

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO – VERSÃO ELETRÔNICA
ACROBAT PDF (PORTABLE DOCUMENT FORMAT)

<p>Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos Área de Concentração em Hidráulica e Recursos Hídricos</p> <p>Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos Escola de Engenharia Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG</p>	<p>Título: Avaliação da Vazão Referencial como Critério de Outorga dos Direitos de Usos das Águas na Bacia do Rio Paraopeba</p> <p>Autor: Marcelo Jorge Medeiros CPRM – Serviço Geológico do Brasil Superintendência Regional de Belo Horizonte</p> <p>Orientador: Prof. Mauro da Cunha Naghettini</p>
<p>Av. do Contorno, 842 – 7 andar – Centro Belo Horizonte MG CEP 30110-060</p> <p>Email: posgrad@desa.ufmg.br</p>	<p>Av. Brasil, 1731 – Funcionários Belo Horizonte MG CEP 30140-002</p> <p>Email: marcelo@cprmbh.gov.br</p>

Este documento foi criado no Adobe Acrobat 4.0.

Qualquer parte desta publicação pode ser reproduzida, desde que seja citada a origem.

16 de maio de 2001
Belo Horizonte

Marcelo Jorge Medeiros

**AVALIAÇÃO DA VAZÃO REFERENCIAL
COMO CRITÉRIO DE OUTORGA DOS
DIREITOS DE USOS DAS ÁGUAS
NA BACIA DO RIO PARAÓPEBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio-Ambiente e Recursos Hídricos dos Departamentos de Engenharia Sanitária e Ambiental e Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Mauro da Cunha Naghettini - UFMG

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2000

M488a
2000

Medeiros, Marcelo Jorge

Avaliação da vazão referencial como critério de outorga dos direitos de uso das águas na bacia do Rio Paraopeba / Marcelo Jorge Medeiros.--2000.

176 p.:il.

Orientador: Mauro da Cunha Naghettini

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos.

1. Recursos Hídricos – Paraopeba, Rio, Vale – Teses. I. Naghettini, Mauro da Cunha. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos. IV. Título.

CDU: 556 (815.1)

Dissertação defendida e aprovada, em 29 de agosto de 2000, pela banca examinadora constituída por:

Prof. Mauro da Cunha Naghettini - Orientador

Prof. Antônio Eduardo Lanna

Prof. Luiz Rafael Palmier

Prof. Marcos von Sperling

Aloísio de Araújo Prince

AGRADECIMENTOS

O autor gostaria de agradecer a todos que se envolveram, de uma forma ou outra, na realização deste trabalho, e em especial a:

ao Prof. Mauro da Cunha Naghettini, mais que orientador, sem o qual eu não teria chegado ao fim deste trabalho, ou mesmo começado tão bem;

meu amigo e companheiro de Companhia, de mestrado, e de Escola de Engenharia, Márcio Cândido, a quem sempre recorri quando as coisas não se resolviam, pois com meu amigo, as coisas sempre serão *fáceis e calmas*;

ao secretário do EHR, meu amigo Roberto "Bob" de Paula, a quem sempre admirei pelo entusiasmo e amizade espontânea, e também Jussara e Márcio Lourenço;

ao Prof. Márcio Benedito Baptista, primeiro orientador de iniciação científica, onde aprendi o valor da pesquisa técnica;

à minha família, mãe, pai, vó, Nádia e Jaider, e vô Salim, para que saibam que vim, vi e venci, mas sem vocês, não teria sido capaz nem mesmo de sair de casa;

à Virgínia, que suportou todas as minhas faltas, inconstância, caras feias, humores aleatórios e , ainda assim, gosta de mim;

aos meus colegas de Companhia, Éber e Alice, conselheiros e companheiros de profissão;

aos professores do Mestrado, Rafael Palmier e Nilo Nascimento;

à CPRM, pelo tempo livre para freqüentar as aulas e escrever esta dissertação;

à RURALMINAS e ANEEL, pela cessão dos dados hidrológicos utilizados neste estudo.

"As águas são muitas, infindas. E em tal maneira é graciosa que, querendo-se aproveitá-la, dar-se-á nela tudo, por causa das águas que tem."

Carta de Pero Vaz de Caminha ao Rei de Portugal, Dom Manuel I, 1º de maio de 1500, Ilha da Vera Cruz.

"Eu a comparo [isto é, a Fortuna] a um desses rios violentos que, quando se enfurecem, inundam as planícies, destroem as árvores e as construções, soerguem a terra num lugar, rebaixam-na em outro; toda gente foge diante deles, todos se rendem a seu ímpeto sem serem capazes de impedi-lo sob nenhum aspecto. E embora [os rios] sejam assim, isso não significa que os homens, em tempos de quietude, não possam tomar providências com relação a eles..."

Niccolò Maquiavel, em *O Príncipe*.

RESUMO

Atualmente, o Governo do Estado de Minas Gerais, através do Instituto Mineiro de Gestão das Águas-IGAM, tem concedido outorgas do direito de uso das águas superficiais em um trecho fluvial até o valor equivalente a 30% da vazão de 7 dias de duração e 10 anos de tempo de retorno, ou $Q_{7,10}$. Entretanto, observa-se em algumas regiões do Estado que este valor máximo de vazão de outorga é insuficiente para o atendimento das demandas de todos os usuários existentes na bacia. Este valor, calculado através da análise dos períodos críticos de estiagem, é mantido fixo ao longo do ano, restringindo assim um maior uso do recurso hídrico em meses fora do período de seca, e em anos de maior oferta hídrica.

Este trabalho tem por objetivo avaliar o critério de outorga praticado atualmente no Estado de Minas Gerais em função da análise dos parâmetros de cálculo da vazão referencial: duração, tempo de retorno e fração a ser outorgada em relação à demanda na bacia e a disponibilidade hídrica. Também se propõe um novo critério de vazão de outorga de variação anual, com a finalidade de oferecer mais água aos usuários em anos chuvosos.

Foram levantados na literatura os métodos para determinação de vazões de outorga, assim como a legislação brasileira, a nível federal e estadual, para implementação do sistema de concessão de outorgas. Como estudo de caso, foi selecionada a bacia hidrográfica do Rio Paraopeba, sendo definidas as demandas existentes das águas superficiais por tipo de usuário nos municípios integrantes da bacia.

Foi realizada uma análise de frequência regional de vazões mínimas para a bacia do Rio Paraopeba, a fim de tornar possível a determinação de valores de quantis em locais desprovidos de observações sistemáticas, assim como de quantis e parâmetros mais confiáveis em locais medidos. No estudo regional de frequência também tentou-se verificar a influência de um parâmetro representativo do escoamento de base no regime

de vazões do curso d'água, o índice do escoamento de base, no modelo de regressão regional.

A duração e o tempo de retorno da vazão referencial foram avaliados separadamente em relação ao risco existente de se determinar uma vazão de outorga que, num dado intervalo de tempo, seja superior à vazão disponível.

Já para o coeficiente que define a fração da vazão referencial a ser outorgada foi verificado se o mesmo é suficiente para o atendimento da demanda de usos das águas existente, e qual a possibilidade que, em um ano qualquer, em um dado local, aconteça pelo menos um dia em que a vazão média do curso d'água seja inferior à vazão outorgada. Também foi verificada a possibilidade de que a vazão disponível na bacia seja insuficiente para o atendimento às vazões demandadas pelos usuários.

Por fim, aplica-se à bacia do Rio Paraopeba um fator de correção anual para a vazão de outorga, baseado em uma relação entre as vazões observadas no início do ano e o período de estiagem, o qual resulta em valores de vazão superiores ao critério de 30% de $Q_{7,10}$, para anos chuvosos.

Com a determinação dos riscos que envolvem a determinação de um critério para o cálculo da vazão de outorga, e da necessidade de verificação da mesma em relação à demanda e disponibilidade hídrica existentes na bacia, espera-se subsidiar o Poder Público outorgante na definição do instrumento de concessão de outorgas do direito de uso das águas.

ABSTRACT

Nowadays, the State Government of Minas Gerais, through the Minas Gerais State Secretariat of Water Resources Management, is providing water use permits of a river reach up to 30% of the 7-day, 10-year return period, or $Q_{7,10}$. However, in some areas of Minas Gerais State the 30% maximum parcel of river flow is not enough to supply all existing users of the river basin. This limit, based in critical periods of drought, is the same during the whole year, limiting the use of the water resources out of dry season and in years of major water resources offer.

The objective of this work is to evaluate the current water use permit criteria of Minas Gerais State on the basis of the referential discharge parameters: duration, return period and parcel of river flow in relation to the river basin demand and water availability. It also proposes a new water parcel discharge criteria on a yearly basis, aiming to offer more water to users during rainy years.

The methodologies for determining the water use permit discharges, as well as the federal and state legislation, were studied in order to establish the water use permit system. As a case study, the Paraopeba's river basin was selected, and all existing surface water demands were defined, by user's type at the local municipalities that are part of the river basin.

