

SONÁLI CAVALCANTI OLIVEIRA

ANÁLISE REGIONAL DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL
ACUMULADO COMO BASE PARA PLANEJAMENTO EM
ÁREAS COM INSUFICIÊNCIA DE DADOS

Dissertação apresentada ao Curso
de MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL
da Universidade Federal da Paraíba,
em cumprimento às exigências
para obtenção do Grau de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS

UBALD KOCH

Orientador

JANIRO COSTA RÊGO

Co-orientador

CAMPINA GRANDE

DEZEMBRO - 1986



O48a Oliveira, Sonáli Cavalcanti.
Análise regional de escoamento superficial acumulado como base para planejamento em áreas com insuficiência de dados / Sonáli Cavalcanti Oliveira. - Campina Grande, 1986. 144 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia.

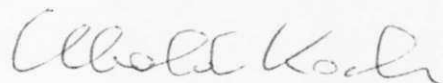
1. Água - Análise Regional. 2. Recursos Hídricos - Planejamento. 3. Dissertação - Engenharia Civil. I. Koch, Ubaldo. II. Rêgo, Janiro Costa. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título

CDU 628.1(043)

ANÁLISE REGIONAL DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL
ACUMULADO COMO BASE PARA PLANEJAMENTO EM
ÁREAS COM INSUFICIÊNCIA DE DADOS

SONÁLI CAVALCANTI OLIVEIRA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 17/12/86




Prof. UBALD KOCH - Dr. Ing

Orientador



Prof. ALEXANDER LATTERMANN - Dr. Ing

Componente da Banca



Prof. ALAIN MARIE BERNARD PASSERAT DE SILANS - Dr.

Componente da Banca

CAMPINA GRANDE

DEZEMBRO - 1986

À memória do meu pai

Dioteles Germano de Oliveira

AGRADECIMENTOS

Ao professor Ubald Koch, orientador deste trabalho, pela assistência dada durante a execução do mesmo, sem a qual não seria possível sua conclusão.

Ao professor Alexander Lattermann pela colaboração prestada.

Ao professor Janiro Costa Rego.

À coordenação da Área de Recursos Hídricos, na pessoa do professor Manoel Gilberto de Barros.

Ao CNPq, pelo suporte financeiro durante a realização do curso.

Ao DNAEE e SUDENE pela cessão dos dados utilizados para execução do trabalho.

Ao G.T.Z (Sociedade Alemã de Cooperação Técnica) e à UFPb que tornaram possível o estudo através de um projeto de Cooperação entre a Área de Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Civil da UFPb - Campina Grande e a G.T.Z.

À Paulo Roberto Rodrigues, desenhista.

À Vandenberg dos Santos pelos serviços de datilografia.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização do trabalho.

De modo especial à D. Alba, Francisco, Germano, Danilo e Ângela pelo incentivo e apoio sempre patenteado.

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	01
CAPÍTULO II - FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	04
2.1 - ANÁLISE REGIONAL	04
2.2 - ANÁLISE DE FREQUÊNCIA	06
2.3 - ESTACIONARIDADE DE UMA AMOSTRA.	07
2.4 - CORRELAÇÃO E REGRESSÃO	10
CAPÍTULO III - DESCRIÇÃO DA REGIÃO	12
CAPÍTULO IV - ESTABELECIMENTO DA RELAÇÃO VOLUME, VA ZAO BÁSICA E PROBABILIDADE	19
4.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	19
4.2 - COLETA DE DADOS	22
4.3 - ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS	24
4.4 - CÁLCULO DOS VOLUMES	26
4.5 - VERIFICAÇÃO DA ESTACIONARIDADE.	32
4.6 - ANÁLISE DE FREQUÊNCIA	35
4.7 - RELAÇÃO VOLUME-VAZÃO-BÁSICA-PRO BABILIDADE	37
CAPÍTULO V - REGIONALIZAÇÃO	39
5.1 - OBJETIVO	39

	Página
5.2 - CURVA REGIONAL DA RELAÇÃO VOLU- ME-VAZÃO-BÁSICA-PROBABILIDADE..	40
CAPÍTULO VI - PERFIL LONGITUDINAL DOS VOLUMES	46
CAPÍTULO VII - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
APÊNDICE A	57
APÊNDICE B	114

APÊNDICE A

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
3.1 - Localização da região constituída pelas bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe, Apodi e Piranhas	58
3.2 - Área ocupada por terrenos cristalinos e sedimentares	59
3.3 - Temperatura média anual	60
3.4 - Média compensada do mês mais frio	61
3.5 - Isoietas médias mensais	62
3.6 - Ietograma de médias mensais nas bacias hidrográficas dos rios Piranhas, Apodi e Jaguaribe	63
3.7 - Diferenciações climáticas	64
3.8 - Evaporação potencial	65
3.9 - Vegetação	66
3.10 - Bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe, Apodi e Piranhas	67
3.11 - Perfil longitudinal	68
3.12 - Hidrogramas do rio Jaguaribe	69
3.13 - Hidrogramas do rio Piranhas na estação Jardim de Piranhas	70
4.1 - Hidrograma do rio Piranhas na estação Jardim	

de Piranhas. (1966/67)	71
4.2.1 a 4.2.12 - Relação entre Volume-Vazão Básica- Probabilidade para as estações ana lisadas	72
5.1.1 a 5.1.6 - Volume versus vazão básica para to das as estações e probabilidades $P(x_i \leq X) = 50\%; 80\%; 90\%; 95\%; 98\%; 99\%$	84
5.2.1 a 5.2.6 - Regionalização da relação entre Vo lume-Vazão básica-Probabilidade pa ra $P(x_i \leq X) = 50\%; 80\%; 90\%; 95\%; 98\%; 99\%$	90
5.3.1 - Regionalização da relação entre Volume-Vazão básica-Probabilidade $V = f\left(\frac{Q_B}{Q^2}\right)$ para $P(x_i \leq X)$ $= 50\%; 80\%; 90\%; 95\%; 98\%; 99\%$	96
5.3.2 - Regionalização da relação entre Volume-Vazão básica-Probabilidade $\frac{Q_B}{Q^2} = f(V)$ para $P(x_i \leq X)$ $50\%; 80\%; 90\%; 95\%; 98\%; 99\%$	97
5.4 - Relação entre a área de drenagem e a vazão básica com $P(Q_i \geq Q_B)$	98
6.1.1 a 6.1.3 - Relação entre a área de drenagem e vazão básica com $P(Q_i \geq Q_B) = 5\%;$ 25% e 75%	99
6.2 - Relação entre a área de drenagem e a vazão básica com $P(Q_i \geq Q_B) = 5\%; 25\%; 50\%; 75\%$..	102
6.3 - Uso da curva regional para traçar o perfil longitudinal dos volumes	103
6.4.1 a 6.4.4 - Perfil longitudinal dos volumes pa-	

FIGURA

PÁGINA

	ra vazões básicas com $P(Q_i \geq Q_B) = 5\%$; 25%; 50%; 75%	104
6.5.1 a 6.5.6 -	Perfil longitudinal dos volumes com $P(x_i \leq X) = 50\%; 80\%; 90\%; 95\%; 99\%$ para o rio Piranhas	108

APÊNDICE B

LISTA DE TABELAS

TABELA	PÁGINA
4.1 - Listagem dos dados de vazão média diária para a estação Jardim de Piranhas. Ano 1966/67 ...	115
4.2 - Estações fluviométricas utilizadas, suas áreas de drenagem e períodos de observação	116
4.3 - Cálculo dos volumes para a estação Jardim de Piranhas	117
4.4.1 a 4.4.12 - Resultado dos cálculos dos volumes para todas as estações	118
4.5 - Verificação do ajustamento de 3 distribuições de probabilidade, às amostras da estação Jardim de Piranhas	130
4.6 - Média aritmética, desvio padrão e coeficiente de assimetria das amostras de volumes para cada vazão básica (Q_B) de todas as estações analisadas	131
4.7 - Resultado da aplicação dos testes não-paramétricos para verificação da estacionaridade dos dados	132
4.8 - Resultado do ajustamento das distribuições Normal, Gama e Pearson III e suas formas logarítmicas, às amostras da estação Jardim de Piranhas	133

4.9 - Resultado da verificação do ajustamento da distribuição Pearson III às amostras de volume de todas as estações analisadas	134
4.10.1 a 4.10.12 - Volumes que podem ser armazenados nos locais onde estão situadas as estações estudadas, associados a uma probabilidade $P(x_i \leq X)$, de modo a permitir a liberação de uma vazão básica (Q_B)	135
5.1 - Tabela auxiliar para a construção do diagrama de dispersão	137
5.2 - Correlação e regressão entre volume e $\frac{Q_B}{Q^2}$..	138
6.1 - Vazões básicas e respectivas probabilidades $P(Q_i \geq Q_B)$ para os postos fluviométricos utilizados no estudo	139
6.2 - Correlação e regressão entre as áreas de drenagem e respectivas vazões básicas para $P(Q_i \geq Q_B) = 75\%; 50\%; 25\%$ e 5%	140
6.3.1 a 6.3.4 - Perfil longitudinal dos volumes para vazões básicas com $P(Q_i \geq Q_B) = 5\%; 25\%; 50\%$ e 75% , para o rio Piranhas.	141

RESUMO

Ao planejar a construção de reservatórios para irrigação, abastecimento d'água, controle de cheias, perenização, etc, os hidrólogos frequentemente se deparam com o problema da falta de dados ou ineficácia dos mesmos, pois são poucas as estações fluviométricas instaladas e raramente a sua localização coincide com o local onde se planeja construir o reservatório. Com o objetivo de solucionar esse problema, este trabalho apresenta um método para análise regional de volumes em uma região hidrologicamente homogênea. Este método consiste basicamente em: estabelecer para cada estação fluviométrica analisada a relação existente entre as variáveis volume, probabilidade e vazão básica, para em seguida proceder à regionalização dessa relação encontrando curvas que a representem para toda região. Com essas curvas se obtém de maneira rápida e simples: 1) os volumes que podem ser armazenados; 2) a probabilidade com que esses volumes podem ser alcançados e 3) a vazão básica que pode ser liberada sem prejuízo algum para o volume armazenado, para qualquer seção de qualquer curso d'água da região. Para exemplificar o desenvolvimento da metodologia, utiliza as bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe, Apodi e Piranhas.

A B S T R A C T

For designing reservoirs the flood peak for a specified recurrence interval often is associated with a design flood hydrograph and is a useful variable. For more detailed planning, the volume of floods related to a probability gives better information. In this way, the volumes of floods can be calculated for various limiting flows, herein called basic flow, and may be treated like a sample for frequency analysis. Fitting probability distributions, one can get the relation between basic flow, flood volume and probability, which is valid only for the station providing the basic data. The basic flow could be considered as, for example, the guaranteed minimum water demand downstream. For regionalisation purposes, this volume must be related to river basin parameters like the area, slope, form parameters or hydro-climatological parameters, which may be easily obtained for the site at which the reservoir is planned. This paper presents the results of the frequency analysis of the discharge volumes for twelve stations in the basins of the Rivers Apodi, Piranhas and Jaguararibe situated in the Northeast of Brazil. Since this is a semiarid region, the volumes were calculated for the whole wet season and considered as a unique flood event. The relationships between volumes, basic flow and probability were established. Using the Pearson-Type-III probability

distribution the regionalisation was carried out using the square of the mean annual discharge as a parameter. A simple and fast definition of the required storage volumes for any point in the region is obtained through two relationships: a) a longitudinal variation of the volume related to a certain base flow and probability along the river and b) a correlation function between the subbasin areas and the mean annual discharge.

CAPÍTULO I

I N T R O D U Ç Ã O

A estimativa de dados fluviométricos para regiões em que haja insuficiência dos mesmos é de suma importância para todo e qualquer tipo de trabalho que requeira o uso da água. É uma das ferramentas principais para o planejamento dos recursos hídricos de uma região.

Atualmente na elaboração de estudos hidrológicos verifica-se que: ou inexistem registros fluviométricos no curso d'água considerado, tornando-se necessária a realização de medições, levantamentos; ou os dados estão disponíveis em boletins de observação fluviométricos exigindo que a cada bacia hidrológica que se estude, se manuseie uma grande massa de informações. Em ambos os casos, a duração do estudo hidrológico torna-se incompatível com o projeto a desenvolver.

Para contornar essas dificuldades, desenvolve-se estudos com o objetivo de analisar dados hidrológicos em áreas que sejam hidrologicamente homogêneas, com a finalidade de se obter relações regionais. Tais estudos possibilitam uma avaliação rápida das variáveis que interessam, nos locais onde se pretende fazer algum tipo de aproveitamento.

Quando esse aproveitamento se refere ao planejamento de reservatórios para controle de cheias, irrigação, pereni

zação ou abastecimento d'água, os hidrólogos frequentemente se deparam com o problema da falta de dados ou ineficácia dos mesmos no lugar onde pretende construir o reservatório. Isto porque são poucas as estações fluviométricas instaladas e raramente a sua localização coincide com a seção de interesse. Além disso, os dados originais (quando existem), não satisfazem as necessidades de planejamento com esse fim, tornando-se necessários outros dados deles derivados como por exemplo: vazões de pico, baixas vazões ou até mesmo volumes.

O objetivo do presente estudo é desenvolver uma metodologia que possibilite a obtenção de respostas rápidas às perguntas abaixo relacionadas, para qualquer seção de um curso d'água, de uma região previamente estabelecida:

- 1) Qual o volume d'água que pode ser armazenado?
- 2) Com que probabilidade o mesmo será alcançado?
- 3) Com o armazenamento do citado volume, qual a vazão básica que pode ser garantida à jusante do reservatório?

Até então, o volume que pode ser armazenado e a vazão básica que pode ser liberada eram informações cuja obtenção dependia do estabelecimento de Modelos Chuva-Vazão. No entanto não é possível obter através desses modelos as probabilidades com que os volumes podem ser alcançados.

Para atingir o objetivo descrito acima, o estudo desenvolve primeiro um método para obter, para cada estação analisada, uma relação entre as seguintes variáveis: 1) o volume que se pode acumular acima de uma certa vazão básica; 2) a própria vazão básica e 3) a probabilidade com que esse volume será alcançado.

Em seguida, através da regionalização dessas relações com o auxílio de um parâmetro regional, torna possível o fornecimento de informações sobre os volumes que podem ser armazenados, não só para os locais onde se situam as estações analisadas, mas também para qualquer ponto dentro da região estudada.

O trabalho é apresentado em sete capítulos, a saber :

No capítulo 1 (Introdução), define-se o problema existente e a finalidade do estudo.

No capítulo 2 (Fundamentos Teóricos), faz-se uma breve explanação dos conceitos e assuntos necessários ao desenvolvimento do trabalho.

O capítulo 3 (Descrição da Região Estudada), consiste em uma apresentação da região estudada, com suas características.

No capítulo 4 (Estabelecimento da relação volume-vazão básica-probabilidade), obtêm-se os dados de volumes a serem utilizados, verifica-se a estacionaridade dos mesmos, para em seguida, através de uma análise de frequência, estabelecer a relação entre as três variáveis citadas no título.

No capítulo 5 (Regionalização), faz-se uma regionalização dos resultados do capítulo 4, para toda região.

O capítulo 6 (Perfil Longitudinal dos Volumes), mostra como utilizar os resultados do trabalho, através do traçado do perfil longitudinal dos volumes para um rio da região.

O capítulo 7 (Conclusão), apresenta comentários a respeito do estudo e faz algumas recomendações para sua aplicação.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A análise regional, técnica de transferência espacial de informações, utiliza-se da estatística para atingir os seus fins. É importante para a compreensão deste trabalho que se saiba o significado de alguns termos que serão utilizados, sendo assim, será visto a seguir, de maneira breve, os assuntos ligados a este trabalho.

2.1 - ANÁLISE REGIONAL

A regionalização ou análise regional é possível quando a região para a qual se pretende aplicá-la é hidrologicamente homogênea, ou seja, é uma região que apresenta regime pluviométrico e climático relativamente uniformes e onde o tipo de cobertura vegetal, uso do solo e determinadas características físicas e geomorfológicas são razoavelmente semelhantes.

Assim, afirma-se que uma região é hidrologicamente homogênea, com base na análise de suas características físicas e climáticas. Como os fatores climáticos e físicos condicionam a hidrologia de uma região, admite-se que se determinada região é homogênea segundo esses fatores, será também ho

mogênea hidrologicamente.

Posteriormente, durante o estudo da análise regional essa homogeneidade pode se confirmar ou não. Pode acontecer por exemplo, que a região seja homogênea com relação ao seu regime pluviométrico, mas devido a alguma variação no tipo de solo, não conhecida no início do estudo, não apresente um regime fluviométrico homogêneo. Nesse caso, a região como um todo, não pode ser considerada hidrologicamente homogênea.

É importante que a condição da homogeneidade hidrológica da região seja satisfeita porque a regionalização é uma técnica de transferência espacial de informações, ela extrai o máximo de informações dos dados pontuais disponíveis, para extrapolá-las espacialmente dentro da região considerada.

Atualmente observa-se que a análise regional vem dando uma grande contribuição no que diz respeito ao planejamento de recursos hídricos de uma região, pois possibilita a estimativa de variáveis e parâmetros hidrológicos em locais sem dados.

Os seus resultados são úteis para o dimensionamento de reservatórios, previsão de inundação, dimensionamento de obras hidráulicas e planejamento em geral na área de recursos hídricos.

KITE (1978), comenta algumas técnicas de regionalização para cheias e as divide em cinco métodos principais: INDEX FLOOD, REGRESSÃO MÚLTIPLA, SQUARE GRID, MODIFIED SINGLE STATION PROBABILITY DISTRIBUTIONS E REGIONAL RECORD MAXIMA.

2.2 - ANÁLISE DE FREQUÊNCIA

Na análise de frequência, deseja-se conhecer a distribuição de probabilidade da população, a partir da distribuição da amostra.

Entenda-se por população, todos os valores que uma variável pode assumir e amostra como sendo uma parte pequena da população.

O uso das distribuições de probabilidade na hidrologia tem por finalidade, estimar através da inferência estatística a probabilidade para valores não medidos, mas possíveis de ocorrer.

As propriedades de uma distribuição e os parâmetros que se relacionam com as mesmas são:

- Tendência Central, descreve a tendência da variável em se localizar em torno de um valor central. Parâmetros: médias (aritmética, geométrica, harmônica), mediana e moda.

- Dispersão, indica o quanto os dados se apresentam dispersos em torno da região central de uma distribuição. Parâmetros: amplitude, desvio médio, desvio padrão, variância, coeficiente de variação.

- Assimetria, descreve a assimetria da distribuição. Parâmetros: relação média - mediana - moda e coeficiente de assimetria.

- Curtose, define o grau de achatamento da distribuição. Parâmetro: coeficiente de curtose.

As distribuições de probabilidade mais comumente usadas

na hidrologia são: Normal, Gama, Pearson III, Gumbel, Weibull e suas formas logarítmicas.

A verificação do ajustamento de qualquer uma dessas distribuições a uma amostra é feita através de testes de aderência. Neles a hipótese testada diz respeito à forma da distribuição da população. São eles: o Qui-Quadrado e o de Kolmogorov - Smirnov. (Veja COSTA NETO, 1977).

Mais considerações a respeito das distribuições citadas, veja KITE, 1978.

Estabelecida a distribuição de probabilidade, considerada representativa para a população da qual provém a amostra pode-se definir a probabilidade "acima de" (probabilidade de ultrapassar) e a probabilidade "abaixo de" (probabilidade de alcançar) para quaisquer valores da amostra.

2.3 - ESTACIONARIDADE DE UMA AMOSTRA

Uma amostra (série de tempo) é dita estacionária, quando, com relação ao tempo, o regime hidrológico representado pelos seus dados não é perturbado por influências naturais ou artificiais.

Assim, estacionaridade significa uma homogeneidade num sentido temporal.

As não-estacionaridades são classificadas em três tipos:

- Valor Singular.
- Tendência Central Não-Estacionária.
- Dispersão Não-Estacionária.

Valor Singular é todo aquele que fica longe da esperança matemática $E(X)$ dos valores $X(x_1, x_2 \dots x_n)$ da amostra.

Tendência Central Não-Estacionária, ocorre quando há uma alteração numérica do valor da esperança matemática $E(X)$ no tempo.

Dispersão Não-Estacionária significa desvios dos valores da tendência central, crescendo ou decrescendo continuamente.

Todas essas não-estacionaridades, provocadas por influências artificiais ou naturais, fazem com que os parâmetros da distribuição de frequência sejam não-estacionários.

A estatística apresenta alguns testes, através dos quais as não-estacionaridades podem ser detectadas.

Esses testes dividem-se em dois grupos:

- Paramétricos
- Não-Paramétricos

Os testes paramétricos são testes que especificam certas condições sobre os parâmetros da população da qual é extraída a amostra. Eles são podem ser aplicados a amostras cuja população seja normalmente distribuída.

Os testes não-paramétricos não especificam quaisquer condições sobre os parâmetros da população da qual se extrai a amostra.

Discussões a respeito das vantagens e desvantagens dos citados testes podem ser lidas em SIDNEY SIEGEL, 1975.

Os testes não-paramétricos, usados na hidrologia, são os seguintes:

- Teste de Valores Singulares que examina na amostra a existência de valores singulares.

- Teste de Iteração que verifica se uma amostra possui tendência central não-estacionária.

- O Teste de Frequência de Fases examina se a sequência dos elementos da amostra é aleatória.

- Teste de Kolmogorov - Smirnov para comparação de distribuição de duas amostras, verifica se duas amostras provêm da mesma população.

- Teste "U", verifica se duas amostras provêm da mesma população, mais especificamente com respeito à tendência central.

- Teste de Dispersão de Numerais Ordinais examina se duas amostras provêm da mesma população com respeito às suas variâncias.

- Teste de Tendência verifica se uma amostra tem tendência positiva ou negativa.

É bom salientar que esses testes apenas verificam se existem não-estacionaridades. As causas que provocam sua existência não são por eles identificadas.

Os testes paramétricos e não-paramétricos estão incluídos na estatística, entre os chamados Testes de Hipótese, que são realizados geralmente do seguinte modo:

1. Estabelece-se uma hipótese nula, que geralmente é formulada a respeito de uma característica definida da população.
2. Calcula-se a variável de teste, que é definida por um al

goritmo que utiliza os dados da amostra ou variáveis obtidas a partir deles.

3. Admite-se um nível de confiança que dirá se o desvio entre a variável de teste e sua esperança matemática é aleatório ou não.
4. A hipótese nula é aceita quando o valor da variável de teste se encontrar dentro dos limites definido pelo nível de confiança.

Uma explicação mais profunda a respeito de um teste de hipótese, assim como uma descrição mais detalhada dos testes não-paramétricos aqui apresentados, podem ser vistas em KOCH e REGO, 1985.

2.4 - CORRELAÇÃO E REGRESSÃO

A regressão é a estimação de uma variável (dependente) em função de uma ou mais variáveis (independentes).

A correlação indica o grau de relacionamento entre as variáveis através do cálculo do coeficiente de correlação.

Deve ser notado que o coeficiente de correlação indica o grau de relacionamento linear.

Como a regressão exprime, matematicamente, a forma da correlação, ambas apresentam a mesma classificação podendo ser: positiva ou negativa; forte ou fraca; simples, múltipla, parcial; linear ou não-linear.

Uma exposição detalhada a respeito de análise de correlação e regressão pode ser encontrada em NOETHER, 1983;

COSTA NETO, 1977 ou em HOEL, 1980.

A verificação da estacionaridade, a análise de frequência, a correlação e regressão foram métodos utilizados no trabalho visando a regionalização. O objetivo de cada um deles isoladamente, será visto no decorrer dos capítulos 4 e 5.

CAPÍTULO III

DESCRIÇÃO DA REGIÃO

A região escolhida para exemplificar o desenvolvimento do método, situa-se no Polígono das Secas - Nordeste do Brasil - e envolve as bacias hidrográficas dos rios Piranhas, Apodi e Jaguaribe, localizados nos Estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará. Possui uma área de aproximadamente 135.000 Km². (Veja figura 3.1).

Nessa região, o regime irregular das chuvas aliado à temperatura e evaporação elevadas, provocam condições desfavoráveis às atividades agropecuárias, além de não satisfazer durante grande parte do tempo as necessidades essenciais de água, prejudicando assim, a economia e o bem estar social. Necessário se faz então, um conhecimento maior das disponibilidades de água, a fim de, através de planejamento adequado minimizar os prejuízos aí existentes.

A Província Cristalina cobre a maior parte dos Estados do Ceará, Paraíba e grande porção do Rio Grande do Norte, consequentemente as bacias hidrográficas em estudo, encontram-se quase que totalmente sobre terrenos cristalinos (Veja figura 3.2).

A região possui um clima quente semi-árido, com uma média térmica anual muito elevada. Observando-se a figura

3.3, verifica-se que entre as isoterms de 26°C e a de 22°C existe uma vasta área com média anual superior a 24°C . (Veja figura 3.4). A temperatura nesta área, apresenta uma certa homogeneidade espacial e devido a sua posição geográfica (próxima ao Equador) uma variação anual pouco significativa.

O regime das massas de ar, peculiar do Nordeste do Brasil, (Veja IBGE., 1977) impõe à pluviometria um ciclo tropical curto, sujeito a desvios elevados de um ano para outro. A pluviosidade encontra-se entre os valores de 400 mm a 800 mm (Veja figura 3.5).

No entanto, o fato mais negativo relacionado às precipitações sobre essa região, não se encontra na altura dos seus totais, mas na sua distribuição anual. A repartição das chuvas se caracteriza por sua grande concentração em poucos meses, mais especificamente os meses de fevereiro, março e abril. Existe assim um período relativamente chuvoso e uma estação seca, de duração variável, onde as chuvas são raras e pouco intensas.

A distribuição anual das precipitações pode ser observada através da figura 3.6. A distribuição espacial, como mostra a figura 3.5, é quase uniforme.

EDMON NIMER (IBGE, 1977), considerando em conjunto os regimes térmicos e pluviométricos da Região Nordeste, chegou à conclusão exposta na figura 3.7. Nela pode se verificar que a região em estudo apresenta uma homogeneidade com relação ao clima e à pluviometria. A maior parte da mesma se encontra dentro dos limites de um clima quente semi-árido. Pertence ao setor tropical da zona equatorial no que diz respeito

à marcha estacional da precipitação e aos sistemas de circulação atmosférica. Apresenta ainda um período seco, de duração variando entre 7 e 8 meses.

A evaporação potencial anual é muito elevada, cerca de 2000 até 2500 mm, mantendo-se entre estes limites em toda área. (Veja figura 3.8).

O tipo de vegetação predominante nesta região é a caatinga (figura 3.9), constituída essencialmente de árvores e arbustos espinhentos, de plantas suculentas espinhosas e de plantas herbáceas.

Toda a região encontra-se, de acordo com um estudo elaborado por IGBE (1977), dentro de um tipo de organização agrária, na qual há uma especial incidência da pequena agricultura. As lavouras que caracterizam esse tipo de organização agrária são principalmente as do algodão, milho e feijão. Essas lavouras formam com a pecuária bovina a combinação típica do Sertão: gado/algodão/pequenas lavouras alimentares.

Dentre os fatores que condicionam a hidrografia dessa região, o clima é a condicionante que mais atua na sua caracterização.

Nessa área, de regime pluviométrico irregular no que diz respeito à distribuição anual das chuvas, os rios apresentam-se intermitentes. Isto é, apresentam um único e curto período de grande escoamento durante o ano, com a característica de que a curva de recessão atinge rapidamente o ponto de esgotamento (os rios secam totalmente).

Este fato, além de relacionar-se com o regime de chu-

vas aí existente, está também relacionado com a grande área de formações cristalinas que cobre a maior parte da região.

A natureza desses terrenos, em geral rasos e pouco permeáveis não proporcionam boa capacidade de armazenamento de água no sub-solo. A água ao precipitar-se então, perde-se na maior parte por evaporação, em virtude do forte calor aí reinante.

Portanto, o intervalo de tempo com descarga nula geralmente é superior ao período em que há escoamento. Além disso, enquanto no período de estiagem as águas baixam gradativamente até um mínimo, normalmente igual a zero, as cheias se produzem de maneira abrupta, caracterizando assim a predominância do regime hidrológico torrencial.

A hidrografia da região é representada pelos seus principais rios: Piranhas, Apodi e Jaguaribe (Veja figura 3.10).

O rio Jaguaribe nasce no sudoeste do Ceará, dirige-se para leste até as proximidades da divisa paraibana, onde é represado para formar o açude de Orós. Seu percurso está completamente contido em território cearense. Seus principais afluentes são o Conceição, o Bastiões, o Salgado, o Figueiredo, o Banabuiu, o Palhano e o rio do Sangue.

É o maior rio da região, com um comprimento $L = 645$ Km, e conseqüentemente o que possui a maior bacia hidrográfica, com uma área $A = 75.000$ Km². Apresenta uma declividade média de aproximadamente $0,77$ m/Km. A figura 3.11 mostra o seu perfil longitudinal.

A temporariedade do seu regime (nos trechos onde não há perenização através de barragens) pode ser observada atra

vés da figura 3.12, que mostra fluviogramas do rio nas estações de Arneiroz e Iguatu.

O vale do Jaguaribe apresenta uma altitude média de 200 m e o relevo geral é suave. Nele se desenvolve o carnaubal e utiliza-se o rio para irrigação de culturas de cereais, fruteiras e hortaliças tornando a área uma das mais ricas do Ceará.

O rio Piranhas nasce nas serras que separam a Paraíba do Ceará e do Rio Grande do Norte. A sua bacia hidrográfica com aproximadamente 46.600 Km² envolve parte dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. Possui um comprimento de 414 Km e uma declividade média aproximada de 1,45 m/Km, como mostra o seu perfil longitudinal na figura 3.11. A sua bacia portanto, apresenta um relevo mais acentuado que a do Jaguaribe. Seus principais afluentes são o rio do Peixe, o Piancó, o Espinharas e o Seridó.

Do mesmo modo que o rio Jaguaribe, também apresenta um regime temporário. (Veja figura 3.13).

As informações disponíveis a respeito do rio Apodi são poucas. Sabe-se que nasce no sudoeste do Rio Grande do Norte, e sua bacia hidrográfica com uma área de aproximadamente 13.500 Km² encontra-se totalmente dentro desse Estado. Atravessa a Chapada do Apodi e depois a planície até atingir o oceano, possuindo dois afluentes importantes: o Umari e o Upanema.

Também se comporta como um rio intermitente, com exceção de pequenos trechos onde a perenização é garantida através de "olhos d'água" (fontes de pequena vazão).

Um breve estudo permitiu o traçado do seu perfil longitudinal (figura 3.11) e a obtenção com razoável aproximação do seu comprimento $L = 250$ Km e da sua declividade média $1,2$ m/Km.

Observando a figura 3.11, nota-se que, em termos de declividade, os três rios apresentam dois setores bem distintos: o 1º setor (da foz às proximidades da nascente) apresenta uma baixa declividade, comparada à declividade do 2º setor (bem próximo à nascente) que é mais acentuada. Comparando, por setor, a declividade varia pouco para os três rios.

Conforme o que foi exposto no presente capítulo e pode ser constatado através das figuras apresentadas, verificou-se que:

- A região é coberta quase que totalmente por terrenos cristalinos, rasos e pouco permeáveis.
- A região apresenta-se homogênea com relação ao clima e à pluviometria.
- A homogeneidade do clima e da pluviometria, aliadas ao tipo de solo condicionam na região a predominância de uma vegetação conhecida como caatinga.
- Como consequência dos três fatores acima descritos, os rios da região apresentam um comportamento semelhante, possuindo um regime temporário.
- Com relação ao uso do solo, na região predomina a grande incidência de pequenas agriculturas e a prática da pecuária.

Diante do quadro apresentado, pode-se concluir que a

região compreendida pelas bacias hidrográficas dos rios Piranhas, Apodi e Jaguaribe, é homogênea com relação às características físicas e climáticas mencionadas.

O conceito de região hidrologicamente homogênea é resultado de hipóteses e simplificações feitas quando se selecionam características físicas e climáticas que se supõe representar bem uma região. Como os fatores climáticos e físicos de uma região condicionam a sua hidrologia, admite-se que se uma região é homogênea segundo esses fatores, ela será também homogênea hidrologicamente.

A região que ora se discute, se enquadra perfeitamente dentro do que foi dito acima e por esse motivo é considerada uma região hidrologicamente homogênea. Essa homogeneidade pôde ser constatada também durante o desenvolvimento do trabalho através dos resultados obtidos, como poderá ser visto no decorrer dos capítulos seguintes.

CAPÍTULO IV

ESTABELECIMENTO DA RELAÇÃO VOLUME, VAZÃO BÁSICA E PROBABILIDADE

4.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

O objetivo deste trabalho é apresentar um método que permita a obtenção de respostas imediatas às perguntas relacionadas abaixo, para qualquer seção de um curso d'água pertencente à região de interesse:

- 1) Qual o volume d'água que pode ser armazenado?
- 2) Com que probabilidade o mesmo será alcançado?
- 3) Qual a vazão básica que pode ser garantida à jusante do reservatório, com o armazenamento do citado volume?

Para que esse objetivo seja atingido é preciso que antes seja estabelecida, para cada estação fluviométrica da região, a relação entre as variáveis: volume, vazão básica e probabilidade.

Essa é precisamente a finalidade deste capítulo: desenvolver um método para obter a relação existente entre essas variáveis.

Ao final deste capítulo, com o estabelecimento da relação entre volume, vazão básica e probabilidade, aquelas

perguntas serão respondidas, porém apenas para os locais onde se situam as estações fluviométricas utilizadas para o estudo. A extensão dessas respostas para qualquer local da região estudada, é conseguida com a regionalização, assunto do capítulo seguinte.

Para o estabelecimento da relação volume, vazão básica e probabilidade, para qualquer estação, a metodologia utilizada, em linhas gerais, consistiu nas seguintes etapas:

A. COLETA DE DADOS

Os dados utilizados foram dados de descarga média diária, resultantes de medições efetuadas nas estações fluviométricas instaladas na região, por órgãos do governo federal, a saber: SUDENE e DNAEE. Os dados encontram-se à disposição nos referidos órgãos.

B. ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS

A escolha das estações utilizadas obedeceu aos seguintes critérios: extensão do período de observação, localização geográfica e área de drenagem.

C. CÁLCULO DOS VOLUMES

Esses volumes são volumes acumulados acima de um determinado nível de vazão, ou seja, volumes que podem ser armazenados de modo a permitir a liberação de determinada vazão básica a jusante.

Para cada estação fluviométrica, os volumes foram obtidos a partir dos dados de descarga média diária. Admitiu-

se que cada estação teria quatro amostras de volume.

D. VERIFICAÇÃO DA ESTACIONARIDADE

Feita com a finalidade de verificar a qualidade dos dados de volumes, no sentido de detectar possíveis não-estacionaridades, pois estas fazem com que os parâmetros da distribuição de frequência sejam não-estacionários, isto é, apresentem tendências, periodicidades, etc.

Com esse objetivo foram utilizados os seguintes testes não-paramétricos: Teste de Valores Singulares, Teste U e o Teste de Dispersão de Numerais Ordinais.

E. ANÁLISE DE FREQUÊNCIA

O objetivo da análise de frequência é estimar através da inferência estatística as probabilidades de valores não medidos mas possíveis de ocorrer.

Utilizou-se o teste de KOLMOGOROV-SMIRNOV para verificar o ajustamento de uma distribuição de probabilidade matematicamente definida, à distribuição de frequência dos volumes.

F. RELAÇÃO VOLUME-VAZÃO BÁSICA-PROBABILIDADE

Essa relação foi obtida, para cada estação fluviométrica, das curvas de ajustamento da distribuição de probabilidade que melhor se ajustou à distribuição de frequência dos volumes.

4.2 - COLETA DE DADOS

A base hidrológica de informações, ou seja, os dados a partir dos quais obteve-se os volumes, foram os dados de descargas médias diárias, que são as médias aritméticas das descargas ocorridas durante o dia.

Esses dados foram fornecidos em listagens elaboradas por órgãos federais (SUDENE e DNAEE) que têm nessa região várias estações de medição instaladas. A tabela 4.1 mostra como essas informações além de outras, são apresentadas pelos referidos órgãos.

Na região em estudo existem duas estações: uma seca e outra chuvosa. Os dados utilizados neste trabalho são dados relativos à estação chuvosa, mais especificamente ao período em que o escoamento dos rios está diretamente relacionado às precipitações ocorridas na região. Esse período foi chamado intervalo de referência.

A duração do intervalo de referência varia de ano para ano, podendo atingir no máximo seis meses.

Após analisar vários fluviogramas de alguns cursos d'água da região, verificou-se que o procedimento descrito a seguir definia bem o período em que o escoamento do rio aumentava significativamente devido às precipitações ocorridas na região.

Assim, a extensão do intervalo de referência em cada ano, foi determinada do seguinte modo: Verificou-se inicialmente qual o valor da maior vazão que ocorreu neste ano. Admitiu-se então, que o período a ser analisado envolveria to

dos os meses que estivessem contidos num intervalo em que o primeiro e último mês possuísem valores de vazão em torno de 10% do valor da vazão máxima ocorrida no referido ano.

Observando a tabela 4.1, verifica-se que na estação Jardim de Piranhas, no ano 1966/67, a vazão máxima foi 2970 m³/s. O primeiro e último mês neste ano que apresentaram valores de vazão em torno de 10% de 2970 m³/s, foram fevereiro e maio, logo o intervalo de referência será constituído pelos meses fevereiro, março, abril e maio.

É interessante observar que o mês de junho apresentou o mesmo deflúvio do mês de fevereiro e no entanto não foi incluído no intervalo de referência. Isto aconteceu porque, para esse posto, os volumes foram acumulados acima de quatro níveis de vazão (0; 95; 125 e 300 m³/s) e para três desses níveis junho não apresentou valores de vazão que proporcionassem o cálculo de volumes acima deles. Pode-se observar também que junho foi um mês em que não houve mais chuvas, só esvaziamento da bacia.

Para a região em estudo, o intervalo de referência encontra-se sempre entre os meses de janeiro a julho.

O período base de observação aqui analisado foi o intervalo 1960-1980, em virtude deste ser um período de observação comum a grande parte das estações fluviométricas situadas na região.

Dentro desse espaço de tempo, para algumas estações, em alguns anos, não houve anotação das vazões e isto ocasio nou falhas na série, que não foram preenchidas, porque as informações adicionais que poderiam ajudar só seriam consegui

das através de modelos sofisticados (chuva-vazão) que no momento da realização do trabalho não existiam. Além disso, considerou-se que a utilização de modelos mais simples (análise de regressão) forneceria resultados que não melhorariam mais o nível de informações existentes.

Trabalhou-se então, com séries que possuíam número de dados diferentes, pois se por um lado não se queria desprezar as informações existentes, por outro optou-se pelo não preenchimento de falhas, por motivos que já foram expostos.

Posteriormente constatou-se que o não preenchimento dessas falhas, não prejudicou o fim a que se destina o trabalho, (apesar de se ter conhecimento que um estudo de regionalização deve ser feito com séries de igual tamanho), porque os coeficientes de correlação encontrados (veja capítulo 5) foram razoáveis. Supôs-se também que mais dados não melhorariam significativamente os resultados, uma vez que o método que se dispunha no momento, não proporcionaria uma boa obtenção dos mesmos.

4.3 - ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS

Como já foi dito na seção 4.2, o período base adotado foi 1960-1980, em virtude deste ser um período comum de observações a grande parte das estações situadas na região.

A adoção de um período base é conveniente, porque essa medida faz com que os fatores que causam a existência de tendências e periodicidades de longa amplitude em séries de vazão, atuem em toda região.

Observando a figura 3.10, constata-se que nem todas as estações fluviométricas existentes na região foram utilizadas. Isto porque, de acordo com o Inventário das Estações Fluviométricas elaborado pelo DNAEE, dentre as 26 estações que aparecem na figura 3.10, para 8 delas o DNAEE não dispõe da listagem de dados. São elas: Jaguaribe, Upanema, Fazenda Pau d'Arco, Aparecida, Serra Negra do Norte, Sítio Volta, Fazenda Santo Antonio e Malhada.

As estações de Pau Ferrado e Sítio Vassouras se situam à jusante próximas à barragem e por esse motivo foram excluídas.

Estabeleceu-se ainda que as estações a serem utilizadas deveriam estar se possível, distribuídas uniformemente dentro da região, para que não houvesse concentração de informações em determinados locais, em detrimento de outros.

Outro critério estabelecido diz respeito à área de drenagem de cada estação, haja vista que esse é um dos possíveis parâmetros a ser utilizado para a regionalização. Pretende-se verificar o grau de correlação e equação de regressão entre alguns níveis de vazão e as áreas de drenagem de cada estação. É preciso então, que essas áreas possuam valores diferentes entre si, para que não haja concentração de informação em torno de determinado valor e total desinformação a respeito de outros.

Assim, foram excluídas ainda as seguintes estações, pelos motivos expostos entre parênteses:

- Poço Dantas e Sítio Conceição (posição geográfica - área de drenagem)

- Podimirim, Senador Pompeu e Peixe Gordo (área de drenagem)

Em virtude das estações Acauã e Poaçã se situarem em uma bifurcação do rio Piranhas que se une logo mais adiante e de possuírem a mesma área de drenagem, foram reunidas em uma só estação.

Assim, de acordo com os critérios descritos, foram utilizadas 12 estações fluviométricas conforme pode ser visto na tabela 4.2. Como o propósito deste estudo é demonstrar o método e sua aplicabilidade, o uso de um número limitado de estações não representa uma séria dificuldade.

4.4 - CÁLCULO DOS VOLUMES

Os volumes foram calculados utilizando-se os dados de descargas médias diárias relativas ao intervalo de referência de cada ano. Na seção 4.2 deste capítulo já foi explicado como se determinou a extensão do intervalo de referência e o que o mesmo significa.

O cálculo dos volumes foi feito através do somatório do excesso de vazão, acima de diferentes níveis de vazão básica (Q_B). Esta vazão básica não é a vazão de base dos hidrogramas, devida ao escoamento subterrâneo. É a vazão que não será armazenada, pode ser por exemplo, a vazão de regularização que se pretende manter no curso d'água.

A figura 4.1 mostra um hidrograma do rio Piranhas, na estação Jardim de Piranhas e ilustra como foi obtido o volume acima de um nível de vazão Q_{B4} .

No cálculo dos volumes, para cada uma das doze estações analisadas, utilizou-se o seguinte modelo de tabela:

ESTAÇÃO: JARDIM DE PIRANHAS RIO : PIRANHAS							ANO: 1966/67 INTERVALO DE REFERÊNCIA FEV-MAI									
Q _B [m ³ /s]	VOLUME TOTAL (V _T) [10 ⁶ m ³]						V _T [10 ⁶ m ³]	DURAÇÃO (d) [dias]						d [dias]	VOLUME BÁSICO [10 ⁶ m ³]	VOLUME [10 ⁶ m ³]
	INTERVALO DE REFERÊNCIA							INTERVALO DE REFERÊNCIA								
(1)	FEV	MAR	ABR	MAI	-	-	(3)	FEV	MAR	ABR	MAI	-	-	(5)	(6)	(7)
0	111	418	2900	1720			5149	28	31	30	31			120	-	5149
95	37,3248	380,427	2900	1720			5037,7518	3	20	30	31			84	689,472	4348,2798
125	-	218,851	2885,13	1635,58			4739,561	-	8	29	23			60	1010,88	3728,681
300	-	158,976	2845,04	1510,38			4514,396	-	5	27	14			46	1192,32	3322,076

No alto da tabela constam as seguintes informações: nome da estação e o rio sobre o qual se localiza, seguidos do ano e intervalo de referência para os quais foram obtidos os volumes.

