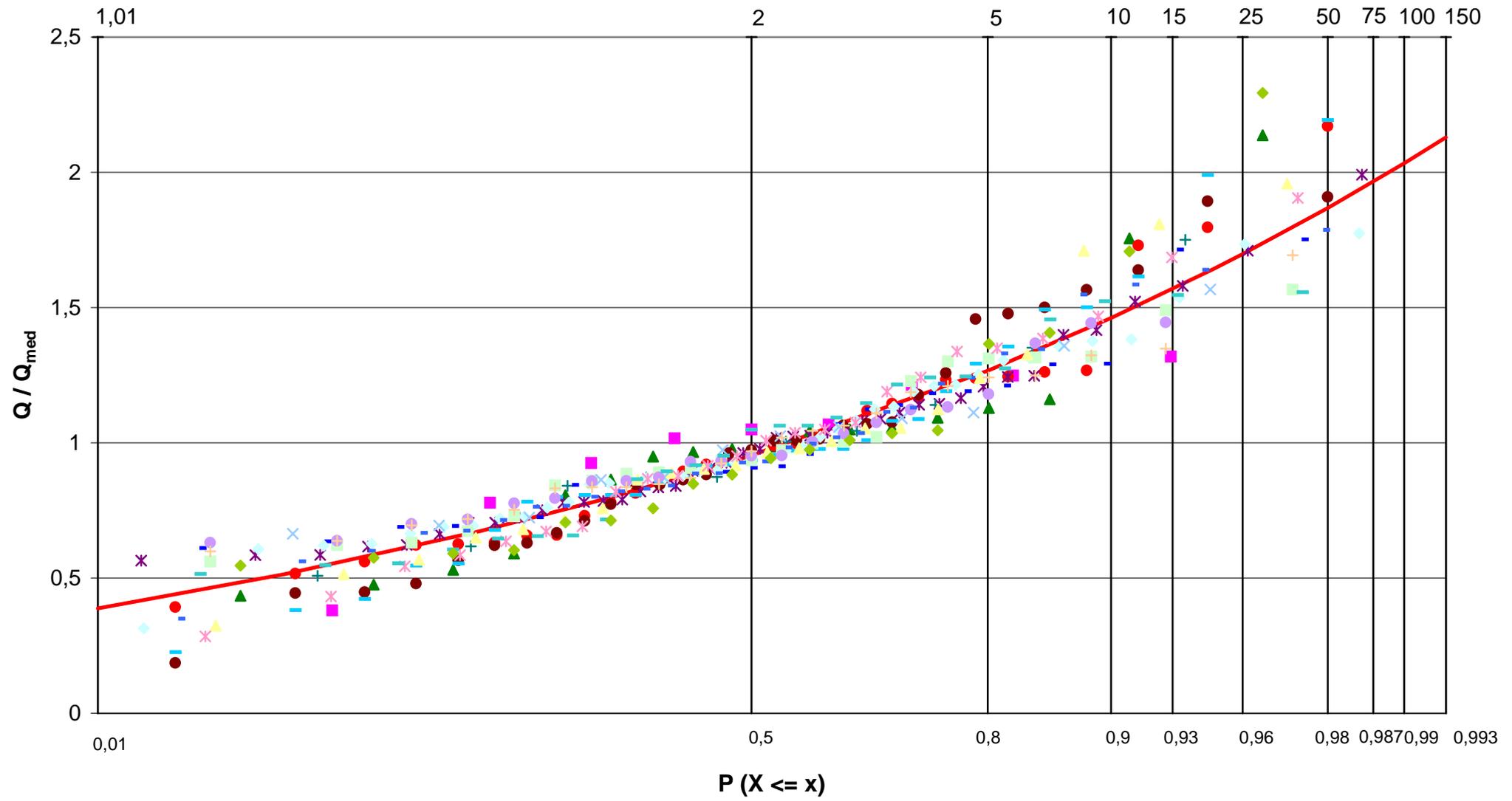
Papel Normal
REGIÃO IV
Tr (anos)



Papel Normal
REGIÃO V
Tr (anos)



Papel Normal
REGIÃO VI
Tr (anos)