A regional frequency analysis of low flow for the Paraopeba's river basin was conducted to determine the quantile values at ungauged sites, as well as more reliable quantiles and parameters at gauged sites. Considering the regional frequency study there was a try to check the influence of a representative baseflow, the baseflow index, upon the regional regression model.

The duration and the return period of the referential discharge were studied in separate parts in relation to the existing risk of establishing a water use permit discharge that is higher than the available discharge, in a given time.

The coefficient that defines the parcel of river flow that the government applies was verified and it was checked to make sure if it may supply all the existing uses of water demand and what is the possibility that, in a given year, in a certain place, at least one day, the mean discharge of a water reach is lower than the water permit discharge. It was also verified the possibility of the available discharge at a river basin being insufficient to supply the discharges demanded by users.

Last but not least, an annual correction index for the water permit limit discharge was applied to Paraopeba's river basin based on the relation between the observed discharge from the beginning of the year and the dry period which shows discharge values greater than the 30% of $Q_{7,10}$ criteria for rainy years.

This work aims to give a subsidy to the public power responsible for establishing water use permit discharge limits determining the risks involved in a definition of a criteria to calculate the water permit limit discharge and verifying this limit discharge in relation to the demand and the water availability of a river basin.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1	Recursos Hídricos.....	24
2.2	Outorga do Direito de Uso das Águas.....	31
2.3	Análise Local de Frequência de Vazões Mínimas.....	57
2.4	Análise Regional de Frequência de Vazões Mínimas.....	60
2.5	Definição da Vazão Ecológica.....	70
3	METODOLOGIA.....	73
3.1	Análise de Frequência Local de Vazões Mínimas.....	75
3.2	Análise Regional de Frequência de Vazões Mínimas.....	79
3.3	Avaliação do Critério da Vazão Referencial.....	97
3.4	Critério de Vazão Referencial com Variação Anual.....	106
4	ÁREA DE ESTUDO: BACIA DO RIO PARAOPEBA.....	109
4.1	Localização.....	111
4.2	População e Economia.....	112
4.3	Geologia e Relevo.....	113
4.4	Vegetação.....	115
4.5	Clima.....	117
4.6	Caracterização Hidrográfica.....	119
4.7	Caracterização das Demandas de Águas Superficiais na Bacia.....	119
5	REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÍNIMAS NA BACIA DO RIO PARAOPEBA.....	123
5.1	Seleção de Dados Básicos.....	125
5.2	Análise de Frequência de Vazões Mínimas.....	131
5.3	Análise de Regressão da Variável de Adimensionalização.....	136
6	AVALIAÇÃO DA VAZÃO REFERENCIAL DE OUTORGA $kQ_{t,Tr}$.....	140
6.1	Avaliação do Tempo de Retorno da Vazão Referencial.....	142
6.2	Avaliação da Duração da Vazão Referencial.....	144

6.3	Avaliação do Coeficiente k da Vazão Referencial.....	149
6.4	Critério de Vazão Referencial com Variação Anual.....	158
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	168
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	172

ANEXO I

ANEXO II

ANEXO III

ANEXO IV

ANEXO V

ANEXO VI

LISTA DE TABELAS

2.1	Vazão média anual e consumo de água estimados por continente.....	28
2.2	Sumário de estatísticas de vazões mínimas.....	57
2.3	Vazões residuais de reservatórios no Estado do Texas, EUA.....	71
2.4	Vazões residuais de projetos de aproveitamento de águas superficiais no Estado do Texas, EUA.....	72
3.1	Determinação de α e β para o CV amostral = 0,5697.....	77
3.2	Exemplo de tabela auxiliar para determinação de IEB.....	88
3.3	Vazões médias diárias (m^3/s) utilizadas para cálculo do IEB.....	89
3.4	Matriz de correlação simples.....	93
4.1	Municípios integrantes da bacia hidrográfica do Rio Paraopeba.....	113
4.2	Principais reservatórios na bacia do Paraopeba.....	119
4.3	Demandas de água, em l/s, por município integrante da bacia, por classe de uso, para 1996.....	121
4.4	Demandas de água, em l/s, por município integrante da bacia, por classe de uso, para 2006.....	122
5.1	Estações selecionadas para análise regional de frequência de vazões mínimas.....	126
5.2	Períodos falhos preenchidos e estações-apoio utilizadas na regressão...	126
5.3	Características físicas das estações selecionadas.....	127
5.4	Precipitação média anual.....	127
5.5	Valores calculados de IEB.....	129
5.6	Vazão média das mínimas anuais, Q_m , de duração t dias.....	130
5.7	Período utilizado para a estimação dos parâmetros da distribuição de probabilidade de Weibull.....	132
5.8	Parâmetros da distribuição de probabilidade de Weibull e vazões mínimas características, em m^3/s	132
5.9	Parâmetros da distribuição de Weibull estimados para os valores médios de vazões mínimas, por duração.....	133
5.10	Variáveis explicativas utilizadas na regressão de Q_m	136
5.11	Matriz de correlação simples entre as variáveis.....	136

5.12	Avaliação dos modelos de regressão de Q_m	138
5.13	Avaliação das vazões obtidas pela equação de regressão em relação à série histórica.....	139
6.1	Estações fluviométricas utilizadas na análise do coeficiente de variação da vazão mínima.....	144
6.2	Coeficiente de variação CV das vazões mínimas anuais, para as diversas durações.....	145
6.3	Coeficiente de variação CV* das vazões mínimas anuais, para as diversas durações.....	146
6.4	Vazões de demandas pelas classes de usuários, para 1996, em m^3/s	149
6.5	Vazões de demandas pelas classes de usuários, para 2006, em m^3/s	150
6.6	Risco R_t de não atendimento, em um ano qualquer, da vazão de outorga $kQ_{7,10}$	153
6.7	Risco R_d de não atendimento da vazão disponível às vazões das classes de usuários, para 1996.....	155
6.8	Risco R_d de não atendimento da vazão disponível às vazões das classes de usuários, para 2006.....	156
6.9	Resultados da regressão de FC para estações fluviométricas na bacia do Rio Paraopeba.....	159
6.10	Estações fluviométricas utilizadas para o modelo de regressão de FC.....	159
6.11	Características das estações fluviométricas utilizadas para o modelo de regressão de FC.....	160
6.12	Matriz de correlação simples entre as variáveis de todas as estações.....	160
6.13	Resultados do ajuste do modelo de regressão de FC, utilizando todas as estações.....	161
6.14	Resultados do ajuste do modelo de regressão de FC, para São Brás do Suaçuí.....	161
6.15	Resultados do ajuste do modelo de regressão de FC, para Congonhas.....	162
6.16	Resultados do ajuste do modelo de regressão de FC, para estações com área superior a $2500km^2$	162
6.17	Desvio médio entre os valores de FC observados e calculados.....	163

LISTA DE GRÁFICOS

2.1	Aplicação do critério de outorga por vazão referencial.....	53
3.1	Ajuste da distribuição de probabilidade de Weibull para vazões mínimas de 7 dias de duração.....	78
3.2	Exemplo de comportamento de tendências dentro da mesma bacia.....	81
5.1	Variação de IEB, período 1938-1993, Rio Paraopeba em Ponte Nova do Paraopeba.....	129
5.2	Curva de permanência de vazões médias diárias para o Rio Paraopeba em Ponte Nova do Paraopeba.....	132
5.3	Vazões mínimas de duração de 1, 3, 5, 7, 10, 15 e 30 dias, adimensionalizadas contra a posição de plotagem de Weibull, para todas as estações.....	134
5.4	Curvas regionais de frequência, ajustadas para os pontos médios das durações de 1, 3, 5 e 7 dias.....	134
5.5	Curvas regionais de frequência, ajustadas para os pontos médios das durações de 10, 15 e 30 dias.....	135
5.6	Valores observados contra previstos da vazão média Q_m	138
6.1	Riscos para o tempo de retorno de 30 anos, em função do intervalo de concessão da outorga.....	143
6.2	CV em função da duração da vazão mínima.....	146
6.3	CV* em função da duração da vazão mínima.....	147
6.4	Demandas das classes de usuários, acumuladas no PC, e vazão de outorga, para 1996.....	151
6.5	Demandas das classes de usuários, acumuladas no PC, e vazão de outorga, para 2006.....	151
6.6	Análise do risco de não atendimento R_d em função de dias consecutivos de falha às demandas de 1996.....	157
6.7	Análise do risco de não atendimento R_d em função de dias consecutivos de falha às demandas de 2006.....	157
6.8	Aplicação de $FC(30\%Q_{7,10})$ para o Rio Paraopeba, em Ponte Nova do Paraopeba.....	165

6.9	Aplicação de FC $Q_{7,10} - 70\%Q_{7,10}$ para o Rio Paraopeba, em Ponte Nova do	166
6.10	Avaliação de cenários de demanda das águas para o Rio Paraopeba, em Ponte Nova do Paraopeba.....	167