Segue explicação do que representa cada coluna:

- coluna 1 - Nessa coluna se encontram as vazões básicas. O modo como foram obtidas será explicado mais adiante, o importante agora é que se entenda o cálculo dos volumes.
- coluna 2 - Nela consta, para cada nível de vazão e mês do intervalo de referência, o volume total (V_T), calculado através da seguinte equação:

$$V_T = \sum_{i=1}^n Q_i \times 86400 \quad (4.1)$$

Na equação (4.1), Q_i representa as vazões médias diárias superiores à vazão básica considerada (Q_B) e n representa o número de dias em

que aconteceu $Q_i > Q_B$.

- coluna 3 - Nessa coluna se encontra, para cada nível de vazão, o volume total, relativo a todo o intervalo de referência.
- coluna 4 - Aqui, para cada nível de vazão e mês do intervalo de referência, consta o número de dias em que aconteceu $Q_i > Q_B$.
- coluna 5 - Somatório dos valores da coluna 4. Fornece o número de dias do intervalo de referência em que ocorreu $Q_i > Q_B$.
- coluna 6 - Nessa coluna encontra-se, para cada nível de vazão (Q_B), o volume básico (V_B) através da equação:

$$V_B = Q_B \times \Sigma d \times 86400 \quad (4.2)$$

- coluna 7 - Nessa coluna, encontra-se o volume procurado isto é, o volume que foi acumulado acima de uma vazão básica (Q_B), ou ainda o volume que pode ser armazenado de modo a permitir a liberação de uma vazão básica (Q_B). Foi obtido através da equação:

$$V = \Sigma V_T - V_B = \text{coluna 3} - \text{coluna 6} \quad (4.3)$$

A partir de agora, sempre que surgir no texto apenas a palavra volume, entenda-se sempre: volume que pode ser armazenado de modo a permitir a liberação de uma vazão básica (Q_B).

Voltando agora, a figura 4.1, pode-se observar que:

- O intervalo de referência começa em fevereiro e se estende até maio.
- Para Q_{B4} , o ΣV_T (coluna 3) corresponde a toda a área abaixo da curva.
- Para Q_{B4} , o volume básico (V_B), que se encontra na coluna 6, corresponde à área abaixo da curva que não está hachuriada.
- Ainda para Q_{B4} , toda a área abaixo da curva que está hachuriada, corresponde ao volume procurado (coluna 7).

A tabela 4.3 mostra o resultado do cálculo dos volumes para o ano 1966/67, do posto Jardim de Piranhas no rio Piranhas. Essa tabela resultou dos cálculos efetuados com base na tabela 4.1.

Durante o desenvolvimento do trabalho, para obtenção dos volumes para todas as estações, foram preenchidas 202 tabelas semelhantes à tabela 4.3. Conseguiu-se assim, para cada estação analisada, quatro diferentes amostras de volumes, cada uma relativa a um nível de vazão básica (Q_B).

As vazões básicas, como já foi dito antes, são por exemplo, as vazões de regularização que se deseja manter no curso d'água, após o armazenamento. O modo como foram determinadas teve por finalidade, obter para todas as estações, níveis comparáveis de vazão, isto é, níveis que possuam a mesma probabilidade de serem alcançados ou ultrapassados. Assim, mesmo que cada estação apresente diferentes valores de vazão básica, garantiu-se com o critério adotado, que pos-

suiriam a mesma probabilidade.

O modo como essas vazões básicas foram obtidas para cada estação analisada, será explicado a seguir:

Calculou-se a vazão média anual relativa ao intervalo de referência (\bar{Q}_m) de cada ano separadamente; assim para cada ano j , tem-se um \bar{Q}_{mj} com $j = 1, 2, \dots, n$, onde n é o número de anos de observação. Em seguida, calculou-se a média aritmética (\bar{Q}) e o desvio padrão ($S_{\bar{Q}_m}$) das vazões médias anuais relativas ao intervalo de referência.

Constatou-se que as \bar{Q} pertencem a uma população normalmente distribuída. Essa verificação foi feita através do Teste de Ajustamento de KOLMOGOROV-SMIRNOV (KITE, 1978), utilizando para se encontrar a variável crítica, tabelas desenvolvidas por BELKE, 1974.

Sendo assim, utilizando a equação

$$Q_B = \bar{Q} + K \cdot S_Q \quad (4.4)$$

onde K , fator de frequência da distribuição normal reduzida, se encontra tabelado em KITE, 1978, determinou-se os seguintes níveis de vazão básica:

$$Q_B = \bar{Q} - 0,7 S_{Q_m}, \text{ com } P(Q_i \geq Q_B) = 75\% \quad (4.5)$$

$$Q_B = \bar{Q} \quad , \text{ com } P(Q_i \geq Q_B) = 50\% \quad (4.6)$$

$$Q_B = \bar{Q} + 0,7 S_{Q_m}, \text{ com } P(Q_i \geq Q_B) = 25\% \quad (4.7)$$

sendo $P(Q_i \geq Q_B)$, a probabilidade de ultrapassar.

Adotou-se ainda, uma vazão básica $Q_B = 0 \text{ m}^3/\text{s}$, porque é para esse nível de vazão básica que se obtém o máximo vo-

lume que pode ser armazenado.

O resultado dos cálculos dos volumes e vazões básicas para cada estação, pode ser visto nas tabelas 4.4.1 a 4.4.12.

Observando as tabelas citadas acima, verifica-se que em alguns anos, para determinadas vazões básicas os volumes são nulos. Isto significa que nesses anos, durante o intervalo de referência adotado, não ocorreram vazões superiores às vazões básicas estabelecidas e portanto não foi possível armazenar volume algum. Nesses casos, esses valores nulos de volumes não foram considerados como parte da amostra, pois se estabeleceu na seção 4.2 que se trabalharia apenas com os meses da estação chuvosa, portanto os meses que proporcionassem vazões que pudessem ser armazenadas. Sendo assim, o trabalho não informa a respeito da probabilidade de ocorrência de volumes nulos. Logo, as informações obtidas a partir deste estudo baseiam-se na seguinte condição: existência de estação chuvosa e conseqüentemente de volumes.

Um outro motivo para a não utilização dos volumes nulos diz respeito ao seguinte fato: Verificou-se o ajustamento das distribuições de probabilidade Normal, Gama e Pearson III, às amostras de volume da estação Jardim de Piranhas, através do Teste de Ajustamento de KOLMOGOROV-SMIRNOV (KITE, 1978), utilizando, para realização do mesmo; as tabelas desenvolvidas por BELKE, 1974. Foi verificado o ajustamento para dois casos: 1º) amostra não contendo volumes nulos; 2º) amostra contendo volumes nulos.

Os resultados se encontram na tabela 4.5. Observando as, notou-se que para as amostras que continham volumes nu-

los, as diferenças $\Sigma(F-P)^2$ (onde: F = probabilidade empírica e P = probabilidade esperada), para a extremidade superior da curva de ajustamento, tornavam-se maiores que para as amostras que não continham volumes nulos.

No presente estudo quanto maior a aderência dos dados à parte superior da curva de ajustamento, melhor, pois como interessa armazenar os maiores volumes possíveis, é importante que os valores das probabilidades associadas a esses volumes sejam bem definidos e estejam o mais próximo possível da realidade. Assim, esse motivo contribuiu também para que os volumes nulos não fossem incluídos na amostra.

As probabilidades empíricas (F) foram calculadas através da fórmula de WEIBULL:

$$F = \frac{m}{N + 1} \quad (4.8)$$

onde: m = numeral ordinal dado a cada valor em ordem crescente e N = número total de dados da amostra.

Nesta etapa do trabalho, calculou-se a média aritmética, desvio padrão e coeficiente de assimetria para todas as amostras de todas as estações. Os resultados encontram-se na tabela 4.6.

4.5 - VERIFICAÇÃO DA ESTACIONARIDADE

Realiza-se esta etapa, com o objetivo de averiguar se a série de volumes é estacionária, isto é, se não ocorreu modificação nas características estatísticas de sua população ao longo do tempo.

Essa verificação é importante porque se pretende na etapa seguinte, pesquisar qual a distribuição de probabilidades que se ajusta melhor à série de volumes. Sabe-se que para que uma distribuição de probabilidades represente bem a distribuição de frequências de uma amostra de dados qualquer, é preciso que os parâmetros dessa amostra sejam estacionários, daí a necessidade da verificação da estacionariedade, quando se pretende fazer uma análise de frequência.

No presente trabalho, utilizou-se para verificação da estacionariedade das amostras de volume, os testes não-paramétricos, porque podem ser aplicados às amostras, independente do tipo de distribuição que possa se ajustar às mesmas.

Os testes foram aplicados a apenas duas amostras de cada estação, a saber: 1º) às amostras de volumes para $Q_B = 0$ e 2º) às amostras de volumes para uma vazão básica Q_B , para a qual não existam volumes nulos. Procedeu-se desse modo, porque no presente caso, qualquer não-estacionariedade é mais facilmente detectada para os níveis mais baixos de vazão.

Foram utilizados: o Teste de Valores Singulares de DIXON, para verificar a existência de valores singulares; o Teste "U" de WILCOXON, MANN e WHITNEY, para examinar a estacionariedade da média; e o Teste de Dispersão de Numerais Ordinais de SIEGEL e TUKEY para verificar a estacionariedade da dispersão.

Com respeito à aplicação dos referidos testes, veja KOCH e REGO, 1985.

Apesar do Teste para Comparação de Duas Amostras de

KOLMOGOROV-SMIRNOV, (KOCH e REGO, 1985) ser bastante forte, isto é, ter alta capacidade de detectar não estacionaridades, o mesmo não foi aqui aplicado, porque não especifica se a não-homogeneidade diz respeito à tendência central ou à dispersão. Por esse motivo, foi substituído pelo Teste de Dispersão de Numerais Ordinais e Teste "U".

Os resultados da aplicação dos testes não paramétricos citados, encontram-se na tabela 4.7.

Observando-se a tabela 4.7, verifica-se que em quase todas as estações foram encontrados valores singulares máximos. O comportamento semelhante para quase todas as estações indica que só foram assim considerados pelos testes, devido ao curto período de observação. Se fosse possível dispor de um período de observação maior, provavelmente não seriam valores singular e portanto foram usados no decorrer do estudo.

Essa mesma tabela mostra que outras não-estacionaridades foram encontradas, porém como isto só ocorreu em apenas duas estações, não se levou em consideração, uma vez que, caso contrário, seria preciso investigar para saber as causas e não foi objetivo deste trabalho corrigir séries de tempo. Além disso, a amostra de volumes da estação Piancó, foi considerada não-estacionária com relação à dispersão, porque o menor valor que a variável de teste ($R_1 = 38$) poderia assumir seria $R_{\alpha/2} = 40$, que é a variável crítica. Vê-se portanto que a diferença entre elas é muito pequena e tendo em vista que para as outras estações essa diferença foi bem maior, assumiu-se que o seu efeito quanto ao estudo podia ser ne-

gligenciável. Quanto a não-estacionaridade com relação à tendência central, encontrada na amostra de volumes da estação Quixeramobim, acredita-se que assim aconteceu devido ao pequeno período de observação, pois reuniu-se os volumes da estação Quixeramobim com os da estação Lavras da Mangabeira, que pertencem à mesma bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, e verificou-se que esses volumes provinham da mesma população com respeito à tendência central.

4.6 - ANÁLISE DE FREQUÊNCIA

A probabilidade de um determinado volume ser alcançado ou ultrapassado, é analisada através das curvas de frequência. No presente trabalho a análise de frequência é feita com o objetivo de se conseguir através dela, a relação entre volume, vazão básica e probabilidade.

Tendo em vista que a região analisada apresentou características de uma região hidrológicamente homogênea, para se definir que tipo de distribuição se ajustaria melhor aos volumes, fêz-se um estudo com apenas uma estação fluviométrica, que no caso foi a estação Jardim de Piranhas no rio Piranhas.

Assim, para cada uma das quatro séries de volumes da citada estação, fêz-se uma análise de frequência, usando várias distribuições de probabilidade.

A verificação do ajustamento às várias distribuições foi feita através do Teste de KOLMOGOROV-SMIRNOV, (KITE, 1978), utilizando as tabelas desenvolvidas por BELKE, 1974.

As distribuições testadas foram: Normal, Gama e Pearson III e suas respectivas formas logarítmicas. Os resultados dos testes encontram-se na tabela 4.8.

Considerando que:

1. A distribuição Pearson III ajustou-se a todas as amostras.
2. As diferenças $\Sigma(F-P)^2$, onde F = probabilidade empírica e P = probabilidade esperada, apresentaram valores mais baixos para a parte superior da curva de ajustamento, quando se tratava da distribuição Pearson III.
3. Pretende-se encontrar uma distribuição que se ajuste bem para os valores mais elevados da amostra, pois como se deseja armazenar os maiores volumes possíveis, é preciso que as probabilidades associadas a esses volumes sejam bem definidas.

Adotou-se o uso da distribuição Pearson III, porque em geral, foi a que apresentou os melhores resultados.

Verificou-se então se todas as amostras de volumes das 12 estações analisadas se ajustariam a essa distribuição. Os resultados se encontram na tabela 4.9.

Observando a tabela 4.9, nota-se que dentre as 48 amostras testadas apenas para duas não se pode aplicar a distribuição Pearson III. Este é um resultado que comprova o que foi dito no capítulo 3 com respeito à homogeneidade da região.

Com relação aos valores singulares máximos encontrados em quase todas as amostras, procedeu-se do seguinte modo para traçar as curvas de ajustamento da Pearson III:

1. Calculou-se e traçou-se a curva de ajustamento, utilizando-se todos os valores da amostra, inclusive o valor singular.
2. Seja X_1 = valor singular e X_2 = valor da amostra imediatamente inferior ao valor singular. Se:
 - $X_1 < 3X_2$ → permaneceu a curva traçada no ítem 1 e esta foi utilizada no decorrer do trabalho.
 - $X_1 > 3X_2$ → retirou-se da amostra o valor singular, calculou-se e traçou-se nova curva, em seguida traçou-se uma curva média entre as duas já existentes e esta foi utilizada na continuação do trabalho.

Justifica-se esse procedimento do seguinte modo: Se acontecer $X_1 < 3X_2$, X_1 não difere muito dos outros valores da amostra, e portanto a curva de ajustamento traçada no ítem 1, representa bem as probabilidades dos valores da amostra. Se por outro lado, $X_1 > 3X_2$, a diferença entre X_1 e os outros valores da amostra já é considerável e neste caso, a curva que melhor representa as probabilidades é uma curva média, do modo como foi definida no ítem 2.

4.7 - RELAÇÃO VOLUME-VAZÃO BÁSICA-PROBABILIDADE

A relação entre volume, vazão básica e probabilidade foi obtida, para cada estação fluviométrica, utilizando-se as curvas de ajustamento da Pearson III, que foram calculadas e traçadas para todas as amostras de todas as estações,

somando um total de 48 curvas.

As tabelas 4.10.1 a 4.10.12 foram construídas a partir das citadas curvas, do seguinte modo: A cada nível de vazão básica (Q_B), corresponde uma amostra de volumes e consequentemente uma curva de ajustamento. Assim, de cada uma das curvas de ajustamento tirou-se os valores dos volumes para $P(x_i \leq X) = 99\%; 98\%; 95\%; 90\%; 80\%$ e 50% , e preencheu-se para todas as estações as tabelas 4.10.1 a 4.10.12.

Em seguida, usando os resultados apresentados nas citadas tabelas, construiu-se as curvas $V = f(Q_B; P(x_i \leq X))$ para cada uma das estações analisadas, como pode ser visto nas figuras 4.2.1 a 4.2.12. Essas curvas mostram como varia o volume em função da vazão básica (Q_B) e probabilidade $P(x_i \leq X)$, nos locais para os quais foram obtidas. Observando-as, verifica-se que apresentam em geral o mesmo tipo de comportamento, evidenciando assim a homogeneidade da região.

Agora já se conhece, para os locais onde estão situadas as estações estudadas, o volume d'água que pode ser armazenado; com que probabilidade o mesmo será alcançado e qual a vazão básica que pode ser garantida a jusante com o seu armazenamento. Essas informações são fornecidas diretamente pelas curvas das figuras 4.2.1 a 4.2.12.

Tomando como exemplo a estação Jardim de Piranhas (veja figura 4.2.12) pode-se afirmar que, no local onde se encontra instalada essa estação, há 99% de probabilidade de se poder armazenar um volume de até $6500 \times 10^6 \text{ m}^3$, liberando uma vazão básica $Q_B = 200 \text{ m}^3/\text{s}$.

CAPÍTULO V

REGIONALIZAÇÃO

5.1 - OBJETIVO

As curvas das figuras 4.2.1 a 4.2.12, do capítulo anterior são válidas apenas para os locais onde se situam as estações a que se referem.

Acontece que, geralmente, o planejamento de reservatõrios não se restringe somente aos locais onde existem estações de medição. Surge então, a necessidade de encontrar um meio que forneça as mesmas informações que as figuras 4.2.1 a 4.2.12 fornecem, com a condição de que desta vez, essas informações sejam dadas não sõ para os locais onde existem estações de medição, mas também para qualquer outra seção de um curso d'água qualquer, da região em estudo.

Esse meio, é a regionalização dos resultados obtidos no capítulo 4 (curvas das figuras 4.2.1 a 4.2.12). Entenda-se por regionalização, a inferência de informações para qualquer local da região, a partir de informações obtidas em apenas alguns pontos da mesma.

As curvas que permitem essa inferência são chamadas curvas regionais.

O objetivo deste capítulo, portanto, é: tendo por ba-

se os resultados do capítulo anterior, encontrar relações que sendo expressas em diagramas, possibilitem uma avaliação rápida a respeito dos volumes, para qualquer seção de qualquer curso d'água da região.

5.2 - CURVA REGIONAL DA RELAÇÃO VOLUME-VAZÃO BÁSICA-PROBABILIDADE

Essa curva representa a relação entre volume, vazão básica e probabilidade para toda região.

Para se ter uma idéia de como seria o comportamento da mesma, utilizou-se as tabelas 4.10.1 a 4.10.12, que forneceu para cada $P(x_i \leq X)$ dos volumes e cada vazão básica, os valores de volumes para cada estação. De posse desses valores, traçou-se "a olho" as curvas $V \times Q_B$ de todas as estações para cada $P(x_i \leq X)$ dos volumes. (Veja figuras 5.1.1 a 5.1.6).

Observando-as nota-se que apresentam um comportamento semelhante, e isto é devido à homogeneidade da região.

É importante ressaltar que essas curvas foram feitas apenas para se verificar como variavam, para a região, os volumes com relação às vazões básicas, e também para que se pudesse ter uma indicação a respeito do parâmetro que poderia ser utilizado, para ajustá-las a uma tendência comum.

Esse ajuste a uma tendência comum é importante porque, acontecendo, torna possível o encontro de uma única relação, que sendo expressa através de uma curva, fornece informações a respeito dos volumes para toda a região.

O parâmetro utilizado para esse ajuste deve satisfazer aos seguintes critérios:

- 1 - Deve ser um parâmetro que represente bem o sistema, isto é represente bem o regime hidrológico das bacias hidrográficas estudadas.
- 2 - Deve ser de fácil obtenção para as bacias hidrográficas sem dados.

Existem dois grupos de parâmetros: os hidrológicos e os físicos.

Os parâmetros hidrológicos possuem a vantagem de representar melhor o sistema e de atingir com maior rapidez o objetivo, por ser da mesma família da variável hidrológica que se está estudando, no caso os volumes. Apresentam porém, a desvantagem de necessitarem de dados para serem calculados. Foi dito desvantagem, porque em bacias onde o sistema de medições é restrito, há o problema da escassez de dados, dificultando assim a obtenção de parâmetros hidrológicos.

Os parâmetros físicos são mais facilmente obtidos, no entanto, não representam tão bem o sistema quanto os parâmetros hidrológicos.

Aqui cabe a pergunta: Que tipo de parâmetro deve-se usar, hidrológico ou físico? A resposta, depende unicamente de como o problema se apresenta e do que se dispõe para resolvê-lo.

Sabe-se, de antemão, que em estudos hidrológicos, a vazão média é um parâmetro amplamente utilizado, porque é o que melhor representa o balanço entre precipitação - evapo-

ração - infiltração - escoamento superficial.

LATTERMANN (1983) em seu trabalho sobre análise regional de volumes, acima de vários níveis de vazão, para bacias pequenas, usou a vazão média como um parâmetro para a regionalização e chegou a bons resultados.

Com base nos resultados encontrados no citado trabalho, e observação das curvas de volume versus vazão básica (figuras 5.1.1 a 5.1.6), adotou-se a vazão média (\bar{Q}) juntamente com a vazão básica (Q_B), sob a forma de um fator K , que se definiu como sendo,

$$K = \frac{Q_B}{\bar{Q}^2} \quad (5.1)$$

na primeira tentativa para a regionalização dos volumes.

Calculou-se então, para todas as estações analisadas os valores que K assumiria. Os resultados encontram-se na tabela 5.1. Nesta tabela se encontram também os valores de \bar{Q} e os valores dos volumes para cada Q_B e $P(x_i \leq X)$, obtidas das tabelas 4.10.1 a 4.10.12.

Com o auxílio da tabela 5.1, fez-se o diagrama de dispersão $V \times K$ para as seguintes probabilidades dos volumes : $P(x_i \leq X) = 99\%; 98\%; 95\%; 90\%; 80\%$ e 50% . Obteve-se assim, seis diagramas de dispersão (figuras 5.2.1 a 5.2.6). Esses diagramas mostram que há uma tendência para que pequenos valores de K estejam associados a grande valores de V .

Em seguida, procurou-se, para cada diagrama de dispersão, o coeficiente de correlação entre V e K e a equação de regressão.

Utilizou-se o coeficiente de correlação linear de Pear

SON:

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} \cdot S_{yy}}} \quad (5.2)$$

onde:

$$S_{xy} = \sum x \cdot y - \frac{1}{n} (\sum x) (\sum y) \quad (5.3)$$

$$S_{xx} = \sum x^2 - \frac{1}{n} (\sum x)^2 \quad (5.4)$$

$$S_{yy} = \sum y^2 - \frac{1}{n} (\sum y)^2 \quad (5.5)$$

Nas equações (5.3); (5.4) e (5.5), X = valores de volumes ; y = valores de $K = \frac{Q_B}{Q^2}$ e n = número de dados da amostra.

As equações de regressão foram obtidas através do método dos mínimos quadrados. (Veja COSTA NETO, 1977).

Os resultados encontrados para o coeficiente de correlação r e a equação de regressão, encontram-se relacionados na tabela 5.2.

De acordo com a classificação de CHADDOCK (HAHN, 1951), se $\pm 0,7 < r < \pm 0,9$, isto significa uma forte correlação.

Como, no presente caso, os valores dos coeficientes de correlação (r), variam entre -0,78 e -0,83, pode-se concluir que há uma forte correlação entre V e $K = \frac{Q_B}{Q^2}$ e que as equações de regressão encontradas, representam em média, a interdependência entre os volumes e o fator $K = \frac{Q_B}{Q^2}$.

Calculando-se o coeficiente de determinação, $B = r^2$, que expressa a proporção da variação total de V que é explicada pela reta dos mínimos quadrados, verifica-se que $B \approx 0,64$. Isto significa que as retas de regressão encontradas explicam mais da metade da variação de V, ou seja, explicam 64%

dessa variação. A variação residual $(1-r^2) = 36\%$ deve-se ao acaso, ou, o que é mais provável, a outras variáveis que não foram aqui consideradas.

Com as equações de regressão determinadas, traçou-se as curvas regionais de $V = f\left(\frac{Q_B}{\bar{Q}}\right)$ e $\frac{Q_B}{\bar{Q}} = f(V)$ para cada uma das probabilidades de volumes consideradas. (Veja figuras 5.2.1 a 5.2.6).

As curvas das figuras 5.3.1 a 5.3.2, fornecem para qualquer seção de qualquer curso d'água da região estudada, os volumes e as probabilidades $P(x_i \leq X)$ com que os mesmos podem ser alcançados. É bastante para isso admitir um valor para Q_B e conhecer \bar{Q} para a seção.

Acontece que a vazão média anual relativa ao intervalo de referência (\bar{Q}) não é um parâmetro de fácil obtenção para os locais onde não existem estações fluviométricas.

A experiência hidrológica tem mostrado que a área de drenagem (A) é o fator de maior peso no cálculo da vazão média. Procurou-se então, o grau de correlação entre a vazão média anual relativa ao intervalo de referência (\bar{Q}) e a área de drenagem (A), com a respectiva equação de regressão. Para isso usou-se os dados de \bar{Q} e A das estações analisadas.

O valor do coeficiente de correlação encontrado foi $r = 0,92$, considerado muito bom e a relação encontrada através da regressão tem a forma de uma função linear:

$$\bar{Q} = 9,804 \times 10^{-3} \cdot A - 17,15 \quad (5.6)$$

A curva $\bar{Q} \times A$, encontra-se na figura 5.4.

De posse das figuras 5.4 e 5.3, já se pode conhecer,

para qualquer seção de qualquer curso d'água da região estudada, qual o volume d'água que pode ser armazenado, com que probabilidade, e qual a vazão básica a ser garantida.

Para isso é necessário apenas que se conheça a área de drenagem da seção, que poderá ser obtida de cartas topográficas ou através de levantamentos. Os mapas na escala 1:100.000 encontram-se a disposição na SUDENE.

Então, dada uma seção de um curso d'água qualquer, procede-se da seguinte maneira para se obter as informações a respeito do volume:

1. Encontrar a área de drenagem da seção de interesse.
2. Com o valor da área de drenagem (A) e utilizando a curva da figura 5.4, encontra-se para a seção, a vazão média anual relativa ao intervalo de referência.
3. Admitir um valor para a vazão básica (Q_B). Estima-se esse valor, com base nas necessidades de água à jusante do reservatório.
4. Calcula-se o valor de $K = \frac{Q_B}{\bar{Q}^2}$
5. Com esse valor de $K = \frac{Q_B}{\bar{Q}^2}$, encontra-se nas curvas da figura 5.3.1, os volumes para diversas probabilidades $P(x_i \leq X)$.

De posse dessas informações tem-se condições de avaliar para qualquer ponto de um rio, qual o volume que pode ser armazenado, analisar se o mesmo satisfaz as necessidades de água da região e, em caso afirmativo, dimensionar o reservatório para a capacidade prevista.

CAPÍTULO VI

PERFIL LONGITUDINAL DOS VOLUMES

Até o presente momento já se tem condições de, através das curvas das figuras 5.3.1 e 5.4, determinar, para qualquer seção de um curso d'água da região:

1. O volume d'água que pode ser armazenado.
2. A probabilidade $P(x_i \leq X)$ com que esse volume pode ser alcançado.
3. A vazão básica que pode ser liberada, garantindo-se o citado volume.

Para isso, basta proceder conforme foi explicado no final do capítulo anterior.

Neste capítulo apresenta-se como pode ser obtido o perfil longitudinal dos volumes para qualquer curso d'água da região.

O perfil longitudinal dos volumes é um gráfico que mostra a variação dos volumes ao longo de todo o comprimento do rio, para determinada probabilidade dos volumes $P(x_i \leq X)$ e determinada vazão básica.

Como o perfil longitudinal dos volumes pode ser traçado para várias probabilidades de volumes $P(x_i \leq X)$, é interessante também que possa ser traçado para diversas probabi

lidades de vazões básicas $P(Q_i \geq Q_B)$.

No capítulo 4, estabeleceu-se para cada estação fluviométrica estudada, vazões básicas com $P(Q_i \geq Q_B) = 75\%$; 50% e 25% , através das equações (4.5); (4.6) e (4.7). Do mesmo modo procedeu-se para encontrar para cada estação, vazões básicas com $P(Q_i \geq Q_B) = 5\%$, e as mesmas foram obtidas através da equação (4.4), sendo $K = 1,65$.

Na tabela 6.1 se encontram para cada $P(Q_i \geq Q_B)$ os valores que a vazão básica assume para cada uma das estações fluviométricas analisadas.

Já se conhece agora as vazões básicas com $P(Q_i \geq Q_B) = 5\%$, 25% ; 50% e 75% , para todas as estações, ou melhor para as seções dos cursos d'água onde se localizam essas estações. Porém, para o traçado do perfil longitudinal dos volumes é preciso ainda que se possa conhecer essas vazões básicas para qualquer seção de qualquer curso d'água da região.

No capítulo 5, procurou-se o coeficiente de correlação e equação de regressão entre a vazão média anual relativa ao intervalo de referência (\bar{Q}), que possui $P(Q_i \geq Q_B) = 50\%$ e a área de drenagem (A). Os resultados foram bons, e assim foi possível determinar para qualquer local da região a vazão média anual relativa ao intervalo de referência.

Neste capítulo também se recorreu a esse meio para encontrar as vazões básicas com $P(Q_i \geq Q_B) = 5\%$; 25% e 75% para qualquer local da região.

Para cada uma das probabilidades $P(Q_i \geq Q_B)$, calculou-se o coeficiente de correlação e a equação de regressão entre Q_B e A. Os resultados encontram-se na tabela 6.2.

As curvas obtidas com as equações de regressão encontradas, podem ser vistas nas figuras 6.1.1 a 6.1.3.

A figura 6.2 apresenta em conjunto as curvas $Q_B = f(A)$ para $P(Q_i \geq Q_B) = 5\%$; 25%; 50% e 75%.

Agora, o perfil longitudinal dos volumes pode ser traçado para qualquer rio da região, com o auxílio das curvas que se encontram nas figuras 6.2 e 5.3.1.

Para tanto, procede-se de acordo com o esquema da figura 6.3.

Esse esquema, apresenta um desenho de uma bacia hidrográfica, mostrando a localização das estações fluviométricas e os pontos de encontro dos tributários com o rio principal. O perfil longitudinal dos volumes foi traçado para o rio principal do seguinte modo:

1. Em 1º lugar deve-se verificar as seções para as quais serão procurados os volumes:
 - seções onde há estações fluviométricas
 - seções onde há junção de tributários.
2. Determinar para cada uma dessas seções as respectivas áreas de drenagem, e as distâncias a que as mesmas se situam da foz.
3. Fixar a probabilidade $P(x_i \leq X)$ dos volumes e a probabilidade $P(Q_i \geq Q_B)$ das vazões básicas.
4. Fixadas as probabilidades, com o valor de A, se obtém, através das curvas $Q_B = f(A)$, o valor de \bar{Q} e o valor de Q_B .
5. Calcular $K = \frac{Q_B}{\bar{Q}^2}$

6. Com o valor de $\frac{Q_B}{Q^2}$, se obtêm das curvas $V_P(x_i \leq X) = f\left(\frac{Q_B}{Q^2}\right)$ o valor de V para $P(x_i \leq X)$ fixado.

Observa-se que nas seções a, b e c existe uma descontinuidade no perfil. Estas são seções onde ocorre a junção dos tributários ao rio principal. Nestes pontos existem dois valores de área: 1) imediatamente antes da junção; 2) imediatamente depois da junção. Para esses locais então, Q_B assume valores diferentes e conseqüentemente os volumes também.

Para o ponto y, onde está projetado um reservatório, sabe-se desde já, qual o volume de armazenamento, a probabilidade $P(x_i \leq X)$ do mesmo e a vazão básica. Assim para qualquer outra seção deste rio essa informação pode ser facilmente obtida, é preciso que saiba apenas, a que distância essa seção se encontra da foz.

Como exemplo foi traçado o perfil longitudinal dos volumes para o rio Piranhas, que possui um comprimento $L \cong 414$ Km e uma declividade média $d \cong 1,45$ m/Km (Veja figuras 6.4.1 a 6.4.4 e figuras 6.5.1 a 6.5.6).

Para facilitar o traçado do perfil, preencheu-se antes as tabelas 6.3.1 a 6.3.4, seguindo o esquema da figura 6.3, ou mais precisamente utilizando as equações encontradas através da regressão $Q_B \times A$ (tabela 6.2) e $V \times \frac{Q_B}{Q^2}$ (tabela 5.3.1).

As tabelas 6.3.1 a 6.3.4 apresentam para cada Q_B com $P(Q_i \geq Q_B)$ os valores do volume para as probabilidades $P(x_i \leq X) = 50\%; 80\%; 90\%; 95\%; 98\%$ e 99% para várias seções,

assim como a que distância as seções se encontram da foz e as respectivas áreas de drenagem.

Observando as tabelas 6.3.1 a 6.3.4 nota-se que para $A = 1500 \text{ Km}^2$ não foi possível obter os valores de volumes e vazões básicas. Esta é uma limitação desse trabalho. Para valores de $A < 2000 \text{ Km}^2$ não é possível determinar o volume.

Isto acontece porque, nesse estudo, as estações analisadas possuem $A > 2000 \text{ Km}^2$, é recomendável portanto, que na aplicação da metodologia proposta, a área de drenagem para a seção de interesse esteja dentro da faixa de variação das áreas de drenagem das estações fluviométricas utilizadas no estudo.

Convém lembrar, que o traçado do perfil longitudinal dos volumes entre as seções analisadas não é uma reta como aparece nas figuras 6.4.1 a 6.4.4 e 6.5.1 a 6.5.6, mas sim uma curva.

Para se definir a forma dessa curva, é preciso que se conheça o valor das áreas de drenagem para vários locais entre cada uma das seções analisadas.

CAPÍTULO VII

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A utilização da metodologia desenvolvida possibilita a obtenção de informações a respeito dos volumes que podem ser armazenados e das vazões que podem ser liberadas sem prejuízo para o citado volume, em qualquer local da região para a qual é estabelecida.

O modo como foi desenvolvida mostra que pode ser aplicada a qualquer região, desde que a mesma seja hidrologicamente homogênea. Entretanto, ao utilizar este método para outras bacias hidrográficas, algumas adaptações são necessárias, porque várias decisões ao longo de um estudo desse tipo dependem das condições de clima, topografia, precipitação, geologia, hidrografia de cada região.

Na região estudada, as previsões a respeito dos volumes armazenáveis são feitas para o fim da estação chuvosa de cada ano.

O trabalho não analisa para essa região, a probabilidade de volumes nulos.

Portanto, o estudo realizado, não informa se em um determinado ano, haverá volumes ou não. No entanto se em um ano qualquer houver estação chuvosa e conseqüentemente existirem volumes que possam ser armazenados, a metodologia apresenta

da poderá informar: qual será o valor desse volume; com que probabilidade será alcançado; e que vazão básica pode ser mantida no rio, ao fim da estação chuvosa do referido ano.

Finalmente, verificou-se que o método estabelecido é uma ferramenta útil para o planejamento dos recursos hídricos em uma região, porque pode fornecer informações para locais onde não existem estações de medição.

Existem, porém, algumas considerações que devem ser observadas ao se aplicar este método para a região estudada, ou quando for desenvolvê-lo para outra região:

- O período base analisado no trabalho foi o intervalo 1960-1980. Algumas estações não possuíam amostras com 20 anos de observação. Apesar desse fato não ter impedido a realização do trabalho, pois os resultados encontrados foram razoáveis, para que os mesmos sejam mais representativos deve-se preencher as falhas existentes nas séries porque é aconselhável que um estudo de regionalização seja feito com séries de igual tamanho.
- Apesar do reduzido número de estações fluviométricas utilizadas no estudo não ter comprometido o desenvolvimento do mesmo, recomenda-se que se trabalhe com um número maior de estações, porque assim procedendo aumenta-se a representatividade das curvas regionais obtidas.
- O modo como os níveis de vazões (vazões básicas) foram definidos está bem fundamentado e é uma opção quando não se dispõe das curvas de duração para cada estação da região. Esse modo garantiu a obtenção de níveis comparáveis de va

ção para todas as estações analisadas. Porém a curva de duração fornece resultados mais precisos. Aconselha-se portanto, que as vazões básicas para cada estação, sejam definidas a partir das curvas de duração.

- Na hidrologia não é fácil definir que distribuição de probabilidades se ajusta melhor aos dados. Neste trabalho, tendo em vista a homogeneidade hidrológica da região, fêz-se um estudo com apenas 1 estação e definiu-se a distribuição a ser adotada para toda região. Apesar de se ter verificado que essa distribuição se ajustou à grande maioria das amostras da região, constatando-se portanto que esse procedimento é aceitável, aconselha-se que o estudo para escolher a distribuição de probabilidades que melhor se ajusta aos dados de volumes deve abranger o maior número de estações.
- Os coeficientes de correlação encontrados entre os volumes e o fator $K = \frac{Q_B}{Q^2}$ foram razoáveis. O coeficiente de determinação $B = r^2 \cong 0,64$ indica que mais da metade da variação dos volumes é explicada pelas retas de regressão, porém ainda restam $(1-r^2) = 0,36$, portanto 36% de variação a ser explicada. Para diminuir essa percentagem podem ser tentadas as alternativas seguintes:
 1. Envolver mais variáveis na análise de correlação e regressão (regressão múltipla)
 2. Dividir a região em sub-regiões e para cada uma delas estabelecer a curva regional que representa a relação volume-vazão básica-probabilidade, utilizando a método

logia apresentada.

- O nível de significância adotado para a aplicação das provas estatísticas foi $\alpha = 0,05$.
- Para a aplicação da metodologia apresentada, é preciso que a área de drenagem da seção do rio, para a qual se pretende obter as informações, esteja dentro da faixa de variação das áreas de drenagem das estações fluviométricas utilizadas no estudo.
- O traçado do perfil longitudinal dos volumes entre as seções analisadas, não é uma reta. É uma curva cuja forma não pode ser facilmente definida, uma vez que é impossível determinar sem medir, como estão variando as áreas de drenagem dos pontos situados entre as seções analisadas. Traçou-se como está apresentado nas figuras, porque o objetivo era apenas exemplificar a aplicação do método. Para definir a forma do perfil entre as seções analisadas deve ser feito o seguinte:
 1. Construir a curva da área de drenagem (A) em função do comprimento do rio (L)
 2. Calcular para cada valor de A, o correspondente valor de $\frac{Q_B}{Q^2}$, e com esse valor de $\frac{Q_B}{Q^2}$, encontrar o valor do volume. Utiliza-se para isso as equações de regressão estabelecidas.
 3. Desse modo cada valor de L no perfil longitudinal, está associado a um valor de A e conseqüentemente associado também a um valor de volume.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELKE, D. (1974), Die Statistische Analyse von Grundwasserständen mit dem Ziel der Extremwertprognose, (Tese de Doutorado), Darmstadt, West-Germany.
- COSTA NETO, P.L.O. (1977), Estatística por Pedro Luís de Oliveira Costa Neto. São Paulo, E. Blucher.
- HAHN, A. (1951), Wahrscheinlichkeitstheoretische Bestimmung und Erörterung der Abflusskurve. Bes. Mitt. Z. Deutschen Gew. Jahrbuch Nr. 3 Bielefeld 1951 seite 27/28
- HOEL, P.G. (1980), Estatística Matemática. [Introduction to Mathematical Statistics] Trad. Othon Guilherme Pinto Bravo. Rio de Janeiro, Guanabara Dois.
- I.A.E. - Instituto de Atividades Espaciais. Divisão de Ciências Atmosféricas. Análise Climatológica das Normais Pluviométricas do Nordeste Brasileiro - Julho, 1980.
- IBGE -, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geografia do Brasil. Região Nordeste. Volume 2. Rio de Janeiro, 1977.
- KITE, G.W. (1978), Frequency and Risk Analyses in Hidrology, Second Edition, Lithocrafters, Chelsea, Michigan, U.S.A.
- KOCH, U. e REGO, J.C. (1985), Aplicação de Testes não Paramétricos para verificar a Homogeneidade de Séries Hidrometeorológicas. Revista Brasileira de Engenharia. Caderno de Recursos Hídricos. Rio de Janeiro, 3(1):47-67.

- LATTERMANN, A. (1983), Regionale Analyse der Füllenstatistik für kleine Einzugsgebiete. Wasser und Boden, H.1, pp.19-21.
- MANOEL FILHO, JOÃO. Inventário Hidrogeológico do Nordeste . Folha nº 10 - Jaguaribe-NE. Recife, SUDENE. Divisão Documentação, 1970.
- NOETHER, G.E. (1983), Introdução a Estatística; Uma abordagem não paramétrica. [Introduction to statistics: a non-parametric approach] Trad. Flávio Wagner Rodrigues e Lisbeth Kaiserlian Cordani. Rio de Janeiro, Guanabara Dois.
- SIDNEY SIEGEL (1975), Estatística Não-Paramétrica; para ciências do comportamento. [Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences] Trad. Alfredo Alves de Farias. Rio de Janeiro, McGraw-Hill, 1975.
- SUDENE - Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste - Estudo geral de base do vale do Jaguaribe. Monografia Hidrológica. G.V.J., 1967.
- _____. Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste do Brasil - Fase I. Síntese do Diagnóstico - Recife, 1980.
- _____. Recursos Naturais do Nordeste. Investigação e Potencial. Sumário das Atividades. S. ED. Recife, Sudene-DRN, 1979.

APÊNDICE A

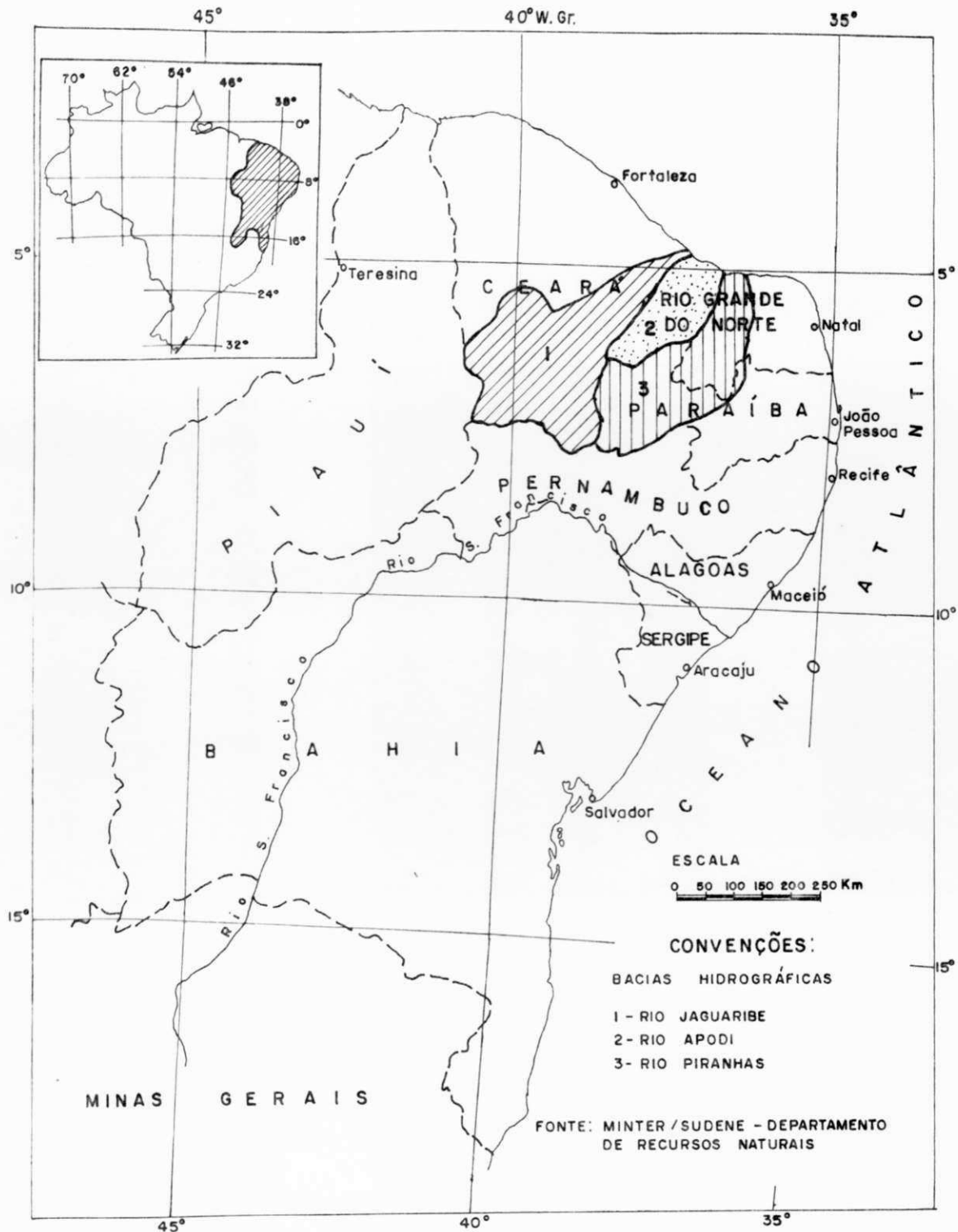


Fig. 3.1 - Localização da região constituída pelas bacias hidrográficas dos rios Jaguaribe, Apodi e Piranhas.