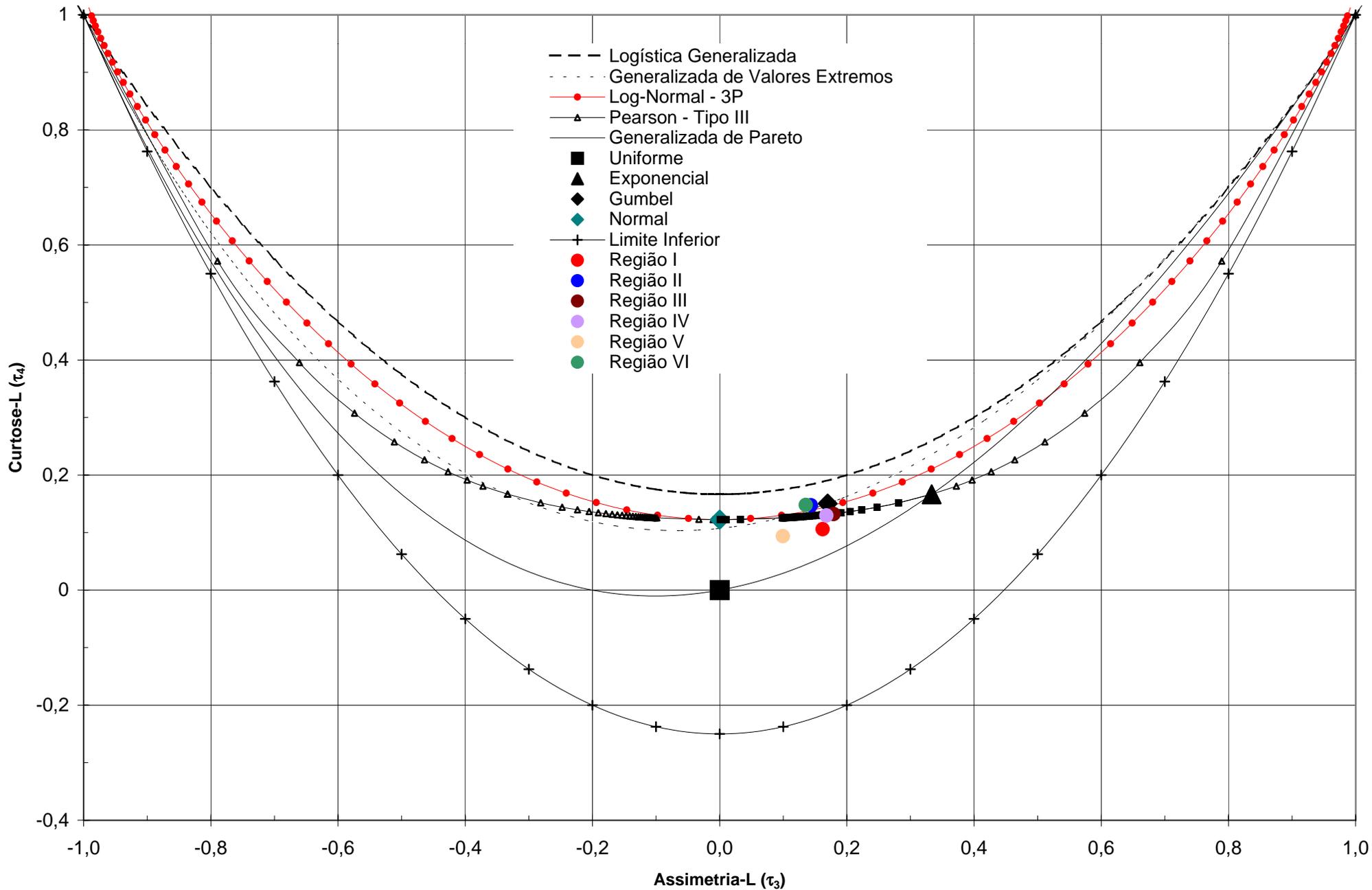


Diagrama Assimetria-L x Curtose-L

ANEXO H

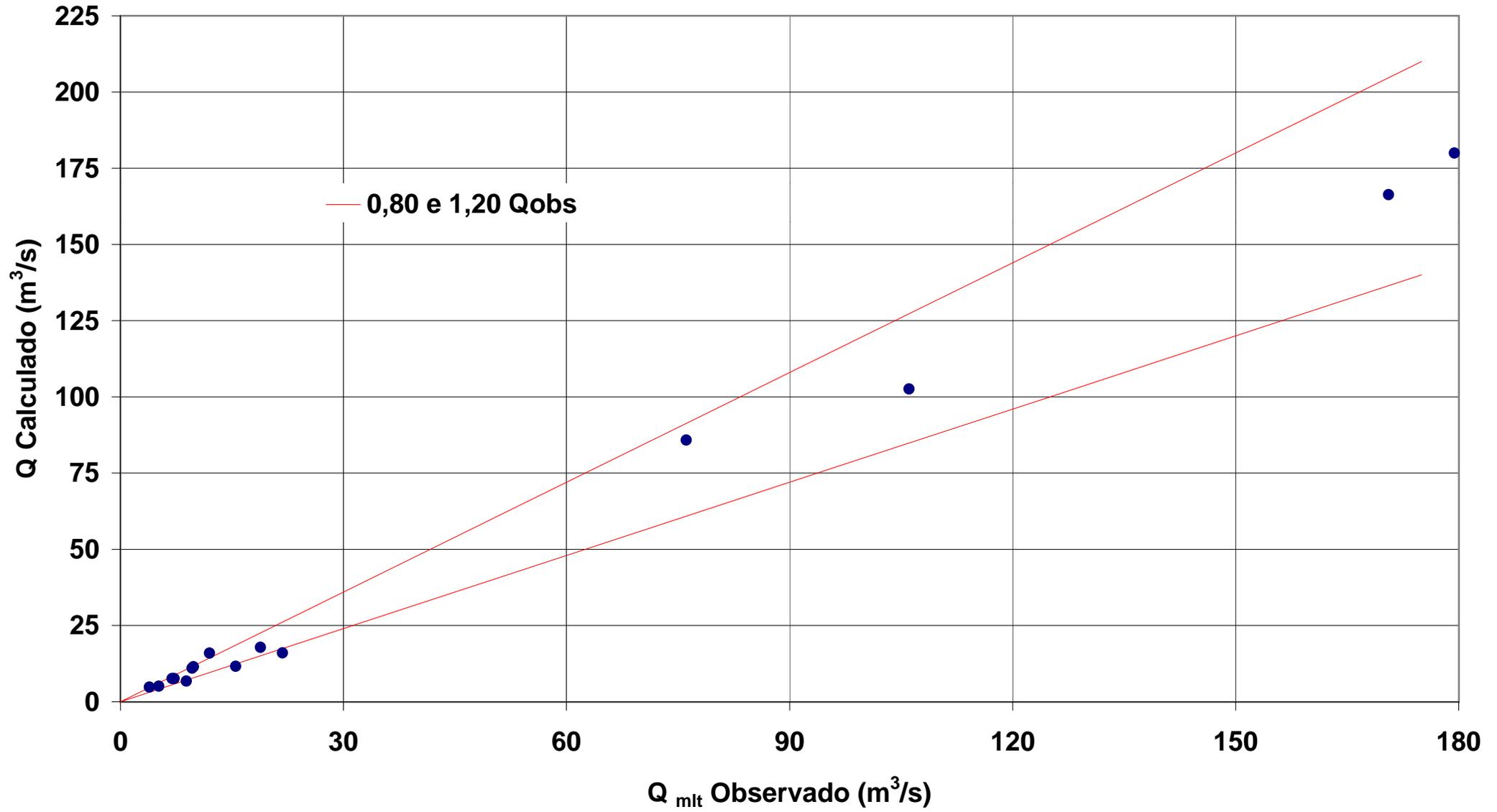
**GRÁFICOS ENTRE OS VALORES OBSERVADOS
e CALCULADOS PELOS MODELOS DE
VAZÕES MÉDIAS DE LONGO TERMO e
VAZÕES MÉDIAS ANUAIS**

Resíduos entre os valores observados e os calculados

Região A - Alto São Francisco						
Código	Estação	Área (km ²)	P _{médio} (m)	Q _{mt} (m ³ /s)	Q _{calc} (m ³ /s)	Dif %
40025000	Vargem Bonita	303	1,594	8,89	6,73	-24,3
40032000	Fazenda Samburá	763	1,651	18,9	17,9	-5,4
40035000	Fazenda Samburá	547	1,571	15,5	11,6	-25,4
40037000	Fazenda da Barra	765	1,571	21,8	16,0	-26,6
40040000	Fazenda Ajudas	259	1,508	5,17	5,10	-1,4
40046000	Porto Sabino	4388	1,559	76,1	85,8	12,8
40050000	Iguatama	5426	1,539	106	103	-3,3
40053000	Calciolândia	304	1,365	3,92	4,76	21,5
40056002	Fazenda Capoeirão	334	1,591	6,98	7,38	5,7
40056200	Montante do Bom Sucesso	334	1,590	7,26	7,39	1,7
40056500	Ponte Capoeirão	490	1,640	9,83	11,4	16,4
40060001	Tapirai-Jusante	559	1,795	12	15,9	32,8
40067000	Ponte Olegário Maciel	8987	1,535	171	166	-2,5
40070000	Ponte do Chumbo	9939	1,522	179	180	0,3
40080000	Taquaral	651	1,425	9,67	11,0	13,6