LISTA DE FIGURAS

3.1	Métodos gráficos de separação do escoamento.....	86
3.2	Separação do hidrograma para Ponte Nova do Paraopeba pelo HYSEP.....	91
3.3	Fluxograma de cálculo de R_d para cada classe de usuários, aceitando um período de falhas.....	105
3.4	Determinação dos pontos a e b	107
4.1	Localização da bacia hidrográfica do Rio Paraopeba.....	111
4.2	Distribuição da população na bacia do Rio Paraopeba.....	114
4.3	Modelo digital do terreno simplificado.....	116
4.4	Mapa de isoietas de precipitação média anual: sub-bacia 40.....	118

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CIBAPAR	Consórcio Intermunicipal da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPASA MG	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica, São Paulo
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (extinto)
DRH - BA	Departamento de Recursos Hídricos do Estado da Bahia
ELETRORBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras SA
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IOW	International Office for Water, França
MMA	Ministério de Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal
NERC	Natural Environmental Research Council, Inglaterra
OMM	Organização Meteorológica Mundial
RURALMINAS	Fundação Rural Mineira de Colonização e Desenvolvimento Agrário
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SRH	Secretaria de Recursos Hídricos
TWDB	Texas Water Development Board, EUA
USACE	United States Army Corps of Engineers, EUA
USGS	United States Geological Survey, EUA

LISTA DE NOTAÇÕES

A	área de drenagem, em km ²
CV	coeficiente de variação amostral
D ou DEC	declividade do curso d'água, em m/km
DD	densidade de drenagem, em junções/km ²
E(X)	valor esperado de X populacional
f	número de anos com falha no atendimento à demanda
FC	fator de correção anual da vazão de outorga
I _{15,85}	declividade do curso d'água determinada a 15% e 85% do comprimento do rio até o ponto considerado, em m/km
IEB	índice de escoamento básico
IS	índice de sensibilidade
k	coeficiente representativo da fração da vazão referencial a ser outorgada
k _r	constante de recessão
L	comprimento do curso d'água, em km
n	tamanho da amostra
P	precipitação média anual, em mm
pp	posição de plotagem
Q	vazão média diária, usualmente em m ³ /s
Q ₉₅	vazão de 95% de permanência
Q _{30/04}	vazão média do dia 30 de abril do ano i, em m ³ /s
Q _{ABRIL}	vazão média de abril de longo termo, em m ³ /s
Q _i	vazão acumulada na classe de usuário i, em m ³ /s
Q _m	vazão média das mínimas anuais, em m ³ /s
Q _{MLT}	vazão média anual de longo termo, em m ³ /s
Q _t	vazão mínima de duração de t dias, em m ³ /s
Q _{t,Tr}	vazão mínima de t dias de duração e T _r anos de tempo de retorno
r	coeficiente de regressão simples
r _{ab}	coeficiente de correlação simples entre a e b
R	coeficiente de correlação múltipla
R ²	coeficiente de determinação

R_d	risco de que, para um ano qualquer, a vazão do curso d'água seja inferior à vazão demandada pelas classes de usuários, em função da duração
R_t	risco da vazão média de um dia qualquer ser inferior ao valor da vazão referencial, em função do tempo de retorno
R_k	risco de que, em um ano qualquer, aconteça pelo menos um dia em que a vazão média é inferior a $k Q_{t,Tr}$, em função do tempo de retorno
S	desvio padrão amostral
t	dias de duração da vazão mínima
Tr	tempo de retorno, em anos
Var(X)	variância de X populacional
VB	volume de escoamento de base
VT	volume total do escoamento
α	parâmetro de forma da distribuição de probabilidade de Weibull
β	parâmetro de escala da distribuição de probabilidade de Weibull
ε	parâmetro de posição da distribuição de probabilidade de Weibull

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

A água pode ser usada para um grande número de propósitos: abastecimento público, necessidades domésticas, irrigação, geração de energia elétrica, na indústria, recreação e em diversos outros usos, sendo todos usos alternativos das águas. Porém, quando não há água suficiente para atender a todos, os usos então se tornam competitivos entre si.

A instituição do instrumento de outorga do direito de uso das águas tem por objetivo principal assegurar direitos iguais de acesso ao recurso hídrico, a todos os usuários da bacia hidrográfica. A outorga das águas também é um mecanismo de racionalização do recurso hídrico, impondo prioridades para os seus diferentes usos, protegendo o abastecimento humano em época de escassez, assim como a vazão necessária à preservação do ecossistema aquático.

Para o estabelecimento do processo de outorga é necessário que se defina não somente o critério técnico de determinação da vazão máxima a ser outorgada num trecho qualquer do curso d'água, mas também a disponibilidade hídrica da bacia, e, principalmente, as demandas das águas por parte da população e dos diversos setores da economia.

Atualmente, tem-se praticado, no Estado de Minas Gerais, se conceder outorgas de direito do uso das águas, em um determinado trecho do curso d'água, até que se atinja a vazão equivalente a 30% da vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de tempo de retorno, $Q_{7,10}$. Porém, por ser um critério definido a partir da análise de períodos críticos de estiagem, a vazão de outorga é bastante restritiva quanto à expansão dos sistemas de usos das águas. Simultaneamente, os usuários podem verificar que na maior parte do tempo, a vazão disponível no curso d'água é superior à vazão de outorga (LANNA, 1997).

Justifica-se assim a necessidade de se avaliar os parâmetros de cálculo da vazão de outorga em relação à disponibilidade hídrica da bacia, visando o aumento da oferta

de águas para concessão de direito de uso, assim como quanto ao atendimento às demandas dos diversos usos existentes na bacia.

Este estudo tem por objetivo avaliar o critério de vazão de outorga adotado no Estado de Minas Gerais, de 30% de $Q_{7,10}$, em função da análise em separado dos seus parâmetros de cálculo: a duração, o tempo de retorno e a fração da vazão a ser outorgada. Para cada parâmetro avalia-se o risco de não atendimento do critério à demanda dos usos das águas existentes e risco da vazão de outorga ser superior à disponibilidade hídrica.

Também é proposta a utilização de um novo critério de cálculo da vazão de outorga com variabilidade anual, o qual permitiria uma maior oferta de água em anos com maior disponibilidade hídrica na bacia. A aplicação deste critério é inédita, não havendo referências a respeito de critérios variáveis de vazão de outorga em toda a literatura pesquisada.

Para tanto são necessários a escolha de uma bacia hidrográfica com registros históricos de dados de vazões, a análise local e regional de vazões mínimas para cálculo das vazões de outorga nos trechos da bacia onde serão aplicados os critério de avaliação dos parâmetros que definem a vazão de outorga, além do levantamento das demandas de águas superficiais dos usos existentes.

Como estudo de caso foi escolhida a bacia hidrográfica do Rio Paraopeba, localizada no Estado de Minas Gerais, devido ao fato de parte da região metropolitana de Belo Horizonte localizar-se na bacia, gerando assim uma grande diversidade de usos das águas superficiais na bacia, que abrangem tanto o abastecimento público para uma população de quase um milhão de habitantes, quanto irrigação, indústrias, mineração e outros.

No Capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica realizada para este estudo, onde se descreve uma evolução histórica dos usos das águas, a necessidade da gestão dos recursos hídricos, o que é a outorga do direito de uso das águas, modelos internacionais de outorga, assim como as bases legais para a implementação do instrumento de outorga, com a apresentação de leis federais e estaduais sobre o tema.

São apresentados como se determinam alguns critérios de vazão de outorga e como se executa um estudo de análise de frequência regional de vazões mínimas, necessário para a estimação de vazões mínimas em locais sem monitoramento hidrológico. Na análise regional de vazões introduz-se uma variável representativa do escoamento subterrâneo, o índice de escoamento de base-IEB, com o objetivo de diminuir a incerteza na determinação das vazões mínimas.

A metodologia para a análise local e regional de vazões mínimas, assim como as avaliações dos parâmetros de cálculo da vazão de outorga, e o critério de vazão de outorga com variação anual, são detalhados no Capítulo 3.

No Capítulo 4 é apresentada a bacia hidrográfica do Rio Paraopeba, com características sociais, econômicas, climáticas e outras, necessárias para a análise da área de estudo.

Os resultados obtidos pela regionalização de vazões mínimas na bacia do Rio Paraopeba são apresentados no Capítulo 5.

Já o Capítulo 6 traz as avaliações feitas para a vazão referencial utilizada para a determinação da vazão de outorga, e os resultados obtidos com a aplicação do critério de vazão de outorga com variação anual.

As conclusões referentes à metodologia aplicada e aos resultados obtidos são apresentados no Capítulo 7, assim como recomendações para estudos futuros sobre o mesmo tema.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta Revisão Bibliográfica compreende quatro partes principais:

- Recursos hídricos: definição da água como recurso imprescindível à vida e de valor econômico, um breve histórico da evolução dos usos dos recursos hídricos, classificação e principais usos das águas;
- Legislações existentes sobre direito de uso dos recursos hídricos: principais leis federais e legislação de alguns estados brasileiros;
- Análise regional de frequência de vazões mínimas: descrição das técnicas correntes de regionalização de vazões mínimas, análise de frequência local, determinação de características físicas e hidrológicas necessárias ao estudo de regionalização e determinação da curva de frequência e da equação de regressão regionais;
- Vazão de outorga: critérios normalmente utilizados para determinação da vazão máxima a ser outorgada num trecho fluvial e definição da vazão ecológica.