FONTE: MINTER/SUDEN - DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURAIS

CONVENÇÕES:

▨ ÁREAS SEDIMENTARES

□ ÁREAS CRISTALINAS

Fig. 3.2 - Área ocupada por terrenos cristalinos e sedimentares.



Fig. 3.3 - Temperatura média anual (°C).

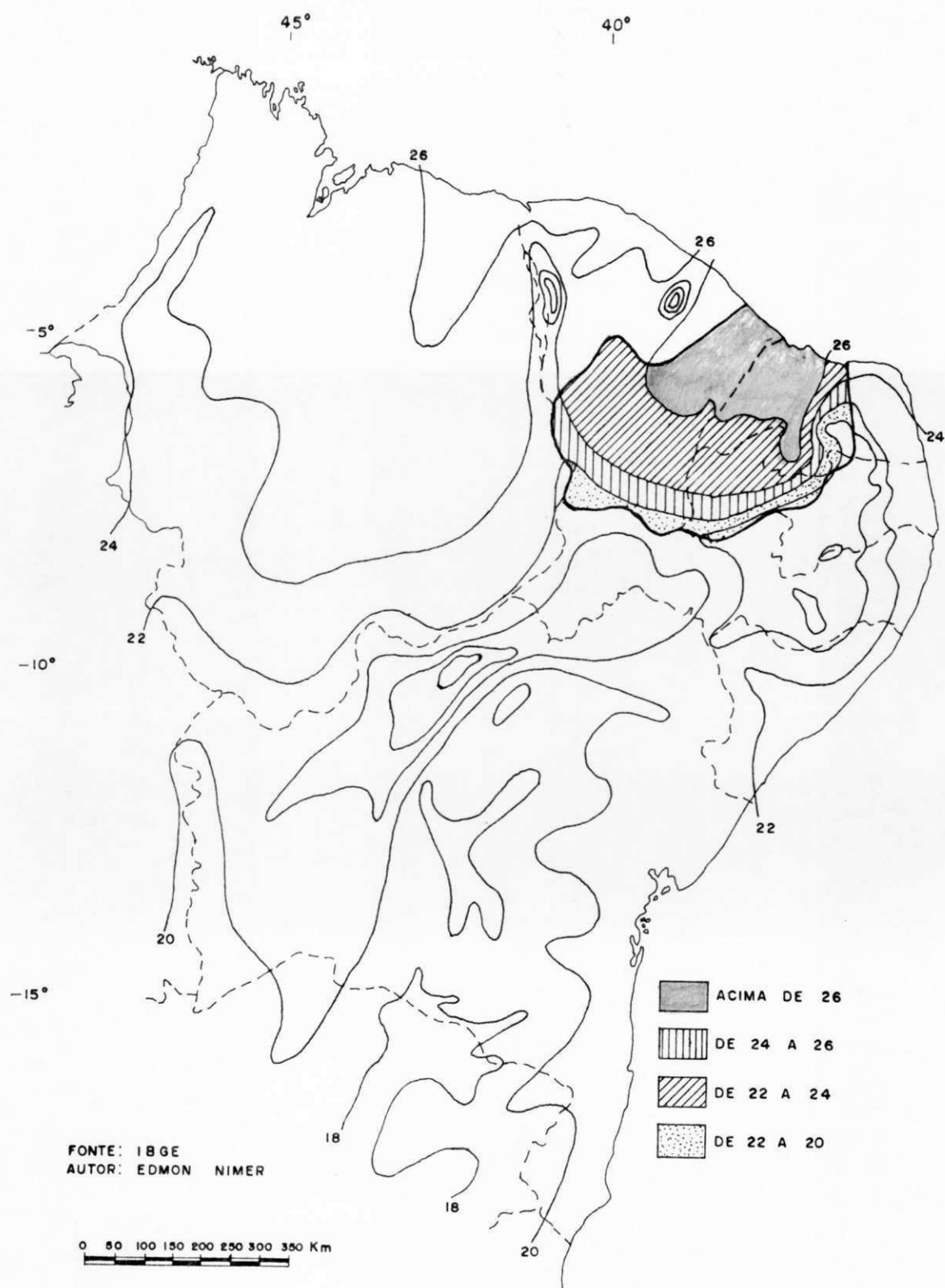
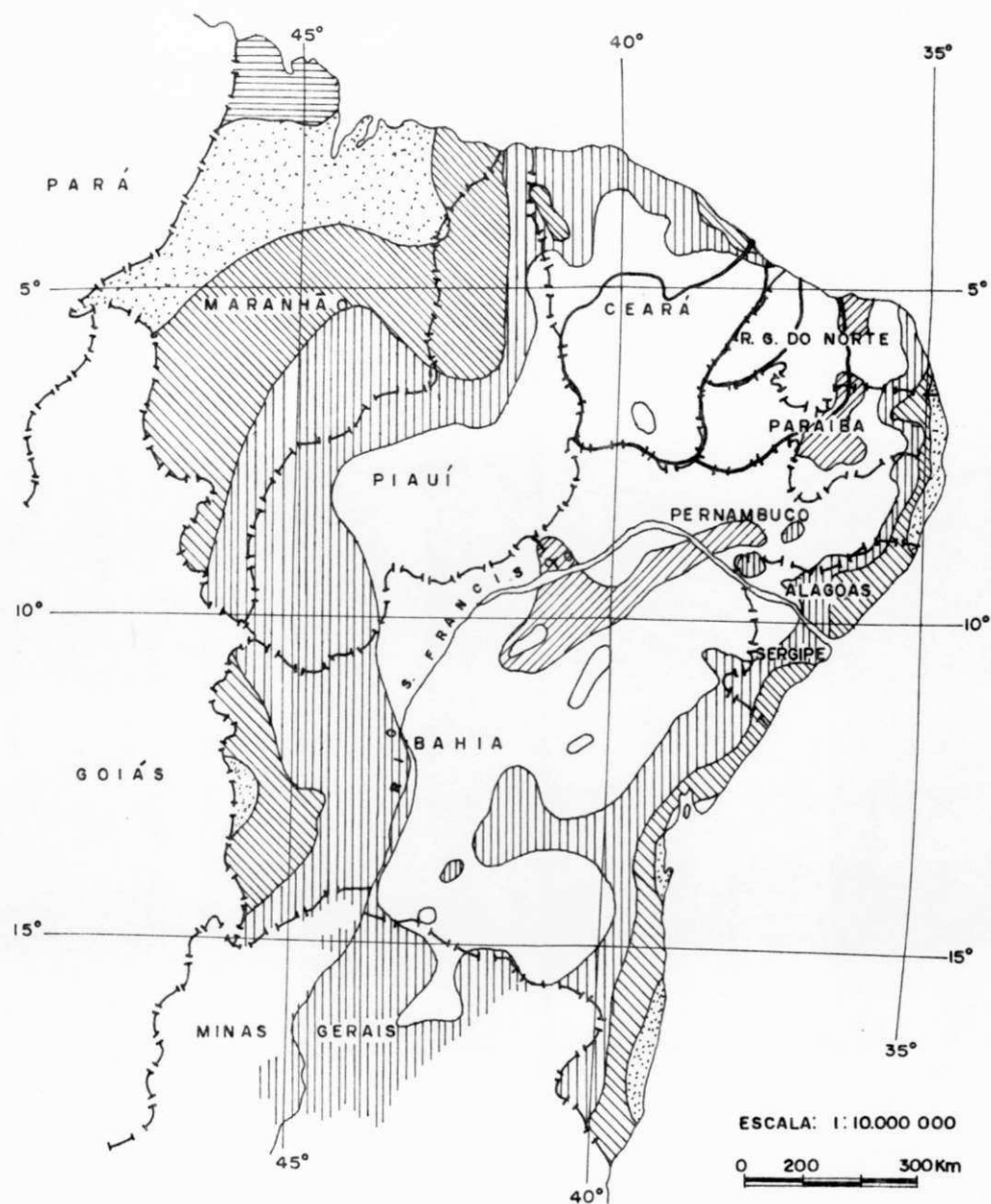


Fig. 3.4 - Média compensada do mês mais frio (°C).



FONTE: MINTER/SUDENE - DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURAIS

CONVENÇÕES:

 < 400 mm	 1200 - 1600 mm
 400 - 800 mm	 1600 - 2000 mm
 800 - 1200 mm	 > 2000 mm

Fig. 3.5 - Isoietas médias anuais - "dados in natura."

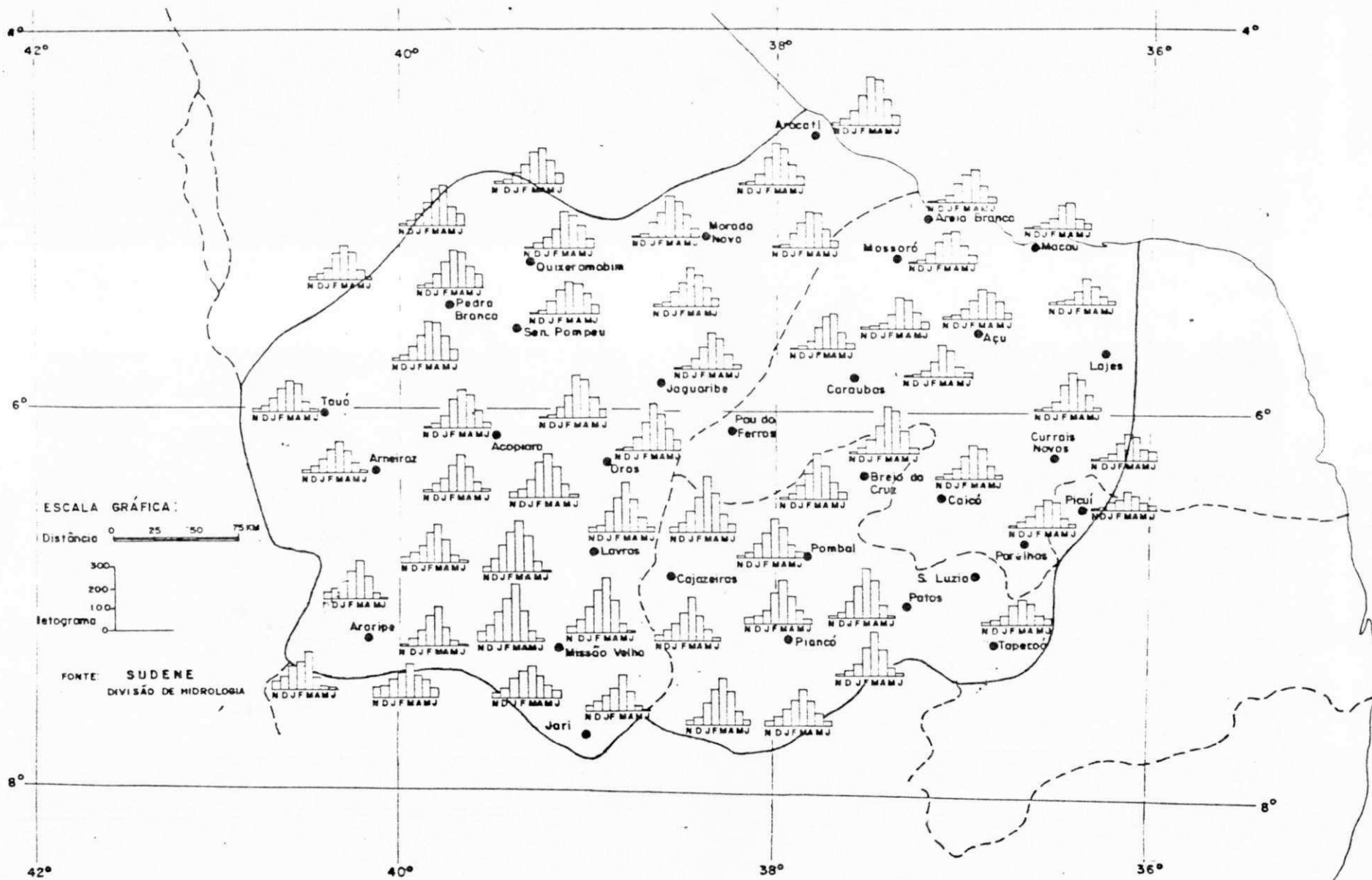


Fig. 3.6 - letograma de médias mensais nas bacias hidrográficas dos Rios Piranhas, Apodi e Jaguaribe.

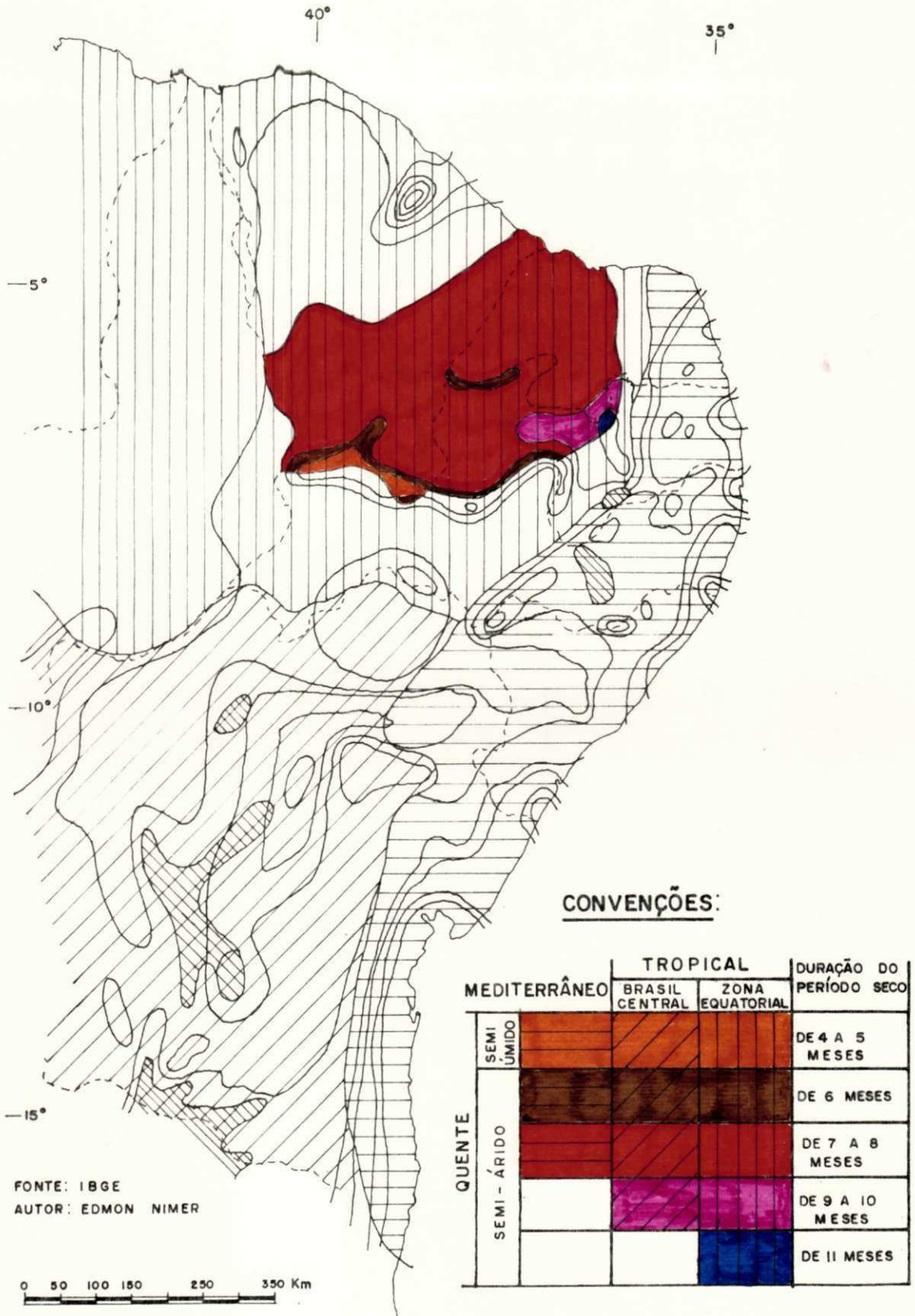


Fig. 3.7 - Diferenciações Climáticas.

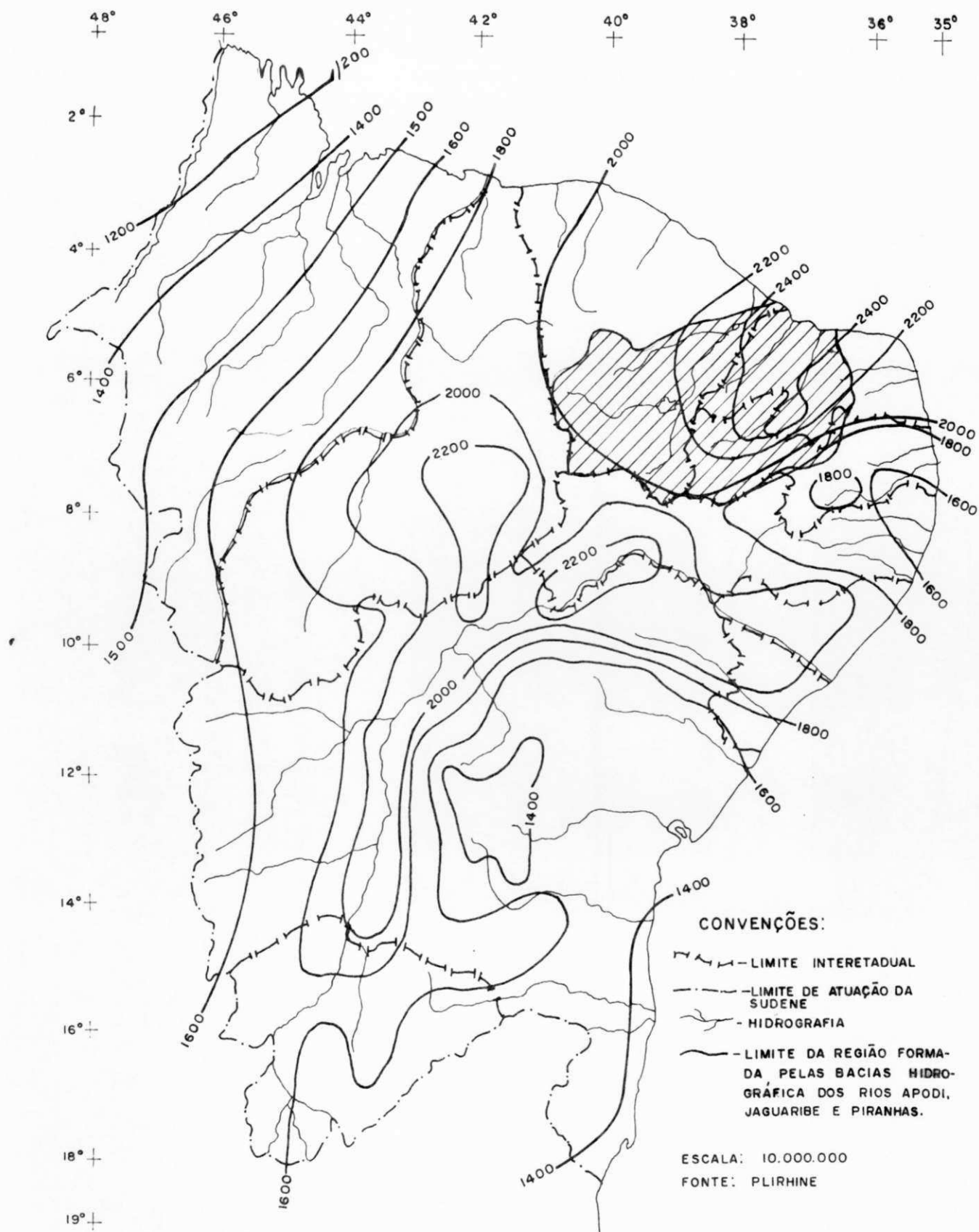
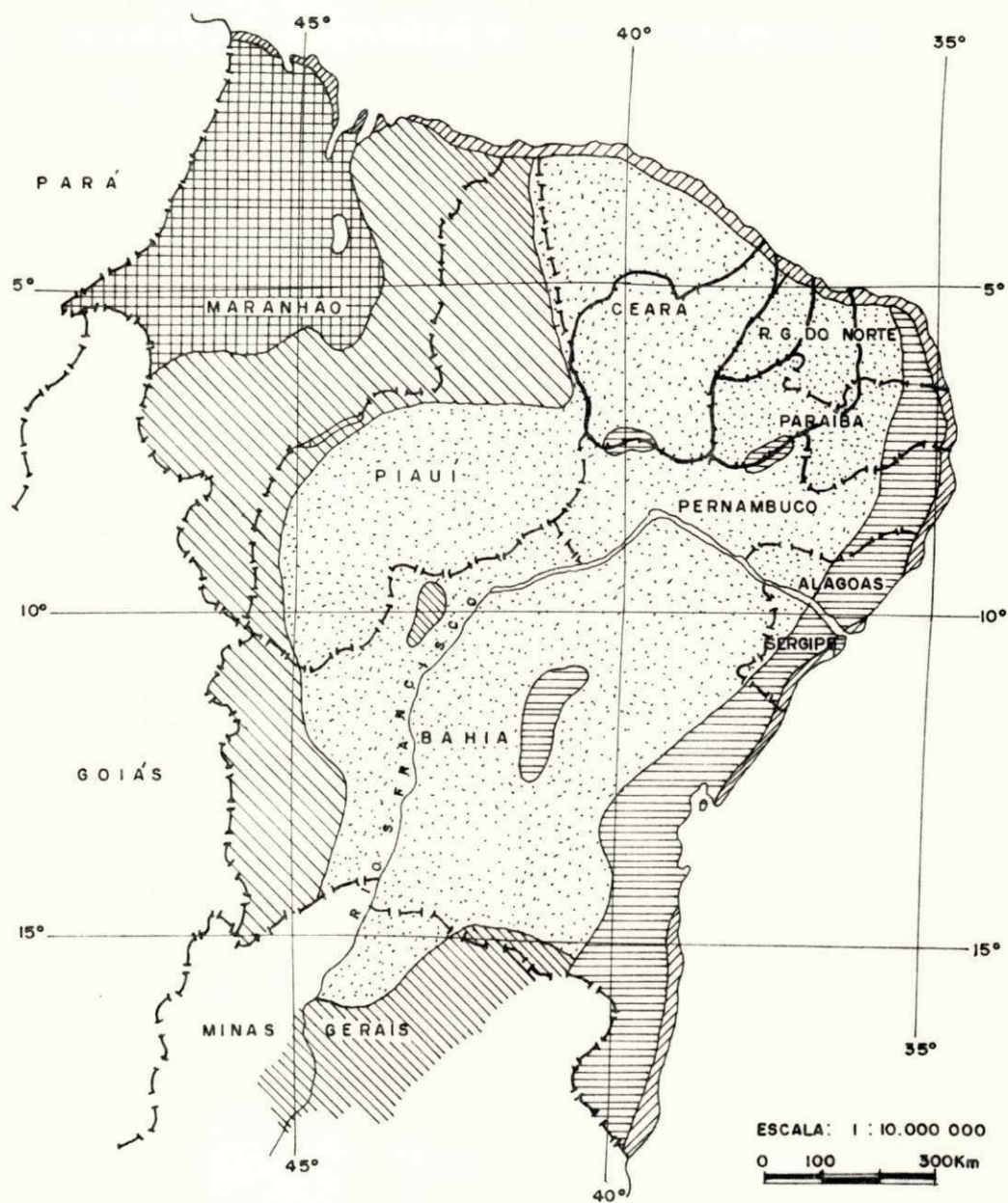


Fig. 3.8 - Evaporação potencial em "mm".



FONTE: MINTER/SUDENE - DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURAIS

CONVENÇÕES:

	FLORESTA LATIFOLIADA EQUATORIAL		VEGETAÇÃO DO LITORAL		CERRADO
	FLORESTA LATIFOLIADA TROPICAL		CAATINGA		

Fig. 3.9 - Vegetação.

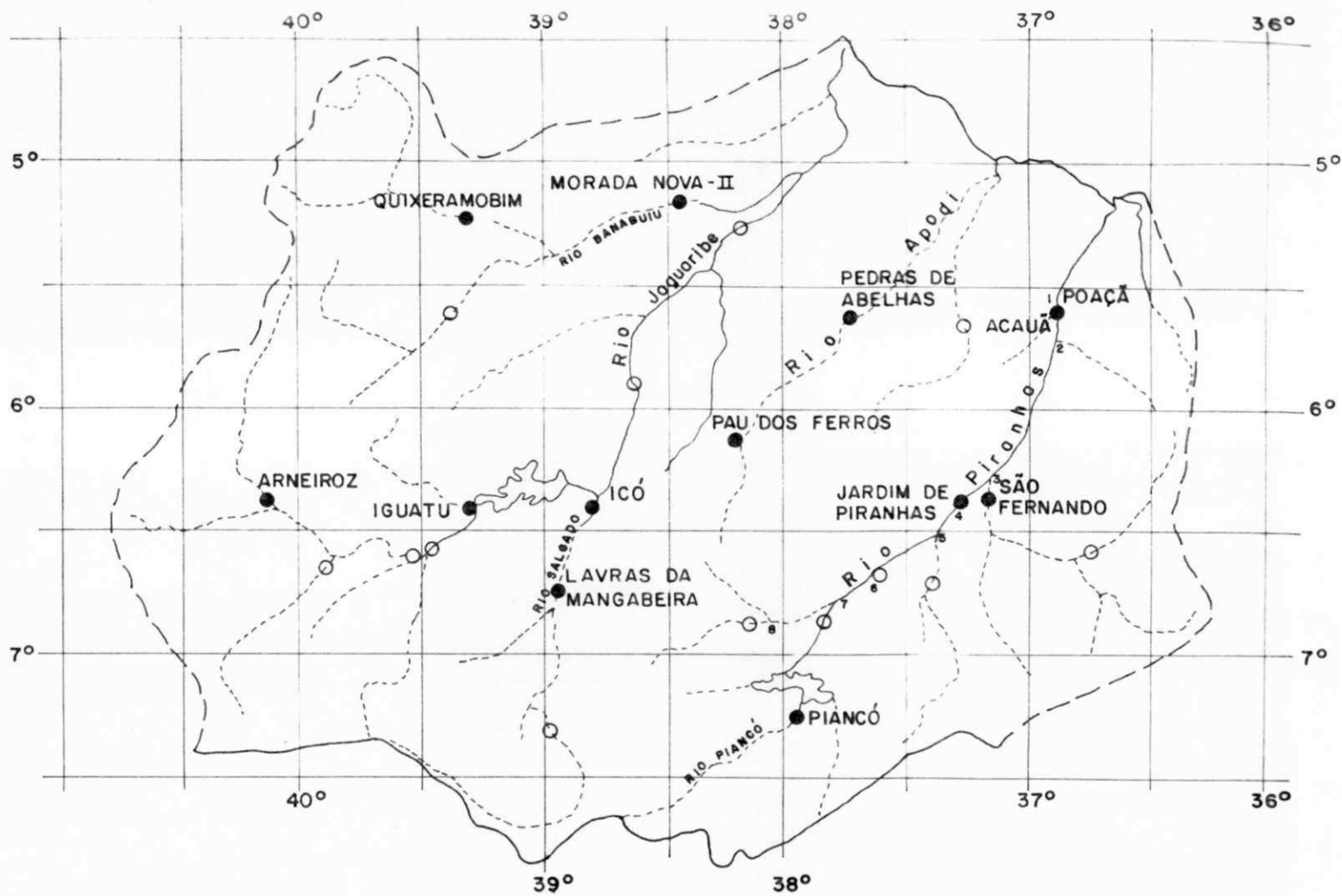


Fig.3.10- Bacias hidrográficas dos Rios Jaguaribe, Apodi e Piranhas/Açu.

- - Estações utilizadas para regionalização; ○ - Não utilizadas.
- - Rios perenes; - - - - - Rios efêmeros ou intermitentes.
- ~ - Lagos.

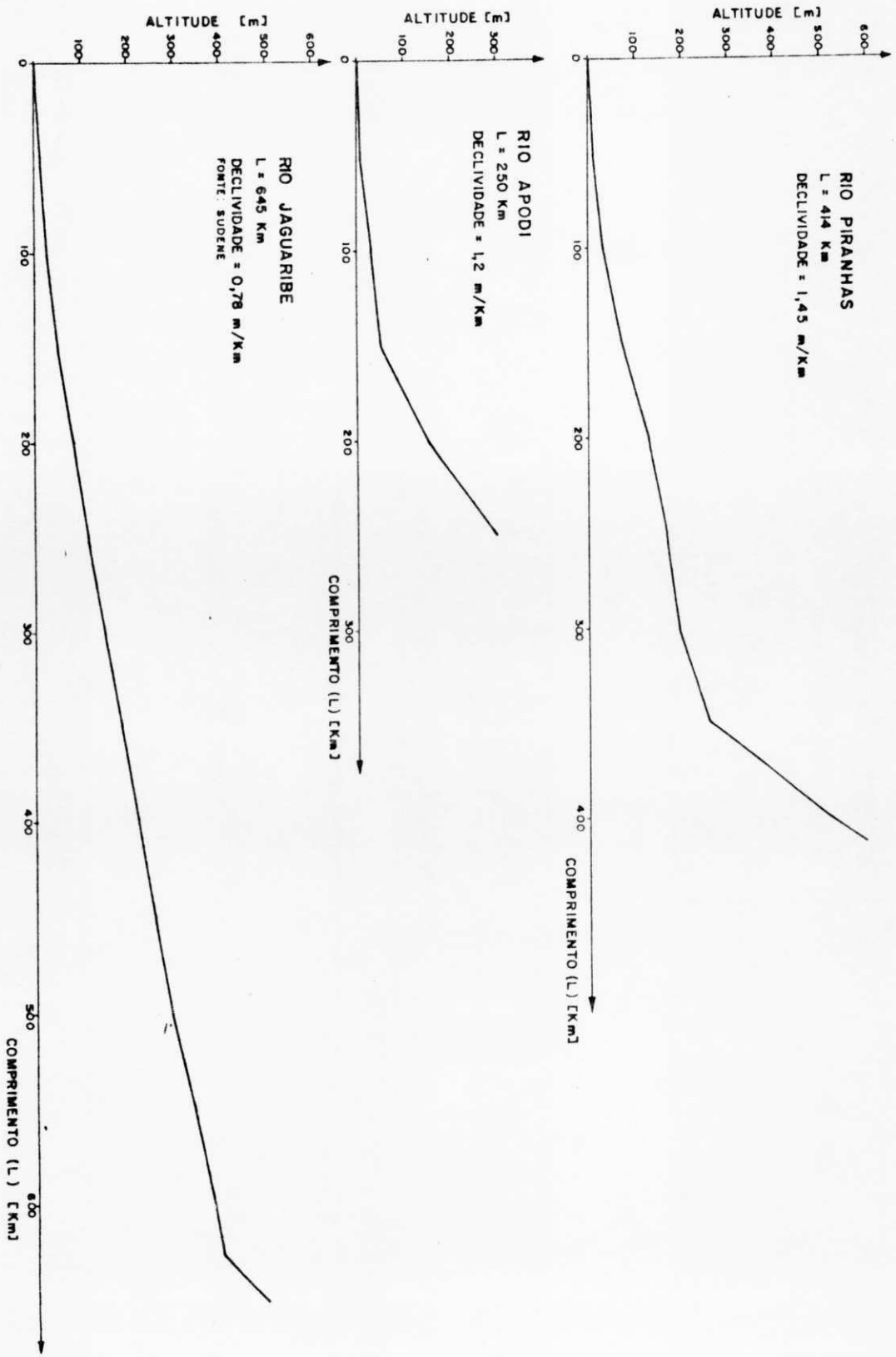
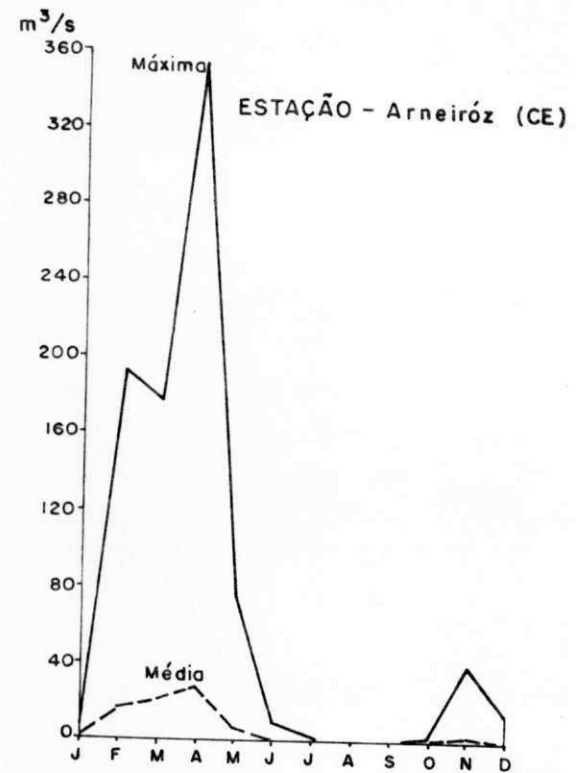
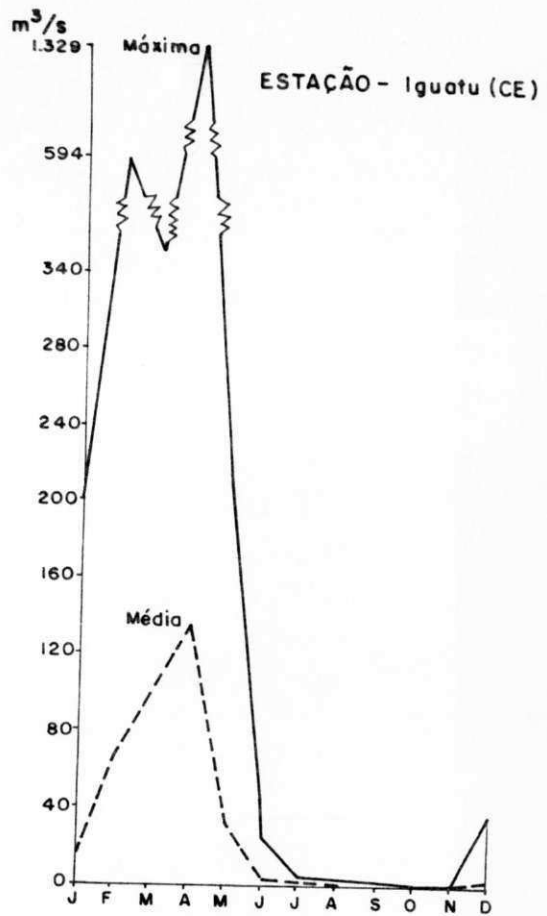


Fig. 3.11 - Perfil Longitudinal.



Fonte: SUDENE
Org. por Ayrton T. Almada

Fig.3.12 - Hidrogramas do Rio Jaguaribe.

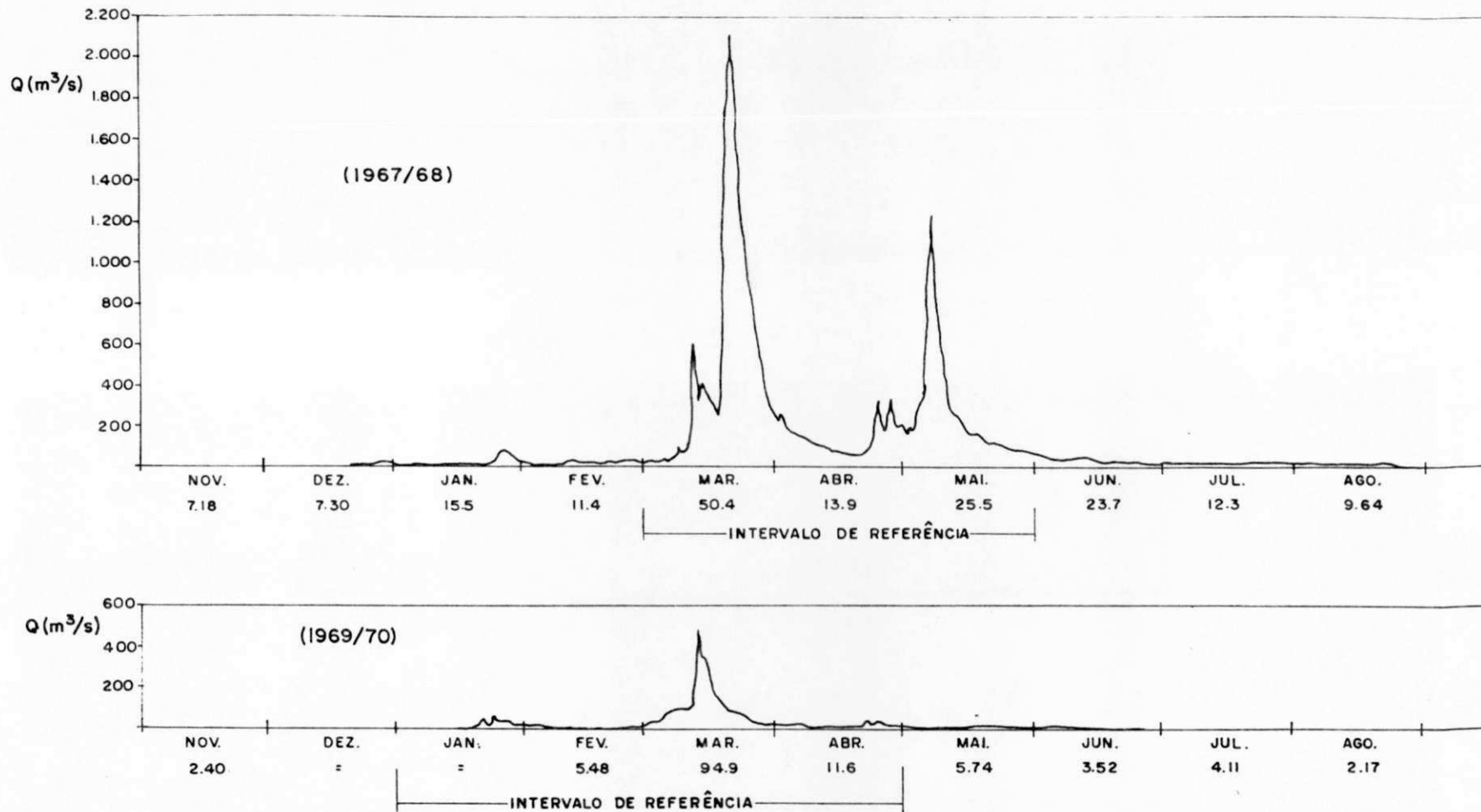


Fig. 3.13 - Hidrogramas do Rio Piranhas na estação Jardim de Piranhas.

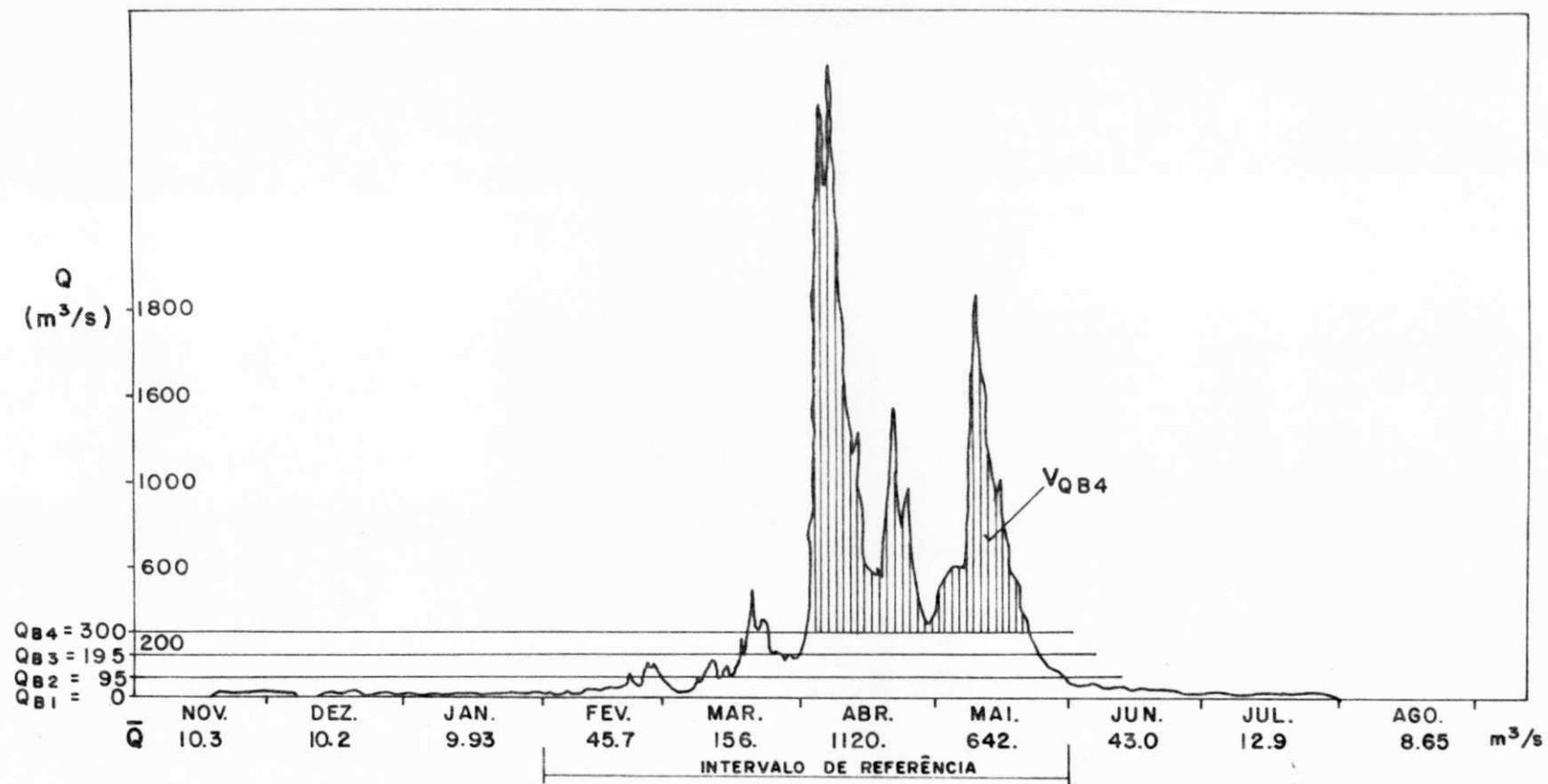


Fig.4.1 - Hidrograma do Rio Piranhas na estação Jardim de Piranhas (1966/67).
 Cálculo do volume V_{QB4} : Total acumulado acima da vazão básica Q_{B4} .