Vazões Médias de Longo Termo

REGIÃO A - Alto São Francisco

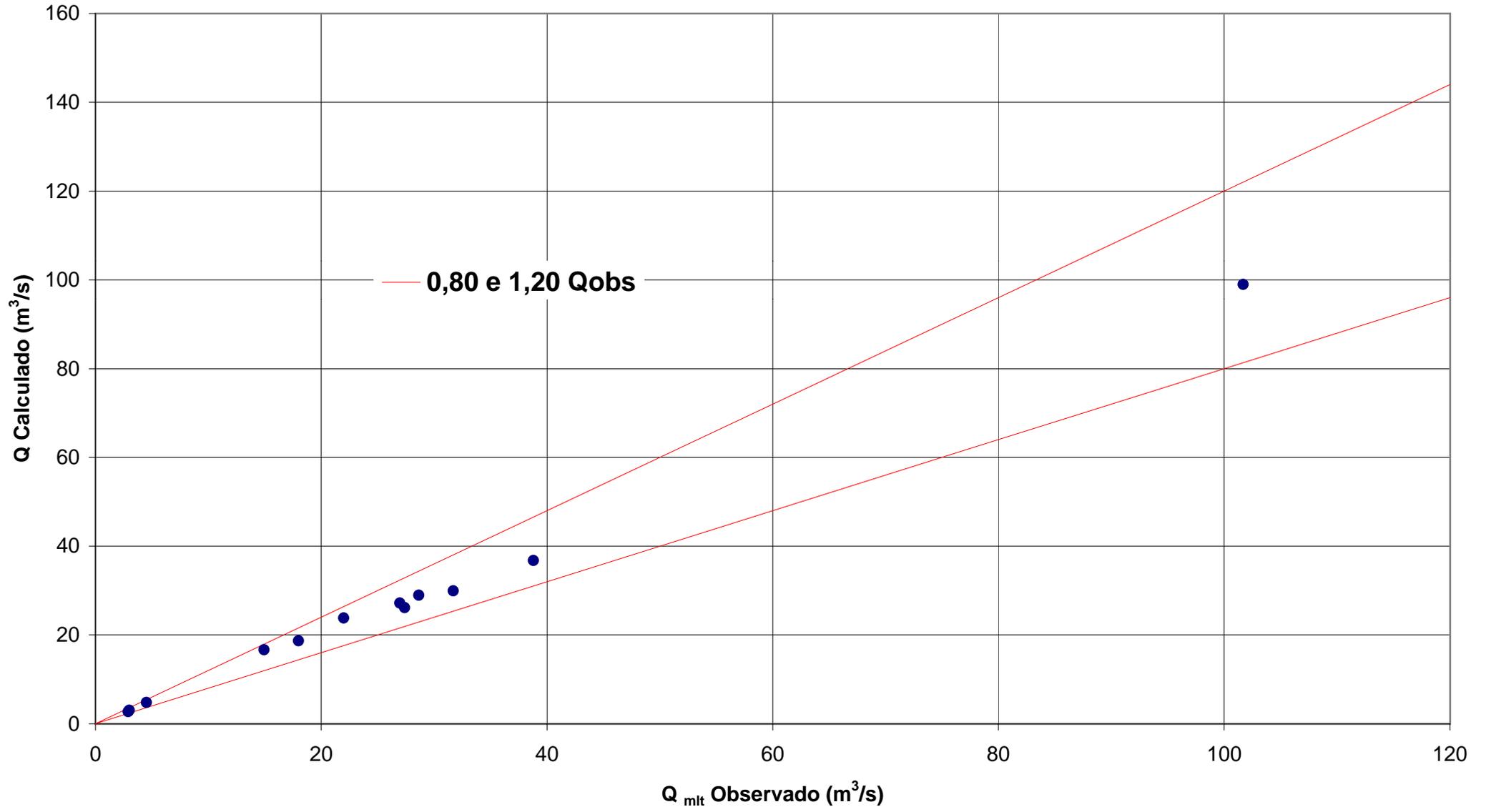


Resíduos entre os valores observados e os calculados

		Região B - Alto Pará			
Código	Estação	Área (km²)	Q_{mit} (m³/s)	Q_{calc} (m³/l)	Dif %
40130000	Ponte do Vilela	1726	27,4	26,1	-4,7
40150000	Carmo do Cajuru	2504	38,8	36,7	-5,4
40160000	Lamounier	163	3,02	2,99	-0,9
40170000	Marilândia	1055	15,0	16,6	11,2
40180000	Carmo da Mata	144	2,91	2,68	-8,0
40185000	Pari	1931	28,7	28,9	1,0
40190002	Divinópolis	2000	31,7	29,9	-5,7
40300001	Jaguaruna Jusante	1558	22,0	23,8	8,1
40330000	Velho da Taipa	7378	102	99,0	-2,7
40350000	Usina Camarão	269	4,53	4,75	4,9
40380000	Araújos	1196	18,0	18,7	3,6
40400000	Estação Álvaro da Silveira	1802	27,0	27,2	0,6