2.1 Recursos Hídricos

2.1.1 Caracterização da Água como Recurso

A água é nosso mais precioso recurso natural. Todo organismo vivo no planeta necessita de água sob alguma forma. A água afeta o crescimento da população, influencia nossa saúde e condições de vida, e determina a biodiversidade (HEATHCOTE, 1998).

Estima-se que 96,5% de toda a água da Terra esteja nos oceanos e mares, enquanto que dos 3,5% restantes, aproximadamente 1% esteja retida na forma de aquíferos e lagos salinos ou aquíferos profundos, restando apenas 2,5% de água doce (MAIDMENT *et al.*, 1993).

Além de essencial à vida na Terra, a água pode ser captada pelo homem e utilizada para diversas finalidades, como abastecimento, meio de transporte, geração de energia, agricultura, recreação e outros usos.

O ciclo hidrológico é o princípio fundamental para o estudo das águas. A água evapora dos oceanos e superfície terrestre, é levada pela circulação atmosférica na forma de vapor, precipita-se como chuva ou neve, é interceptada pelas árvores e vegetação, escoar pela superfície, se infiltra nos solos, promovendo a recarga dos aquíferos, flui pelos rios e, finalmente, vai para os oceanos, de onde se evaporará novamente (MAIDMENT *et al.*, 1993). A água, na forma como está presente nas etapas do ciclo hidrológico, é então caracterizada como um **recurso natural e renovável**.

Devido às diferenças na geologia e climatologia da Terra, a água distribui-se de forma irregular no espaço e no tempo. A intensidade, a distribuição temporal e espacial, a velocidade e a direção dominantes de deslocamento dos campos de precipitação sobre as bacias hidrográficas, as variações temporais e espaciais das perdas por

evapotranspiração, interceptação e infiltração, bem como as condições de armazenamento da água no solo são exemplos do grande número de fatores interdependentes que podem influir na variabilidade do regime de vazões de um curso d'água (NAGHETTINI, 1999). Em conseqüência, pode-se afirmar que os recursos hídricos também são **móveis**, pois escoam pelos rios e aquíferos, e de natureza **aleatória**.

2.1.2 Caracterização Histórica do Uso de Recursos Hídricos

Os recursos hídricos não podem ser estudados sem a perspectiva de sua influência sobre as sociedades humanas ao longo da História. Os primeiros núcleos populacionais se formaram ao longo de cursos d'água, mares e oceanos, fontes de comida, água e transporte. Várias civilizações importantes do mundo antigo floresceram dessa maneira, como a egípcia, ao longo do vale do Rio Nilo.

Segundo MAYS (1996), os primeiros esforços de sucesso para o controle das águas foram feitos no Antigo Egito e na Mesopotâmia, na forma de canais de irrigação, utilizados principalmente nas épocas de estiagem. É de maior interesse, entretanto, a preocupação dos habitantes com os direitos das águas. Diz uma antiga lei da Babilônia, datada do século VI AC:

“O senhor que abrir seu canal para propósitos de irrigação, mas que não tenha feito um dique forte que evite uma cheia que inunde o campo vizinho, deverá dar de sua colheita ao proprietário do campo vizinho, em proporção igual ao dano causado.”

Leis na Mesopotâmia não somente exigiam dos fazendeiros que conservassem suas bacias e canais, mas também que qualquer um deveria ajudar com arados e pás no tempo de cheias, ou quando novos canais fossem escavados, bem como no reparo de canais danificados.

Vários aquedutos foram escavados pelos gregos e romanos para o abastecimento de suas cidades, as quais contavam com diversos jardins, fontes, casas de banhos e rudimentares sistemas de abastecimento e de esgotos. HEATHCOTE (1998) cita decreto romano do ano 11 AC:

“ É proibido poluir o suprimento de água pública, e todo infrator será punido com multa de 10.000 sestércios.”

Após a queda do Império Romano, houve um período de 1000 anos denominado Idade das Trevas, durante o qual a ciência relacionada aos recursos hídricos provavelmente retrocedeu.

Entre 1503 e 1504, Niccolò Maquiavel tenta implementar, em conjunto com Leonardo da Vinci, um projeto de alteração do curso do Rio Arno, com o objetivo de tornar navegável o trecho entre a cidade de Florença e o mar, fazendo da cidade um porto de comércio. Outro objetivo era desviar o rio da cidade de Pisa, a qual estava em guerra com Florença, privando-a de água (MASTERS, 1999).

Durante a Renascença, muitos avanços foram feitos. Bernard Palissy (1510-1589) mostra que os rios e fontes se originam das chuvas, e Pierre Perrault (1608-1680) demonstra que parte da precipitação se torna escoamento superficial, enquanto que o restante se perde por transpiração, evaporação e infiltração.

No século XVIII são desenvolvidos o pluviógrafo e o molinete hidrométrico. São identificados o hidrogênio (1766) e o oxigênio (1770).

Em 1802, Dalton estabelece os princípios do processo de evaporação; Darcy (1856) desenvolve a lei do escoamento em meios porosos. Em 1883, Rippl apresenta um diagrama para determinação de volume útil em reservatórios.

Foi somente no século XX, entretanto, que o empirismo reinante passa a ser substituído pela análise racional dos dados observados, resultando no avanço do estudo e modelagem dos processos físicos que regem o ciclo hidrológico.

2.1.3 Necessidade da Gestão dos Recursos Hídricos

No mundo moderno, a água está presente em múltiplas atividades. Ao longo da História, a necessidade das águas por parte do homem acompanhou o crescimento populacional. Entretanto, o intenso processo de industrialização e de diversificação das atividades econômicas, e a migração da população do campo para as cidades elevaram em muito a escala de consumo de água pela sociedade humana. Não somente tem aumentado a demanda de águas para abastecimento público, mas também para geração de energia elétrica, através do potencial hidrelétrico instalado. Adicionalmente, o aumento populacional implica em maior produção de alimentos, acarretando num aumento das áreas com culturas irrigadas.

A TAB. 2.1 mostra uma estimativa do crescimento do consumo mundial de água, de 1980 a 2000, por continente. Observa-se neste intervalo de 20 anos, um crescimento de quase 100% do consumo na América do Sul e Brasil. Crescem também as perdas por usos consuntivos das águas, o que contribui para a redução das reservas mundiais de água.

Além do crescimento do consumo, o montante de água disponível também é limitado pelo decréscimo da qualidade das águas, causado pela poluição gerada pelos usos domésticos, públicos e industriais, bem como pelos adubos e pesticidas utilizados na agricultura. Outros fatores, como erosão e perda da cobertura vegetal e redução de matas ciliares, também contribuem para a redução da oferta de água.

Assim, as crescentes necessidades de água, a limitação dos recursos hídricos, os conflitos existentes entre os seus múltiplos usos, além dos prejuízos causados pelo excesso de água, caracterizados pelas enchentes, exigem que se promova uma gestão dos recursos hídricos, de forma a compreender as ações de planejamento e administração, integrada às políticas nacionais e regionais de desenvolvimento econômico e social.

TABELA 2.1
Vazão média anual e consumo de água estimados por continente

CONTINENTES	VAZÃO MÉDIA		CONSUMO (km ³ /ano)					
	ANUAL		1980		1990		2000	
	mm	km ³ /ano	TOTAL	PERDAS	TOTAL	PERDAS	TOTAL	PERDAS
Europa	310	3210	435	127	555	178	673	222
América do Norte	340	8200	663	224	724	255	796	302
África	150	4570	168	129	232	165	317	211
Ásia	330	14410	1910	1380	2440	1660	3140	2020
América do Sul	660	11760	111	71	150	86	216	116
<i>Brasil</i>	<i>720</i>	<i>6148</i>	<i>23</i>	<i>10</i>	<i>33</i>	<i>14</i>	<i>48</i>	<i>21</i>
Austrália e Oceania	270	2390	29	15	38	17	47	22

FONTE: SHIKLOMANOV, 1993 *apud* MAYS, 1996.

NOTA: A coluna Perdas é referente às perdas por usos consuntivos das águas.

LANNA (1997) afirma que:

“A gestão das águas é uma atividade analítica e criativa voltada à formulação dos princípios e diretrizes, ao preparo de documentos orientadores e normativos, à estruturação de sistemas gerenciais e à tomada de decisões que têm por objetivo final promover o inventário, uso, controle e proteção dos recursos hídricos.”

ABRH (1986) *apud* LANNA(1997), define os seguintes elementos da gestão das águas:

- Política das Águas: conjunto consistente de princípios doutrinários que conformam as aspirações sociais e / ou governamentais no que concerne à regulamentação ou modificação nos usos, controle e proteção das águas;
- Plano de Uso, Controle ou Proteção das Águas: qualquer estudo que busca adequar o uso, o controle e o grau de proteção dos recursos hídricos à Política das Águas, através da coordenação, compatibilização, articulação e intervenção;

- Gerenciamento das Águas: conjunto de ações governamentais destinadas a regular o uso, o controle e a proteção das águas, e a avaliar a conformidade da situação corrente com os princípios doutrinários estabelecidos pela Política das Águas.