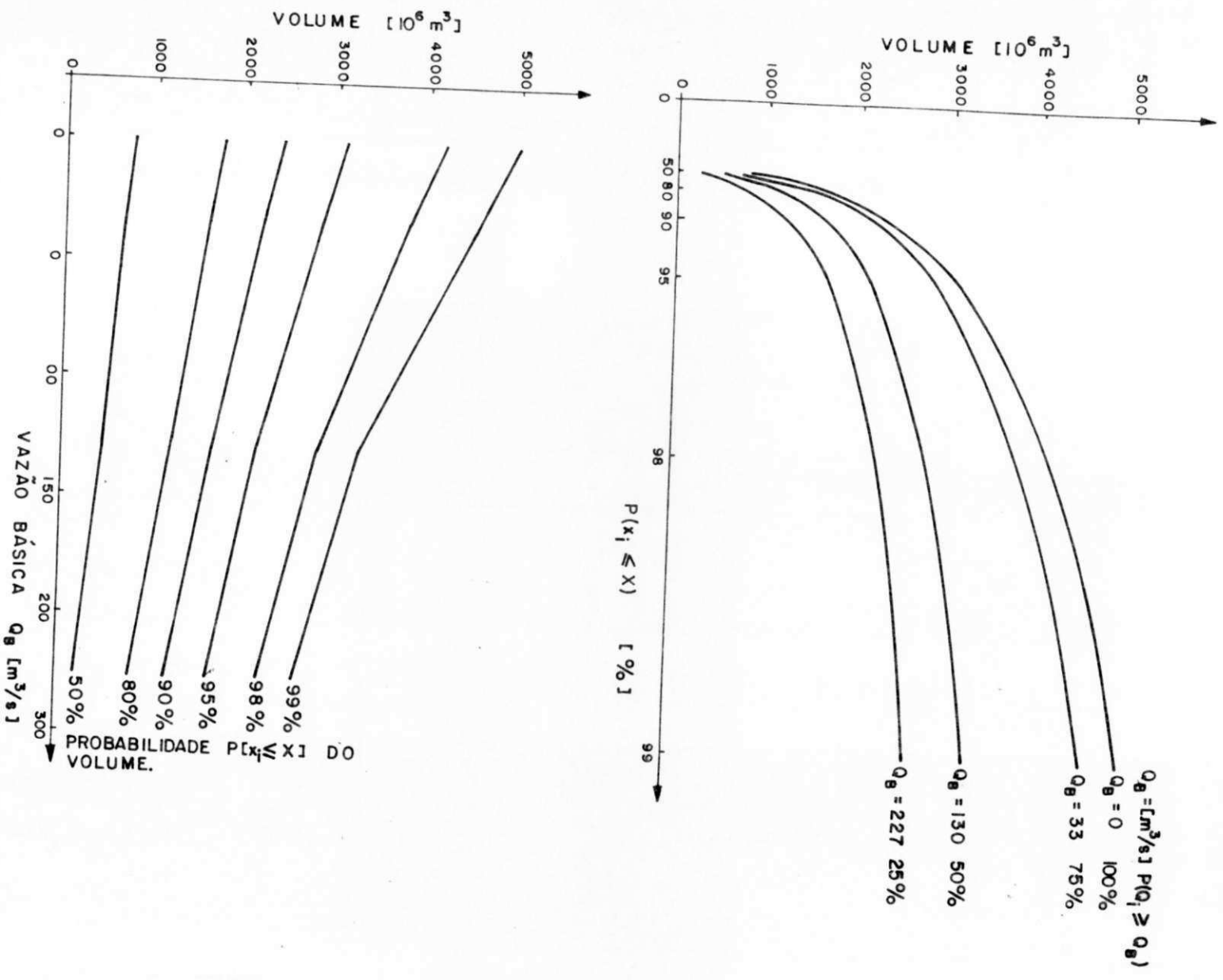


Fig. 4.2.1-Relação entre volume - vazão básica - probabilidade para o rio Bonobuiu na estação Morada Nova - IT.

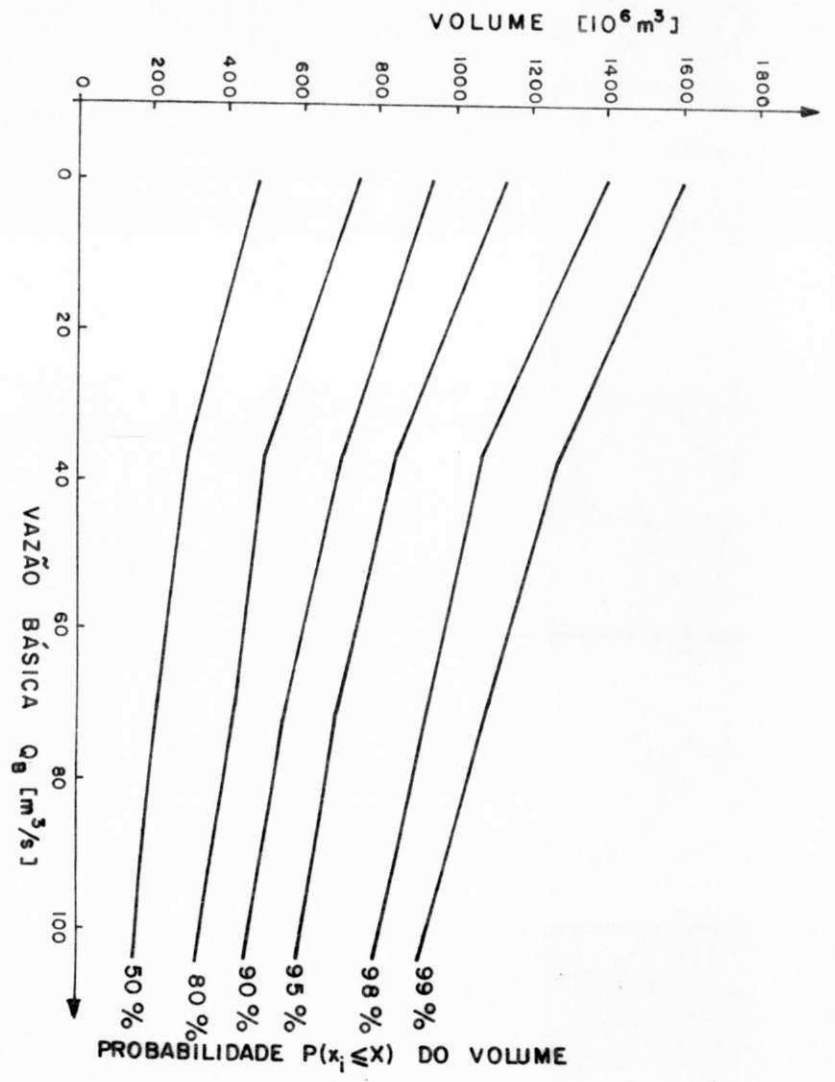
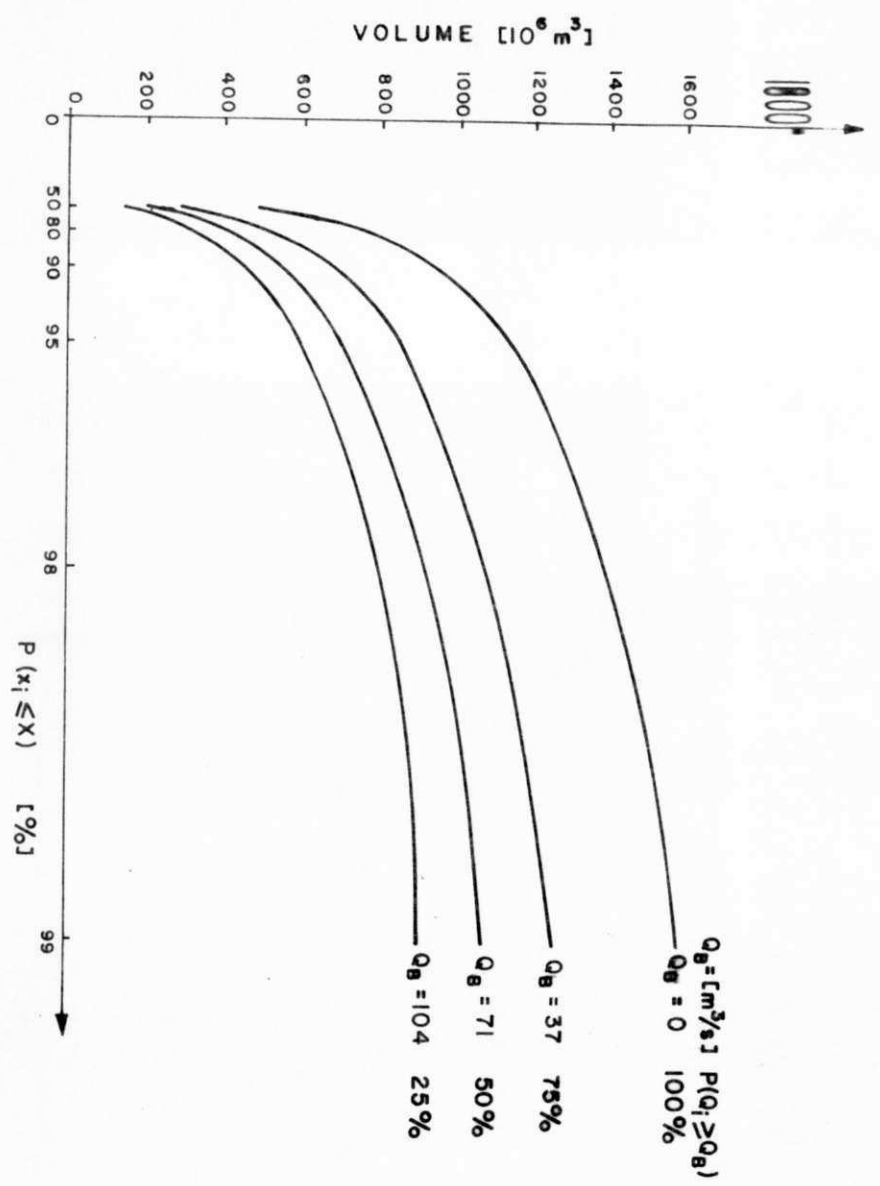


Fig. 4.2.2 - Relação entre volume - vazão básica - probabilidade para o rio Salgado na estação Lavras da Mangabeira.

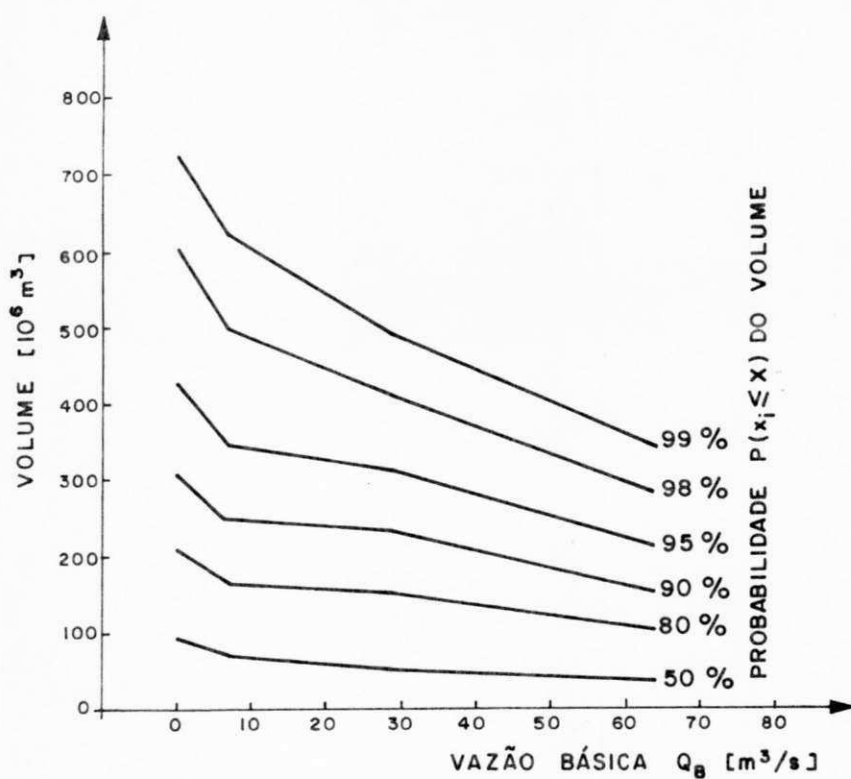
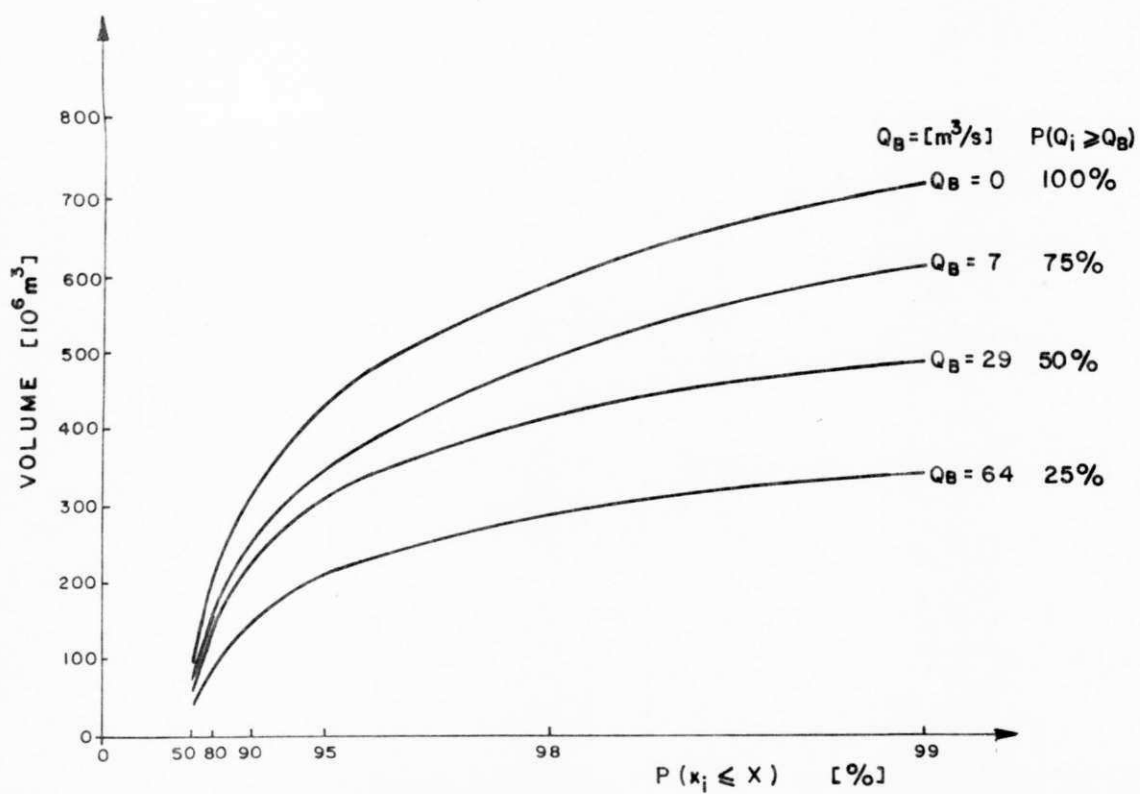


Fig. 4.2.3 - Relação entre volume - vazão básica - probabilidade para o rio Jaguaribe na estação Arneiroz.

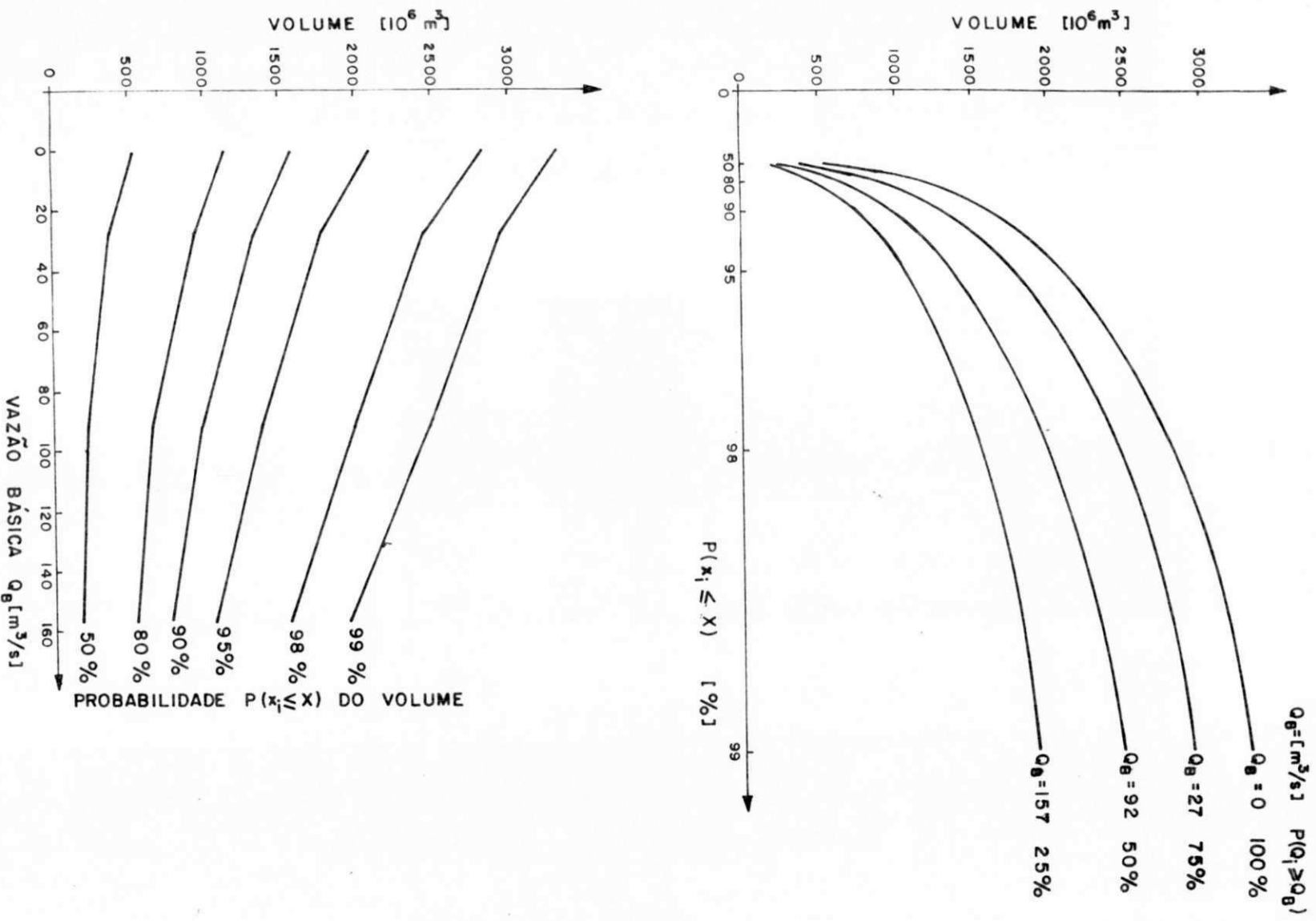


Fig. 4.2.4 - Relação entre volume-vação básica - probabilidade para o rio Jaguaribe na estação Iquatú.

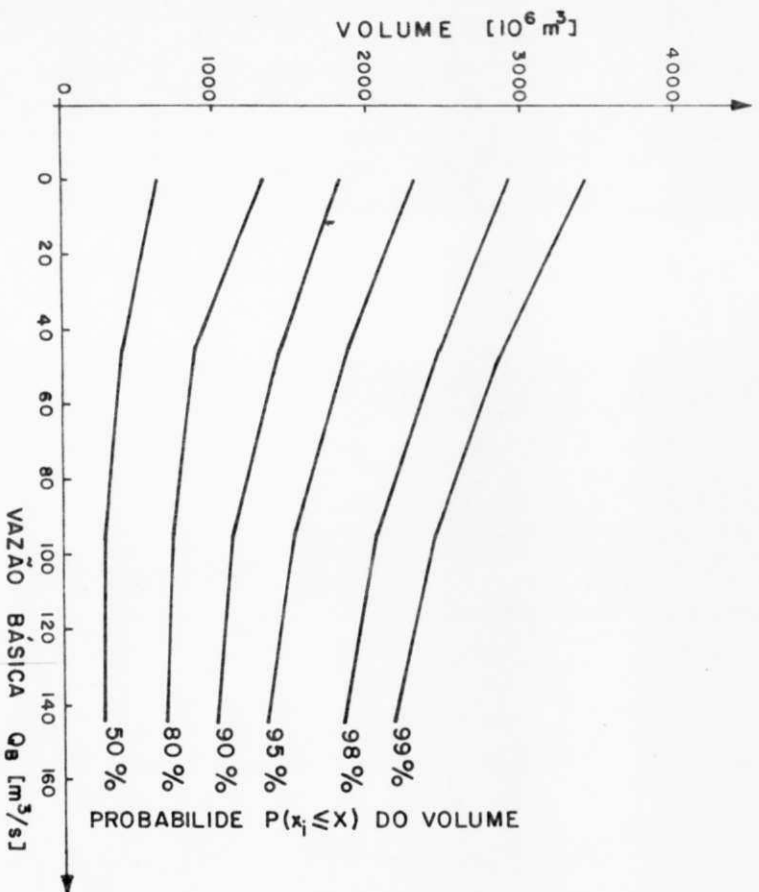
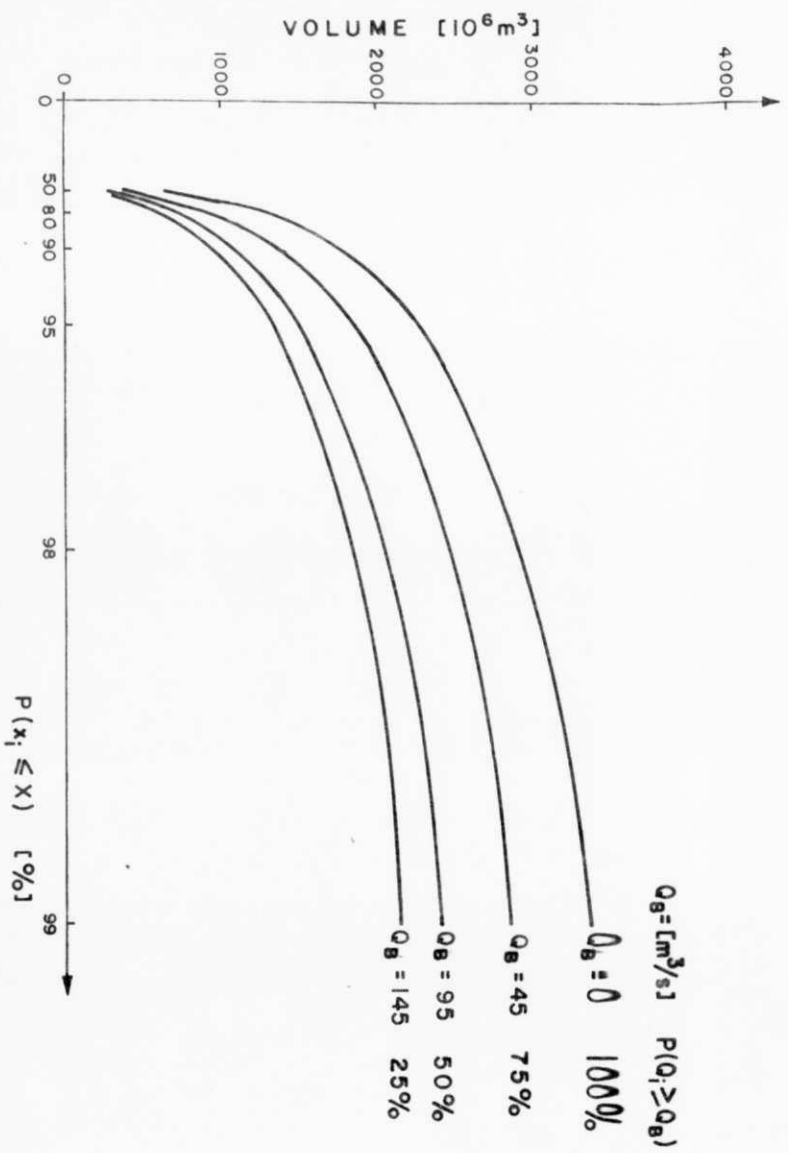


Fig. 4.2.5 - Relação entre volume-vazão básica-probabilidade para o rio Salgado na estação Icoí.

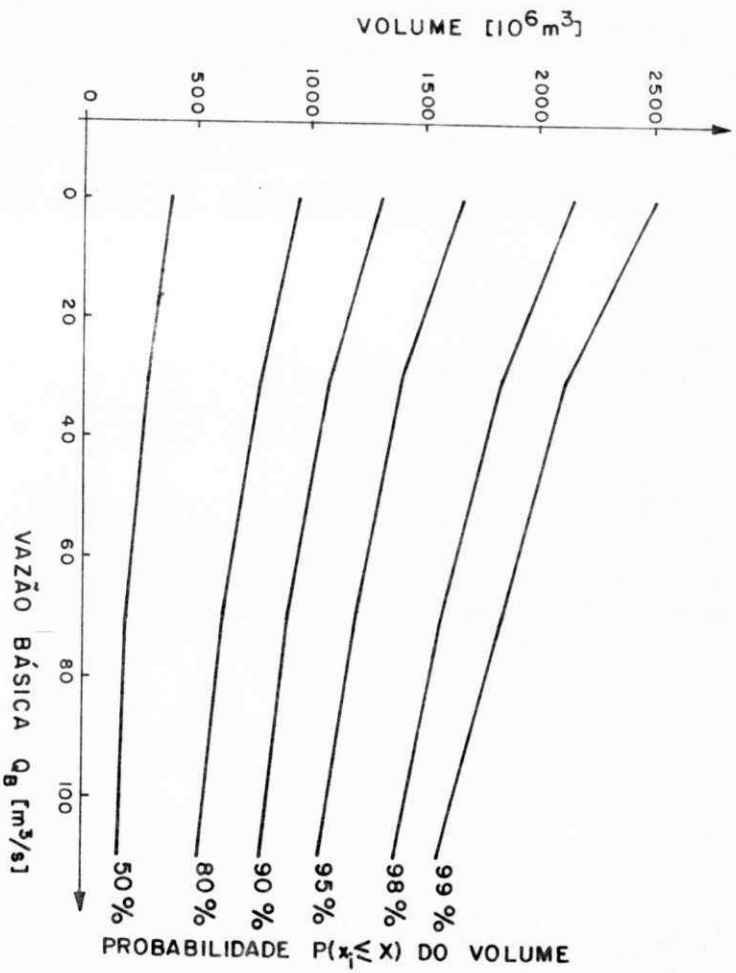
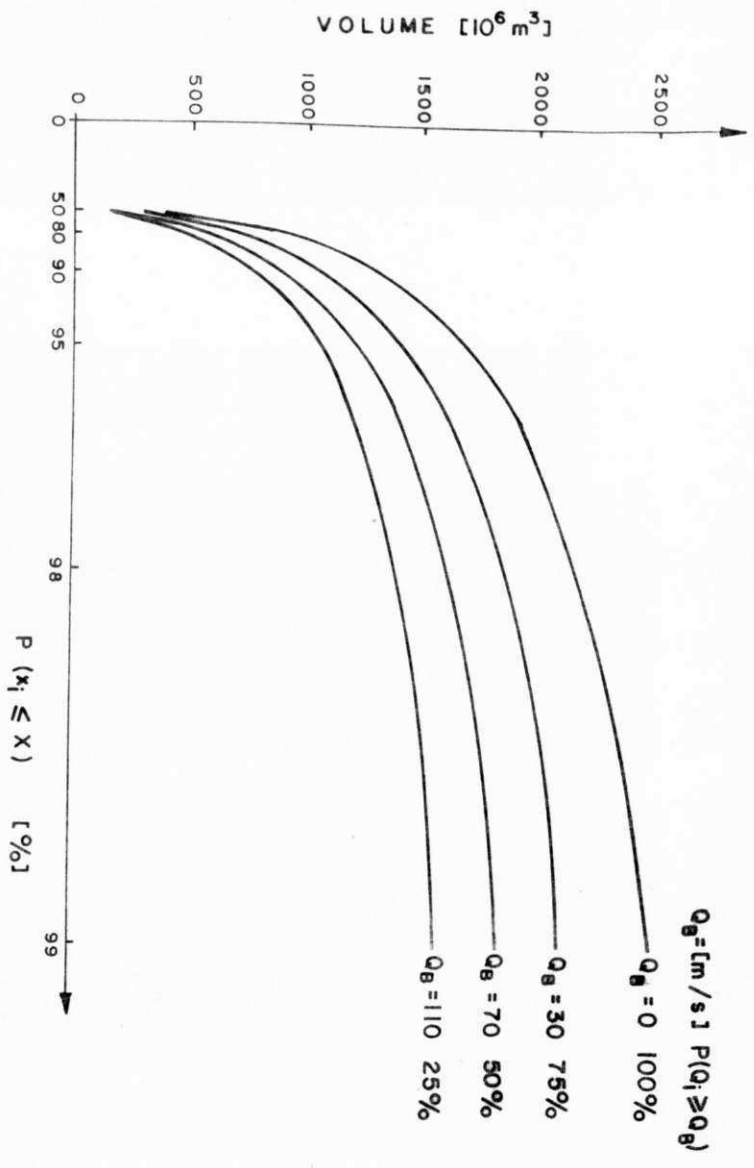


Fig. 4.2.6 - Relação entre volume - vazão básica - probabilidade para o rio Quixeramobim na estação Quixeramobim.

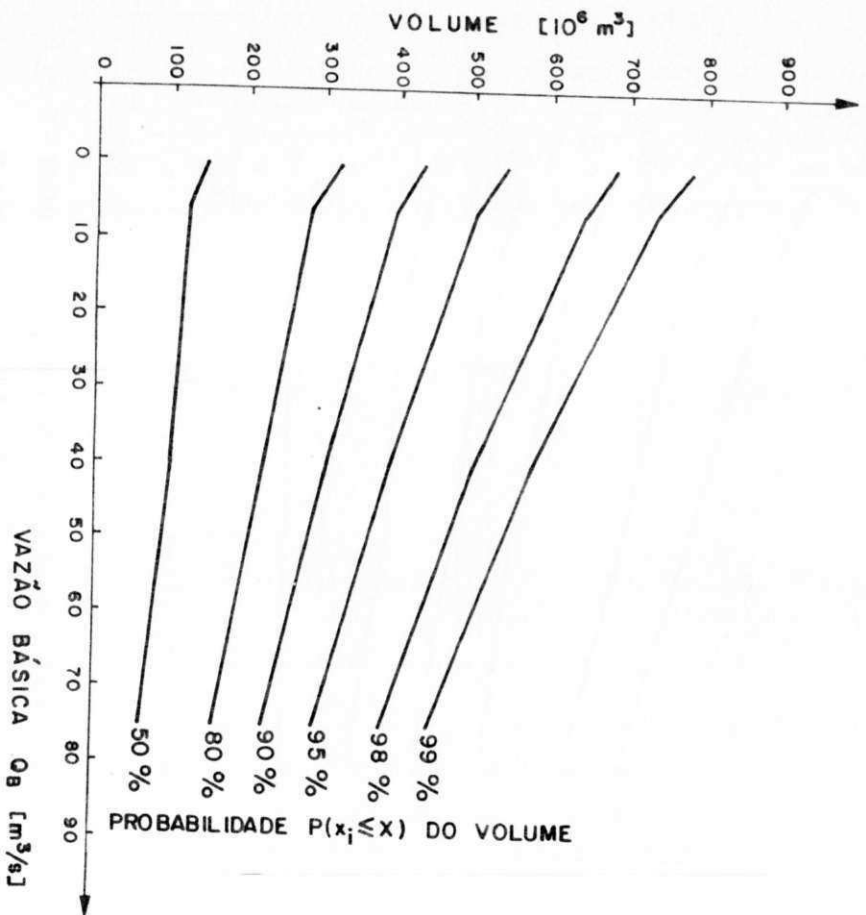
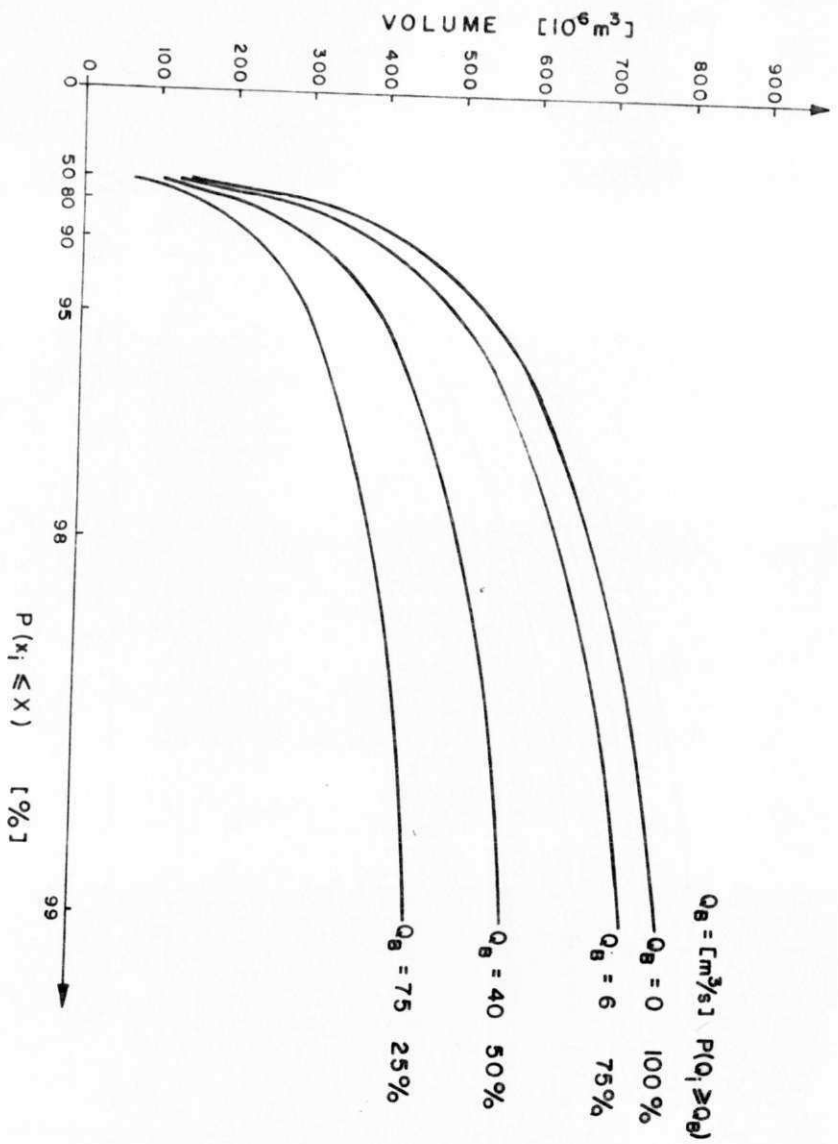


Fig. 4.2.7 - Relação entre volume-vazão básica-probabilidade para o rio Apodi na estação Pau dos Ferros.

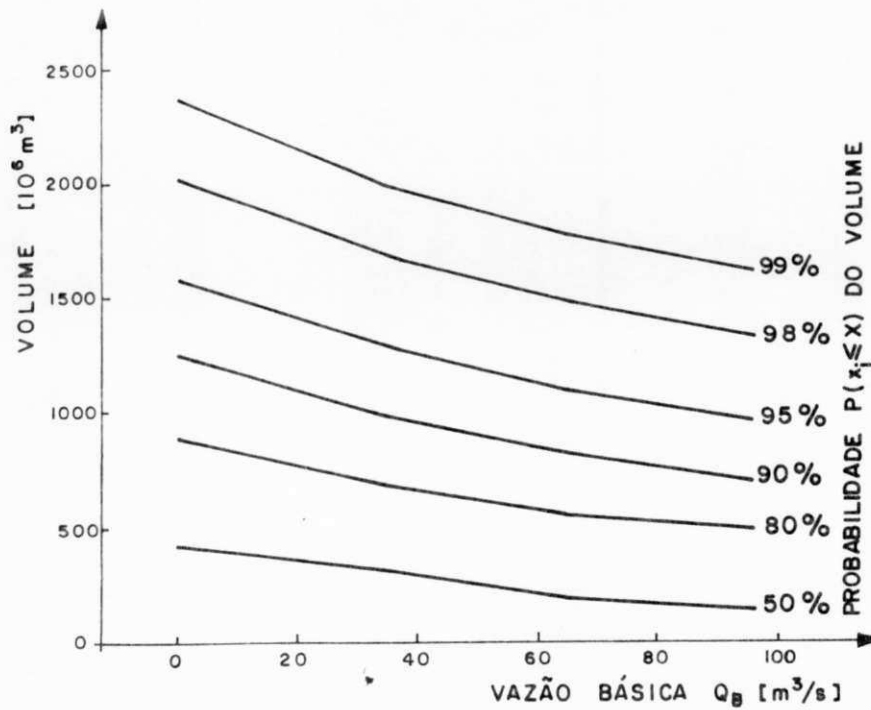
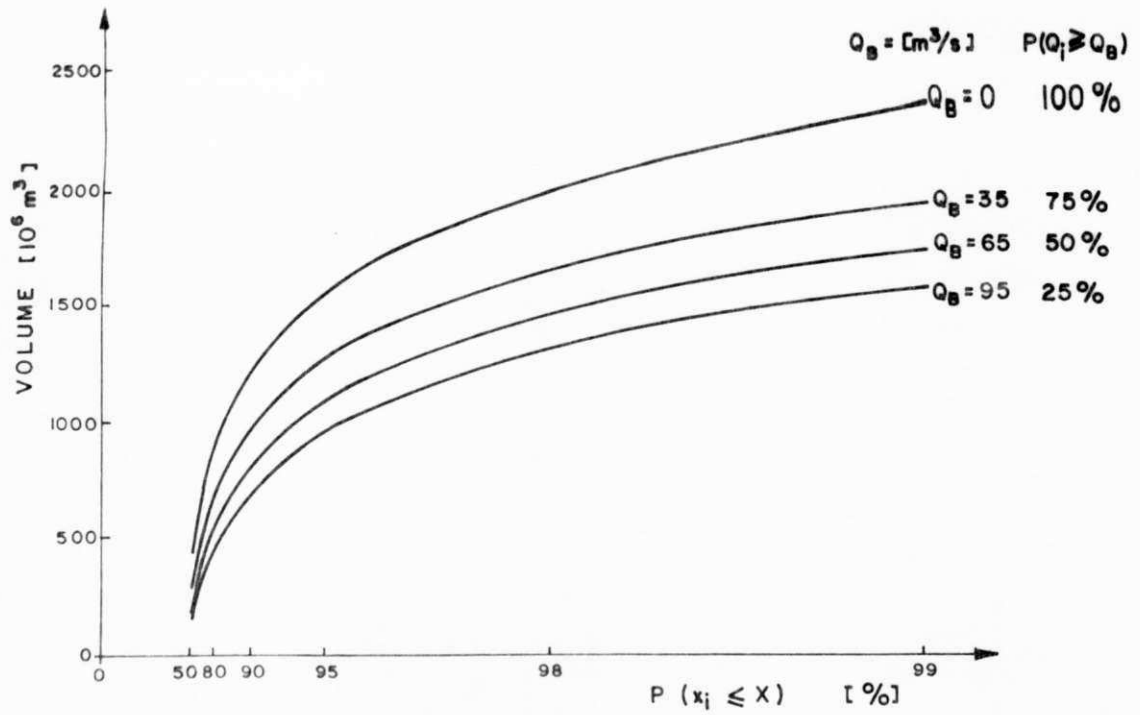


Fig. 4.2.9 - Relação entre volume-vazão básica-probabilidade para o rio Seridó na estação São Fernando.