Vazões Médias de Longo Termo

REGIÃO B - Alto Pará

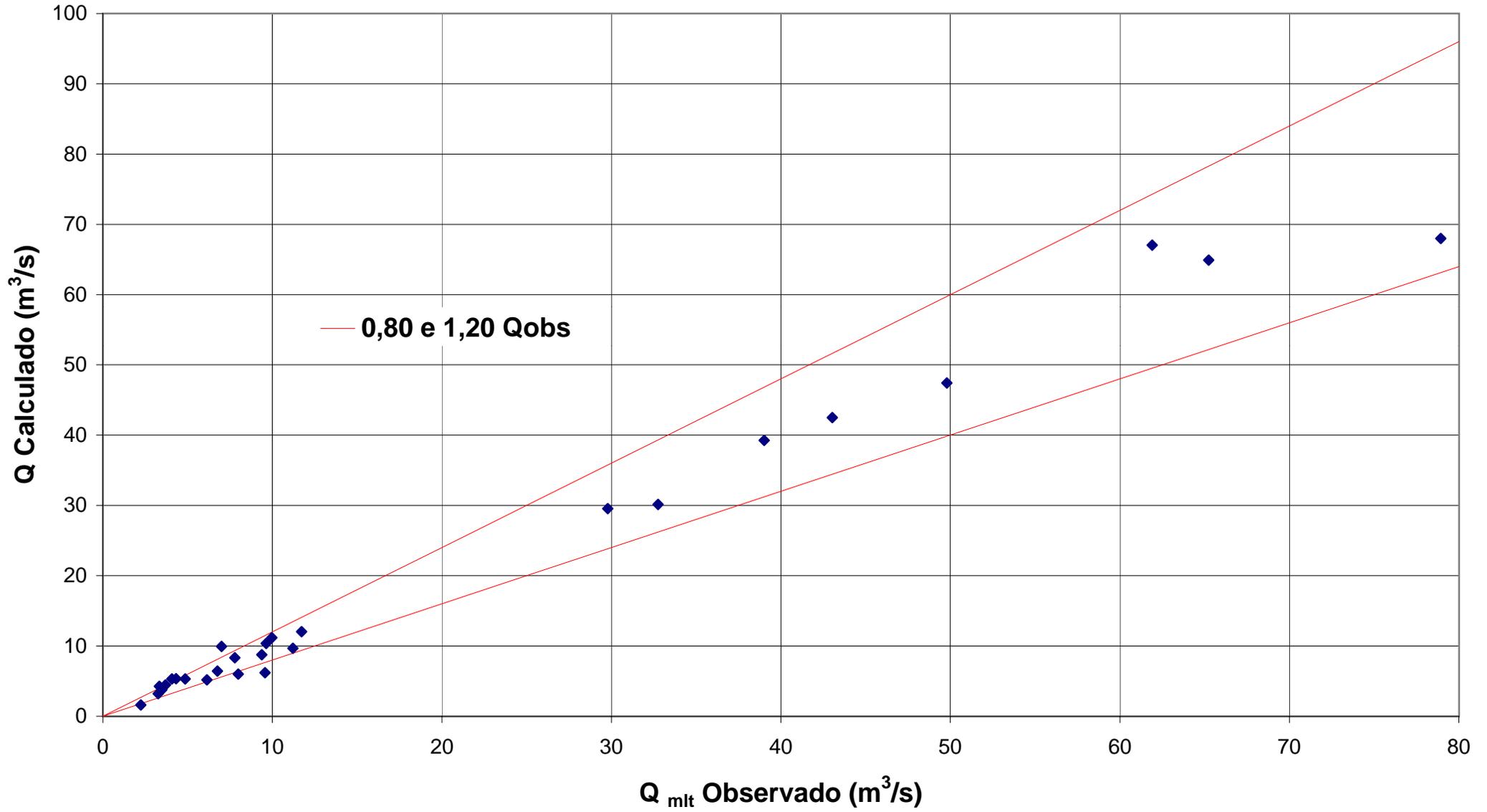


Resíduos entre os valores observados e os calculados

Região C - Alto Paraopeba, Alto Velhas e Cipó					
Código	Estação	Área (km ²)	Q _{mt} (m ³ /s)	Q _{calc} (m ³ /s)	Dif %
40540000	Jurema	353	6,76	6,41	-5,1
40549998	São Brás do Suaçuí Montante	461	7,78	8,32	6,9
40573000	Joaquim Murinho	291	4,08	5,31	30,2
40577000	Ponte Jubileu	244	3,70	4,47	20,9
40579995	Congonhas Linígrafo	579	9,63	10,4	7,6
40665000	Usina João Ribeiro	293	4,32	5,35	23,9
40680000	Entre Rios de Minas	486	9,38	8,76	-6,7
40700002	Jeceaba	2465	43,0	42,5	-1,3
40710000	Belo Vale	2760	49,8	47,4	-4,8
40720002	Melo Franco	3810	65,2	64,9	-0,5
40740000	Alberto Flores	3939	61,9	67,1	8,3
40770000	Conceição do Itaguá	675	11,7	12,0	2,8
41151000	Fazenda Água Limpa Jusante	175	3,26	3,23	-0,9
41160000	Gulpiara	284	6,14	5,19	-15,5
41180000	Itabirito Linígrafo	330	7,98	6,00	-24,8
41190000	Aguiar Moreira	539	11,2	9,67	-13,7
41199998	Honório Bicalho-Montante	1698	29,8	29,6	-0,8
41220000	Siderúrgica	232	3,33	4,27	28,1
41230000	Sabará	2273	39,0	39,3	0,7
41242100	General Carneiro	206	3,48	3,79	8,8
41295000	José de Melo	291	4,86	5,30	9,2
41300000	Taquaraçu	626	9,97	11,2	12,3
41700001	Usina Paraúna	1733	32,8	30,2	-8,0
41715000	Fazenda Cachoeira	85	2,24	1,60	-28,4
41720000	Fazenda do Cipó	341	9,56	6,19	-35,2
41780002	Presidente Juscelino	3996	78,9	68,0	-13,9

Vazões Médias de Longo Termo

REGIÃO C - Altos Paraopeba, Velhas e Rio Cipó

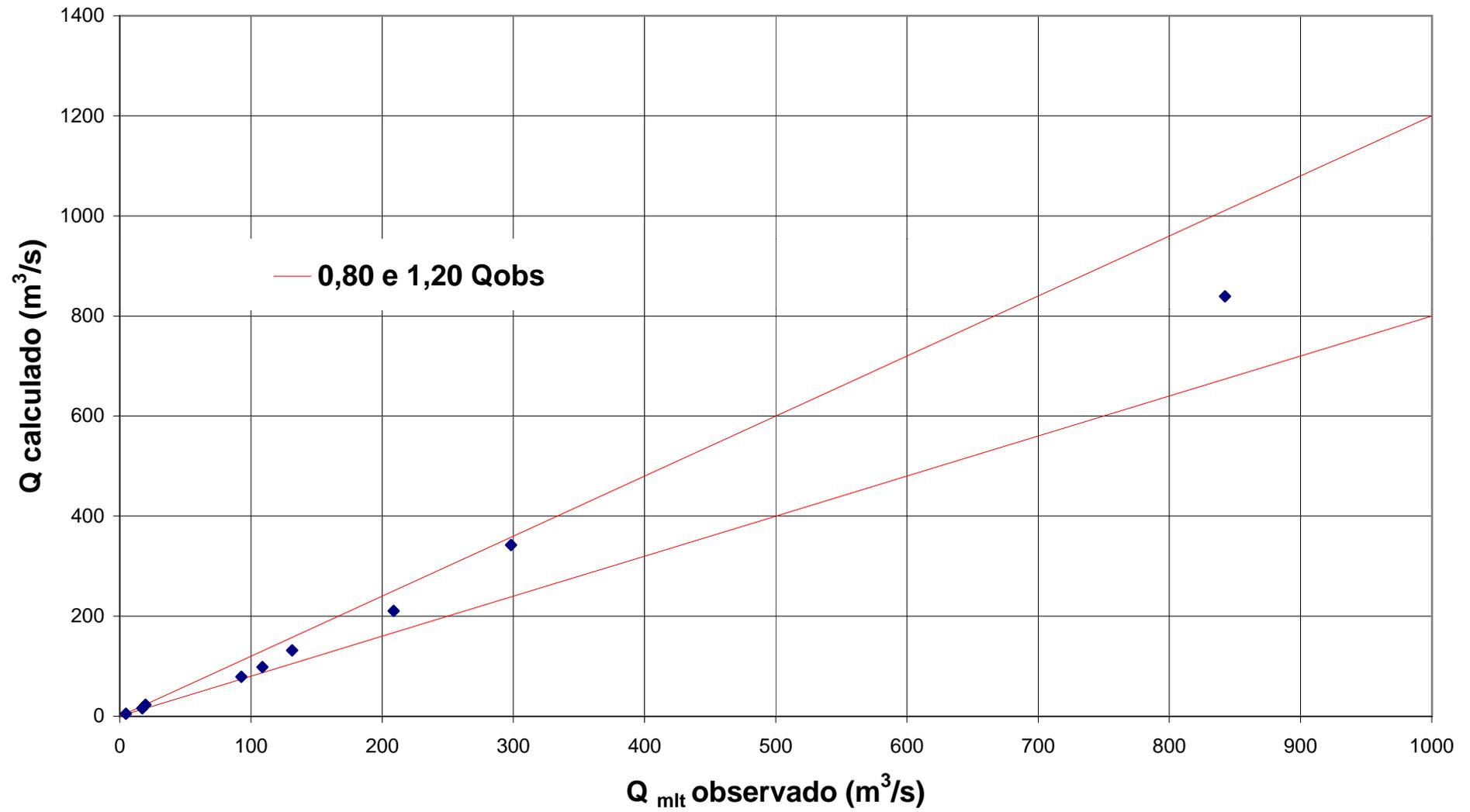


Resíduos entre os valores observados e os calculados

		Região D - Baixo Velhas			
Código	Estação	Área (km²)	Q_{mlt} (m³/s)	Q_{calc} (m³/s)	Dif %
41135000	Pirapora-Barreiro	62334	842	839	-0,4
41410000	Jequitibá	6558	92,7	78,7	-15,1
41539998	Faz. Contagem Montante	460	4,65	4,83	3,9
41600000	Pirapama	8086	109	98,1	-9,8
41650002	Ponte do Licínio Jusante	10712	131	132	0,4
41818000	Santo Hipólito	16722	209	211	0,8
41890000	Estação de Curimataí	1435	17,1	15,9	-6,8
41940000	Ponte do Bicudo	2023	19,7	22,9	16,4
41990000	Várzea da Palma	26553	298	342	14,8