2.1.4 Classificação dos Usos das Águas

As águas podem ter os seguintes usos principais:

- geração de energia elétrica;
- abastecimento doméstico;
- abastecimento industrial;
- irrigação de culturas agrícolas;
- navegação;
- piscicultura;
- pesca;
- assimilação e afastamento de esgotos.

Dentre essas utilizações, os usos podem ser **consuntivos**, quando ocorrem “perdas” entre o volume de água captado e o volume que retorna ao curso d’água ou sistema natural; e **não consuntivos**, quando não há perdas entre os volumes captado e devolvido.

Caracterizam-se como usos consuntivos o abastecimento urbano (usos doméstico, comercial, público e industrial), rural e industrial (refrigeração de máquinas, incorporação ao produto, higiene e limpeza etc). Dentre os principais usos não consuntivos da água estão a geração de energia, navegação, recreação e a pesca.

A diluição, assimilação e afastamento de esgotos e resíduos líquidos estão relacionados às classes de qualidade estabelecidas para os corpos d’água, assim como a

capacidade deles de se autodepurarem. Embora não sejam considerados demandas consuntivas, estes usos podem resultar em padrões de qualidade que limitam o uso dos recursos hídricos.

Segundo a Organização Meteorológica Mundial - OMM, o consumo mundial de água cresceu 600% de 1900 a 1995, numa progressão superior em muito à taxa de crescimento populacional no mesmo período. A OMM também estima que um terço da população mundial viva em áreas onde o consumo é superior à disponibilidade hídrica. A escassez de água de boa qualidade também é agravada pela crescente poluição causada por lançamentos de esgotos e efluentes industriais.

A demanda por água no Brasil tem crescido em um ritmo acelerado, especialmente após a década de 1950, em função do aumento populacional, da expansão do parque industrial e da necessidade de maior quantidade de áreas irrigadas. A diminuição da oferta de água potável torna inevitável o conflito entre as diversas atividades dependentes de seu uso, como a geração de energia elétrica e navegação, assim como também entre os seus usuários.

Assim, a escassez relativa entre múltiplos usos e usuários torna necessária a adoção de processos de gestão das águas, visando assegurar a todos igual acesso ao recurso hídrico.

A gestão das águas, realizada tanto pelo Poder Público, quanto por associações de usuários, caracteriza a água como bem de valor econômico, através da instituição da cobrança por seu uso, e do processo de outorga do direito de uso das águas, o qual, além de estabelecer as quantidades permitidas para cada uso e usuário das águas, objetivando o uso igualitário do recurso, também impõe prioridades de uso, protegendo as reservas para abastecimento humano em épocas de escassez.

2.2 Outorga do Direito de Uso das Águas

"Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo para as presentes e futuras gerações."

Constituição Federal Brasileira de 1988, Artigo 225.

Entende-se como outorga do direito de uso das águas¹ o ato administrativo mediante o qual o Poder Público outorgante faculta ao outorgado o uso de recurso hídrico, por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato.

A outorga tem por objetivo assegurar aos usuários o direito comum de acesso às águas e regular os seus usos quanto aos seus aspectos de quantidade e qualidade.

Segundo BISWAS (1996), o direito de uso pode ser definido como a partilha da vazão de um curso d'água ou aquífero. Se o direito de uso é baseado em termos quantitativos, critérios de limitação do uso deverão ser acordados entre os usuários durante períodos em que não haja água suficiente para todos. Duas alternativas são geralmente usadas. Uma é associar a cada outorga de direito de uso uma prioridade baseada em alguma característica, como a data da solicitação do direito de uso, o local onde será feita a captação, ou o tipo de uso das águas. Assim, em períodos de estiagem, os usuários seriam atendidos de acordo com sua prioridade. No oeste dos Estados Unidos, isto é feito datando-se cada direito de uso no ato de seu estabelecimento ou apropriação. Sobre esse conceito de "*direito apropriado*", os usuários com direitos mais antigos são totalmente atendidos antes que usuários mais recentes.

¹ Os termos "*outorga do direitos das águas*" e "*uso das águas*" citados neste trabalho se referem às águas superficiais, as quais são o objeto de estudo para critérios de outorga desta Dissertação.

A outra alternativa é reduzir todos os direitos proporcionalmente às disponibilidades do período de estiagem. Em muitos casos, é usada uma combinação destas duas opções. Neste caso, certas prioridades, como abastecimento público, são pouco ou nada reduzidas, enquanto que outras, como uso industrial, podem sofrer total redução.

No Chile, direito de uso das águas é geralmente especificado como uma partilha da vazão em uma seção do curso d'água. Na maioria dos casos, a quantidade total de outorgas disponível é baseada a partir de uma vazão estimada como permanente na seção durante 85% do tempo (BISWAS, 1996).

Uma vantagem potencial do sistema americano citado é a falta de necessidade de muita informação histórica referente à disponibilidade hídrica, como medições de vazão e leituras linimétricas. Em tempos de seca, somente os proprietários de direitos de maior prioridade (mais antigos) são atendidos, enquanto que em anos de maior disponibilidade hídrica, até os proprietários mais recentes receberão água. Outorgar novos direitos de uso não implica assim, em reduzir direitos anteriormente outorgados. No Chile, foi criada uma classe especial de direito de uso das águas, disponível quando o suprimento de água excede o volume normal, baseado na vazão de 85% de permanência. Essa classe é denominada de direitos contingenciados de uso das águas, pois são dependentes de períodos de abundância de água.

Estabelecer direitos baseando-se em uma vazão referencial requer conhecimento histórico do regime de vazões do curso d'água, que possibilite estimar a quantidade disponível de água ao longo do ano. Sem informação histórica torna-se extremamente difícil a determinação da quantidade de outorgas a serem efetuadas. O conhecimento do comportamento do curso d'água também melhora a eficiência do sistema de outorgas, ao reduzir a incerteza de quanta água será recebida por um usuário qualquer.

A capacidade de reservação, proporcionada por um reservatório de acumulação ou um aquífero, também pode ser base para implementação de um sistema de outorgas. Nesse caso, um usuário receberia uma porcentagem do volume armazenado em um reservatório durante um período determinado de tempo. Para um aquífero, a outorga

poderia ser baseada em sua capacidade de recarga anual. Assim em tempos de seca, um usuário poderia fazer uso do aquífero, o qual teria seu volume reposto em anos chuvosos.

Uma vez que os direitos de uso das águas são estabelecidos, faz-se necessário que eles sejam arquivados e garantidos, assim como tornar público os direitos já existentes e a disponibilidade de novos direitos. É necessário que existam leis claras que regulem o estabelecimento de outorgas de direito de uso, e de estruturas que as façam ser cumpridas, garantindo o acesso de todos os outorgados às águas.

Neste capítulo serão comentados o modelo francês de gestão das águas, o qual inspirou o modelo brasileiro e as bases legais existentes no país referentes ao processo de outorga dos direitos de uso das águas.

2.2.1 Modelo Francês de Gestão das Águas

(Adaptado de INTERNATIONAL OFFICE FOR WATER, 2000)

A Política nacional de Recursos Hídricos, criada pela Lei nº 9.433/97, foi, em sua maior parte, baseada no modelo francês de gestão.

Em vigor desde 1964, a política francesa de recursos hídricos considera as águas como bem público de uso comum, baseando-se em sete princípios básicos:

- a dimensão geográfica das grandes bacias faz com que *"á água não conheça divisões político - administrativas"*;
- devem ser empregados meios de se satisfazerem os usos demandados de recursos hídricos, sem desprezitar os ecossistemas aquáticos;
- princípio usuário-poluidor-pagador;
- estabelecimento de parcerias e coordenação das ações das autoridades públicas e a comunidade, na forma de planos de gerenciamento das águas;

- mobilização de recursos financeiros para estudos e obras;
- planejamento plurianual definindo prioridades de investimento;
- respeito à competência de cada setor público ou privado em sua respectiva esfera de atuação, nos termos definidos pelas leis.

A política de recursos hídricos é definida pelo Governo, em parceria com as comunidades locais e os diversos usuários das águas.

A estrutura física da política de gestão é basicamente formada por:

- Comitê Nacional das Águas: chefiado por um membro do Parlamento e composto por representantes da Assembléia Nacional, Senado e instituições e federações nacionais de relevância, cuja missão é a de definir a legislação e a política nacional de recursos hídricos;
- Comitês de Bacia: chefiados por um coordenador eleito localmente, o qual define o "*Planejamento Mestre de Desenvolvimento e Gerenciamento*" para as bacias, as bases e taxas para a concessão de outorgas, emitidas pelas Agências de Água, e os planos quinquenais de ação das Agências de Água;
- Agências de Água: criadas para a execução de obras na bacia e arrecadação de recursos financeiros;
- Comissão Local das Águas: criadas em tributários ou sub-bacias correspondentes a uma unidade hidrográfica ou aquífero, que prepara e segue o "*Esquema de Desenvolvimento e Planejamento das Águas*".