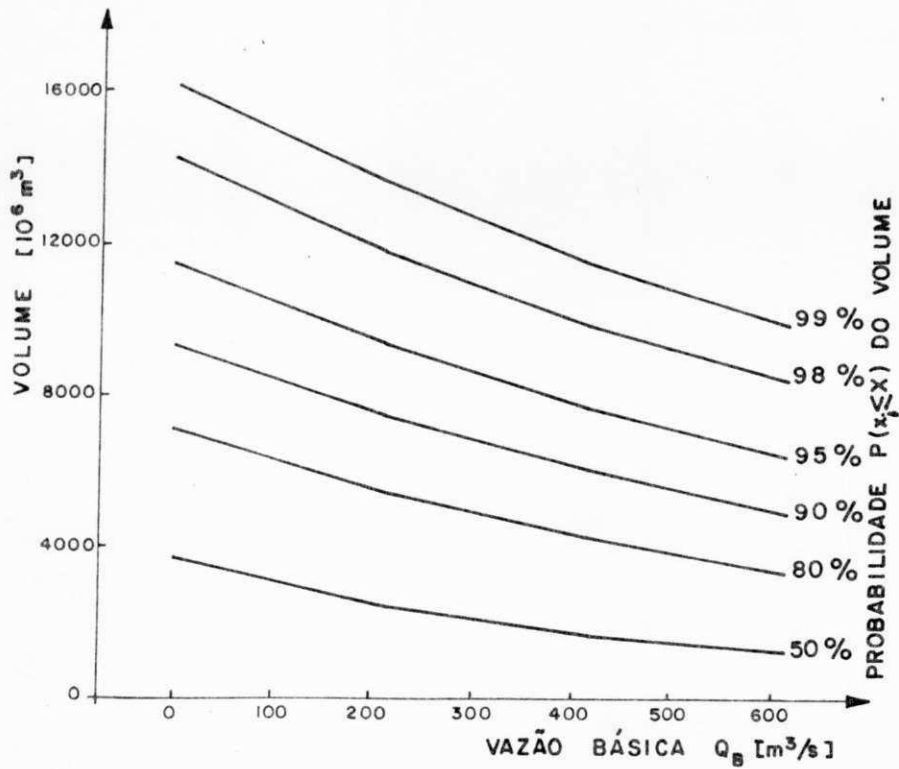
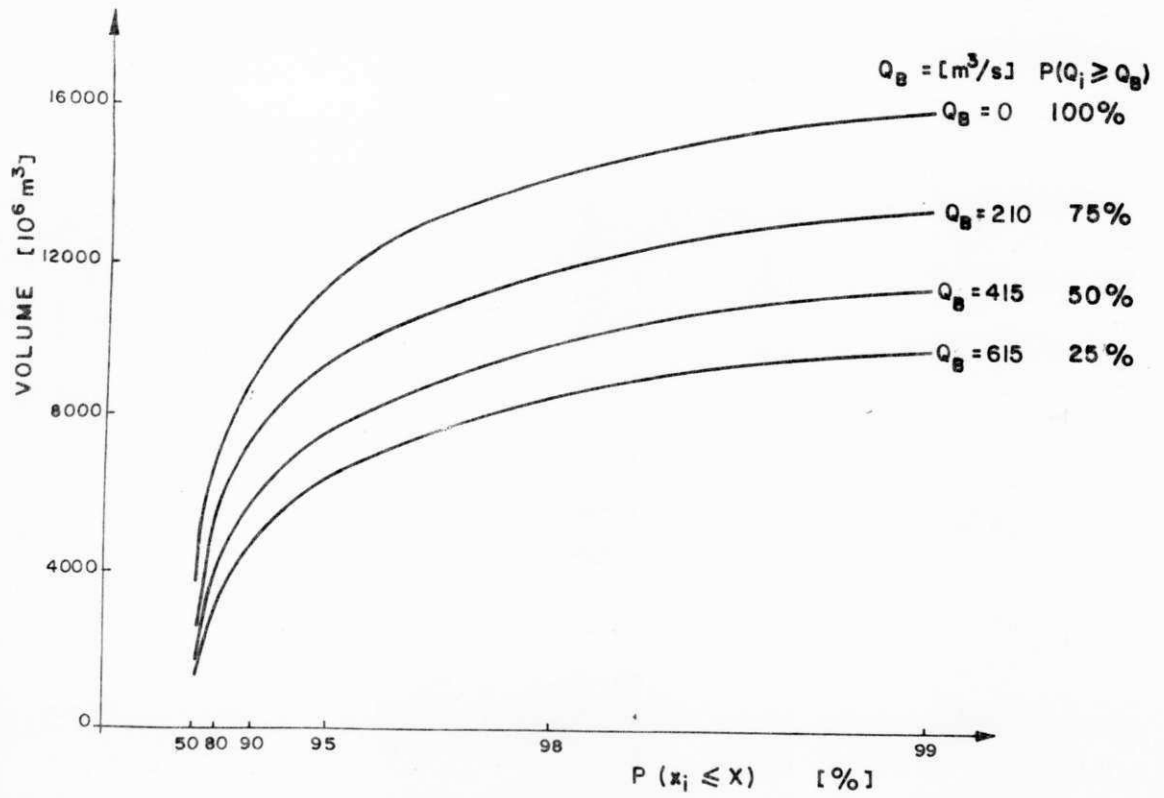


Fig. 4.2.10 - Relação entre volume-vazão básica-probabilidade para o rio Piranhas na estação Acauã - Poaçã.

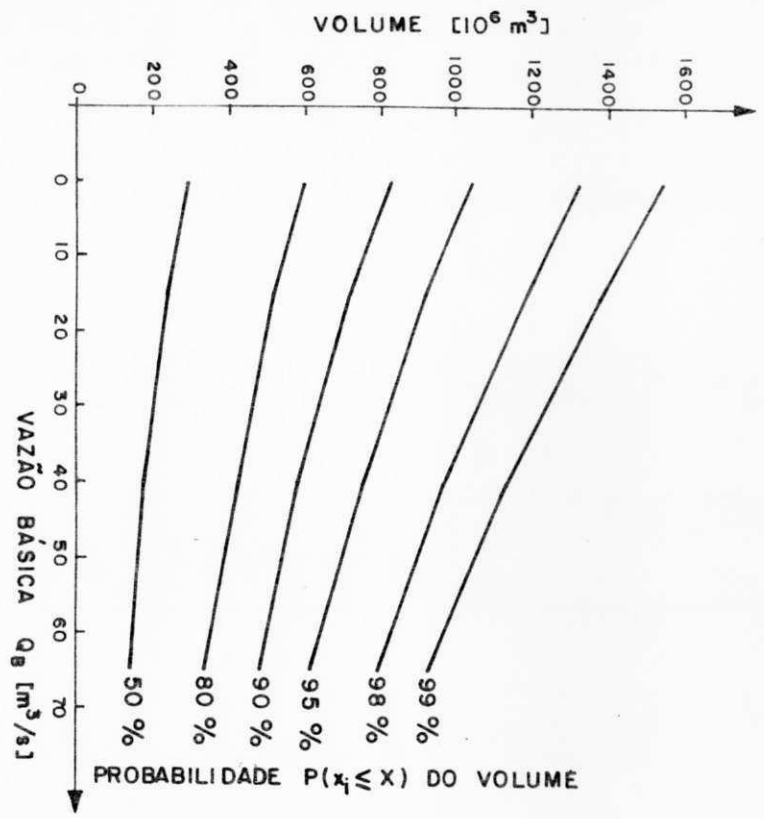
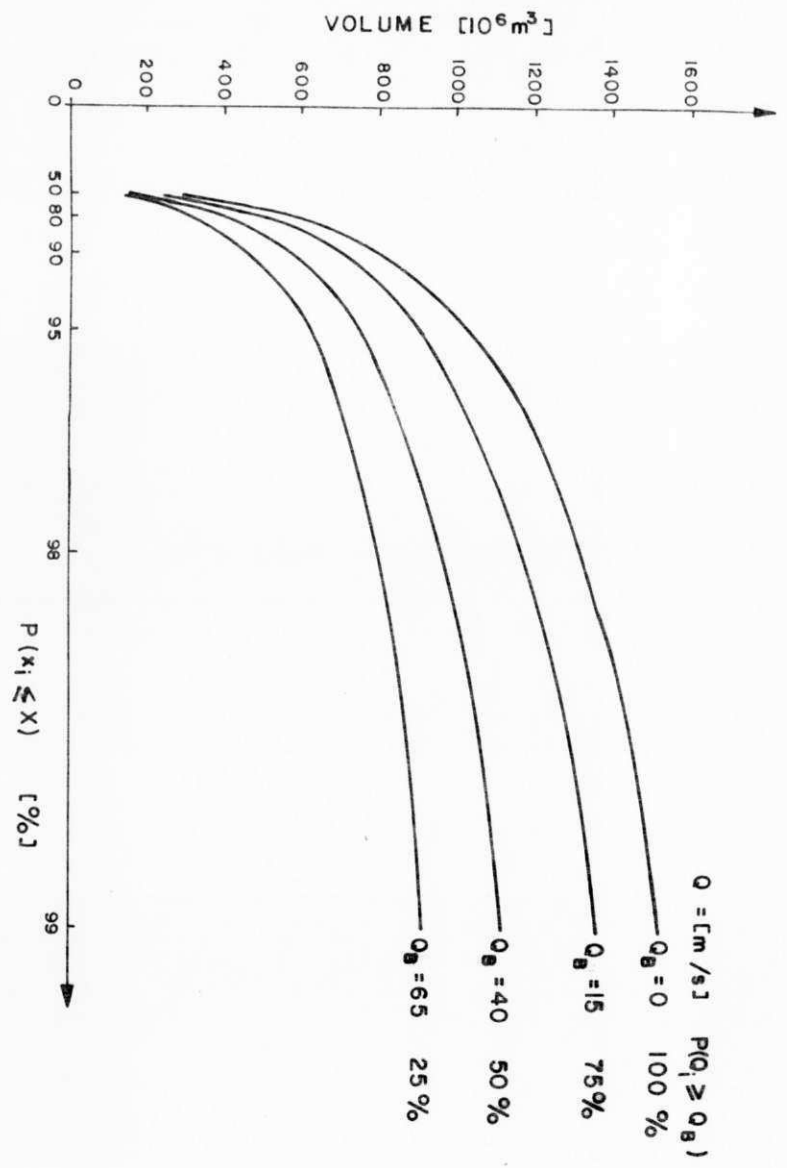


Fig.4.2.11 - Relação entre volume-vazão básica-probabilidade para o rio Piancó na estação Piancó.

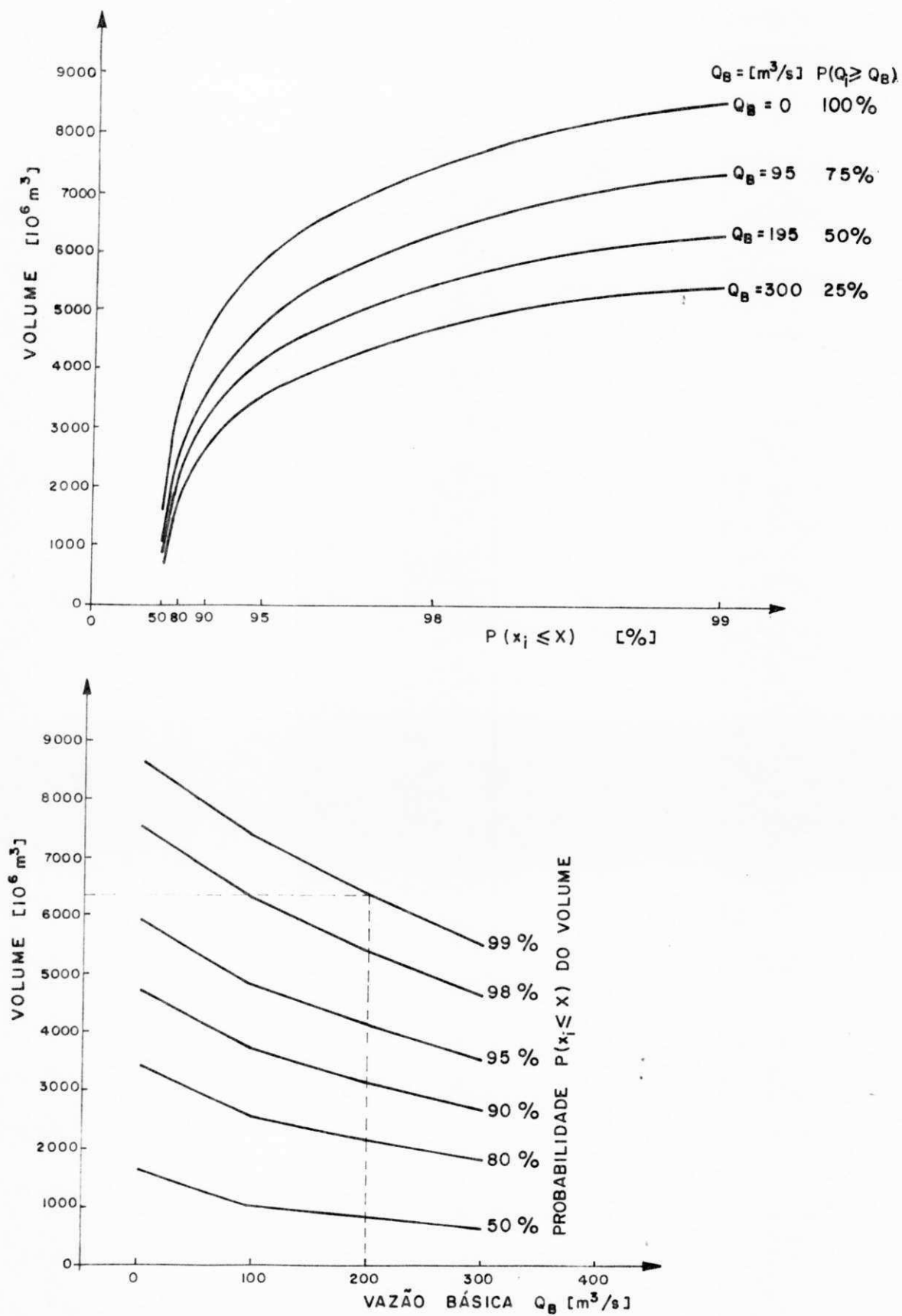


Fig. 4.2.12 - Relação entre volume-vazão básica-probabilidade para o rio Piranhas na estação Jardim de Piranhas.

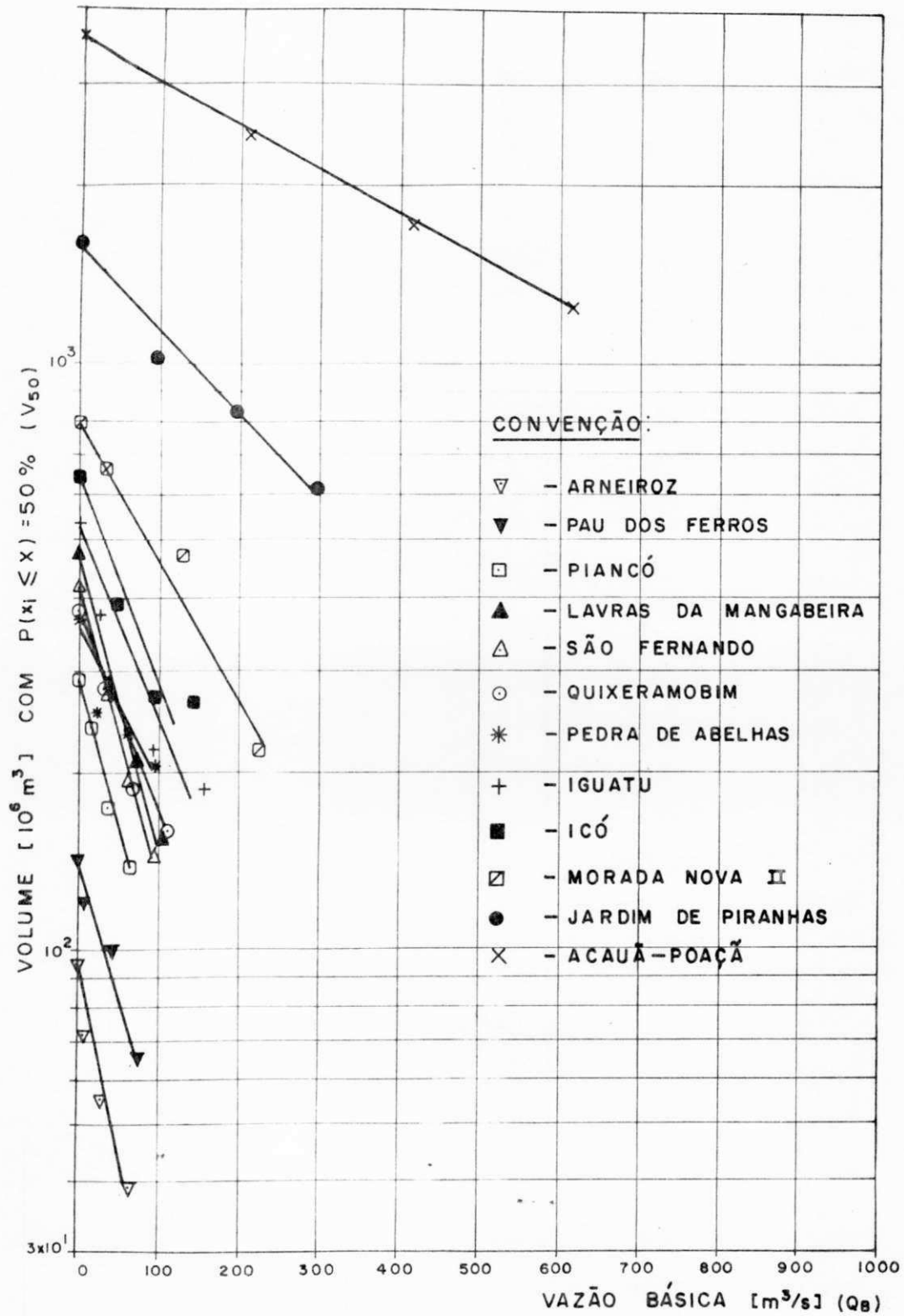


Fig.5.1.1 - Volume versus vazão básica para todas as estações e probabilidade $P(x_i \leq X) = 50\%$.

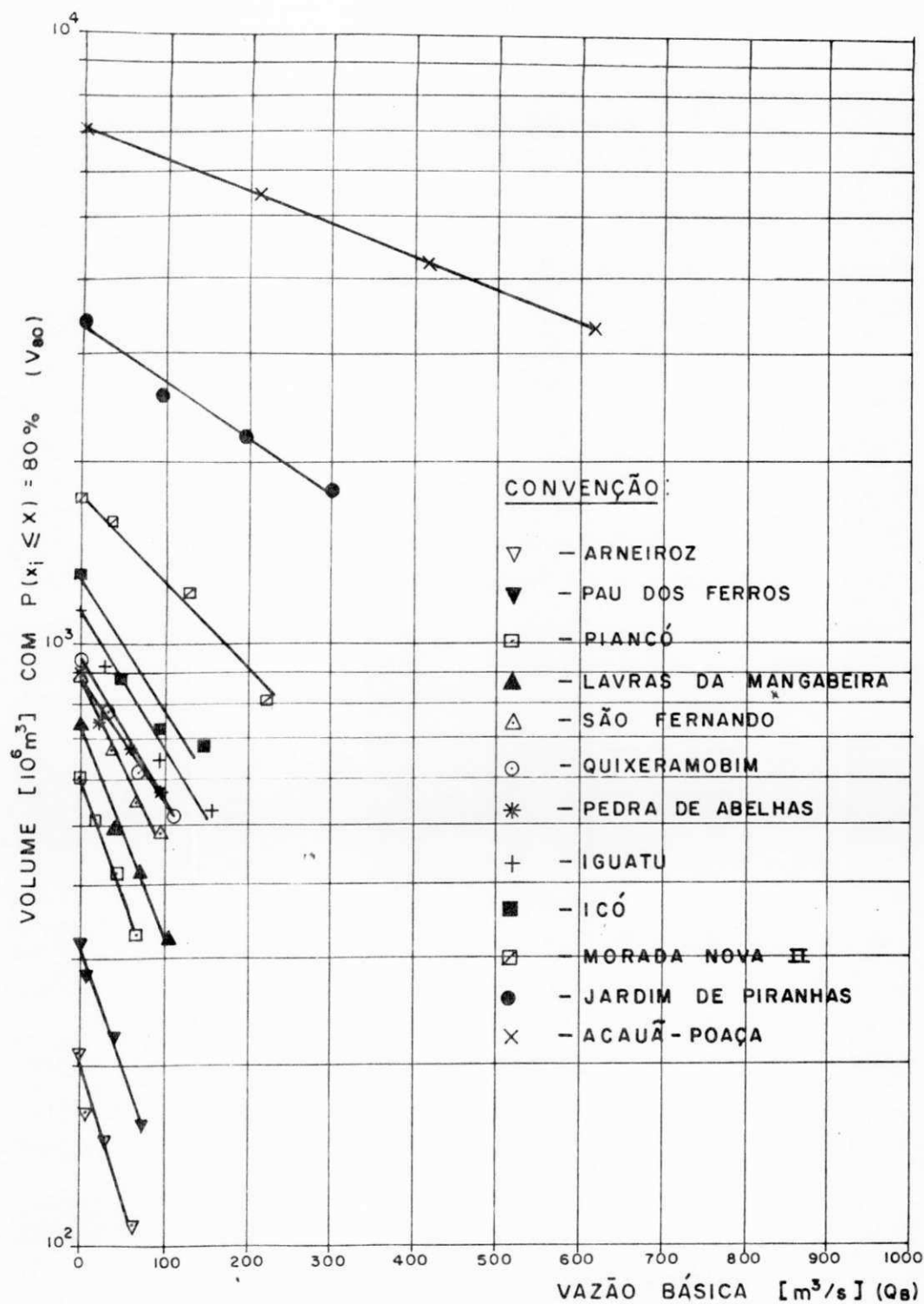


Fig. 5.1.2 - Volume versus vazão básica para todas as estações e probabilidade $P(x_i \leq X) = 80\%$.

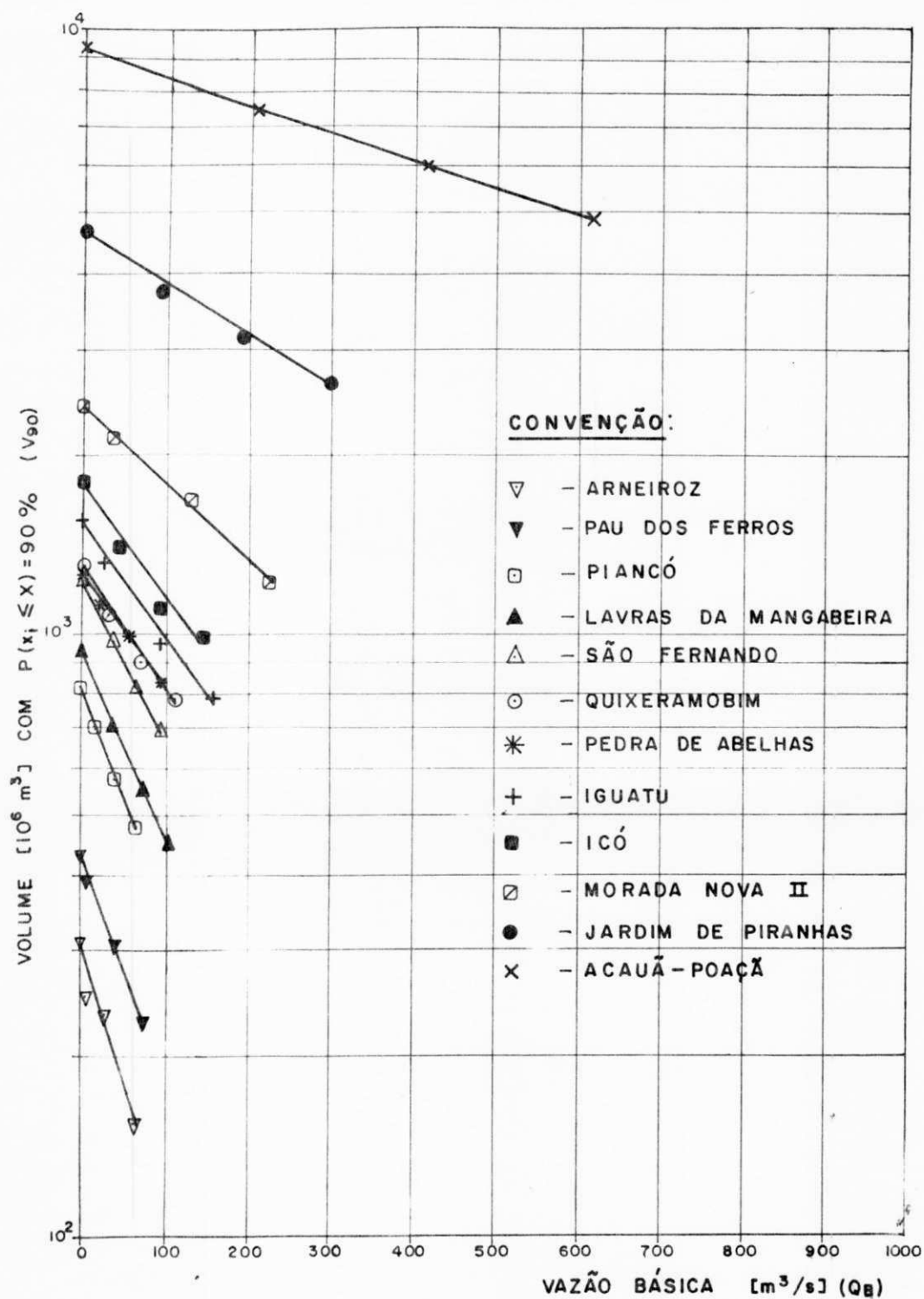


Fig.5.1.3 - Volume versus vazão básica para todas as estações e probabilidade $P(x_i \leq X) = 90\%$.

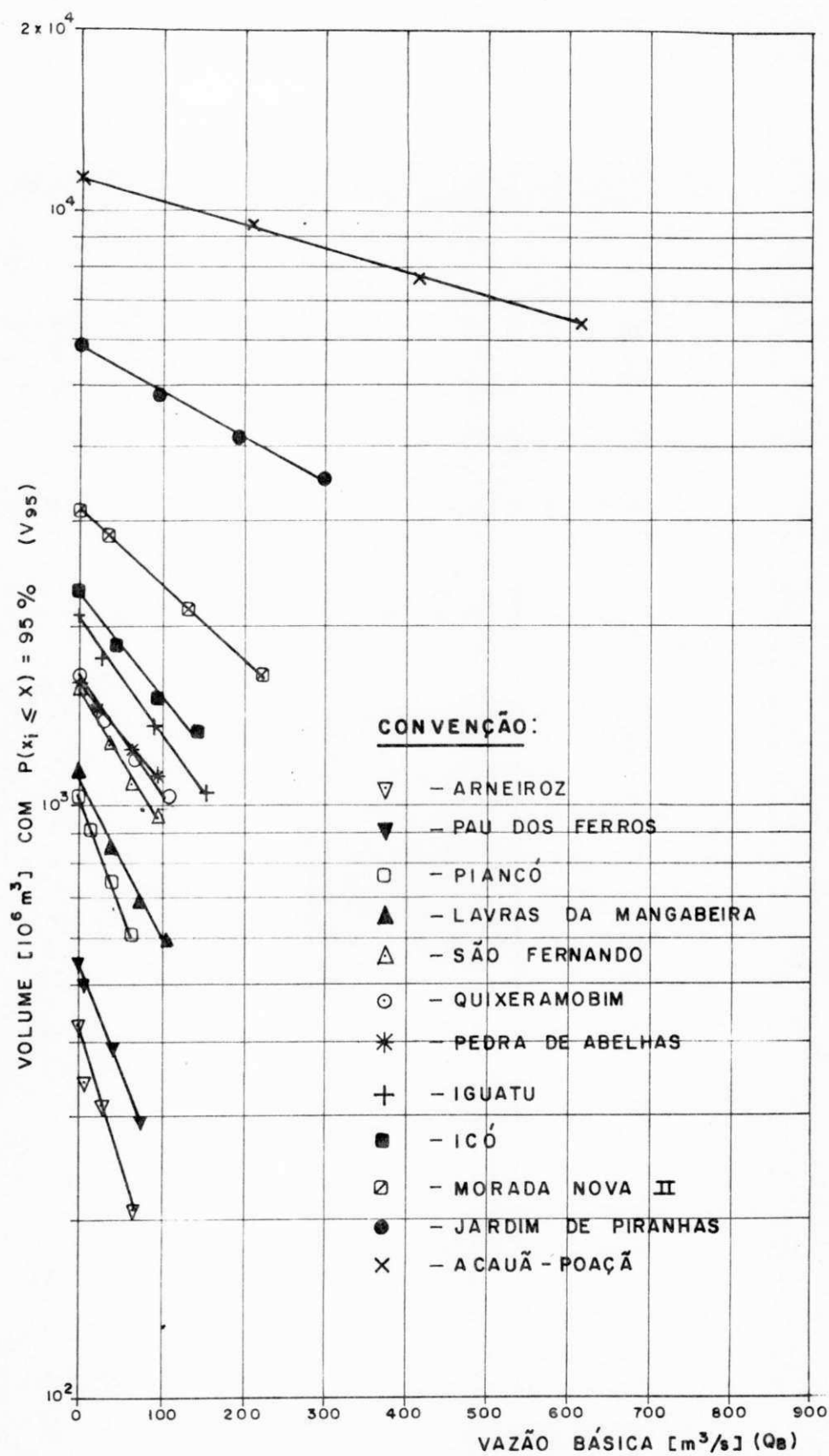


Fig.5.1.4- Volume versus vazão básica para todas as estações e probabilidade $P(x_i \leq X) = 95\%$.

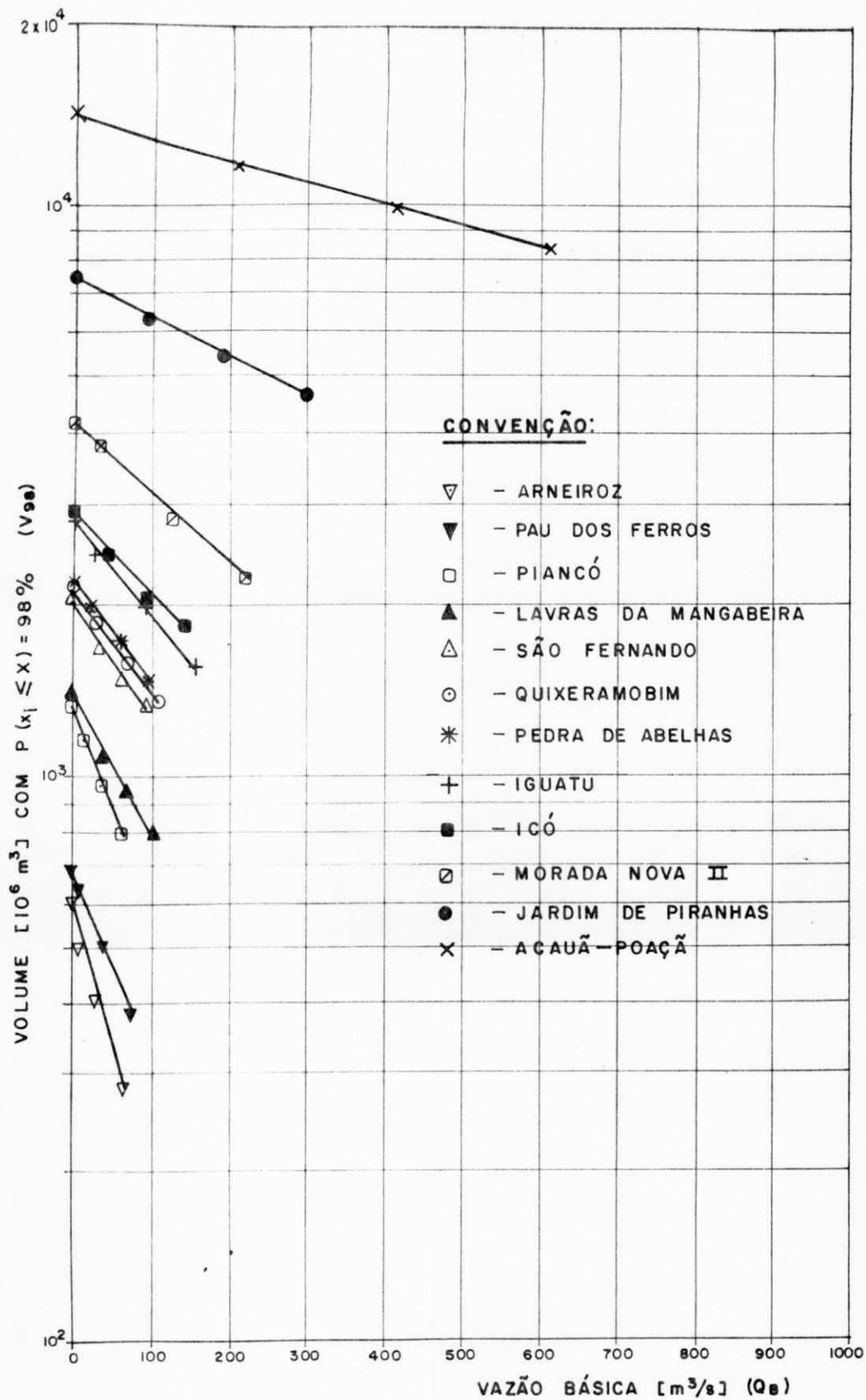


Fig.5.1.5-Volume versus vazão básica para todas as estações e probabilidade $P(x_1 \leq X) = 98\%$.

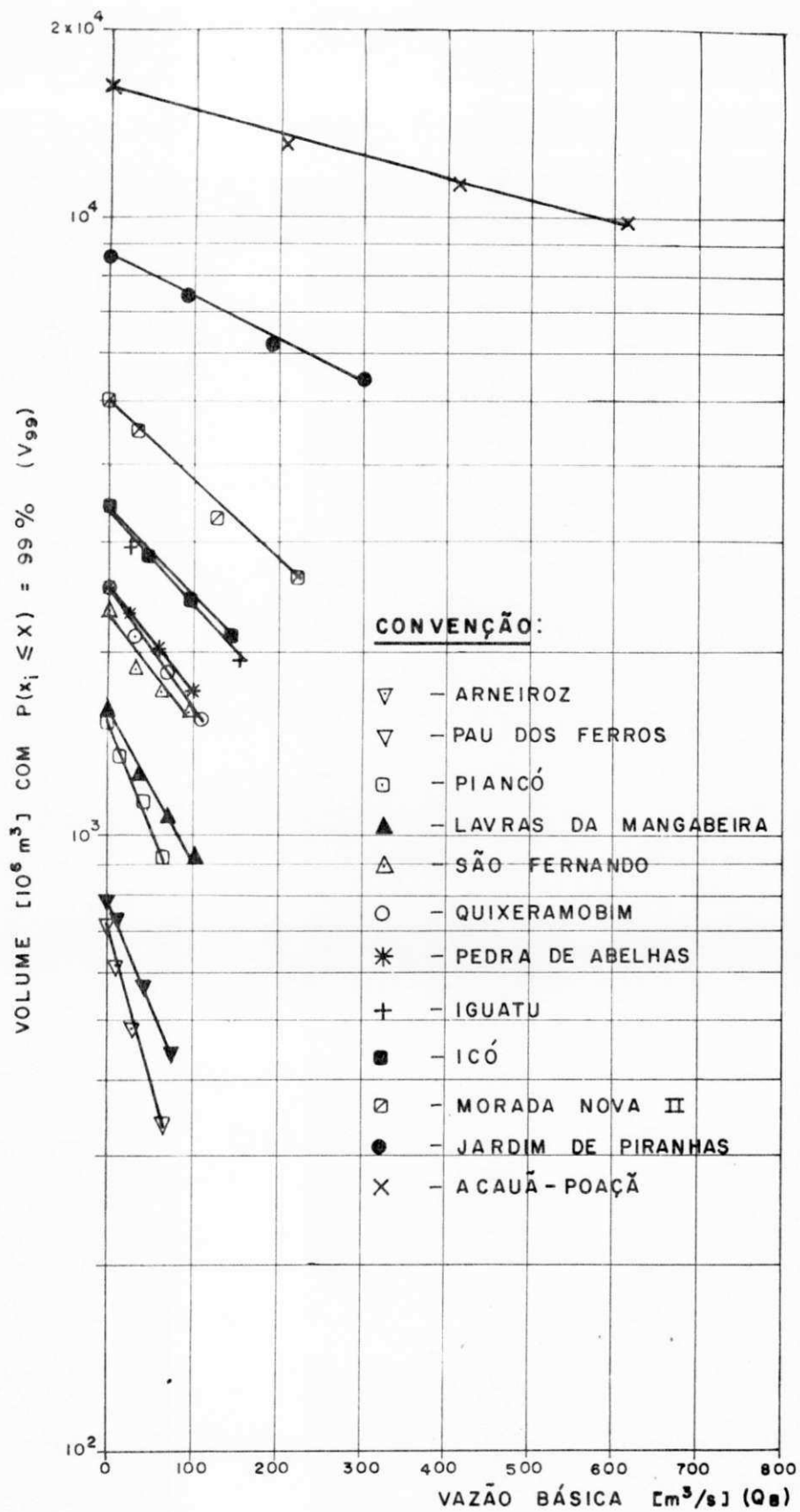


Fig.5.1.6-Volume versus vazão básica para todas as estações e probabilidade $P(x_i \leq X) = 99\%$.

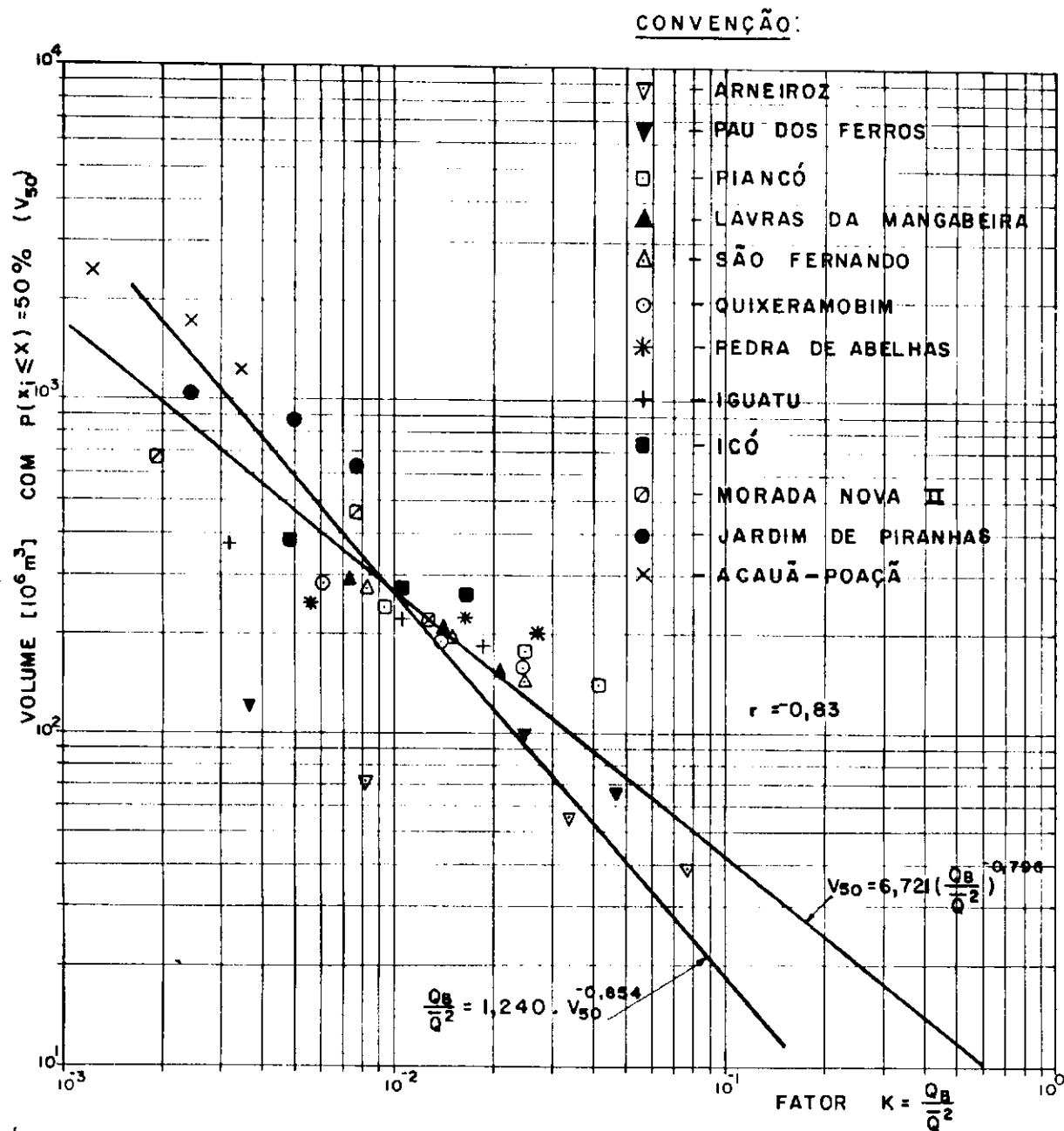


Fig.5.2.1 - Regionalização da relação entre volume e vazão básica para $P(x_i \leq X) = 50\%$.

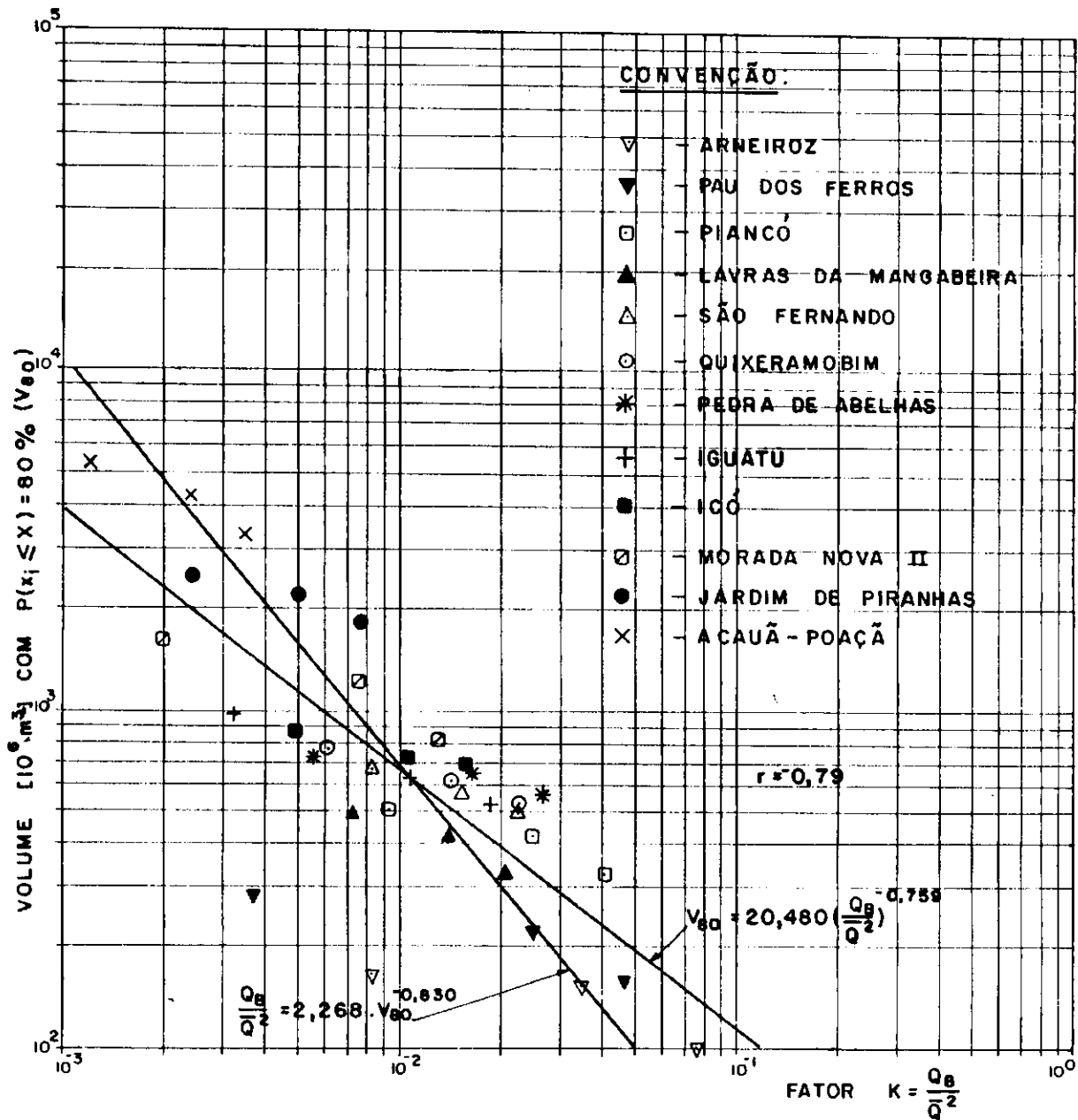


Fig.5.2.2 - Regionalização da relação entre volume e vazão básica para $P(x_i \leq X) = 80\%$.