Vazões Médias de Longo Termo

REGIÃO D - Baixo Rio das Velhas

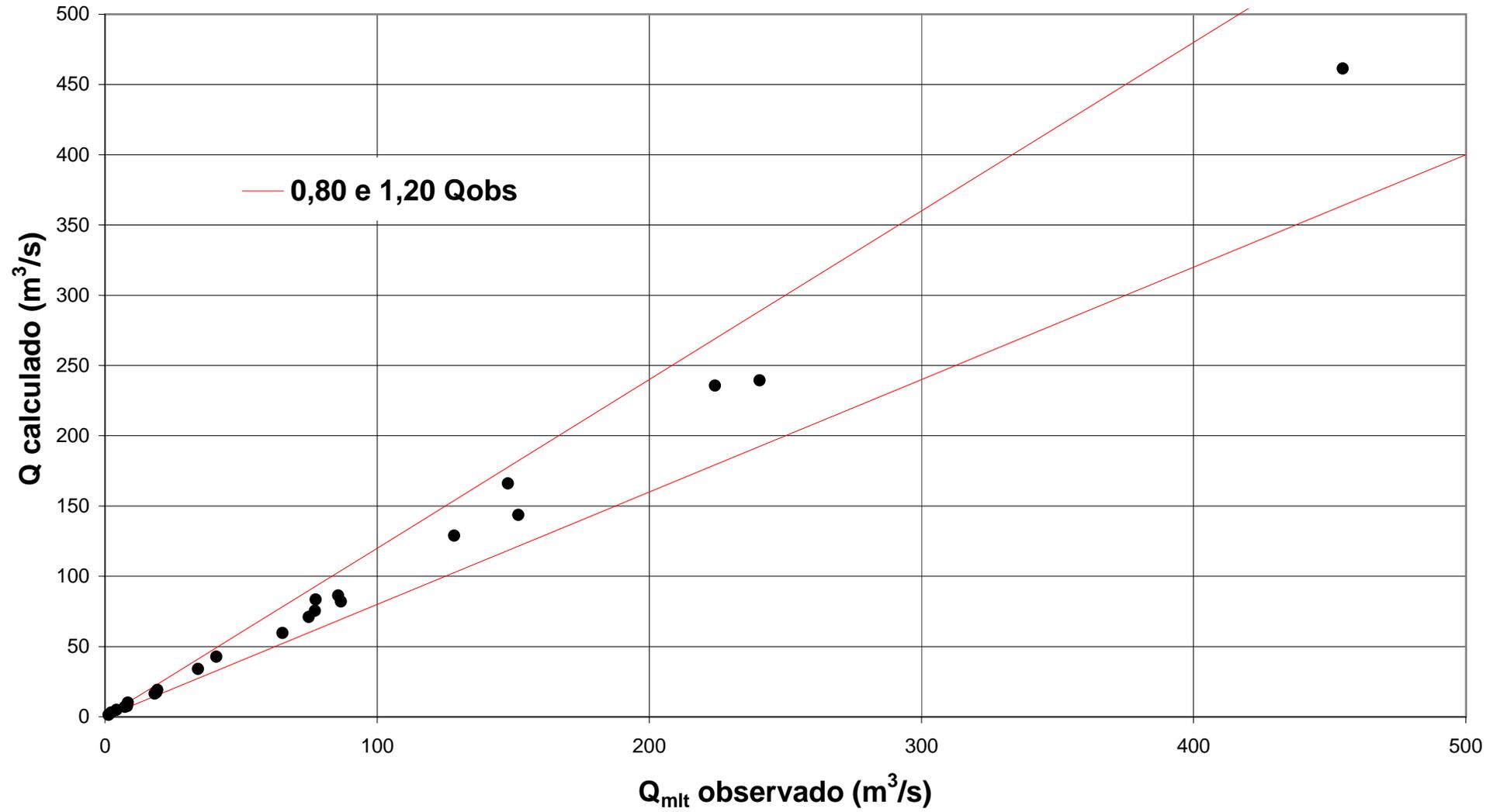


Resíduos entre os valores calculados e os observados

Região E - Médios São Francisco, Pará, Paraopeba e Velhas						
Código	Estação	Área (km²)	P_{médio} (m)	Q_{mlt} (m³/s)	Q_{calc} (m³/s)	Dif %
40100000	Porto das Andorinhas	13882	1,494	224	236	5,1
40102000	Porto da Barra	14180	1,491	241	239	-0,5
40450001	Porto Pará (Cemig)	11302	1,431	148	166	12,0
40500000	Martinho Campos	770	1,393	8,49	9,96	17,3
40530000	Abaeté	481	1,438	7,34	6,88	-6,3
40535000	Barra do Paraopeba	29366	1,454	455	461	1,4
40788000	São Joaquim de Bicas (Cemig)	5414	1,448	86,8	81,9	-5,6
40790000	Betim	188	1,460	2,29	2,79	21,8
40800001	Ponte Nova do Paraopeba	5680	1,449	85,7	86,1	0,5
40818000	Juatuba	279	1,531	4,24	4,87	14,9
40830000	Fazenda Escola Florestal	84	1,436	1,32	1,16	-11,8
40850000	Ponte da Taquara	8734	1,434	128	129	0,4
40865001	Porto do Mesquita (Cemig)	10192	1,414	152	144	-5,5
40930000	Barra do Funchal	876	1,582	18,9	17,3	-8,8
40960000	Fazenda Bom Jardim	1744	1,572	34,2	34,0	-0,7
40963000	Porto Indaiá (Cemig)	2242	1,558	40,9	42,7	4,2
40975000	Fazenda São Felix	964	1,511	18,3	16,4	-10,7
41050000	Major Porto	1207	1,475	19,3	19,0	-1,4
41075001	Porto do Passarinho	4143	1,505	75,0	70,9	-5,4
41090000	Canoeiros	5235	1,471	77,5	83,3	7,6
41250000	Vespasiano	676	1,329	8,17	7,48	-8,5
41260000	Pinhões	3727	1,475	65,3	59,6	-8,7
41340000	Ponte Raul Soares	4874	1,458	77,2	75,4	-2,4