O Comitê de Bacia gerencia e coordena a política nacional das águas, em respeito a:

- concessões de outorga do direito de uso das águas;
- desenvolvimento de rios, lagos e corpos d'água;
- extração de materiais;
- derivações de corpos d'água;
- lançamento de esgotos e resíduos;
- abertura de depósitos de lixo;
- operação de estabelecimentos classificados como perigosos ou insalubres.

As outorgas de direito de uso das águas, ou autorizações, são emitidas após questionamento público e, em alguns casos, por período limitado. A autorização pode ser cancelada ou modificada, sem compensação financeira, nos seguintes casos:

- por razões sanitárias, e para proteger o fornecimento de água potável;
- para prevenção de estiagens e cheias;
- no caso de ameaça à preservação do meio;
- quando as instalações são abandonadas ou se encontram em mau estado de conservação.

Instalações autorizadas a fazerem derivações do curso d'água ou explorar aquíferos devem instalar equipamentos de medição de vazão apropriados.

Os recursos financeiros das Agências de Água são, na maior parte, provenientes da aplicação do princípio "*usuário - poluidor - pagador*", o qual define a taxa pelo uso da água a todo usuário que afete a qualidade das águas ou modifique seu regime. As taxas são definidas para cada Agência, com a aprovação do respectivo Comitê de Bacia.

2.2.2 Bases Legais para a Outorga de Direito do Uso das Águas

No Brasil, as outorgas de direito do uso de recursos hídricos são emitidas pelo Ministério de Meio Ambiente, Recursos Hídricos e da Amazônia Legal - MMA, para o caso de corpos hídricos de domínio da União, e pelas respectivas autoridades outorgantes para corpos hídricos de domínio dos Estados e Distrito Federal.

Conforme citadas por LANNA (1997), as bases legais para a gestão de recursos hídricos no Brasil são formadas, principalmente, pelo Código das Águas de 1934, Lei 6.662/79 da Política Nacional de Irrigação e sua instituição pelo Decreto 89.496/84, Lei 6.938/81 da Política Nacional de Meio Ambiente, Constituição Federal de 1988 e Lei

9.433/97 da Política Nacional de Recursos Hídricos. Diversos Estados também instituíram leis que tratam da gestão das águas. Os instrumentos legais citados serão brevemente descritos, com ênfase na outorga do direito de uso das águas, bem como algumas leis estaduais de gestão dos recursos hídricos de alguns Estados.

2.2.2.1 Política Federal de Recursos Hídricos

Código das Águas

O Código das Águas foi criado pelo Decreto - Lei nº 24.643, de 10 de julho de 1934, e é o instrumento jurídico inicial da gestão dos recursos hídricos. O Código das Águas ainda é a base legal da legislação brasileira sobre a gestão das águas, exceto nos assuntos tratados pela Constituição Federal de 1988 e na Lei 9.433/97, da Política Nacional de Recursos Hídricos.

Os artigos do Código das Águas que se referem à outorga dos direitos de uso das águas são:

Artigo 34. É assegurado o uso gratuito de qualquer corrente ou nascente de água, para as primeiras necessidades da vida...

Artigo 36. É permitido a todos usar de quaisquer águas públicas conformando-se com os regulamentos administrativos...

Artigo 43. As águas públicas não podem ser derivadas para as aplicações da agricultura, da indústria e da higiene, sem a existência de concessão administrativa, no caso de utilidade pública e, não se verificando esta, de autorização administrativa, que será dispensada, todavia, na hipótese de derivações insignificantes.

Par. 1º. A autorização não confere, em hipótese alguma, delegação de poder público ao seu titular.

Par. 2º. Toda concessão ou autorização se fará por tempo fixo, e nunca excedente a 30 anos, determinando-se também um prazo razoável, não só para serem iniciadas, como para serem concluídas, sob pena de caducidade, as obras propostas pelos peticionários.

Par. 3º. Ficará sem efeito a concessão, desde que, durante 3 anos consecutivos, se deixe de fazer o uso privativo das águas.

Artigo 46. A concessão não importa, nunca, a alienação parcial das águas públicas, que são inalienáveis, mas no simples direito ao uso destas águas.

Artigo 48. A concessão, como a autorização, deve ser feita sem prejuízo da navegação, salvo: a) no caso de uso, para as primeiras necessidades da vida; b) no caso da lei especial que, atendendo a superior interesse público, o permita.

Par. Único. Além dos casos previstos nas letras a e b deste artigo, se o interesse público superior o exigir, a navegação poderá ser preterida sempre que ela não sirva efetivamente ao comércio.

Artigo 49. As águas destinadas a um fim não podem ser aplicadas a outro diverso, sem nova concessão.

Artigo 51. Em regulamento administrativo se disporá: a) sobre as condições de derivação, de modo a se conciliarem quanto possível os usos a que as águas se prestam; b) sobre as condições da navegação que sirva efetivamente ao comércio, para os efeitos do parágrafo único do artigo 48.

Artigo 52. Toda cessão total ou parcial da concessão ou autorização, toda mudança de concessionário ou de permissionário depende de consentimento da administração.

Constituição Federal de 1988

Conforme estabelecido pela Constituição Brasileira de 1988:

Artigo 20. III - são bens da União: os lagos, rios e quaisquer correntes de água em termos do seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais; VIII - os potenciais de energia hidráulica.

Artigo 26. Incluem-se como bens dos Estados: I - as águas superficiais, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União.

Sobre as competências da União e dos Estados:

Artigo 21. Compete à União: IX - elaborar e executar planos nacionais e regionais de ordenação do território e de desenvolvimento econômico e social; XIX - instituir sistema nacional de gerenciamento dos recursos hídricos e definir critérios de outorga dos direitos de seu uso.

Artigo 22. Compete privativamente à União legislar sobre: I - direito civil, comercial, ...; IV - águas, energia, ...

Artigo 23. É competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios: VI - proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer das suas formas; XI - registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos hídricos e minerais em seus territórios.

Artigo 24. Compete à União, aos Estados e ao Distrito Federal legislar concorrentemente sobre: VI - florestas, caça, pesca, fauna, conservação da natureza, defesa do solo e dos recursos naturais, proteção do meio ambiente e controle da poluição.

Política Nacional do Meio Ambiente

A Política Nacional do Meio Ambiente, instituída pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelos Decretos 97.632/89 e 99.274/90, e alterada pelas Leis 7.804/89 e 8.028/90, determina a criação do Sistema Nacional de Meio Ambiente - SISNAMA, e o Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, tendo como órgão executor o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA.

A Lei estabelece como instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente a implementação de padrões de qualidade ambiental, o zoneamento ambiental, o licenciamento e a revisão das atividades efetiva ou potencialmente poluidoras, e o SISNAMA.

Política Nacional de Irrigação

A Política Nacional de Irrigação foi instituída pela Lei nº 6.662, de 25 de junho de 1979, e regulamentada pelo Decreto 89.496/84. Com a reforma ministerial de 1995, o MMA assumiu as atribuições do Ministério do Interior relativas a esta Lei.

Dentre as competências do MMA estabelecidas pela Política Nacional de Irrigação, estão a supervisão, coordenação e fiscalização das águas para irrigação (artigo 19), a emissão de concessão ou autorização de uso das águas de domínio da União para irrigação ou atividades decorrentes (artigo 20). A concessão é um instrumento de outorga concedida ao usuário por tempo determinado, e cuja revogação antes do prazo gera indenização ao usuário, enquanto que a autorização pode ser revogada a qualquer tempo, havendo interesse do Poder Público, sem a necessidade de indenização.

No artigo 23 lê-se que *"enquanto não forem conhecidas as águas permanentes do rio e/ou a disponibilidade de águas para irrigação e atividades decorrentes, serão outorgadas apenas autorizações para derivação das águas do mesmo."*

A Lei também prevê a adoção de unidades hidrográficas para o planejamento dos usos múltiplos dos recursos hídricos.

Política Nacional de Recursos Hídricos

A Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, com o propósito de se organizar o planejamento e gestão do setor.

A Lei se fundamenta basicamente em:

Artigo 1º. I - domínio público das águas; II - na limitação da água como recursos natural, e, portanto, de valor econômico; III - na prioridade para o consumo humano e dessedentação animal; IV - no uso múltiplo das águas; V - na adoção da bacia hidrográfica como unidade territorial básica para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos; VI - na descentralização da gestão dos recursos hídricos e na participação conjunta do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Seus objetivos relevantes são (artigo 2º): I - assegurar à atual e futuras gerações a necessária disponibilidade da água, em padrões de qualidade adequada; II - a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável.

No seu artigo 3º são descritas como diretrizes gerais de ação: I - gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade; II - adequação da gestão dos recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do País; III - a integração da gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental.

No artigo 5º, são definidos como instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos: II - o enquadramento dos corpos de água em classes de usos preponderantes;

III - a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos; IV - a cobrança pelo uso dos recursos hídricos; V - a compensação a municípios

No artigo 7º, são colocados como conteúdo mínimo dos Planos de Recursos Hídricos: III - balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais; IV - metas de racionalização de uso, aumento da quantidade e melhoria da qualidade dos recursos hídricos; VIII - prioridades para outorgas de direitos de uso dos recursos hídricos.