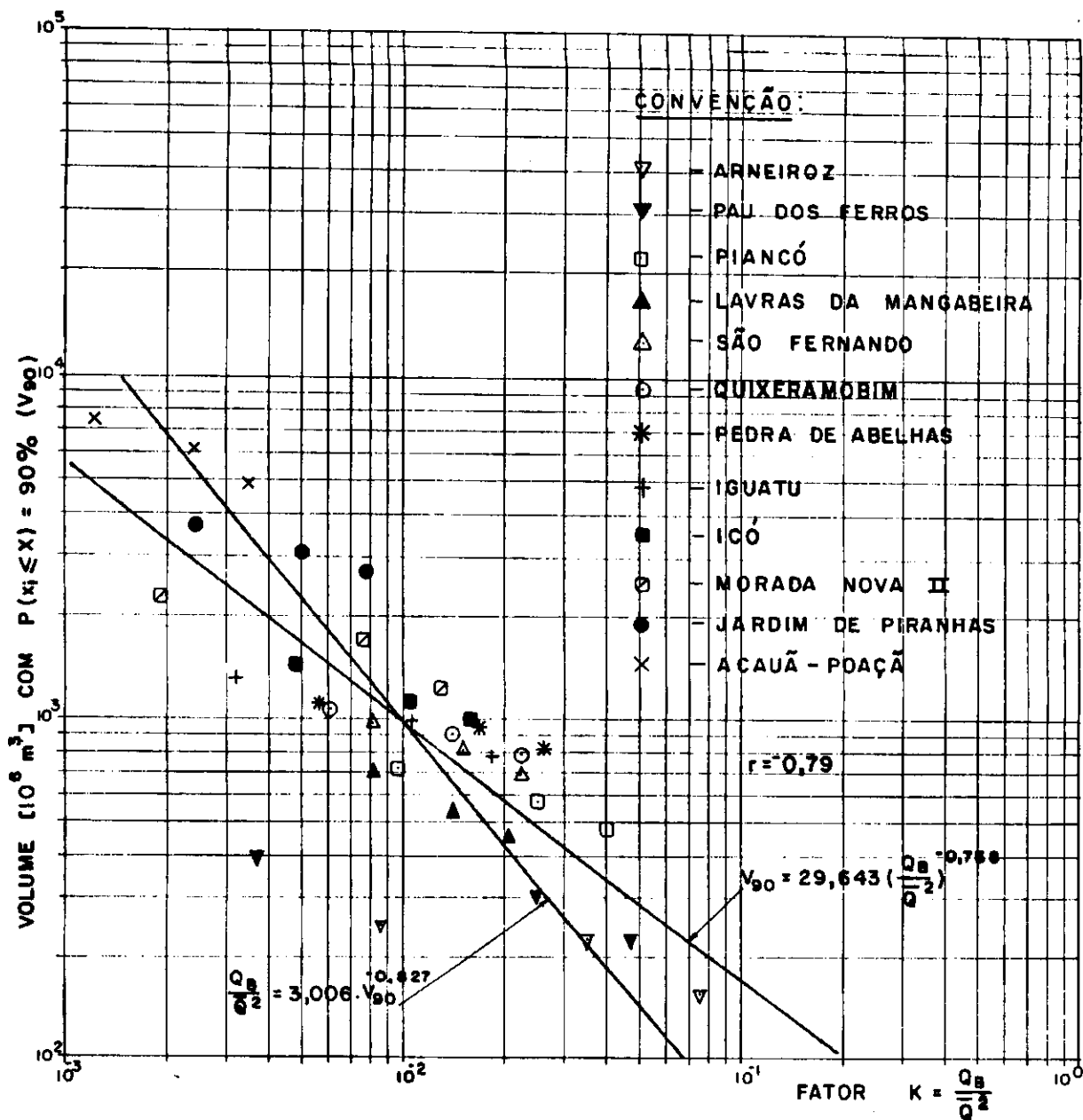


Fig.5.2.3 - Regionalização da realização entre volume e vazão básica para $P(x_i \leq X) = 90\%$.

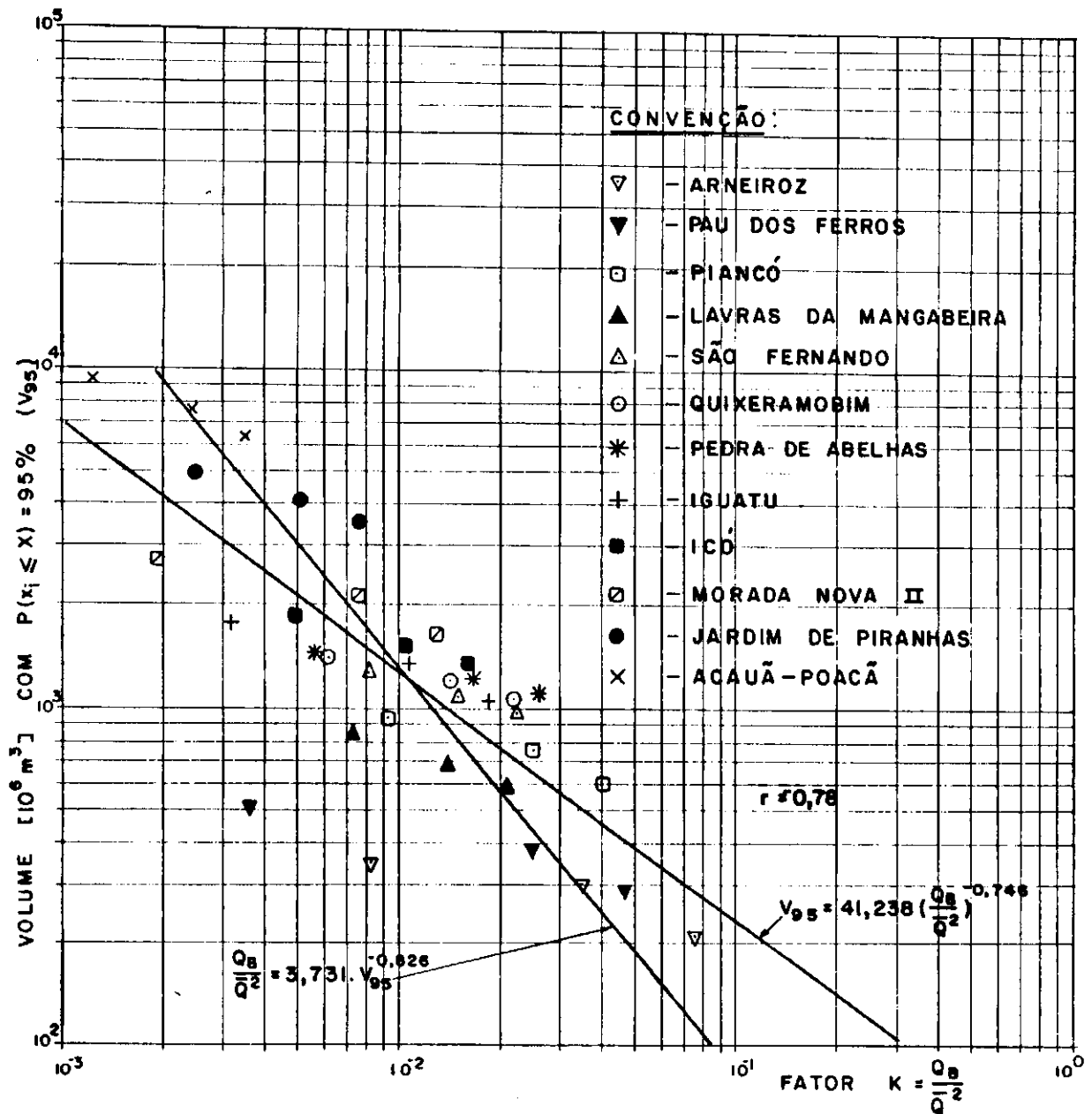


Fig.5.2.4 - Regionalização da relação entre volume e vazão básica para $P(x_i \leq X) = 95\%$.

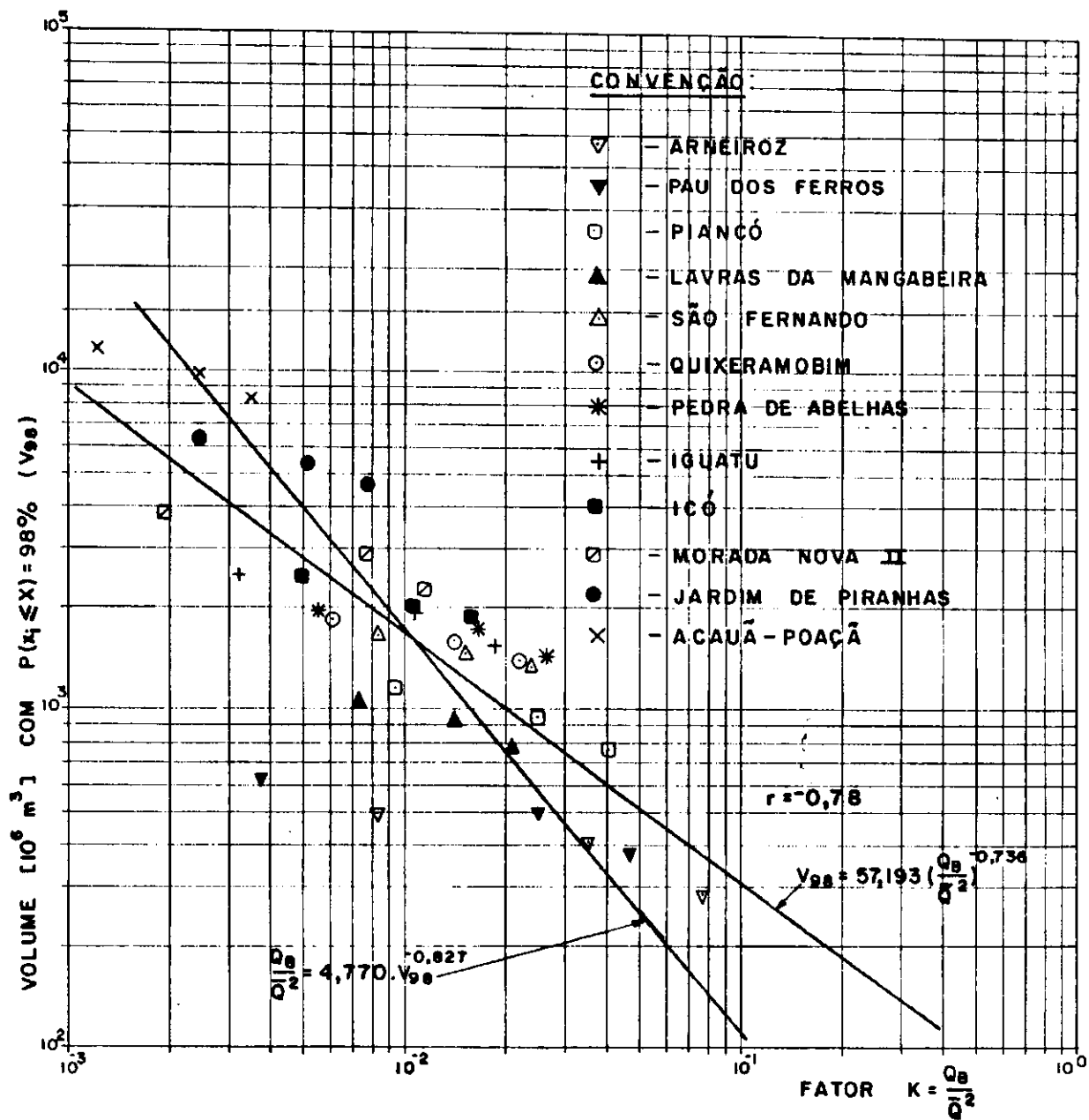


Fig. 5.2.5 - Regionalização da relação entre volume e vazão básica para $P(x_i \leq X) = 98\%$.

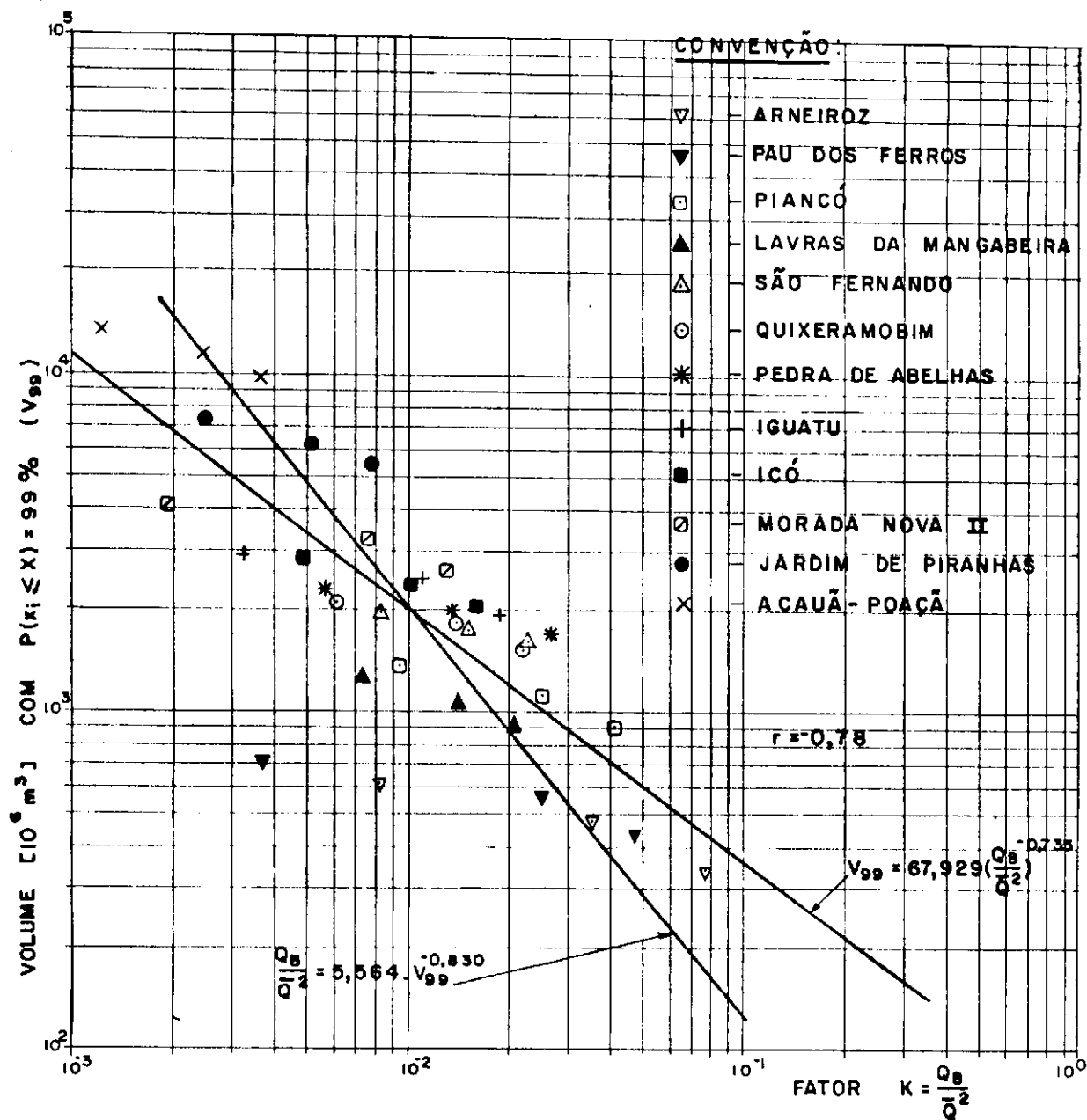


Fig.5.2.6 - Regionalização da relação entre volume e vazão básica para $P(x_i \leq X) = 99\%$

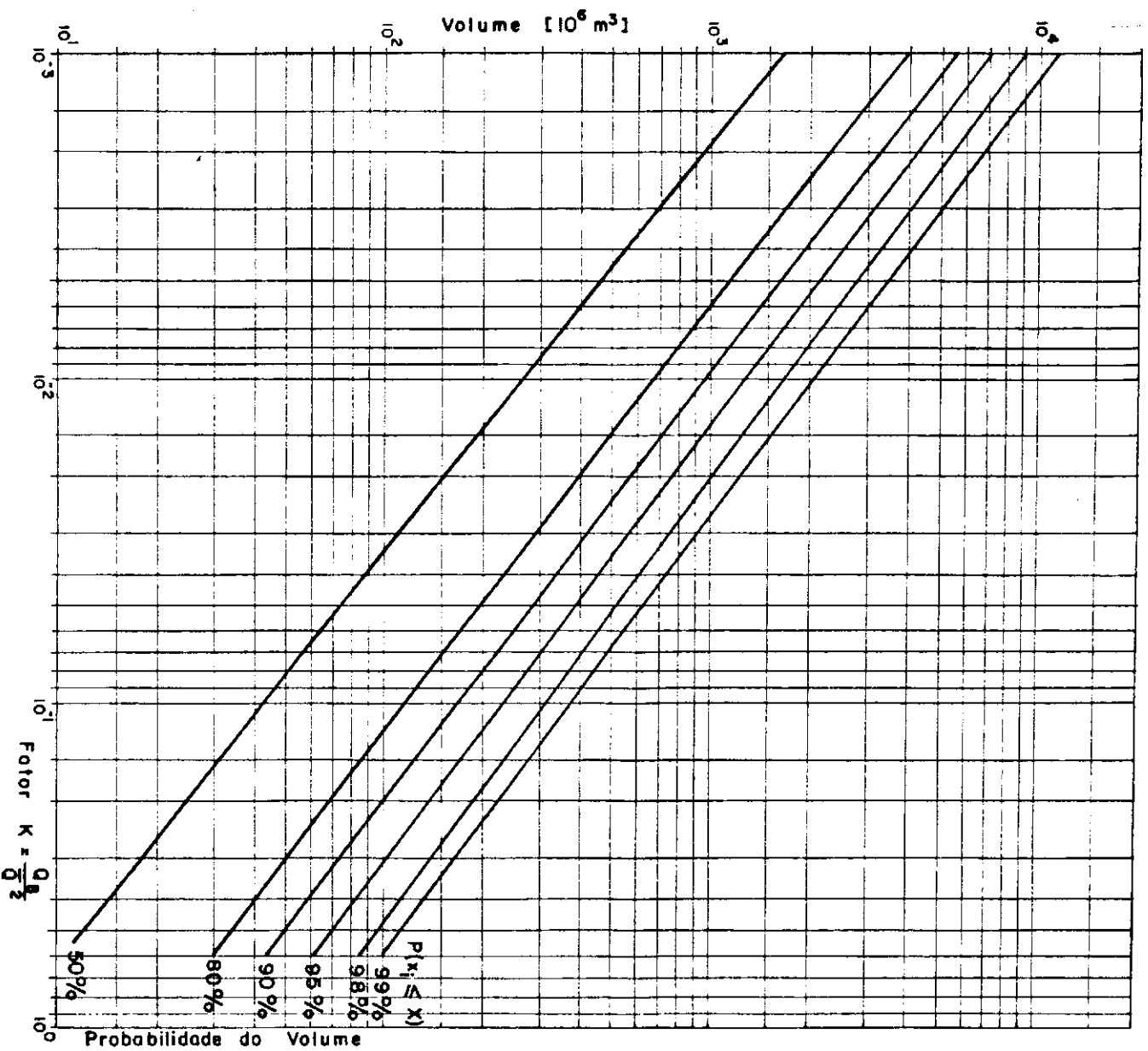


Fig.5.3.1 - Regionalização do relação entre volume e vazão básica para $P(x_i \leq X) = 50\%, 80\%, 90\%, 95\%, 98\%, 99\%$ na região cons-tituída pelas bacias hidrográficas dos Rios Piranhas, Apodi e Jaguaribe. $LV = f\left(\frac{Q_B}{Q^2}\right) J$

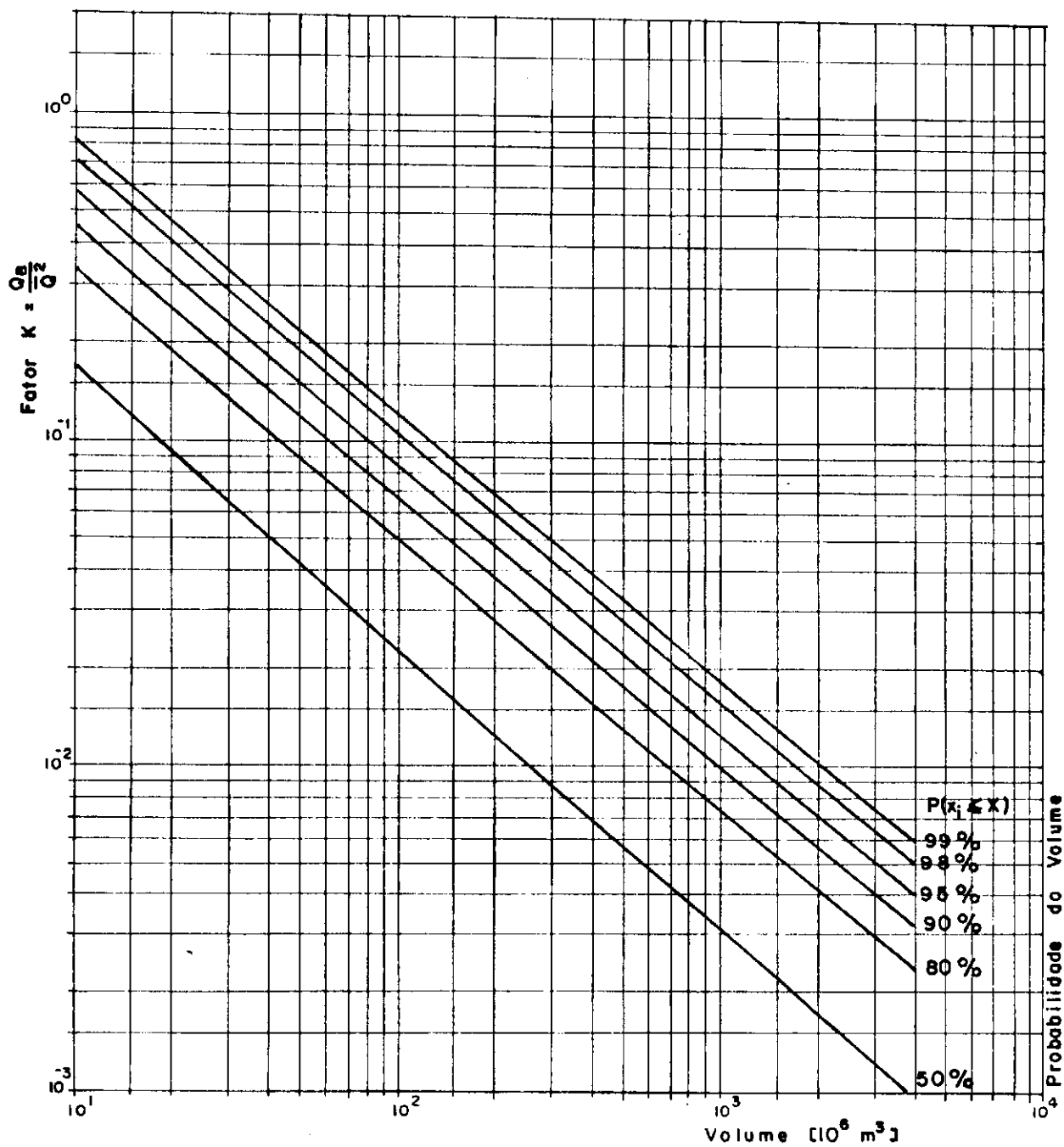


Fig. 5.3.2 - Regionalização da relação entre volume e vazão básica para $P(x_i \leq X) = 50\%; 80\%, 90\%, 95\%, 98\%, 99\%$ na região constituída pelas bacias hidrográficas dos Rios Piranhas, Apodi e Jaguaribe. [$\frac{Q_a}{Q^2} = f(V)$]

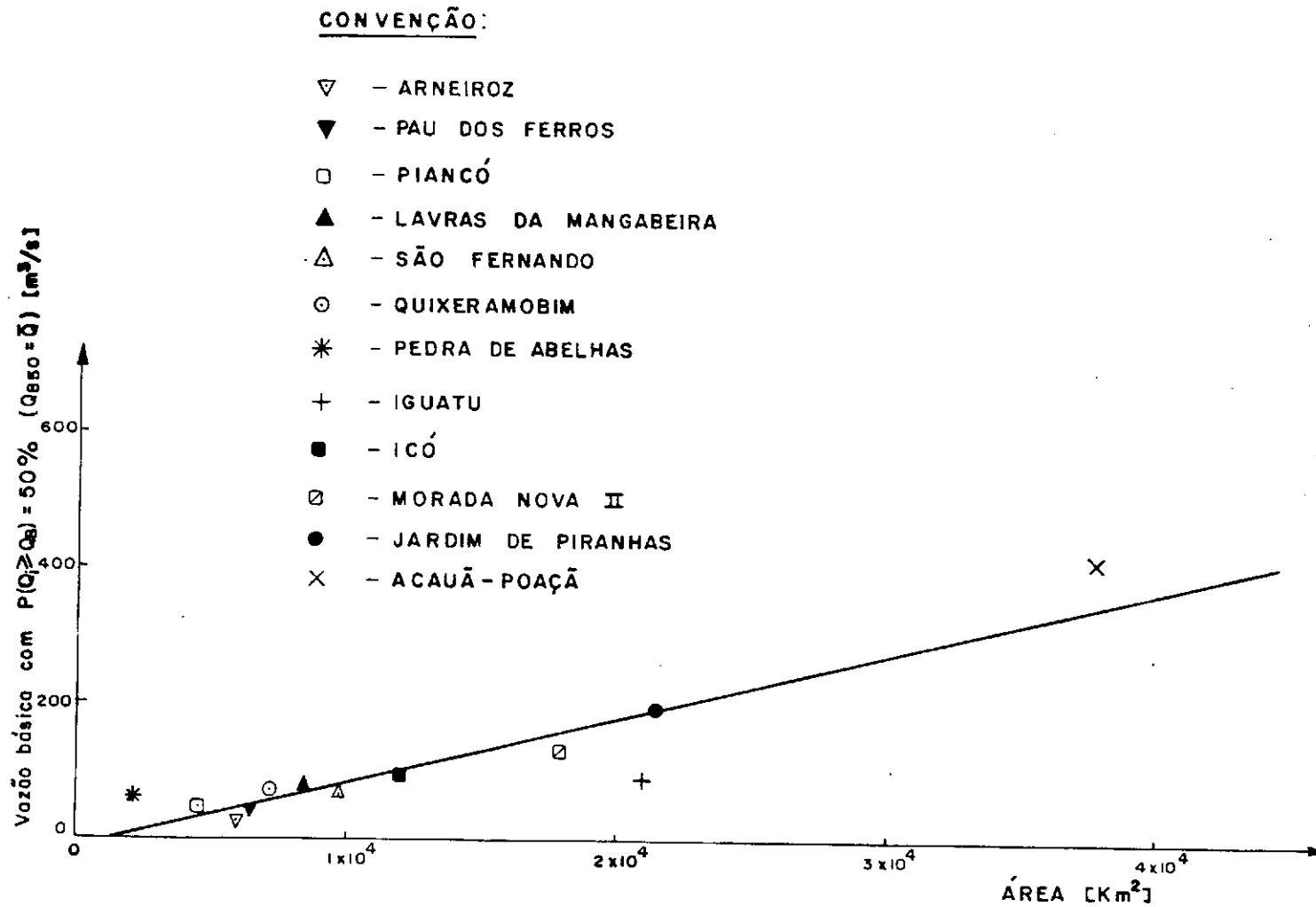


Fig. 5.4 - Relação entre a área de drenagem e a vazão básica com probabilidade $P(Q_i \geq Q_b) = 50\%$.

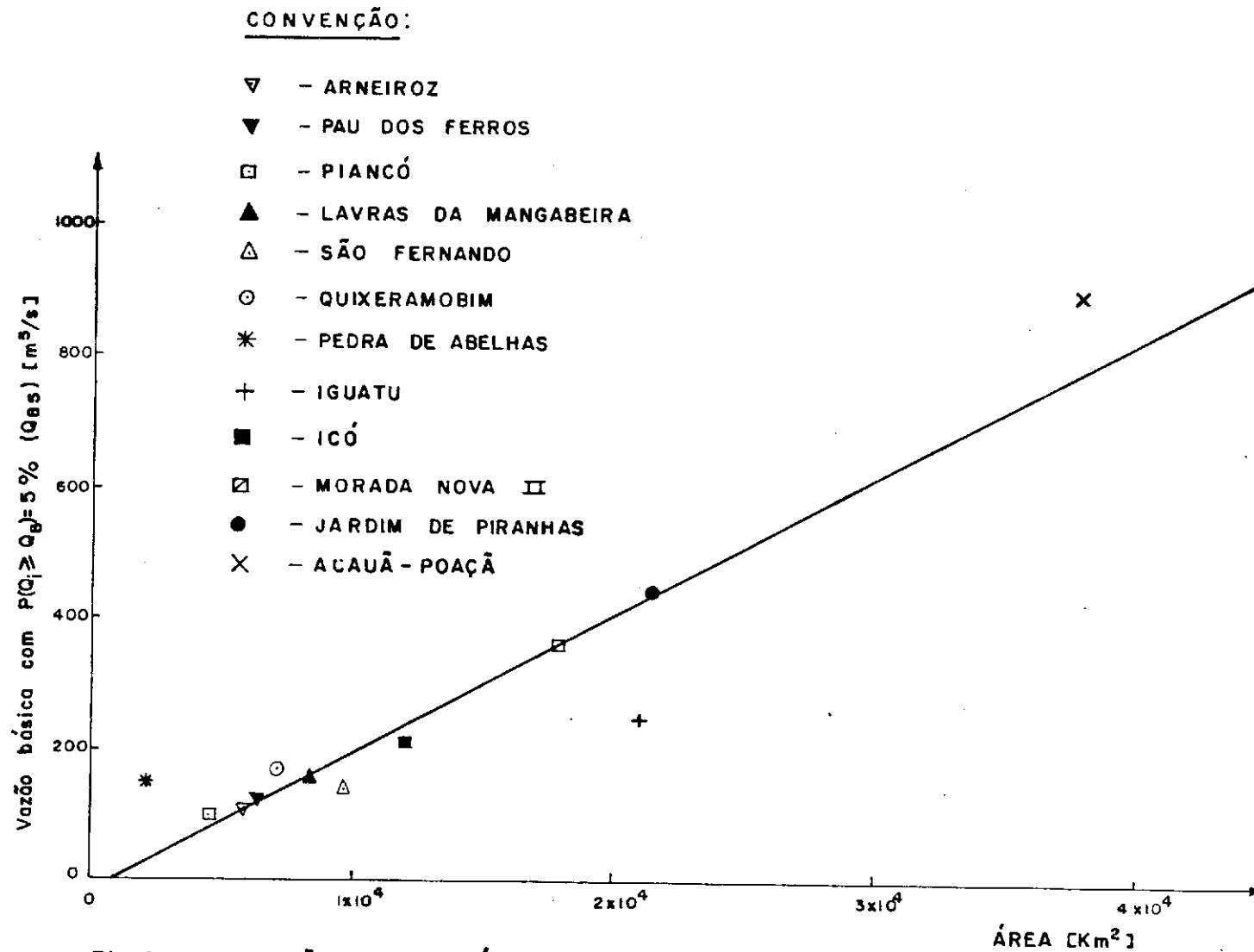


Fig.6.1.1 - Relação entre a área de drenagem e a vazão básica com probabilidade $P(Q_i \geq Q_b) = 5\%$.

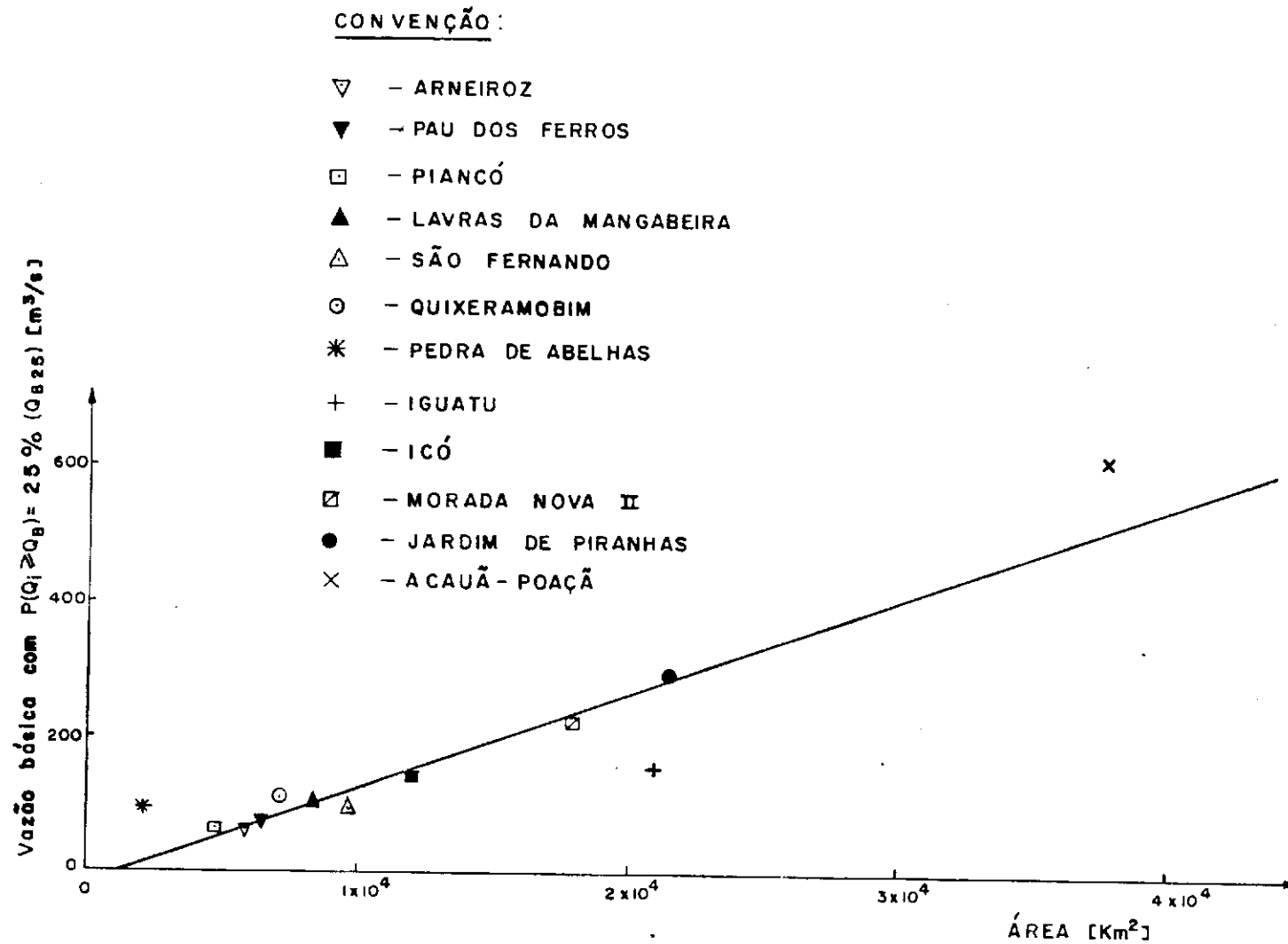


Fig.6.1.2 - Relação entre a área de drenagem e a vazão básica com probabilidade $P(Q_i \geq Q_B) = 25\%$.

CONVENÇÃO:

- ▽ - ARNEIROZ
- ▼ - PAU DOS FERROS
- ◻ - PIANCÓ
- ▲ - LAVRAS DA MANGABEIRA
- △ - SÃO FERNANDO
- - QUIXERAMOBIM
- * - PEDRA DE ABELHAS
- + - IGUATU
- - ICÓ
- ◻ - MORADA NOVA II
- - JARDIM DE PIRANHAS
- x - ACAUÃ - POAÇÃ

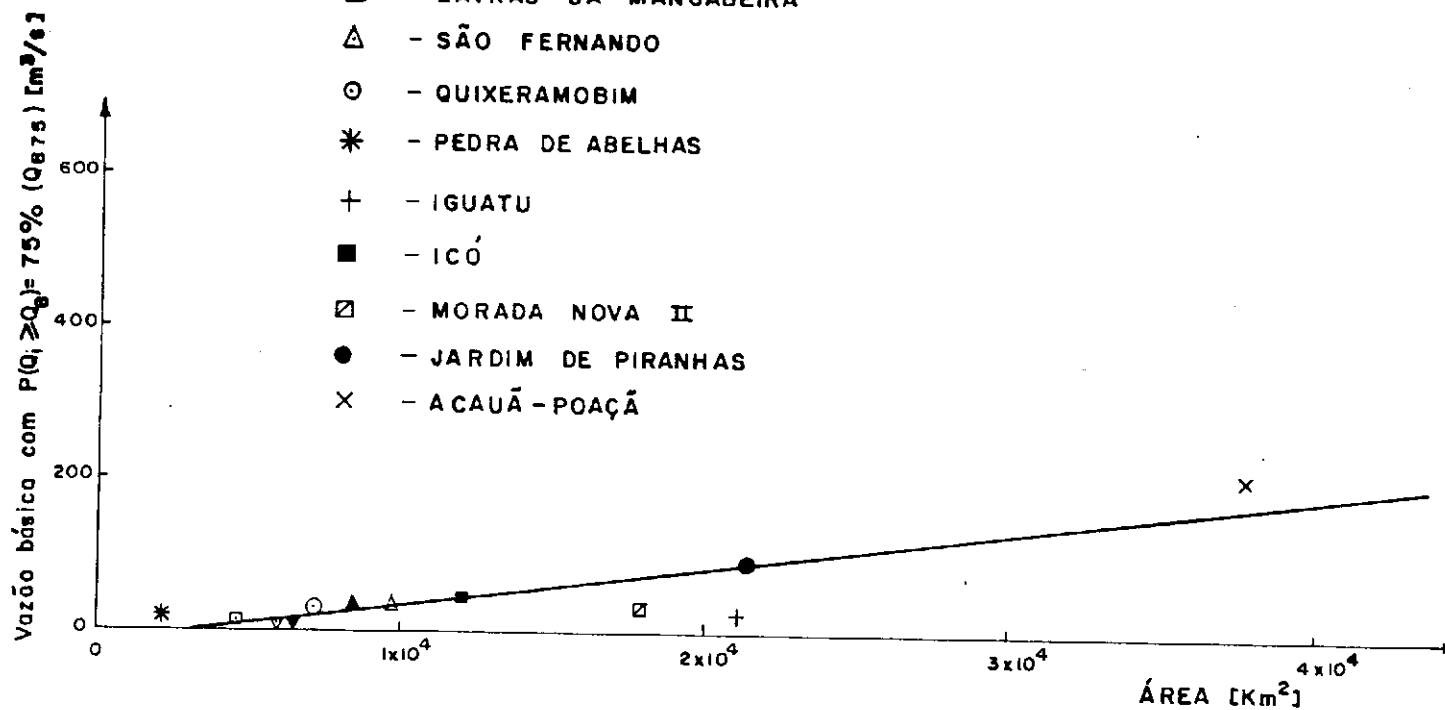


Fig.6.1.3 - Relação entre a área de drenagem e a vazão básica com probabilidade $P(Q_i \geq Q_0) = 75\%$.

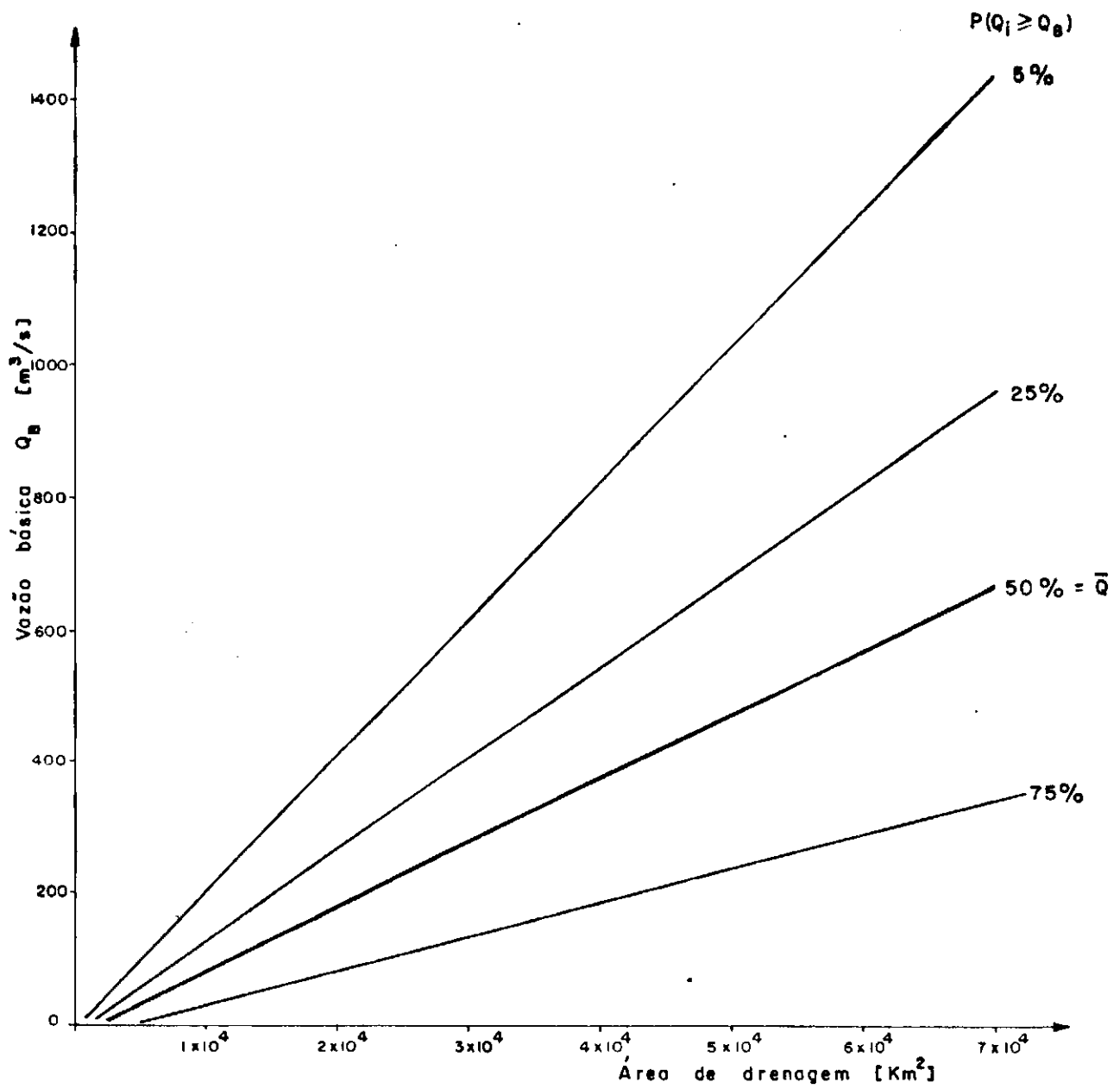
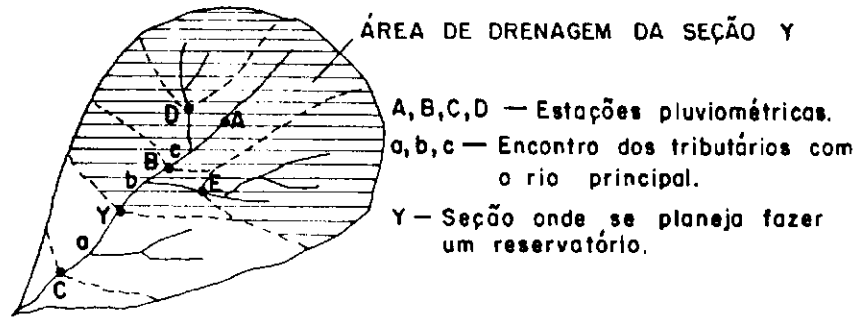
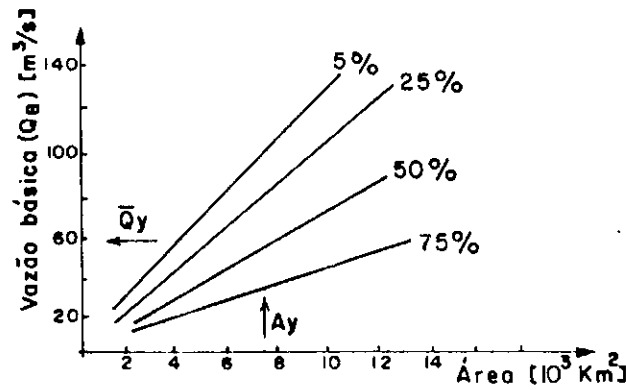


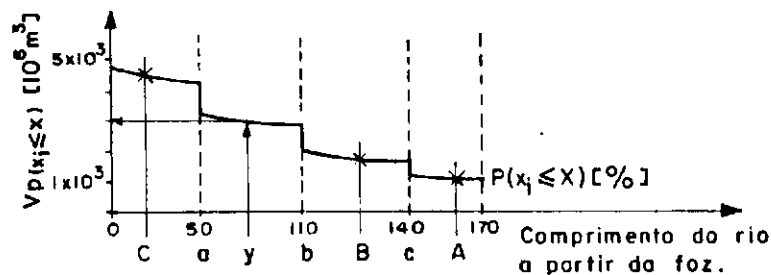
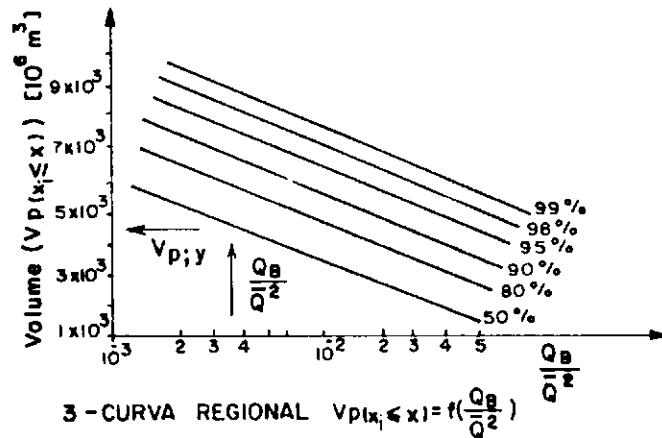
Fig.6.2- Relação entre a vazão básica e a área de drenagem na região constituída pelas bacias hidrográficas dos rios Piranhas, Apodi e Jaguaribe.