Vazões Médias de Longo Termo

REGIÃO E - Médios São Francisco, Pará, Paraopeba e Velhas

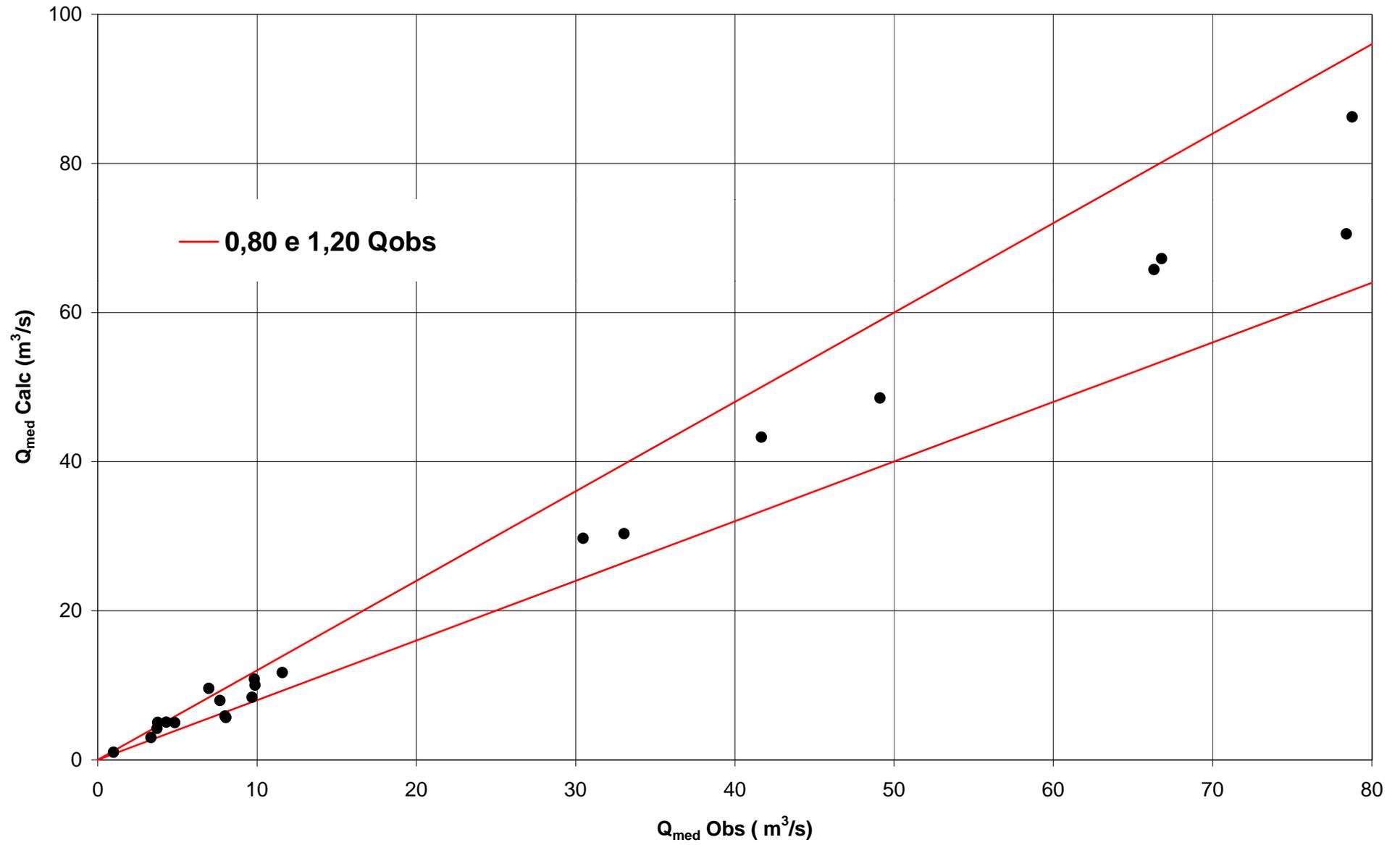


Resíduos entre os valores observados e os calculados

Código	Estação	Regiões I e II			Dif %
		Área (Km ²)	Q _{calc} (m ³ /s)	Q _{med} (m ³ /s)	
40549998	São Brás do Suaçuí Montante	461	7,95	7,68	3,5
40573000	Joaquim Murtinho	291	4,99	3,78	32,0
40577000	Ponte Jubileu	244	4,18	3,73	11,9
40579995	Congonhas Linígrafo	579	9,99	9,89	1,1
40665000	Usina João Ribeiro	293	5,03	4,31	16,7
40680000	Entre Rios de Minas	486	8,39	9,70	-13,5
40700002	Jeceaba	2465	43,28	41,67	3,9
40710000	Belo Vale	2760	48,52	49,12	-1,2
40720002	Melo Franco	3810	67,22	66,80	0,6
40770000	Conceição do Itaguá	675	11,68	11,60	0,7
41151000	Fazenda Água Limpa Jusante	175	2,98	3,35	-11,1
41180000	Itabirito Linígrafo	330	5,67	8,06	-29,7
41199998	Honório Bicalho-Montante	1698	29,68	30,49	-2,6
41260000	Pinhões	3727	65,74	66,33	-0,9
41295000	José de Melo	291	4,98	4,85	2,8
41300000	Taquaraçu	626	10,82	9,84	10,0
41340000	Ponte Raul Soares	4874	86,22	78,77	9,5
41380000	Ponte Preta	553	9,56	6,98	36,9
41700001	Usina Paraúna	1733	30,31	33,05	-8,3
41720000	Fazenda do Cipó	341	5,86	8,00	-26,8
41780002	Presidente Juscelino	3996	70,53	78,40	-10,0