Na Seção III são apresentados os princípios básicos relativos à outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos:

Artigo 11. O regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água.

Artigo 12. Estão sujeitos à outorga pelo Poder Público os direitos dos seguintes usos de recursos hídricos: I - derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público ou insumo de processo produtivo; II - extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo; III - lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final; IV - aproveitamento dos potenciais hidrelétricos; V- outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

Par. 1º. Independem de outorga pelo Poder Público, conforme definido em regulamento; I - o uso de recursos hídricos para a satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural; II - as derivações, captações e lançamentos considerados insignificantes; III - as acumulações de volumes de água consideradas insignificantes.

Par. 2º. A outorga e a utilização de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica estarão subordinadas ao Plano Nacional de Recursos Hídricos, aprovado na forma do disposto no inciso VIII do Artigo 35 desta Lei, obedecida a disciplina da legislação setorial específica.

Artigo 13. Toda outorga estará condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos e respeitará a classe em que o corpo de água estiver enquadrado e a manutenção de condições adequadas ao transporte aquaviário, quando for o caso. Par. Único. A outorga de uso dos recursos hídricos deverá preservar o uso múltiplo destes.

Artigo 14. A outorga efetivar-se-á por ato da autoridade competente do Poder Executivo Federal, dos Estados ou do Distrito Federal.

Par. 1º. O Poder Executivo Federal poderá delegar aos Estados e ao Distrito Federal competência para conceder outorga de direito de uso de recursos hídricos de domínio da União.

Artigo 15. A outorga de direito de uso de recursos hídricos poderá ser suspensão parcial ou totalmente, em definitivo ou por prazo determinado, nas seguintes circunstâncias: I - não cumprimento pelo outorgado dos termos da outorga; II - ausência de uso por três anos consecutivos; III - necessidade premente de água para atender a situações de calamidade, inclusive as decorrentes de condições climáticas adversas; IV - necessidade de se prevenir ou reverter grave degradação ambiental; V - necessidade de se atender a usos prioritários, de interesse coletivo, para os quais não se disponha de fontes alternativas; VI - necessidade de serem mantidas as características de navegabilidade do corpo de água.

Artigo 16. Toda outorga de direitos de uso de recursos hídricos far-se-á por prazo não excedente a trinta e cinco anos, renovável.

Artigo 18. A outorga não implica a alienação parcial das águas que são inalienáveis, mas o simples direito de seu uso.

A Lei também cria o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos- SNGRH, sendo alguns de seus objetivos a coordenação da gestão integrada das águas, implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos (artigo 32). O SNGRH é integrado pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos, Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e Distrito Federal, Comitês de Bacias Hidrográficas, órgãos públicos relacionados à gestão dos recursos hídricos e Agências das Águas (artigo 33).

Segundo o artigo 49, constitui infração das normas de utilização dos recursos hídricos superficiais ou subterrâneos: I - derivar ou utilizar recursos hídricos para qualquer finalidade, sem a respectiva outorga de direito de uso; IV - utilizar-se dos recursos hídricos ou executar obras ou serviços relacionados aos mesmos em desacordo com as condições estabelecidas na outorga; V - perfurar poços para a extração de água subterrânea ou operá-los sem a devida autorização.

2.2.2.2 Políticas Estaduais de Recursos Hídricos

Conforme previsto na Constituição Federal de 1988 (ver artigos 23 e 24, anteriormente citados), diversos Estados da União já aprovaram leis de gestão dos recursos hídricos. Serão aqui apresentados os aspectos referentes à outorga do direito do uso das águas das leis dos Estados de Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Bahia e São Paulo.

Política Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais

A primeira lei de recursos hídricos do Estado de Minas Gerais, Lei nº 11504, de 20/06/1994 foi substituída em 29 de janeiro de 1999, pela Lei nº 13.199, que disciplina a Política Estadual de Recursos Hídricos, e o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SEGRH, e visa assegurar o controle, pelos usuários atuais e futuros,

do uso da água e de sua utilização em quantidade, qualidade e regimes satisfatórios (artigo 2º).

No artigo 3º observa-se: I - o direito de acesso de todos aos recursos hídricos, com prioridade para o abastecimento público e a manutenção dos ecossistemas; II – o reconhecimento dos recursos hídricos como bem natural de valor ecológico, social e econômico, cuja utilização deve ser orientada pelos princípios do desenvolvimento sustentável; IV - a adoção da bacia hidrográfica, ..., como unidade físico - territorial de planejamento e gerenciamento; V - a vinculação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos às disponibilidades quantitativas e qualitativas e às peculiaridades das bacias hidrográficas; IX - o reconhecimento da unidade do ciclo hidrológico em suas três fases superficial, subterrânea e meteórica; XI - a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade; XII - a descentralização da gestão dos recursos hídricos; XIII - a participação do poder público, dos usuários e das comunidades na gestão dos recursos hídricos.

No artigo 4º apresentam-se como diretrizes gerais, a adoção de: I - programas permanentes de proteção, melhoria e recuperação das disponibilidades hídricas superficiais e subterrâneas; II - programas permanentes de proteção das águas superficiais e subterrâneas contra poluição; III - ações que garantam o uso múltiplo racional dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, das nascentes e ressurgências e das áreas úmidas adjacentes e sua proteção contra a superexploração e contra atos que possam comprometer a perenidade das águas; IX - concessão de outorgas e registros, bem como acompanhamento e fiscalização das concessões de direito de pesquisa e de exploração de recursos hídricos.

Define-se como um dos instrumentos da gestão dos recursos hídricos a outorga dos direitos de uso das águas (artigo 9º).

Sobre o processo da outorga dos direitos do uso das águas, versam os artigos 17 a 22, transcritos a seguir:

Artigo 17. O regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos do Estado tem por objetivo assegurar os controles quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água.

Artigo 18. São sujeitos a outorga pelo poder público, independentemente da natureza pública ou privada dos usuários, os seguintes direitos de uso de recursos hídricos: I - as acumulações, as derivações ou a captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, até para abastecimento público, ou insumo de processo produtivo; II - a extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo; III - o lançamento, em corpo de água, de esgotos e demais efluentes líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final; IV - o aproveitamento de potenciais hidrelétricos; V - outros usos e ações que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

Par. 1º. Independem de outorga pelo poder público, conforme definido em regulamento, o uso de recursos hídricos para satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais distribuídos no meio rural, bem como as acumulações, as derivações, as captações e os lançamentos considerados insignificantes.

Par. 2º. A outorga e a utilização de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica ficam condicionadas à sua adequação ao Plano Nacional de Recursos Hídricos, aprovado na forma do disposto na Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e ao cumprimento da legislação setorial específica.

Art. 19 - A outorga de uso de recursos hídricos respeitará as prioridades de uso estabelecidas nos Planos diretores de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas, a classe em que o corpo de água estiver enquadrado e a manutenção de condições adequadas ao transporte hidroviário, quando for o caso.

Par. 1º. A outorga levará em conta a necessidade de se preservar o uso múltiplo e racional das águas.

Par. 2º. A outorga efetivar-se-á por ato do Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM.

Art. 20 - A outorga de direito de uso de recursos hídricos poderá ser suspensão, parcial ou totalmente, em definitivo ou por prazo determinado, nas seguintes circunstâncias: I - não cumprimento, pelo outorgado, dos termos da outorga; II - não utilização da água por três anos consecutivos; III - necessidade premente de água para atender a situações de calamidade, inclusive as decorrentes de condições climáticas adversas; IV - necessidade de se prevenir ou fazer reverter grave degradação ambiental; V - necessidade de se atender a usos prioritários de interesse coletivo, para os quais não se disponha de fontes alternativas; VI - necessidade de se manterem as características de navegabilidade do corpo de água.

Art. 21 - A outorga confere ao usuário o direito de uso do corpo hídrico, condicionado à disponibilidade de água, o que não implica a alienação parcial das águas, que são inalienáveis.

Art. 22 - O prazo inicial de outorga de direito de uso de recursos hídricos não excederá a trinta e cinco anos, podendo ser renovado.

O Decreto 40.055/98 regulamenta as atribuições do IGAM, competindo-lhe, entre outras atividades, conceder a outorga do direito de uso das águas, após consulta ao Comitê da respectiva bacia hidrográfica. Devido ao lento processo de implantação dos Comitês de Bacia Hidrográficas, o IGAM tem concedido outorgas do direito de uso dos recursos hídricos baseado na Portaria nº 010/98, que estabelece critérios baseados em “vazões de referência” a serem utilizadas para cálculo das disponibilidades hídricas em cada seção de interesse.