1 - BACIA HIDROGRÁFICA.



2 - RELAÇÃO ENTRE A ÁREA DE DRENAGEM E AS VAZÕES BÁSICAS COM $P(Q_i \geq Q_B)$



4 - DETERMINAÇÃO DE $V_p; Q_B$ PARA O PONTO Y.

Fig. 6.3 - Uso da curva regional para traçar o perfil longitudinal dos volumes. (esquemáticamente).

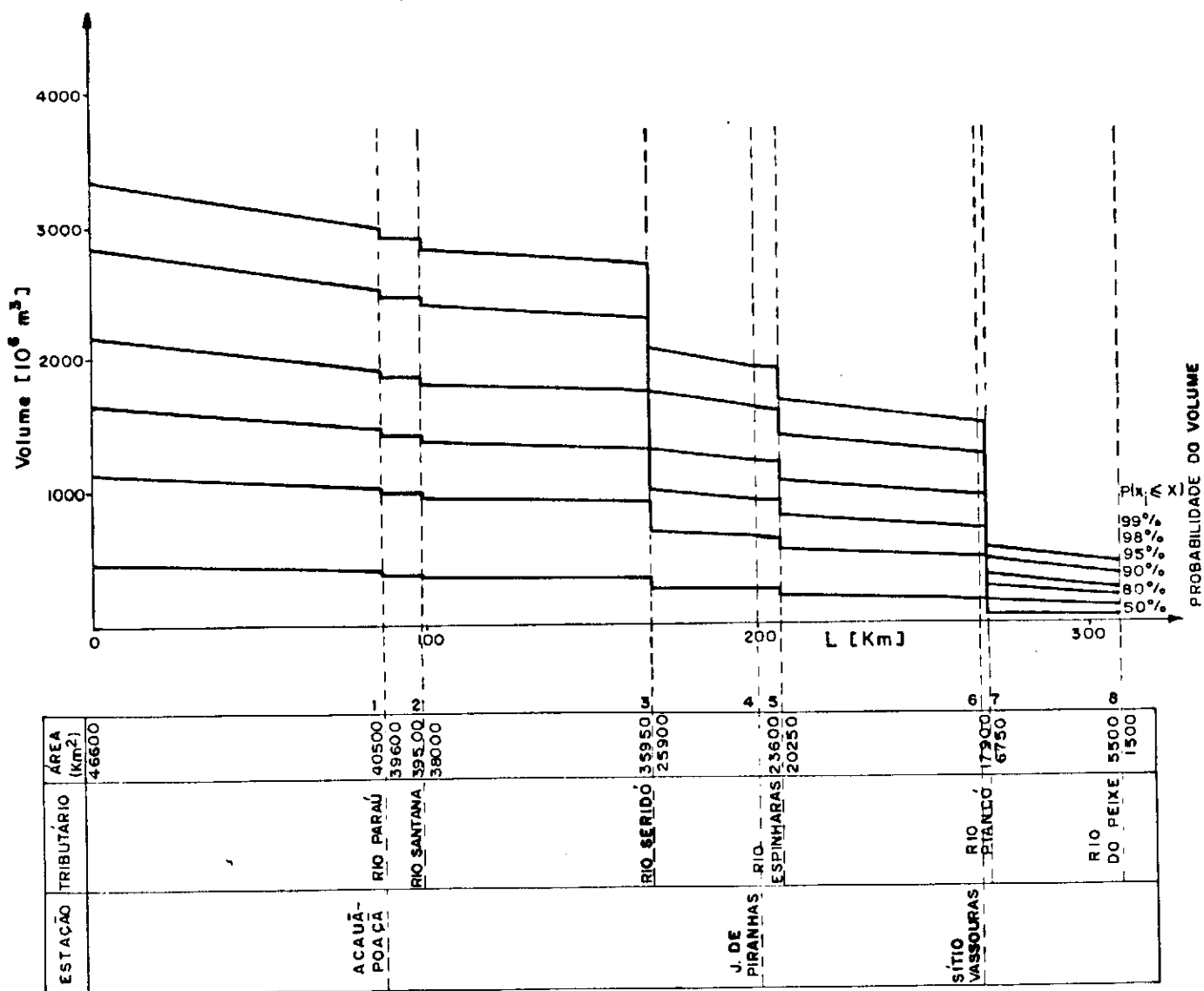


Fig.6.4.1 - Perfil longitudinal dos volumes para uma vazão básica com $P(Q_i \geq Q_b) = 5\%$ para o Rio Piranhas.

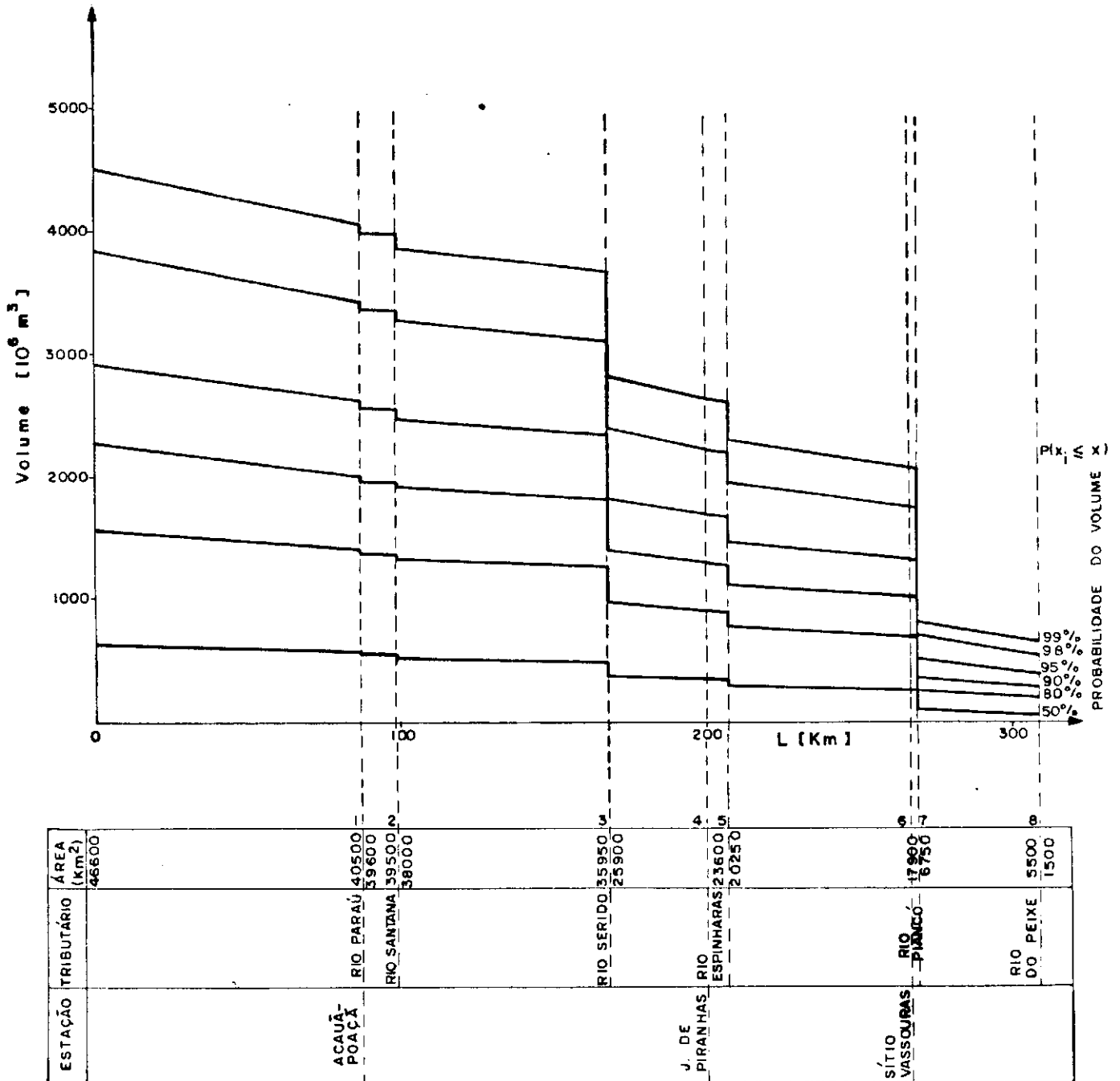


Fig. 6.4.2 - Perfil longitudinal dos volumes para uma vazão básica com $P(Q_i \geq Q_B) = 25\%$ para o Rio Piranhas.

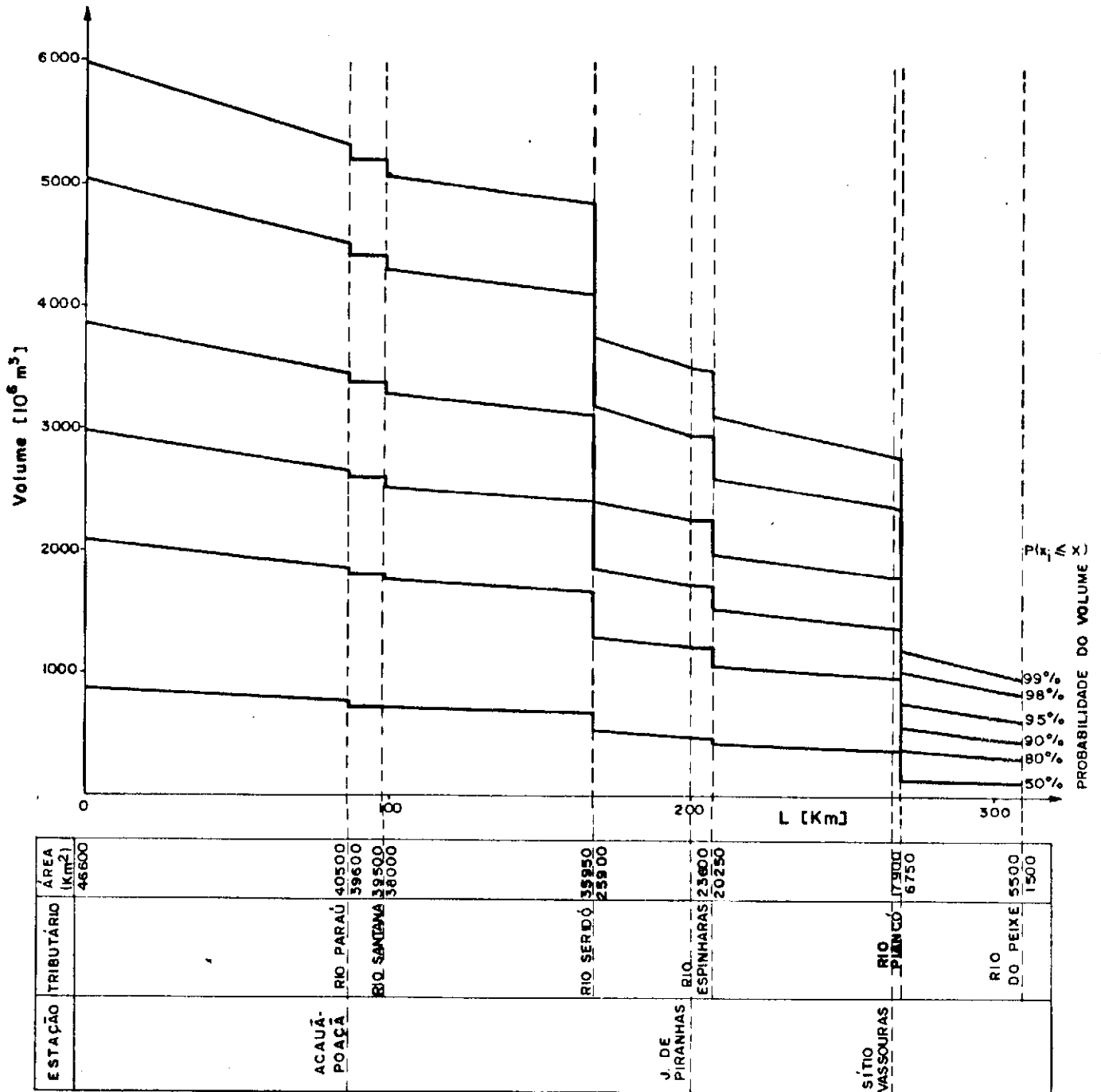
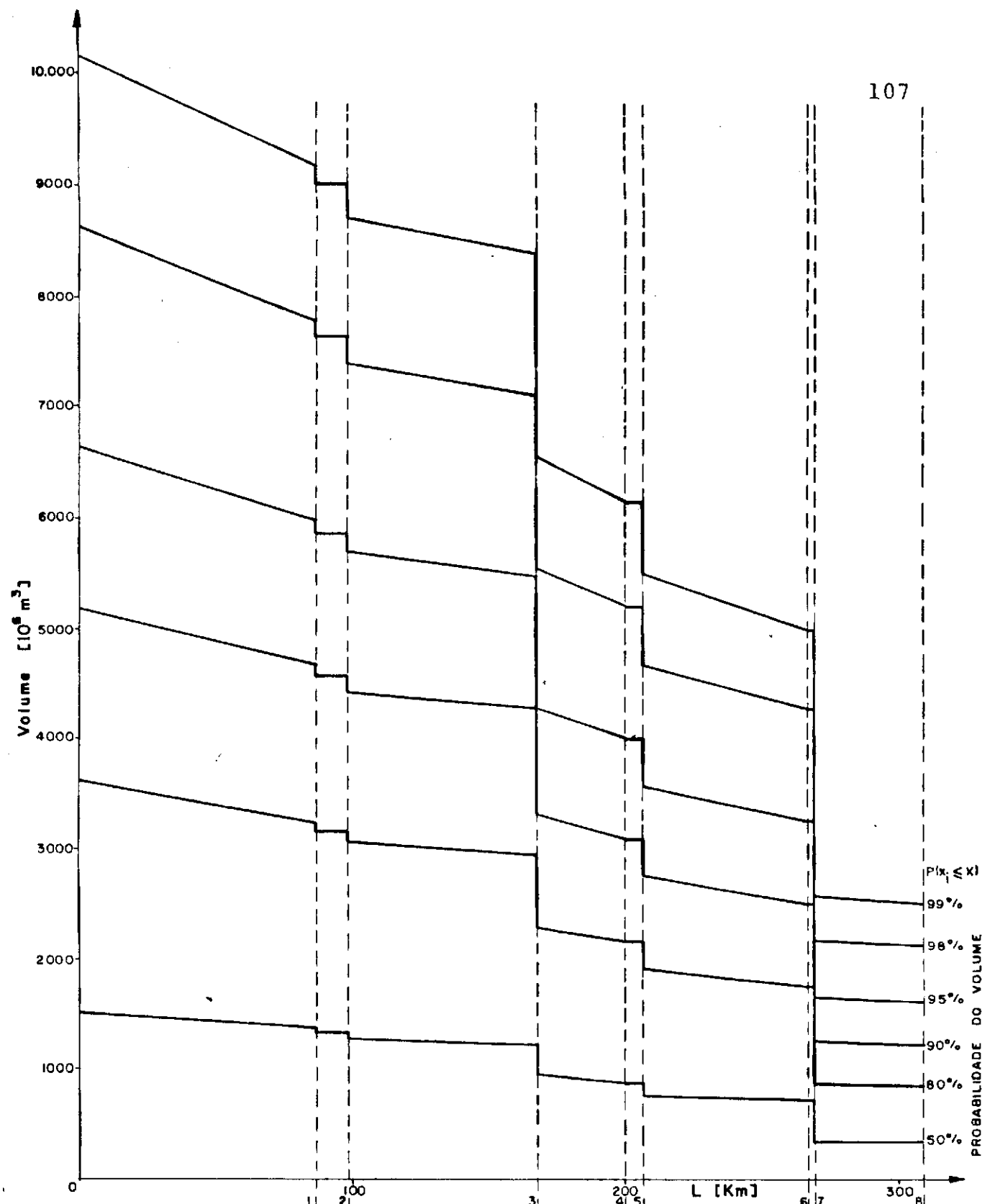


Fig.6.4.3 - Perfil longitudinal dos volumes para uma vazão básica com $P(Q_i \geq Q_b) = 50\%$ para o Rio Piranhas.



ESTACÃO TRIBUTÁRIO	ÁREA (km ²)
	46600
ACAUZ-POAÇA	
RIO PARAÍ	40500
RIO SANTA	39600
RIO SANTA	39500
RIO SANTA	38000
RIO SERIDÓ	35950
RIO SERIDÓ	25900
J. DE PIRANHAS	
RIO ESPINHAS	23600
RIO ESPINHAS	20250
SÍTIO VASSOURAS	
RIO PIANCO	17200
RIO PIANCO	6750
RIO DO PEIXE	5500
RIO DO PEIXE	1500

Fig.6.4.4-Perfil longitudinal dos volumes para uma vazão básica com $P(Q_i \geq Q_0) = 75\%$ para o Rio Piranhas.

Volume [10^6 m^3] para $P(x_i \leq X) = 50\%$

ESTAÇÃO	TRIBUTÁRIO	ÁREA (km ²)
		46600
ACAUÁ-POAÇA	RIO PARAÚ	40500
		39600
	RIO SANTANA	39500
		38000
	RIO SERIDÓ	35950
		25900
J. DE PIRANHAS	RIO ESPINHAS	23600
		20250
SÍTIO VASSOURAS	RIO PLANÇO	17900
		6750
	RIO DO PEIXE	5500
		1500

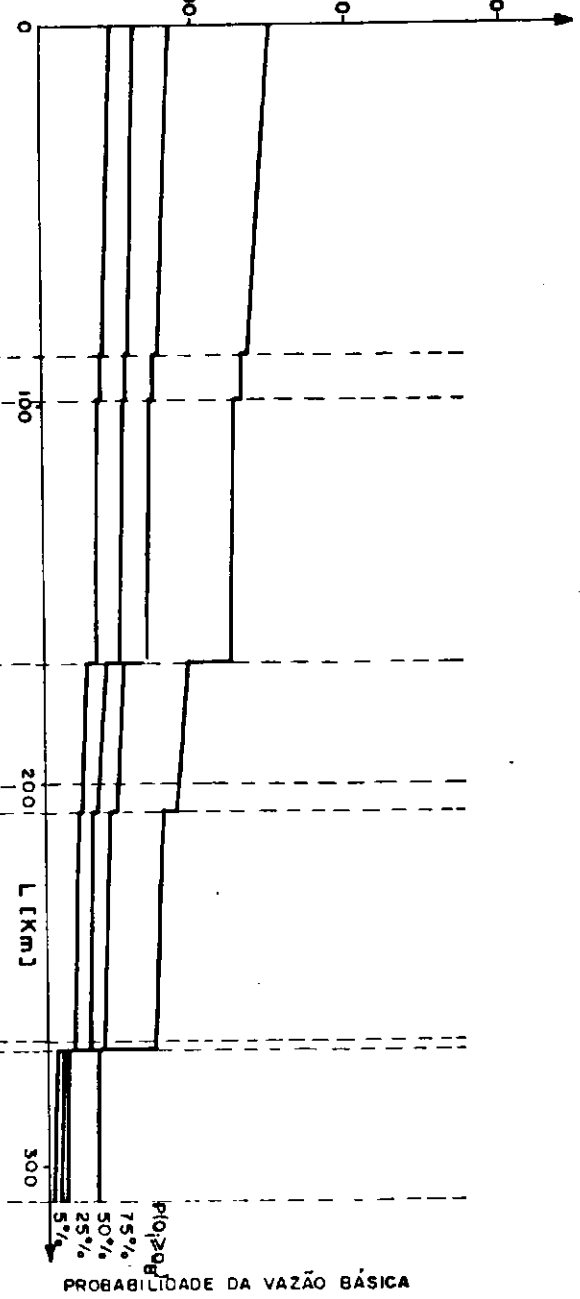


Fig. 6.5.1 - Perfil longitudinal dos volumes com $P(x_i \leq X) = 50\%$ para o Rio Piranhas.

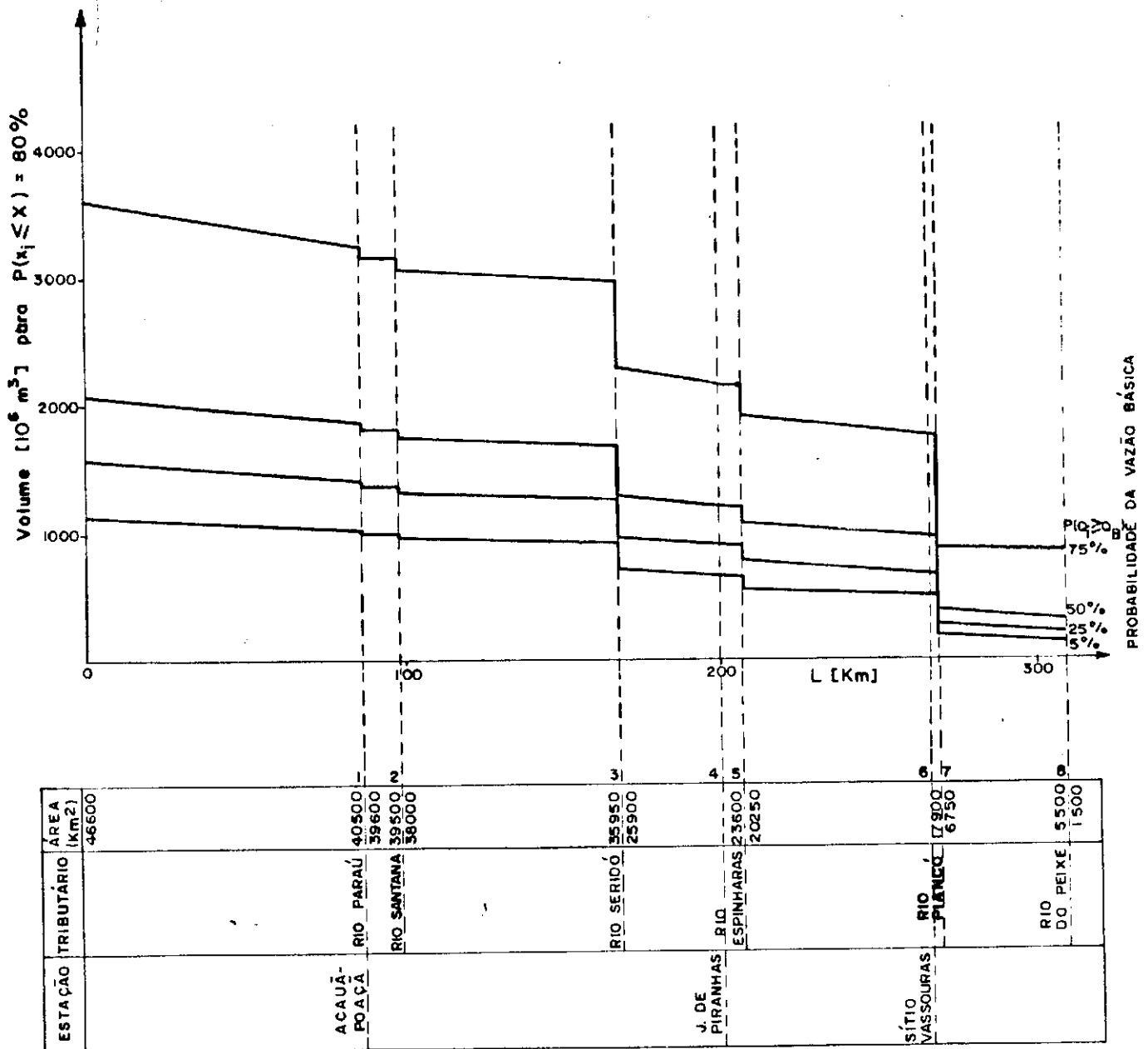


Fig. 6.5.2 - Perfil longitudinal dos volumes com $P(x_i \leq X) = 80\%$ para o Rio Piranhas.

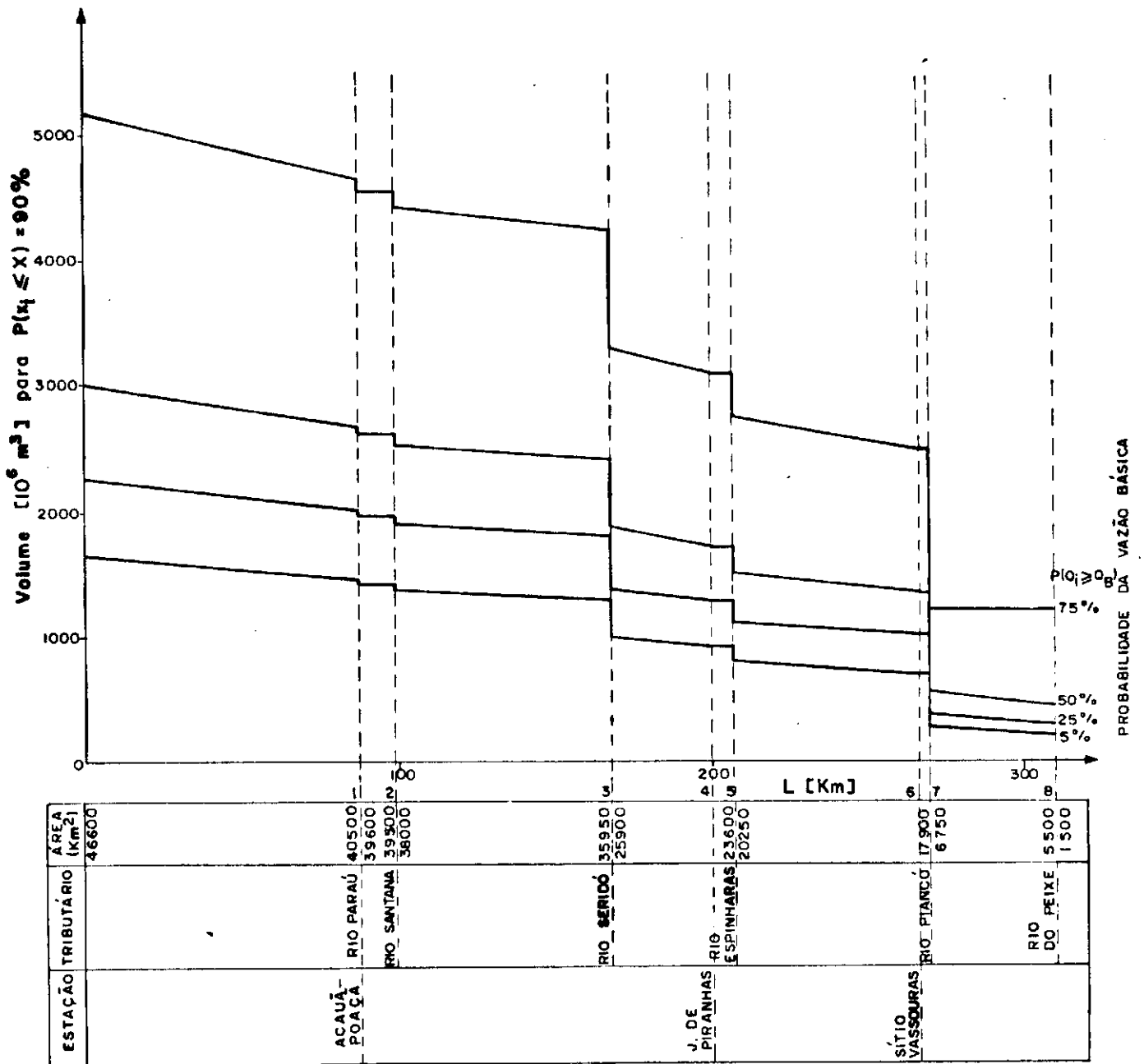


Fig.6.5.3 – Perfil longitudinal dos volumes com $P(x_i \leq X) = 90\%$ para o Rio Piranhas.

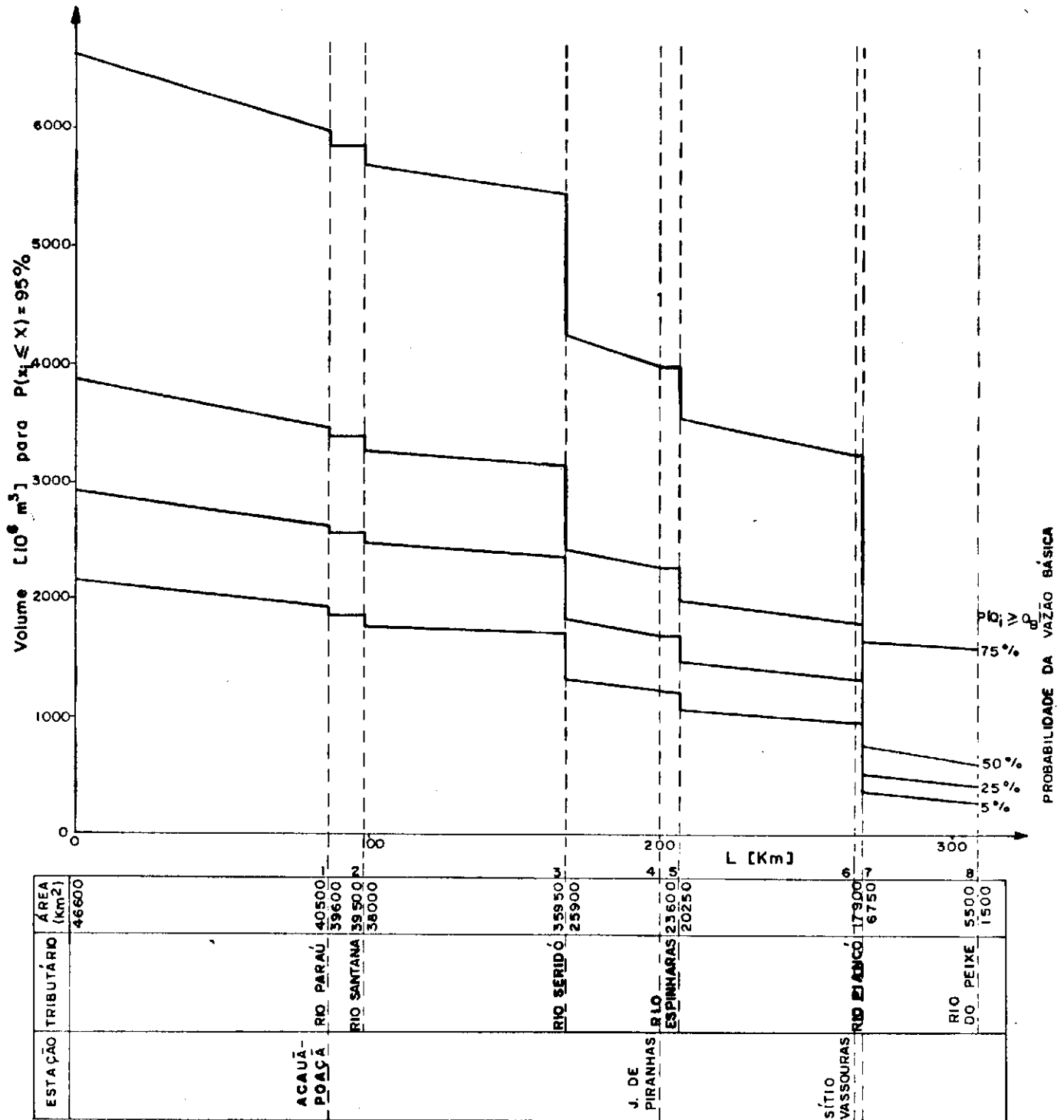


Fig.6.5.4 - Perfil longitudinal dos volumes com $P(x_i \leq X) = 95\%$ para o Rio Piranhas.

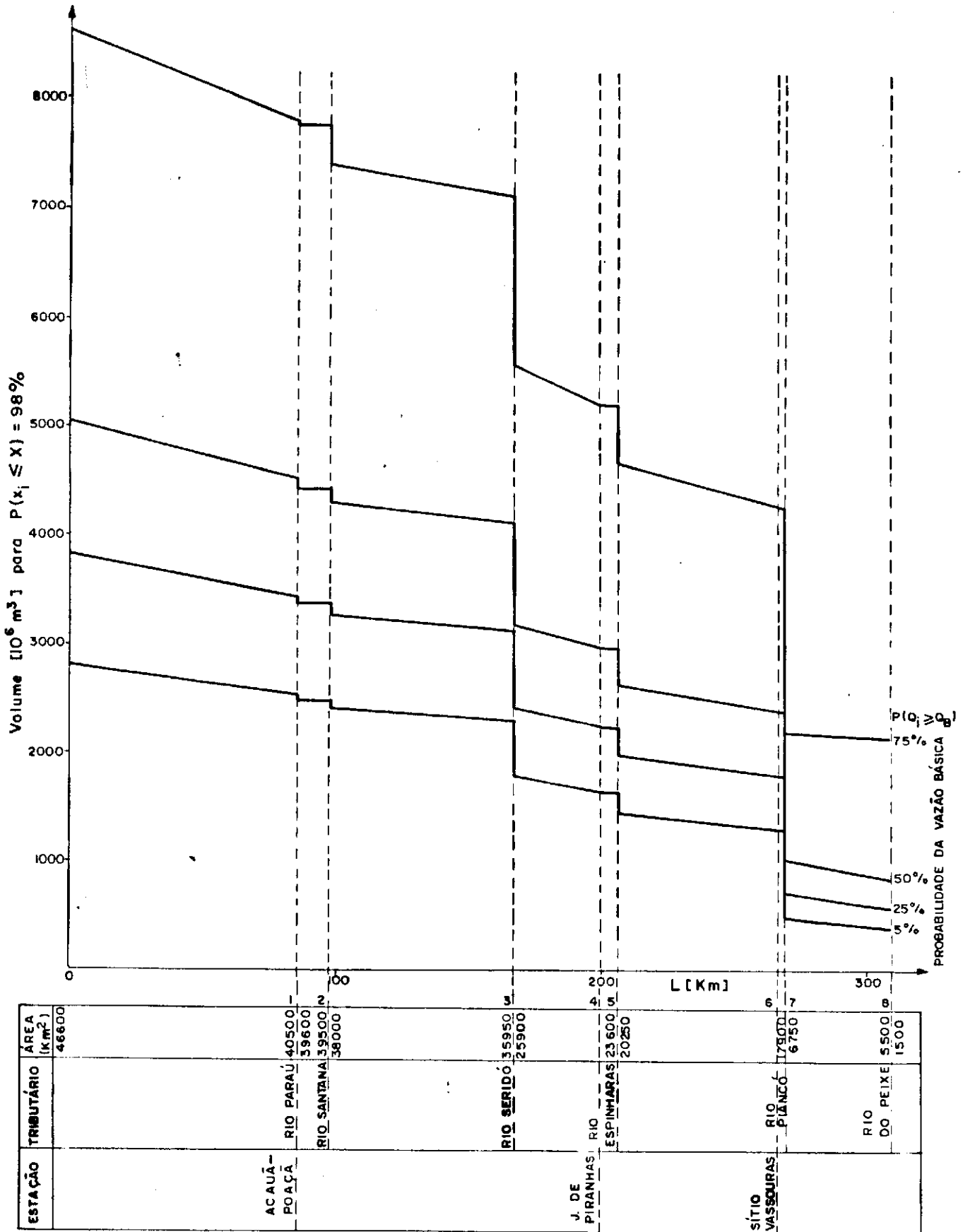


Fig. 6.5.5 - Perfil longitudinal dos volumes com $P(x_i \leq X) = 98\%$ para o Rio Piranhas.

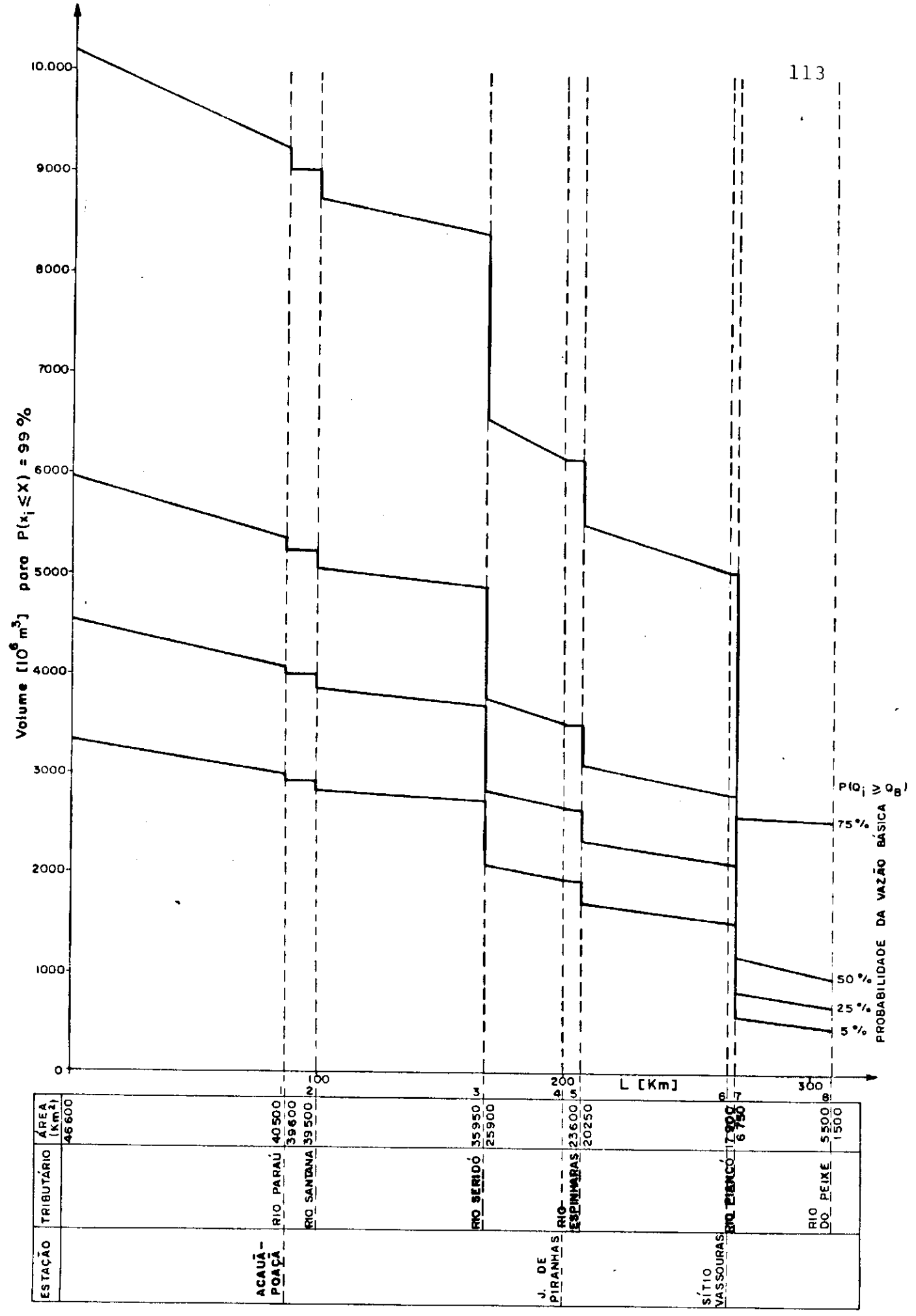


Fig.6.5.6-Perfil longitudinal dos volumes com $P(x_1 \leq X) = 99\%$ para o Rio Piranhas.