Vazões Médias Anuais

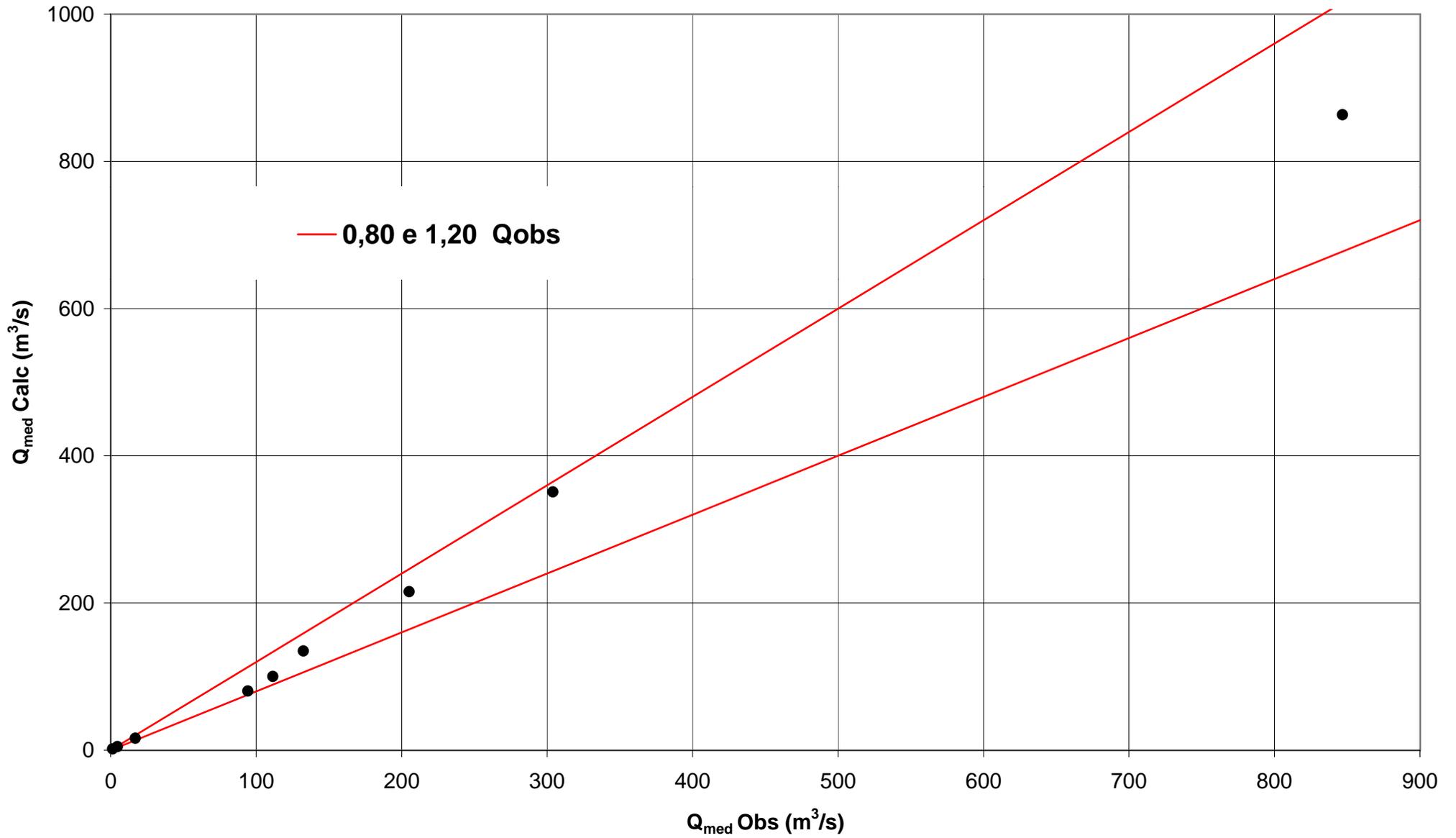
REGIÕES I e II



Resíduos entre os valores observados e os calculados

Código	Estação	Região III			Dif %
		Área (Km ²)	Q _{calc} (m ³ /s)	Q _{med} (m ³ /s)	
41135000	Pirapora-Barreiro	62334	863,07	846,83	1,9
41410000	Jequitibá	6558	80,18	94,30	-15,0
41539998	Faz. Contagem Montante	460	4,86	4,76	2,1
41600000	Pirapama	8086	100,01	111,54	-10,3
41650002	Ponte do Licínio Jusante	10712	134,56	132,49	1,6
41818000	Santo Hipólito	16722	215,30	205,25	4,9
41880000	Buenópolis	148	1,47	1,36	8,2
41890000	Estação de Curimataí	1435	16,13	17,01	-5,2
41990000	Várzea da Palma	26553	350,72	304,06	15,3

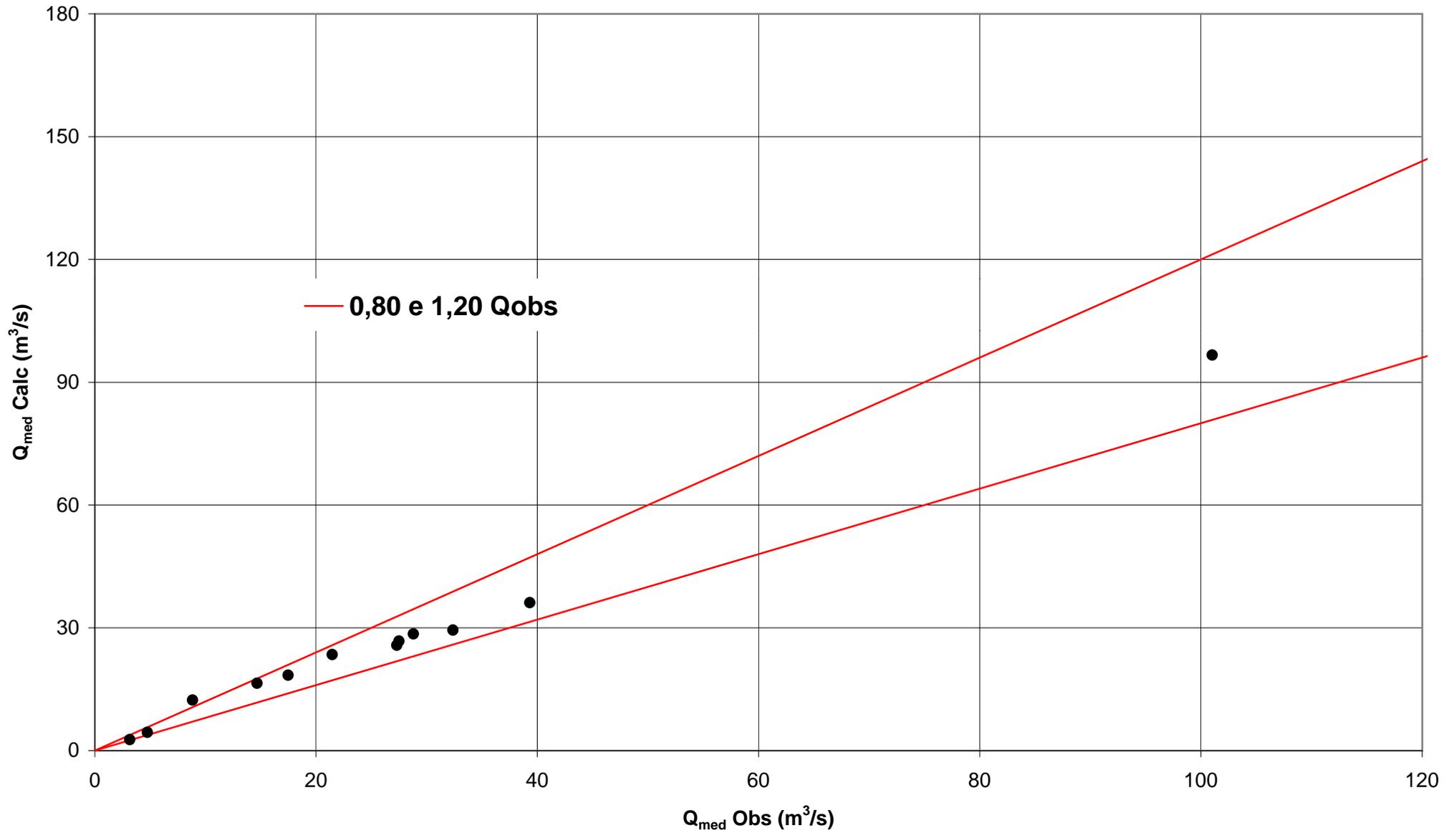
REGIÃO III



Resíduos entre os valores observados e os calculados

Código	Estação	Região IV			
		Área (Km ²)	Q _{calc} (m ³ /s)	Q _{med} (m ³ /s)	Dif %
40130000	Ponte do Vilela	1726	25,74	27,3	-5,73
40150000	Carmo do Cajuru	2504	36,12	39,32	-8,13
40170000	Marilândia	1055	16,44	14,67	12,07
40180000	Carmo da Mata	144	2,68	3,16	-15,16
40185000	Pari	1931	28,50	28,8	-1,03
40190002	Divinópolis	2000	29,44	32,38	-9,08
40300001	Jaguaruna Jusante	1558	23,45	21,47	9,21
40330000	Velho da Taipa	7378	96,64	101,02	-4,33
40350000	Usina Camarão	251	4,45	4,75	-6,38
40380000	Araújos	1196	18,43	17,48	5,42
40400000	Estação Álvaro da Silveira	1802	26,77	27,5	-2,67
40450001	Porto Pará	11302	142,50	147,88	-3,64
40500000	Martinho Campos	770	12,34	8,84	39,56

REGIÃO IV

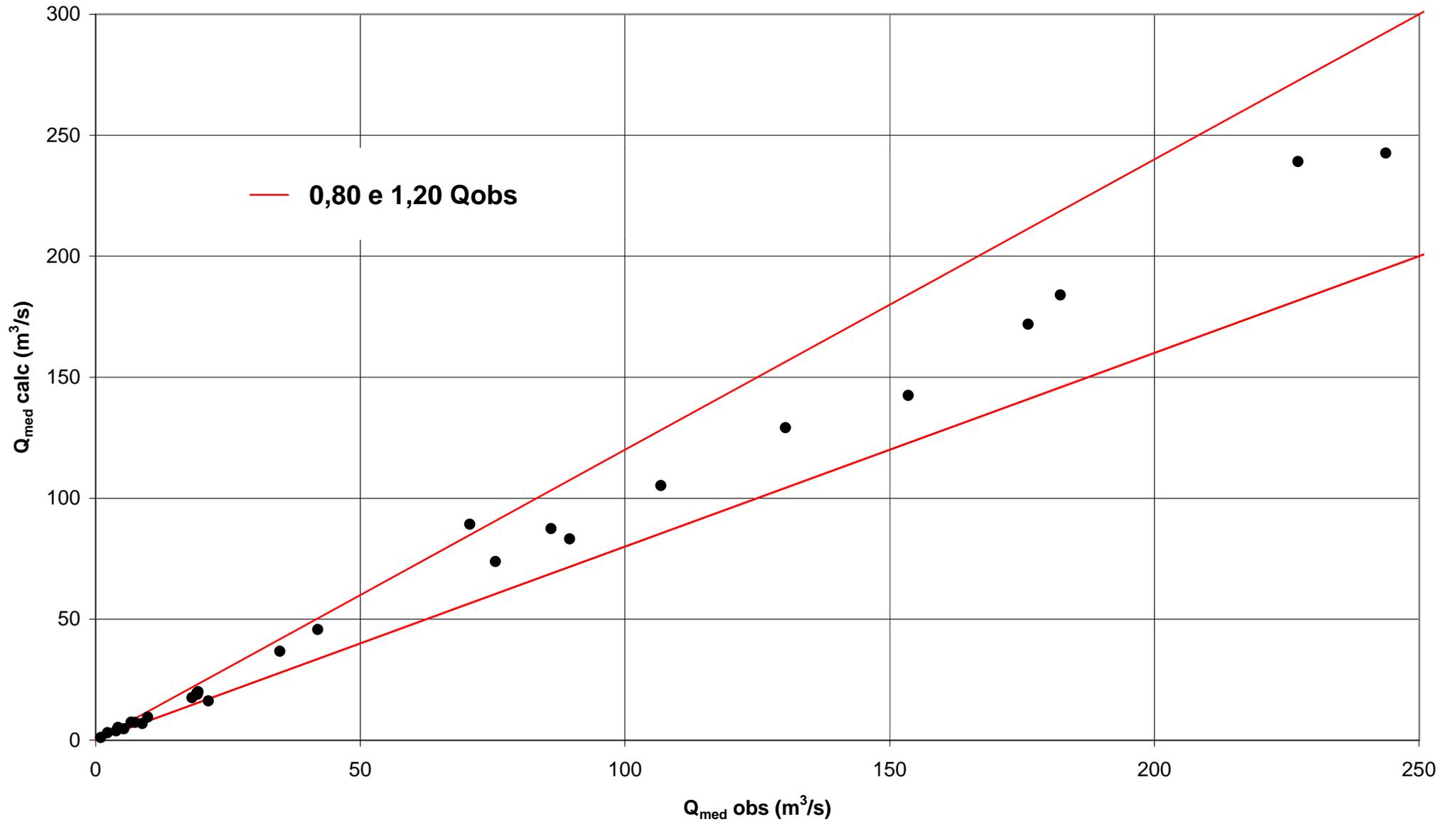


Resíduos entre os valores observados e os calculados

Código	Estação	Regiões V e VI				
		Área (Km ²)	P _{médio} (m)	Q _{calc} (m ³ /s)	Q _{med} (m ³ /s)	Dif %
40025000	Vargem Bonita	303	1,5940	6,76	8,85	-23,6
40032000	Fazenda Samburá	763	1,6510	19,42	19,11	1,6
40037000	Fazenda da Barra	765	1,5712	16,13	21,29	-24,3
40040000	Fazenda Ajudas	259	1,5075	4,68	5,34	-12,4
40046000	Porto Sabino	4388	1,5587	89,22	70,71	26,2
40050000	Iguatama	5426	1,5395	105,17	106,82	-1,5
40053000	Calciolândia	303	1,3650	3,75	3,90	-3,9
40056002	Fazenda Capoeirão	334	1,5906	7,39	6,71	10,2
40067000	Ponte Olegário Maciel	8987	1,5347	171,86	176,19	-2,5
40070000	Ponte do Chumbo	9939	1,5217	183,99	182,27	0,9
40080000	Taquaral	651	1,4247	9,45	9,86	-4,2
40100000	Porto das Andorinhas	13882	1,4937	239,13	227,15	5,3
40102000	Porto da Barra	14180	1,4909	242,55	243,74	-0,5
40530000	Abaeté	481	1,4381	7,25	7,47	-3,0
40788000	São Joaquim de Bicas (CEMIG)	5414	1,4484	83,18	89,57	-7,1
40790000	Betim	188	1,4598	3,01	2,27	32,6
40800001	Ponte Nova do Paraopeba	5680	1,4490	87,39	86,06	1,5
40818000	Juatuba	273	1,5315	5,24	4,26	22,9
40850000	Ponte da Taquara	8734	1,4344	129,11	130,33	-0,9
40865001	Porto do Mesquita (CEMIG)	10192	1,4137	142,46	153,53	-7,2
40930000	Barra do Funchal	876	1,5821	18,94	19,24	-1,6
40960000	Fazenda Bom Jardim	1744	1,5720	36,72	34,80	5,5
40963000	Porto Indaiá (CEMIG)	2242	1,5585	45,66	41,96	8,8
40975000	Fazenda São Félix	964	1,5111	17,50	18,22	-4,0
41050000	Major Porto	1207	1,4749	19,95	19,39	2,9
41075001	Porto do Passarinho	4143	1,5051	73,73	75,53	-2,4

Vazões Médias Anuais

REGIÕES V e VI



ANEXO I

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 DE MAPAS

- **MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS**
- **POLÍGONOS DE THIESSEN**
- **MAPA DE REGIÕES HOMOGÊNEAS PARA AS VAZÕES MÉDIAS DE LONGO TERMO**
- **MAPA DE REGIÕES HOMOGÊNEAS PARA AS VAZÕES MÉDIAS ANUAIS**