APÊNDICE B

* SISTEMA DE HIDROMETRIA *

DESCARGAS MÉDIAS DIÁRIAS

EDICAC EM 21/06/82

POSTO - JARDIM DE PIRANHAS
RIG - PIRANHAS

ANO HIDROLOGICO 1966-1967

NUMERO 3825729

DATA	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET
1	8.44	8.44	10.9	9.84	10.2	43.9	172.	376.	86.4	16.8	9.84	7.53
2	8.44	8.44	10.2	10.2	11.9	32.3	292.	383.	76.9	18.9	9.84	7.53
3	8.44	8.44	10.2	10.4	31.1	24.3	493.	526.	74.5	17.5	9.84	7.53
4	8.44	8.44	10.4	9.84	17.3	18.6	1020.	570.	74.2	17.1	9.84	7.34
5	8.44	8.44	10.9	9.84	12.3	16.1	2420.	587.	67.7	17.2	9.63	7.53
6	8.44	8.44	10.9	9.51	11.9	15.4	2770.	618.	61.6	17.1	9.30	7.53
7	8.44	8.44	10.9	9.84	35.3	29.1	2370.	582.	58.0	15.1	9.30	7.53
8	8.18	9.63	9.64	9.84	18.2	31.1	2970.	590.	55.9	14.5	9.30	7.75
9	8.01	8.70	9.95	9.84	13.3	81.2	2460.	1170.	52.3	14.7	9.04	7.75
10	8.18	7.49	8.70	9.30	13.0	57.6	1940.	1700.	50.2	14.4	8.44	7.53
11	8.44	9.23	7.41	8.27	33.6	122.	1550.	1890.	46.9	13.9	8.44	7.53
12	8.44	9.84	8.96	8.27	34.7	184.	1390.	1600.	44.3	13.1	8.44	7.53
13	8.44	9.84	8.01	9.30	23.5	120.	1130.	1390.	41.4	12.9	8.44	7.32
14	8.44	9.84	9.51	9.84	21.0	76.6	1230.	1100.	45.9	12.3	8.44	7.15
15	8.44	9.84	9.23	9.84	20.3	151.	805.	920.	36.8	12.0	8.44	7.15
16	8.44	9.84	10.4	9.84	39.3	143.	635.	1030.	35.7	12.0	8.44	7.15
17	8.44	9.84	10.9	10.4	43.0	96.1	579.	671.	34.5	12.0	8.44	7.15
18	8.70	9.34	10.9	9.63	39.8	139.	570.	691.	36.4	11.5	8.18	7.15
19	8.21	13.0	11.5	9.23	30.0	270.	623.	551.	35.7	10.9	8.18	7.15
20	8.18	11.4	11.7	9.84	55.0	172.	533.	484.	33.0	11.1	8.44	7.15
21	8.01	12.5	11.1	10.2	102.	516.	1150.	479.	31.1	10.9	8.87	7.15
22	8.01	10.9	10.4	11.2	56.7	335.	1360.	345.	31.2	10.4	8.87	7.15
23	8.01	10.5	11.0	12.1	43.4	319.	1020.	255.	35.1	10.4	8.27	7.15
24	8.27	9.84	10.7	10.4	54.0	367.	797.	217.	33.0	10.4	8.21	7.15
25	9.84	10.2	10.4	10.4	150.	303.	976.	191.	20.3	10.4	8.01	7.15
26	9.30	8.18	10.4	9.30	130.	195.	637.	167.	19.6	9.84	8.27	7.15
27	8.27	8.70	10.2	10.4	144.	214.	536.	151.	18.5	10.4	8.01	6.72
28	8.27	16.0	10.1	10.4	76.0	209.	424.	136.	17.5	10.4	8.01	6.72
29	8.27	16.0	9.84	10.4	171.	353.	121.	121.	17.5	10.4	8.01	6.72
30	8.44	13.0	10.1	10.2	186.	326.	111.	111.	17.2	10.4	7.84	6.89
31	8.44		9.84	10.2	191.		100.		9.84		7.58	
MEDIA EM M3/S	8.51	10.3	10.2	9.90	45.7	156.	1120.	642.	43.0	12.9	8.65	7.30
DEFLUVO EM M3	21.0	26.7	27.3	26.0	111.	418.	2900.	1720.	111.	34.6	23.2	18.9
MAXIMA EM M3/S	9.84	20.3	12.0	12.5	173.	557.	3380.	2100.	92.6	19.6	9.84	8.01
VALORES ANUAIS- DESCARGA	173. M3/S			DEFLUVO 5440. M3								

* VALOR ESTIMADO
ORIGEM DOS DADOS - ARQUIVO DE MICROFICHAS DA SUDENE

*** ACIMA DO LIMITE DA TABELA

- DADO FALTOSO

TABELA 4.1 - Listagem dos dados de vazão média diária para a estação Jardim de Piranhas.
Ano 1966/67.

TABELA 4.2 - Estações fluviométricas utilizadas, suas áreas de drenagem e períodos de observação.

BACIA	ESTAÇÃO	RIO	ÁREAS [Km ²]	PERÍODO OBSERVADO																				
				1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
PIRANHAS	Jardim de Piranhas	Piranhas	21350																					
	Piancó	Piancó	4550																					
	São Fernando	Seriçã	9700																					
APODI	Acauã - Poaçã	Piranhas	37600																					
	Pau dos Ferros	Apodi	6450																					
	Pedra de Abelhas	Apodi	2050																					
	Arnelroz	Jaguaribe	5900																					
	Ioã	Salgado	12000																					
JAGUARIBE	Iguatu	Jaguaribe	21000																					
	Lavras da Mangabeira	Salgado	8400																					
	Morada Nova II	Banabuiu	17900																					
	Qui-xerambim	Qui-xerambim	7100																					

TABELA 4.3 - CÁLCULO DOS VOLUMES PARA A ESTAÇÃO JARDIM DE PIRANHAS.

ESTAÇÃO: JARDIM DE PIRANHAS											ANO: 1966/67					
RIO : PIRANHAS											INTERVALO DE REFERÊNCIA FEV-MAI					
Q_B [m ³ /s]	VOLUME TOTAL (V _T) [10 ⁶ m ³]						V _T [10 ⁶ m ³]	DURAÇÃO (d) [dias]						d [dias]	VOLUME BÁSICO [10 ⁶ m ³]	VOLUME [10 ⁶ m ³]
	INTERVALO DE REFERÊNCIA							INTERVALO DE REFERÊNCIA								
	(1)	FEV	MAR	ABR	MAI	-		-	(3)	FEV	MAR	ABR	MAI			
0	111	418	2900	1720			5149	28	31	30	31			120	-	51,9
95	37,3248	380,427	2900	1720			5037,7518	3	20	30	31			84	689,472	4348,2798
195	-	218,851	2885,13	1635,58			4739,561	-	8	29	23			60	1010,88	3728,681
300	-	158,976	2845,04	1510,38			4514,396	-	5	27	14			46	1192,32	3322,076

TABELA 4.4.1 - Volumes para o rio Banabuiu na Estação Morada Nova II.

ANOS	VOLUMES [10^6 m^3]			
	$Q_B = 0 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 33 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 130 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 227 \text{ m}^3/\text{s}$
1962	320,30	217,15	75,86	8,29
1963	1.626,00	1.420,60	960,28	650,07
1964	3.917,40	3.523,18	2.645,04	2.007,59
1965	2.121,13	1.783,31	905,56	250,99
1966	109,10	39,94	-	-
1967	2.453,00	2.211,59	1.626,92	1.147,50
1968	1.048,30	766,36	385,17	132,71
1969	863,90	555,43	418,95	144,03
1970	24,92	-	-	-
1971	144,46	9,81	-	-
1973	919,00	678,37	576,72	89,77
1974	8.376,99	7.790,35	6.727,14	5.859,50
1975	1.204,60	827,07	240,45	69,72
1976	263,30	115,98	21,43	-
1977	834,70	588,65	238,38	88,47
1979	83,60	5,82	-	-
1980	705,90	554,64	360,67	239,41

TABELA 4.4.2.- Volumes para o rio Salgado na Estação Lavras da Mangabeira

ANOS	VOLUMES [10^6 m^3]			
	$Q_B = 0 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 37 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 71 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 104 \text{ m}^3/\text{s}$
1962	189,10	35,88	7,11	1,30
1963	802,80	599,69	479,60	384,05
1964	604,70	317,07	186,80	124,60
1965	322,20	176,84	106,06	68,60
1966	271,30	178,44	144,41	120,44
1967	940,60	621,38	437,66	311,04
1968	561,20	439,44	382,86	338,95
1969	189,40	77,81	49,41	30,76
1970	103,20	30,63	10,42	5,44
1971	654,90	415,30	292,76	213,93
1972	87,30	5,90	-	-
1974	2.074,40	1.725,76	1.464,14	1.247,08
1975	705,70	409,64	246,85	135,39
1976	420,10	220,92	125,83	69,38
1977	669,00	426,93	267,60	179,54
1978	590,00	338,35	209,65	113,36
1979	427,00	230,10	134,53	84,32
1980	677,00	543,52	461,09	390,44
1981	747,00	606,32	489,42	389,58

TABELA 4.4.3- Volumes para o rio Jaguaribe na Estação Arneiroz.

ANOS	VOLUMES [10^6 m^3]			
	$Q_B = 0 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 7 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 29 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 64 \text{ m}^3/\text{s}$
1962	106,06	84,29	49,65	27,73
1973	154,40	127,86	93,02	66,94
1975	158,50	124,16	97,66	72,37
1976	88,00	67,56	41,86	24,52
1977	71,06	42,87	24,24	13,18
1978	8,34	0,06	-	-
1979	33,28	22,70	11,36	6,22
1980	124,10	101,64	76,00	49,90
1981	859,00	829,08	767,55	687,41

TABELA 4.4.4 - Volumes para o rio Jaguaribe na Estação Iguatu.

ANOS	VOLUMES [10^6 m^3]			
	$Q_B = 0 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 27 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 92 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 157 \text{ m}^3/\text{s}$
1962	263,90	134,84	41,56	8,64
1963	903,00	711,45	388,75	259,11
1964	1.698,70	1.440,45	997,88	669,88
1965	777,10	629,66	419,30	275,36
1966	306,70	204,70	113,63	74,14
1967	1.164,00	945,54	622,82	418,95
1968	786,00	610,62	405,69	273,54
1969	800,20	609,39	419,24	312,51
1970	124,00	73,11	25,93	5,36
1971	136,10	36,41	0,16	-
1972	18,46	6,42	0,78	-
1973	787,20	612,25	432,35	309,05
1974	5.379,00	5.048,10	4.386,28	3.850,78
1975	721,00	514,85	253,02	148,26
1976	690,00	523,38	255,14	129,34
1977	932,20	686,64	336,89	175,74
1978	327,60	129,29	40,68	17,88
1979	101,40	24,98	8,12	0,78
1980	459,50	338,06	183,17	90,03
1981	1.206,00	1.111,37	957,29	819,31

TABELA 4.4.5 - Volumes para o rio Salgado da Estação Icô

ANOS	VOLUMES [10^6 m^3]			
	$Q_B = 0 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 45 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 95 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 145 \text{ m}^3/\text{s}$
1961	318,50	168,32	120,37	92,02
1962	225,50	63,80	25,32	4,23
1963	1.419,00	1.218,18	1.014,22	831,90
1964	1.777,30	1.282,85	924,82	658,19
1965	502,20	318,73	197,80	123,38
1966	278,40	167,44	110,38	71,19
1967	1.727,00	1.302,48	936,84	687,83
1968	716,00	528,58	421,59	347,93
1969	341,10	153,85	112,58	67,65
1970	224,70	119,46	59,53	21,25
1971	710,00	405,92	225,80	135,73
1972	117,30	10,44	1,21	-
1973	595,90	383,93	253,38	163,81
1974	3.157,10	2.674,83	2.248,44	1.868,40
1975	1.145,50	733,36	458,07	293,24
1976	469,60	224,48	92,10	36,80
1977	799,40	420,57	190,16	79,92
1978	1.099,40	725,81	499,55	344,82
1979	477,20	167,24	73,90	35,16
1980	955,00	777,93	642,10	527,38

TABELA 4.4.6 - Volumes para o rio Quixeramobim na Estação Quixeramobim.

ANOS	VOLUMES $[10^6 \text{ m}^3]$			
	$Q_B = 0 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 30 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 70 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 110 \text{ m}^3/\text{s}$
1964	1.278,50	1.050,28	859,20	710,81
1967	1.047,00	881,31	706,10	569,46
1973	486,70	345,92	259,88	204,34
1974	3.197,00	2.801,02	2.389,32	2.043,96
1975	298,30	157,66	80,64	38,10
1976	151,20	46,18	15,25	3,11
1977	378,80	226,40	120,75	50,98
1978	126,12	43,03	8,34	-
1979	36,60	20,65	10,22	2,59
1980	353,20	264,54	175,01	119,06
1981	414,00	336,26	249,22	184,72

TABELA 4.4.7 - Volumes para o rio Apodi na estação Pau dos Ferros.

ANOS	VOLUMES [10^6 m^3]			
	$Q_B = 0 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 6 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 40 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 75 \text{ m}^3/\text{s}$
1964	276,50	228,95	77,84	28,52
1965	324,39	309,37	189,62	124,33
1966	12,35	5,02	-	-
1967	678,01	638,01	463,43	360,09
1968	101,50	73,94	31,68	21,30
1969	4,63	0,70	-	-
1971	7,90	0,21	-	-
1972	52,90	36,18	21,00	9,78
1973	113,04	90,97	46,12	37,44
1974	886,30	810,86	510,22	356,42
1975	185,40	150,06	74,14	33,02
1976	383,10	355,60	243,52	151,09
1977	364,00	333,14	220,61	176,96
1978	94,22	72,76	26,38	9,85
1979	4,07	0,12	-	-
1980	235,00	220,65	168,99	133,92
1981	121,40	106,85	63,55	30,79

TABELA 4.4.8 - Volumes para o Rio Apodi na Estação Pedra de Abelhas.

ANOS	VOLUMES $[10^6 \text{ m}^3]$			
	$Q_B = 0 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 20 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 60 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 95 \text{ m}^3/\text{s}$
1964	838,30	589,42	303,00	175,01
1965	865,90	731,74	560,13	460,60
1966	51,12	2,75	-	-
1967	1.392,60	1.248,20	1.009,18	849,79
1968	360,20	239,97	116,14	62,72
1969	26,05	0,64	-	-
1970	27,08	3,46	-	-
1971	80,20	18,22	-	-
1972	204,40	155,54	99,40	62,21
1973	393,70	262,37	148,20	103,76
1974	2.250,20	2.030,60	1.608,21	1.373,20
1975	647,00	476,12	303,73	240,52
1976	267,00	171,56	57,41	20,88
1977	948,70	767,63	514,08	403,74
1978	187,40	94,79	41,04	23,59
1979	54,22	7,40	-	-
1980	478,90	400,84	303,26	253,15
1981	403,00	339,60	259,60	211,00

TABELA 4.4.9 - Volumes para o rio Seridõ na Estação São Fernando.

ANOS	VOLUMES [10^6 m^3]			
	$Q_B = 0 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 35 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 65 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 95 \text{ m}^3/\text{s}$
1963	345,00	194,82	121,98	76,08
1964	839,00	579,36	434,72	320,52
1965	892,00	691,65	541,69	410,67
1966	101,06	51,41	33,28	22,55
1967	763,00	543,81	411,87	328,70
1968	414,40	253,70	157,11	110,67
1969	259,80	152,25	101,64	65,00
1970	78,18	25,28	11,16	3,46
1971	1.006,00	771,25	645,00	543,95
1972	335,10	168,30	102,68	57,72
1973	456,00	326,45	253,18	203,73
1974	2.201,60	1.845,04	1.636,58	1.482,49
1975	927,00	679,41	538,62	436,14
1976	238,80	119,16	78,34	54,34
1977	877,80	711,06	600,75	494,75
1978	438,40	254,04	174,10	128,48
1979	51,35	15,94	9,80	5,18
1980	116,70	55,16	22,04	5,62
1981	538,00	450,66	396,30	360,89

TABELA 4.4.10 - Volumes para o rio Piranhas na Estação Acauã-Poaçã.

ANOS	VOLUMES [10^6 m^3]			
	$Q_B = 0 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 210 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 415 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 615 \text{ m}^3/\text{s}$
1964	8.323,30	5.569,58	3.956,41	2.907,06
1965	5.702,17	4.481,70	3.570,18	2.796,73
1966	529,70	100,93	33,95	6,48
1967	9.546,00	7.998,64	6.597,28	5.429,49
1968	6.129,80	4.677,59	3.662,06	2.870,47
1969	3.080,88	2.335,74	1.976,38	1.676,93
1970	664,70	339,86	245,64	194,14
1971	4.377,18	2.874,52	2.017,86	1.425,94
1972	984,39	204,27	23,33	1,12
1973	2.817,00	1.948,06	1.191,16	535,98
1974	14.013,00	11.717,26	9.855,86	8.375,06
1975	4.689,80	3.105,72	2.140,53	1.562,80
1976	1.671,10	784,04	420,68	258,59
1977	4.711,00	3.690,94	2.993,56	2.357,56
1978	2.679,10	1.339,73	772,37	323,79
1979	676,50	74,60	23,84	2,76

TABELA 4.4.11- Volumes para o rio Piancõ na Estação Piancõ.

ANOS	VOLUMES [10^6 m^3]			
	$Q_B = 0 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 15 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 40 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 65 \text{ m}^3/\text{s}$
1964	418,00	342,76	268,80	222,52
1965	153,78	89,11	34,44	11,92
1966	4,3	-	-	-
1967	970,00	853,32	694,02	566,50
1968	341,00	266,52	229,22	202,67
1970	90,81	60,96	40,54	26,84
1971	680,10	545,80	436,64	354,59
1972	86,80	35,54	16,03	7,51
1973	386,80	309,16	242,54	192,31
1974	1.315,50	1.151,48	941,61	771,86
1975	365,10	265,12	191,82	142,58
1976	200,30	111,82	59,16	29,30
1977	424,00	323,20	243,64	194,43
1978	140,57	57,87	14,17	2,61
1979	362,60	253,30	167,25	128,28
1980	304,80	260,75	215,02	183,35
1981	254,70	207,56	150,84	112,01

TABELA 4.4.12-Volumes para o rio Piranhas na Estação Jardim de Piranhas.

ANOS	VOLUMES [10^6 m ³]			
	$Q_B = 0$ m ³ /s	$Q_B = 95$ m ³ /s	$Q_B = 195$ m ³ /s	$Q_B = 300$ m ³ /s
1963	3.655,00	2.921,27	2.319,06	1.828,73
1964	3.509,00	2.459,01	1.770,25	1.290,72
1965	3.176,10	2.402,75	1.952,12	1.608,25
1966	400,60	72,14	26,87	6,48
1967	5.149,00	4.348,28	3.728,68	3.322,08
1968	2.393,00	1.743,70	1.305,84	1.004,48
1969	660,80	287,95	75,00	7,95
1970	325,38	91,87	49,76	21,60
1971	1.867,10	1.031,62	623,40	420,51
1972	222,90	19,61	-	-
1973	1.588,30	1.078,85	720,83	441,42
1974	7.945,00	6.731,66	5.713,52	4.854,62
1975	2.705,50	1.096,55	1.255,66	860,46
1976	948,90	358,78	171,07	99,10
1977	3.073,00	2.228,72	1.836,25	1.574,37
1978	1.077,20	548,57	272,24	138,50
1979	499,10	106,98	49,59	20,82
1980	1.412,00	1.076,02	854,32	689,64
1981	1.733,80	1.359,30	1.127,52	921,80
1982	383,40	97,76	51,92	24,97

TABELA 4.5 - Verificação do ajustamento de 3 distribuições de probabilidade, às amostras da estação Jardim de Piranhas.

Q _B [m ³ /s]	EXISTÊNCIA DE VOLUMES NULOS	AMOSTRA SEM VOLUMES NULOS						AMOSTRA COM VOLUMES NULOS					
		NORMAL		GAMA		PEARSON III		NORMAL		GAMA		PEARSON III	
		AJUSTA MENTO	$\Sigma (F-P)^2$	AJUSTA MENTO	$\Sigma (F-P)^2$	AJUSTA MENTO	$\Sigma (F-P)^2$	AJUSTA MENTO	$\Sigma (F-P)^2$	AJUSTA MENTO	$\Sigma (F-P)^2$	AJUSTA MENTO	$\Sigma (F-P)^2$
0	não	+	618,56	+	143,00	+	81,29	+	618,56	+	143,00	+	81,29
100	não	+	775,40	+	271,97	+	83,86	+	775,40	+	271,97	+	83,86
500	sim	+	1054,32	+	129,16	+	98,60	+	1703,85	+	166,15	+	126,46
1000	sim	-	---	+	260,13	+	380,91	-	---	+	797,21	+	339,27
1600	sim	-	---	+	382,47	+	572,45	-	---	+	1654,74	+	963,16

CONVENÇÕES: + + a distribuição se ajustou à amostra

- + a distribuição não se ajustou à amostra

--- + $\Sigma (F-P)^2$ não foi calculado porque a distribuição não se ajustou à amostra.

Obs.: $\Sigma (F-P)^2$ + somatório do quadrado das diferenças entre F = probabilidade empírica e P = probabilidade esperada, para os maiores valores da amostra.

TABELA 4.6 - MÉDIA ARITMÉTICA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE ASSIMETRIA DAS AMOSTRAS DE VOLUMES PARA CADA VAZÃO BÁSICA (Q_B) DE TODAS AS ESTAÇÕES ANALISADAS.

BACIA	ESTAÇÃO	PERÍODO DE OBSERVAÇÃO (anos)	NÍVEL DE VAZÃO (Q_B) (m^3/s)	MÉDIA ARITMÉTICA (\bar{v})	DESVIO PADRÃO (Sv)	COEFICIENTE DE ASSIMETRIA (C _{sv})
PIRANHAS	Piancó	16	0	382,30	334,63	1,7
			15	320,89	301,91	1,8
			40	246,61	254,22	1,8
			65	196,83	211,76	1,7
	São Fernando	18	0	572,59	505,04	1,9
			35	415,20	431,37	2,1
			65	330,04	383,53	2,3
	Jardim de Piranhas	20	95	269,00	345,66	2,6
			0	2.136,25	1.930,79	1,6
			95	1.502,97	1.691,90	1,8
			195	1.258,10	1.462,05	1,8
	Acauã-Poaça	16	300	1.007,18	1.266,71	1,9
0			4.412,26	3.726,18	1,2	
210			3.202,70	3.199,02	1,4	
415			2.467,57	2.693,52	1,6	
APODI	Pau dos Ferros	18	615	1.920,34	2.287,29	1,8
			0	227,22	247,47	1,6
			6	201,96	231,80	1,6
			40	164,39	162,30	1,3
	Pedra de Abelhas	18	75	113,35	123,19	1,3
			0	526,44	575,14	1,8
			20	418,94	525,05	2,0
			60	409,49	446,90	2,0
	Lavras da Mangabeira	19	95	326,17	389,08	2,0
			0	580,89	438,86	2,2
			37	389,47	380,70	2,5
			71	305,34	330,02	2,7
Arneiroz	09	104	233,79	286,10	2,8	
		0	178,08	260,30	2,8	
		7	155,58	256,33	2,8	
		29	145,16	253,39	2,7	
Quixeramobim	11	64	118,53	231,12	2,8	
		0	706,13	909,53	2,4	
		30	561,20	815,12	2,4	
		70	443,08	704,83	2,5	
Morada Nova II	17	110	392,71	628,86	2,4	
		0	1.471,56	2.052,56	2,7	
		33	1.318,01	1.968,99	2,7	
		130	1.167,89	1.821,53	2,8	
Iguatu	19	227	890,67	1.672,33	2,8	
		0	879,10	1.143,88	3,5	
		27	719,58	1.089,72	3,6	
		92	514,43	956,81	3,8	
Icó	20	157	435,48	881,34	3,8	
		0	852,80	730,22	1,8	
		45	592,41	635,71	2,0	
		95	430,41	533,58	2,3	
JAGUARIBE	Icó	20	145	443,63	449,18	2,5

TABELA 4.7 - Resultado da aplicação dos testes não-paramétricos para verificação da homogeneidade dos dados.

BACIA	ESTAÇÃO	VAZÃO BÁSICA (m ³ /s)	TESTES NÃO-PARAMÉTRICOS		
			VALOR SINGULAR	TESTE "U"	SIEGEL E TUKEY
PIRANHAS	Piancó	0	+	-	+
		15	+	-	+
	São Fernando	0	+	-	-
		35	+	-	-
	Jardim de Piranhas	0	+	-	-
		95	+	-	-
Acauã - Poaçã	0	-	-	-	
	210	-	-	-	
APODI	Pau dos Ferros	0	-	-	-
		6	-	-	-
	Pedra de Abrelhas	0	+	-	-
		20	+	-	-
JAGUARIBE	Lavras da Mangabeira	0	+	-	-
		37	+	-	-
	Arneiroz	0	+	-	-
		7	+	-	-
	Qui xerambim	0	+	+	-
		30	+	+	-
	Morada Nova II	0	+	-	-
		33	+	-	-
Iguatu	0	+	-	-	
	27	+	-	-	
Icoó	0	+	-	-	
	45	+	-	-	

CONVENÇÃO: + Teste positivo: Série não estacionária.

- Teste negativo: Série estacionária.

TABELA 4.8 - Resultado do ajustamento das distribuições Normal, Gama, Pearson III e suas formas logarítmicas, às amostras da estação Jardim de Piranhas.

Q_B [m ^{1/2} /s]		NORMAL	GAMA	PEARSON III	LOG-NORMAL	LOG-GAMA	LOG-PEARSON III
0	n	21	21	21	21	21	21
	Cs	1,6	1,9	1,6	-0,2	0,1	-0,2
	da	0,188	0,213	0,213	0,188	0,180	0,180
	d _{máx}	0,128	0,080	0,124	0,095	0,100	0,085
	Ajustamento	+	+	+	+	+	+
	$\Sigma(F-P)^2$	618,56	143,00	81,29	351,77	390,72	336,28
100	n	21	21	21	21	21	21
	Cs	1,8	2,3	1,8	-0,8	0,2	-0,8
	da	0,188	0,216	0,216	0,188	0,180	0,174
	d _{máx}	0,150	0,161	0,110	0,175	0,186	0,132
	Ajustamento	+	+	+	+	-	+
	$\Sigma(F-P)^2$	725,40	271,97	83,86	954,48	1097,37	484,69
500	n	16	16	16	16	16	16
	Cs	1,8	2,4	1,8	1,4	0,2	1,4
	da	0,220	0,240	0,240	0,220	0,201	0,219
	d _{máx}	0,150	0,188	0,109	0,179	0,190	0,260
	Ajustamento	+	+	+	+	+	-
	$\Sigma(F-P)^2$	1054,32	129,16	98,60	424,73	487,49	879,06
1000	n	12	12	12	12	12	12
	Cs	2,0	2,4	2,0	-1,3	0,2	-1,3
	da	0,248	0,155	0,265	0,248	0,218	0,237
	d _{máx}	0,272	0,116	0,143	0,160	0,176	0,146
	Ajustamento	-	+	+	+	+	+
	$\Sigma(F-P)^2$	1682,14	260,13	380,91	83,33	69,19	435,27
1600	n	10	10	10	10	10	10
	Cs	---	3,0	1,9	---	4,8	3,0
	da	---	0,277	0,277	---	0,216	0,216
	d _{máx}	---	0,127	0,200	---	0,272	0,205
	Ajustamento	---	+	+	---	?	+
	$\Sigma(F-P)^2$	---	382,17	572,45	---	1654,74	963,16

1) n = número de dados da amostra

2) Cs = coeficiente de assimetria

$$\text{Normal e Pearson III } Cs = \frac{n \cdot \Sigma(x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2) S_x^3} \quad \text{onde: } \bar{x} = \text{média aritmética}$$

$$S_x = \text{desvio padrão}$$

$$\text{Gama } Cs = 2 \times Cv, \text{ onde } Cv = \frac{S_x}{\bar{x}}$$

3) da = variável de teste, para $\alpha = 0,05$ (tabelada em BELKE, 1974)

4) d_{máx} = máxima diferença (F-P) onde: F = probabilidade empírica
P = probabilidade esperada

5) resultado do teste:

d_{máx} < da + + (a distribuição se ajustou à amostra)

d_{máx} > da + - (a distribuição não se ajustou à amostra)

6) $\Sigma(F-P)^2$ = somatório do quadrado das diferenças entre probabilidade empírica e probabilidade esperada, para os maiores valores da amostra.

CONVENÇÃO: --- Não foram calculados.

TABELA 4.9 - Resultado da verificação do ajustamento da distribuição Pearson III às amostras de volumes de todas as estações analisadas.

BACIA HIDROGRÁFICA	ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA	Q _B [m ³ /s]	n	C _s	d _{max}	d _a	RESULTADO DO TESTE
PIRANHAS	Piancó	0	17	1,7	0,120	0,234	+
		15	16	1,8	0,140	0,240	+
		40	16	1,8	0,140	0,240	+
		65	16	1,7	0,120	0,240	+
	São Fernando	0	19	1,9	0,090	0,221	+
		35	19	2,1	0,070	0,226*	+
		65	19	2,3	0,080	0,232*	+
		95	19	2,6	0,080	0,243*	+
	Jardim de Piranhas	0	20	1,6	0,060	0,216	+
		95	20	1,8	0,110	0,216	+
		195	19	1,8	0,120	0,222	+
		300	19	1,9	0,200	0,221	+
	Acauã-Poaça	0	16	1,2	0,080	0,219	+
		210	16	1,4	0,060	0,219	+
		415	16	1,6	0,060	0,240	+
		615	16	1,8	0,090	0,240	+
APODI	Pau dos Ferros	0	17	1,6	0,096	0,258	+
		6	17	1,6	0,114	0,258	+
		40	13	1,3	0,108	0,232	+
		75	13	1,3	0,127	0,232	+
	Pedra de Abelhas	0	18	1,8	0,098	0,228	+
		20	18	2,0	0,130	0,228	+
		60	13	2,0	0,111	0,258	+
		95	13	2,0	0,122	0,258	+
JAGUARIBE	Lavras da Mangabeira	0	19	2,2	0,130	0,229*	+
		37	19	2,5	0,110	0,239*	+
		71	18	2,7	0,080	0,253*	+
		104	18	2,8	0,100	0,257*	+
	Arneiroz	0	9	2,8	0,210	>0,326*	+
		7	9	2,8	0,199	>0,326*	+
		29	8	2,7	0,444	>0,321*	?
		64	8	2,8	0,309	>0,326*	+
	Quixeramobim	0	11	2,4	0,125	0,296*	+
		30	11	2,4	0,182	0,296*	+
		70	11	2,5	0,223	0,310*	+
		110	10	2,4	0,217	0,303*	+
	Morada Nova II	0	17	2,7	0,113	0,260*	+
		33	16	2,7	0,162	0,269*	+
		130	13	2,8	0,188	0,304*	+
		227	12	2,8	0,307	0,310*	+
	Iguatu	0	20	3,5	0,160	0,262*	+
		27	20	3,6	0,160	0,265*	+
92		20	3,8	0,090	0,271*	+	
157		18	3,8	0,060	0,294*	+	
Icó	0	20	1,8	0,062	0,216	+	
	45	20	2,0	0,081	0,216	+	
	95	20	2,3	0,092	0,225*	+	
	145	19	2,5	0,349	0,239*	-	

1) n = número de dados da amostra

2) C_s = coeficiente de assimetria, $C_s = \frac{n \cdot I(x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S_x^3}$ onde: \bar{x} = média aritmética
S_x = desvio padrão

3) d_{max} = máxima diferença |F-P| onde: F = probabilidade empírica
P = probabilidade esperada

4) d_a = variável de teste (Tabelada em BELKE, 1974b), para α = 0,05

5) Resultado do teste:

se d_{max} < d_a + + (a distribuição Pearson III se ajustou à amostra)

se d_{max} > d_a + - (a distribuição Pearson III não se ajustou à amostra)

Obs.: Na coluna d_a, os valores que aparecem com o símbolo * foram extrapolados.

TABELA 4.10.1 a 4.10.12 - VOLUMES QUE PODEM SER ARMAZENADOS NOS LOCAIS ONDE ESTÃO SITUADAS AS ESTAÇÕES ESTUDADAS, ASSOCIADOS A UMA PROBABILIDADE $P(x_1 \leq X)$, E À LIBERAÇÃO DE UMA VAZÃO BÁSICA Q_B .

ESTAÇÃO: ACAUÁ-POAÇA		RIO: PIRANHAS			
PROBABILIDADE $P(x_1 \leq X)$ [$\%$]	VOLUMES [10^6 m^3]				
	$Q_B = 0$	$Q_B = 210 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 415 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 615 \text{ m}^3/\text{s}$	
50	3660	2460	1740	1260	
80	7140	5460	4260	3360	
90	9360	7500	6060	4920	
95	11520	9420	7740	6420	
98	14220	11820	9960	8460	
99	16140	13620	11540	9960	

ESTAÇÃO: MORADA NOVA II		RIO: BANABUIU			
PROBABILIDADE $P(x_1 \leq X)$ [$\%$]	VOLUMES [10^6 m^3]				
	$Q_B = 0$	$Q_B = 33 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 130 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 227 \text{ m}^3/\text{s}$	
50	780	675	475	220	
80	1770	1620	1225	820	
90	2430	2268	1700	1240	
95	3120	2862	2175	1680	
98	4200	3807	2850	2260	
99	5010	4590	3300	2660	

ESTAÇÃO: JARDIM DE PIRANHAS		RIO: PIRANHAS			
PROBABILIDADE $P(x_1 \leq X)$ [$\%$]	VOLUMES [10^6 m^3]				
	$Q_B = 0$	$Q_B = 95 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 195 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 300 \text{ m}^3/\text{s}$	
50	1620	1034	851	620	
80	3420	2597	2208	1820	
90	4710	3736	3174	2680	
95	5910	4850	4163	3540	
98	7500	6307	5405	4660	
99	8670	7420	6371	5500	

ESTAÇÃO: ICÓ		RIO: SALGADO			
PROBABILIDADE $P(x_1 \leq X)$ [$\%$]	VOLUMES [10^6 m^3]				
	$Q_B = 0$	$Q_B = 45 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 95 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 145 \text{ m}^3/\text{s}$	
50	648	390	270	264	
80	1320	880	730	680	
90	1824	1430	1120	1000	
95	2304	1870	1510	1344	
98	2940	2470	2050	1840	
99	3408	2890	2430	2168	

ESTAÇÃO: SÃO FERNANDO		RIO: SERIDÓ			
PROBABILIDADE $P(x_1 \leq X)$ [$\%$]	VOLUMES [10^6 m^3]				
	$Q_B = 0$	$Q_B = 35 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 65 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 95 \text{ m}^3/\text{s}$	
50	420	273	195	144	
80	890	672	552	490	
90	1240	973	819	696	
95	1580	1281	1098	960	
98	2020	1680	1482	1326	
99	2370	1988	1768	1614	

ESTAÇÃO: LAVRAS DA MANGABEIRA		RIO: SALGADO			
PROBABILIDADE $P(x_1 \leq X)$ [$\%$]	VOLUMES [10^6 m^3]				
	$Q_B = 0$	$Q_B = 37 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 71 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 104 \text{ m}^3/\text{s}$	
50	480	287	210	155	
80	745	497	420	325	
90	940	700	546	450	
95	1130	840	690	595	
98	1400	1071	930	790	
99	1600	1267	1080	915	

ESTAÇÃO: IGUATU		RIO: JAGUARIBE			
PROBABILIDADE $P(x_1 \leq X)$ [$\%$]	VOLUMES [10^6 m^3]				
	$Q_B = 0$	$Q_B = 27 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 92 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 157 \text{ m}^3/\text{s}$	
50	540	378	221	188	
80	1140	936	646	536	
90	1580	1332	969	783	
95	2100	1782	1377	1058	
98	2840	2466	1989	1552	
99	3320	2952	2482	1943	

ESTAÇÃO: PEDRA DE ABELHAS		RIO: APODI			
PROBABILIDADE $P(x_1 \leq X)$ [$\%$]	VOLUMES [10^6 m^3]				
	$Q_B = 0$	$Q_B = 20 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 60 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 95 \text{ m}^3/\text{s}$	
50	370	256	238	208	
80	890	744	679	566	
90	1280	1104	987	832	
95	1660	1464	1232	1105	
98	2200	1960	1715	1469	
99	2540	2304	2023	1729	

TABELA - (Continuação)

ESTAÇÃO: ARNEIROZ		RIO: JAGUARIBE			
PROBABILIDADE $P(x_1 < X)$ [%]	VOLUMES [10^6 m^3]				
	$Q_B = 0$	$Q_B = 7 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 29 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 64 \text{ m}^3/\text{s}$	
50	95	72	56	39	
80	210	168	154	108	
90	310	252	234	153	
95	430	348	312	210	
98	605	500	410	285	
99	725	620	490	345	

ESTAÇÃO: PAU DOS FERROS		RIO: APODI			
PROBABILIDADE $P(x_1 < X)$ [%]	VOLUMES [10^6 m^3]				
	$Q_B = 0$	$Q_B = 6 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 40 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 75 \text{ m}^3/\text{s}$	
50	144	122	102	66	
80	322	284	224	160	
90	434	399	308	228	
95	542	504	392	296	
98	686	644	502	386	
99	784	738	578	448	

ESTAÇÃO: QUIXERAMBIM		RIO: QUIXERAMBIM			
PROBABILIDADE $P(x_1 < X)$ [%]	VOLUMES [10^6 m^3]				
	$Q_B = 0$	$Q_B = 30 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 70 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 110 \text{ m}^3/\text{s}$	
50	384	280	190	160	
80	948	780	620	520	
90	1308	1090	900	784	
95	1680	1400	1200	1040	
98	2160	1850	1580	1368	
99	2520	2130	1850	1568	

ESTAÇÃO: PIANCÔ		RIO: PIANCÔ			
PROBABILIDADE $P(x_1 < X)$ [%]	VOLUMES [10^6 m^3]				
	$Q_B = 0$	$Q_B = 15 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 40 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B = 65 \text{ m}^3/\text{s}$	
50	292	240	176	140	
80	604	515	424	336	
90	826	715	580	480	
95	1046	920	752	616	
98	1320	1185	972	791	
99	1540	1380	1136	924	

TABELA 5.1 - Tabela auxiliar para a construção do diagrama de dispersão.

ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS	\bar{Q} m ³ /s	Q_B m ³ /s	$K = \frac{Q_B}{\bar{Q}^2}$	V_{99} [10 ⁶ m ³]	V_{98} [10 ⁶ m ³]	V_{95} [10 ⁶ m ³]	V_{90} [10 ⁶ m ³]	V_{80} [10 ⁶ m ³]	V_{50} [10 ⁶ m ³]
Jardim de Piranhas	197	0	-	8670	7500	5910	4710	3420	1620
		95	0,00245	7420	6307	4850	3736	2597	1034
		195	0,00502	6371	5405	4163	3174	2208	851
		300	0,00773	5500	4660	3540	2680	1820	620
Acauã-Poaça	415	0	-	16140	14220	11520	9360	7140	3660
		210	0,00122	13620	11820	9420	7500	5460	2450
		415	0,00241	11580	9960	7740	6060	4260	1740
		615	0,00357	9960	8460	6420	4920	3360	1260
Piancó	40	0	-	1540	1320	1046	826	604	292
		15	0,00938	1380	1185	920	715	515	240
		40	0,02500	1136	972	752	580	424	176
		65	0,04062	924	791	616	480	336	140
São Fernando	65	0	-	2370	2020	1580	1240	890	420
		35	0,00828	1988	1680	1281	973	672	273
		65	0,01538	1768	1482	1098	819	552	195
		95	0,02248	1614	1326	960	696	490	144
Icó	95	0	-	3408	2940	2304	1824	1320	648
		45	0,00498	2890	2470	1870	1430	880	390
		95	0,01052	2430	2050	1510	1120	730	270
		145	0,01606	2168	1840	1344	1000	680	264
Lavras da Mangabeira	71	0	-	1600	1400	1130	940	745	480
		37	0,00734	1267	1071	840	700	497	287
		71	0,01408	1080	930	690	546	420	210
		104	0,02063	915	790	595	450	325	155
Arneiroz	29	0	-	725	605	430	310	210	95
		7	0,00832	620	500	348	252	168	72
		29	0,03448	490	410	312	234	154	56
		64	0,07610	345	285	210	153	108	39
Iguatu	92	0	-	3320	2840	2100	1580	1140	540
		27	0,00319	2952	2466	1782	1332	936	378
		92	0,01087	2482	1989	1377	969	646	221
		157	0,01855	1943	1552	1058	783	536	188
Morada Nova II	130	0	-	5010	4200	3120	2430	1770	780
		33	0,00195	4590	3807	2862	2268	1620	675
		130	0,00769	3300	2850	2175	1700	1225	475
		227	0,01343	2660	2260	1680	1240	820	220
Quixeramobim	70	0	-	2520	2160	1680	1308	948	384
		30	0,00612	2130	1850	1400	1090	780	280
		70	0,01428	1850	1580	1200	900	620	190
		110	0,02245	1568	1368	1040	784	520	160
Pau dos Ferros	40	0	-	784	686	542	434	322	144
		6	0,00375	738	644	504	399	284	122
		40	0,02500	578	502	392	308	224	102
		75	0,04688	448	386	296	228	160	66
Pedra de Abelhas	60	0	-	2540	2200	1660	1280	890	370
		20	0,00556	2304	1960	1464	1104	744	256
		60	0,01666	2023	1715	1232	987	679	238
		95	0,02639	1729	1469	1105	832	566	208

Obs.: V_{99} → Volumes com $P(x_1 \leq X) = 99\%$

onde:

\bar{Q} = vazão média anual relativa ao período chuvoso

Q_B = vazão básica

$K = \frac{Q_B}{\bar{Q}^2}$ = fator utilizado para regionalização

V_n = volume com probabilidade $P(x_1 \leq X) = n\%$ onde $n = 99, 98, 95, 90, 80$ e 50 .

TABELA 5.2 - Correlação e regressão entre volume e $K = \frac{Q_B}{Q^2}$

PROBABILIDADE DO VOLUME $P(x_i \leq X)$	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO r	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	
		$V = f\left(\frac{Q_B}{Q^2}\right)$	$\frac{Q_B}{Q^2} = f(V)$
50 %	- 0,83	$V_{50} = 6,721 \left(\frac{Q_B}{Q^2}\right)^{-0,796}$	$\frac{Q_B}{Q^2} = 1,240 \cdot V_{50}^{-0,864}$
80 %	- 0,79	$V_{80} = 20,485 \left(\frac{Q_B}{Q^2}\right)^{-0,759}$	$\frac{Q_B}{Q^2} = 2,268 \cdot V_{80}^{-0,830}$
90 %	- 0,79	$V_{90} = 29,643 \left(\frac{Q_B}{Q^2}\right)^{-0,758}$	$\frac{Q_B}{Q^2} = 3,006 \cdot V_{90}^{-0,827}$
95 %	- 0,78	$V_{95} = 41,238 \left(\frac{Q_B}{Q^2}\right)^{-0,746}$	$\frac{Q_B}{Q^2} = 3,731 \cdot V_{95}^{-0,826}$
98 %	- 0,78	$V_{98} = 57,193 \left(\frac{Q_B}{Q^2}\right)^{-0,736}$	$\frac{Q_B}{Q^2} = 4,770 \cdot V_{98}^{-0,827}$
99 %	- 0,78	$V_{99} = 67,929 \left(\frac{Q_B}{Q^2}\right)^{-0,735}$	$\frac{Q_B}{Q^2} = 5,564 \cdot V_{99}^{-0,830}$

TABELA 6.1 - Vazões básicas e respectivas probabilidades $P(Q_i \geq Q_B)$ para os postos fluviométricos utilizados no estudo.

POSTO FLUVIOMÉTRICO	RIOS	ÁREA [Km ²]	VAZÃO BÁSICA [m ³ /s]			
			P (Q _i ≥ Q _B)			
			75%	50%	25%	5%
			Q _{B75}	Q _{B50} = Q	Q _{B25}	Q _{B5}
Jardim de Piranhas	Piranhas	21.350	95	197	300	440
Acauã-Poaça	Piranhas	37.600	210	415	615	894
Piancó	Piancó	4.550	15	40	65	100
São Fernando	Seridó	9.700	35	65	95	140
Icó	Salgado	12.000	45	95	145	210
Lavras da Mangabeira	Salgado	8.400	37	71	104	150
Ameiroz	Jaguaribe	5.900	07	29	64	110
Iguatu	Jaguaribe	21.000	27	92	157	245
Morada Nova II	Banabuiu	17.900	33	130	227	360
Quixerambim	Quixerambim	7.100	30	70	110	164
Pau dos Ferros	Apodi	6.450	06	40	75	120
Pedra de Abelhas	Apodi	2.050	20	60	95	150