O parágrafo 1º do artigo 8º da Portaria 010/98 estipula que “até que se estabeleçam as diversas vazões de referência na Bacia Hidrográfica, será adotada a $Q_{7,10}$ (vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência), para cada Bacia”; e resolve no parágrafo 2º do mesmo artigo “fixar em 30% (trinta por cento) da $Q_{7,10}$, o limite máximo de derivação consuntiva a serem outorgadas na porção da bacia hidrográfica limitada por cada seção considerada, em condições naturais, ficando

garantida, a jusante de cada derivação, fluxos residuais mínimos equivalentes a 70% (setenta por cento) da $Q_{7,10}$ " (SCHVARTZMAN et al., 1999).

Até agosto de 2000, o IGAM já havia concedido 3964 outorgas de direito do uso das águas, totalizando uma vazão de 187,75m³/s.

Política Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul

A Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994, caracteriza a água como recurso natural limitado e dotado de valor econômico, e assegura como uso prioritário o consumo humano.

O artigo 8º define como uma das competências do Conselho de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul aprovar critérios de outorga do uso das águas. Nos artigos 10 e 11, institui-se a criação do Departamento de Recursos Hídricos - DRH, vinculado à Secretaria Estadual de Planejamento Territorial e Obras, responsável pela emissão das outorgas de direito de uso das águas.

O processo de outorgas de direito de uso das águas é descrito nos artigos 29 a 31, a seguir:

Artigo 29. Dependerá da outorga do uso da água qualquer empreendimento ou atividade que altere as condições quantitativas e qualitativas, ou ambas, das águas superficiais ou subterrâneas, observado o Plano Estadual de Recursos Hídricos e os Planos de Bacia Hidrográfica.

Par. 1º. A outorga será emitida pelo Departamento de Recursos Hídricos mediante autorização ou licença de uso, quando referida a usos que alterem as condições quantitativas das águas.

Par. 2º. O órgão ambiental do Estado emitirá a outorga quando referida a usos que afetem as condições qualitativas das águas.

Artigo 30. A outorga de que trata o artigo anterior será condicionada às prioridades de uso estabelecidas no Plano Estadual de Recursos Hídricos e no Plano de Bacia Hidrográfica.

Artigo 31. São dispensados da outorga os usos de caráter individual para satisfação das necessidades básicas da vida.

Os artigos 29 a 31 foram regulamentados pelo Decreto 37.033/96, que estabelece como instrumentos de outorga a licença de uso, concedida pelo prazo de 5 anos, quando o solicitante atende as condições exigidas em função da qualidade e quantidade de água disponível na bacia; a autorização, quando não há definição de condições de disponibilidades quali-quantitativas e revogáveis a qualquer tempo; e a concessão, para os casos de utilidade pública e válidas por até 10 anos. Não é fixada, entretanto, uma vazão de referência para a outorga, estipulando-se que os parâmetros técnicos que orientarão as outorgas serão definidos pelo DRH (LANNA, 1997).

No artigo 40, prevê-se que a implantação da cobrança pelo uso da água será feita de forma gradativa, atendendo-se, dentre outras providências, a implantação do sistema integrado de outorga.

Política Estadual de Recursos Hídricos da Bahia

A Lei nº 6.855, de 12 de maio de 1995, regulamentada pelo Decreto 6.296/97, define a Política Estadual de Recursos Hídricos da Bahia, que tem como uma de suas diretrizes o registro, o acompanhamento e a fiscalização dos direitos de pesquisa e exploração dos recursos hídricos do Estado, além da instituição do mecanismo de outorga de concessão, autorização ou permissão para uso das suas águas (artigo 2º).

As outorgas são concedidas pela Secretaria de Recursos Hídricos - SRH, vinculada à Secretaria de Infra - Estrutura, nas modalidades de concessão, nos casos de utilização dos recursos hídricos para fins de utilidade pública, e de autorização, nos demais casos.

A concessão de uso é o contrato administrativo pelo qual o poder público atribui a utilização exclusiva de um bem de seu domínio ao usuário, para que o explore, segundo sua destinação específica.

A autorização de uso de recursos hídricos consiste em ato unilateral pelo qual o poder público outorga o direito ao uso desses recursos para fins não caracterizados como de utilidade pública, e por um prazo máximo de 4 anos, renovável por mais dois períodos iguais.

Dispensa-se a outorga nos casos em que o uso da água destina-se às primeiras necessidades da vida ou em que as derivações forem feitas de pequenos reservatórios, cisternas, poços, segundo as condições de vazões máximas de 0,5l/s ou volumes acumulados em reservatórios de até 200.000m³. Havendo, entretanto, conflitos entre usos insignificantes dispensados de outorga, ou em caso de interesse público, caberá à SRH a fiscalização e controle sobre os respectivos usuários da água.

As prioridades foram fixadas quanto à outorga do direito de uso da água segundo a finalidade da derivação, observada a ordem a seguir:

1. abastecimento humano e animal;
2. irrigação;
3. abastecimento agro-industrial;
4. abastecimento industrial;
5. aquacultura;
6. mineração;
7. lançamento de efluentes;
8. outros usos não discriminados.

No caso de escassez de água, haverá racionamento de seu uso, considerando, preferencialmente, os seguintes: i) o abastecimento humano e animal; ii) os usos que comprovarem menor consumo unitário de água e iii) usos com maior benefício social. Portanto, os usos que comprovarem tais características terão prioridade a continuar com

a exploração da água. Além disso, nenhum usuário, individualmente, receberá autorização acima de vinte por cento (20%) da vazão de referência de um dado manancial.

Até 28 de fevereiro de 2000, a SRH já havia concedido 1940 outorgas de direito do uso das águas, totalizando uma vazão de 122,75m³/s.

Política Estadual de Recursos Hídricos de São Paulo

A Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991, estabelece normas de orientação para a Política Estadual de Recursos Hídricos, e o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Em seu artigo 3º, a Lei preconiza o gerenciamento descentralizado, sem dissociação dos aspectos quantitativos e qualitativos e das fases meteórica, superficial e subterrânea do ciclo hidrológico, bem como reconhece o recurso hídrico como bem público, dotado de valor econômico, cuja utilização deve ser cobrada.

Sobre a outorga dos usos das águas, a Lei estabelece que:

Artigo 9º. A implantação de qualquer empreendimento que demande a utilização de recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos, a execução de obras ou serviços que alterem seu regime, qualidade ou quantidade dependerá de prévia manifestação, autorização ou licença dos órgãos e entidades competentes.

Artigo 10. Dependerá de cadastramento e da outorga do direito de uso a derivação de água de seu curso ou depósito, superficial ou subterrâneo, para fins de utilização no abastecimento urbano, industrial, agrícola e outros, bem como o lançamento de efluentes nos corpos d'água, obedecida a legislação federal e estadual pertinentes e atendidos os critérios e normas estabelecidos no regulamento.

Par. Único. O regulamento desta lei estabelecerá diretrizes quanto aos prazos para o cadastramento e outorga mencionados no "caput" deste artigo.

A Lei também define o Conselho Estadual de Recursos Hídricos, de nível central (artigo 22), em cujo âmbito se dá a outorga do direito do uso das águas (artigo 23).

O artigo 7º, das Disposições Transitórias, dá competência ao Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, de autorizar a implantação de empreendimentos que demandem o uso de recursos hídricos, bem como cadastrar e outorgar o direito de uso das águas.

De acordo com a Portaria do DAEE, de nº 39/86 *apud* LANNA (1997), são definidas as seguintes modalidades de outorga:

- Concessão administrativa: para casos de utilidade pública, válida por até 10 anos;
- Autorização administrativa: para usos agrícolas, industriais, comerciais, ou de piscicultura, sendo válidas por até 5 anos;
- Permissão administrativa: para pequenas captações ou lançamentos, sendo outorgadas pelo prazo máximo de 2 anos.

Os três casos de modalidade de outorga podem ser revogadas de acordo com o interesse público. Entretanto, em caso de revogação antecipada, pode-se ocasionar indenização para o usuário.

2.2.3 Critérios de Definição da Vazão de Outorga

Segundo LANNA (1997), dois tipos de critérios podem enquadrar os casos encontrados na literatura: vazão referencial e vazão excedente aos usos prioritários.

2.2.3.1 Critério da Vazão Referencial

É utilizada uma vazão referencial, relacionada a uma situação crítica de abastecimento. Tem sido geralmente adotada a média das vazões mínimas de 7 dias consecutivos de duração com 10 anos de tempo de retorno, $Q_{7,10}$.

Usualmente é passível de outorga um valor percentual de $Q_{7,10}$, supondo-se que o restante seja a vazão denominada ecológica, a ser mantida no leito para proteção do ecossistema.

No Estado de Minas Gerais, conforme anteriormente citado, é adotada para a concessão de outorgas do uso das águas 30% do valor de $Q_{7,10}$ da bacia incremental.

O GRAF. 2.1 ilustra a aplicação desse critério. Suponha que a vazão de referência usada seja $Q_{7,10}$, e k a fração utilizada para fixar a vazão total passível de ser outorgada, com $0 < k < 1$. Assim $(1 - k) Q_{7,10}$ equivale à vazão ecológica. Suponha também que esta situação de estiagem ocorra simultaneamente ao longo de toda a bacia, sendo arbitrariamente proporcional à distância entre a seção fluvial dada e a nascente.

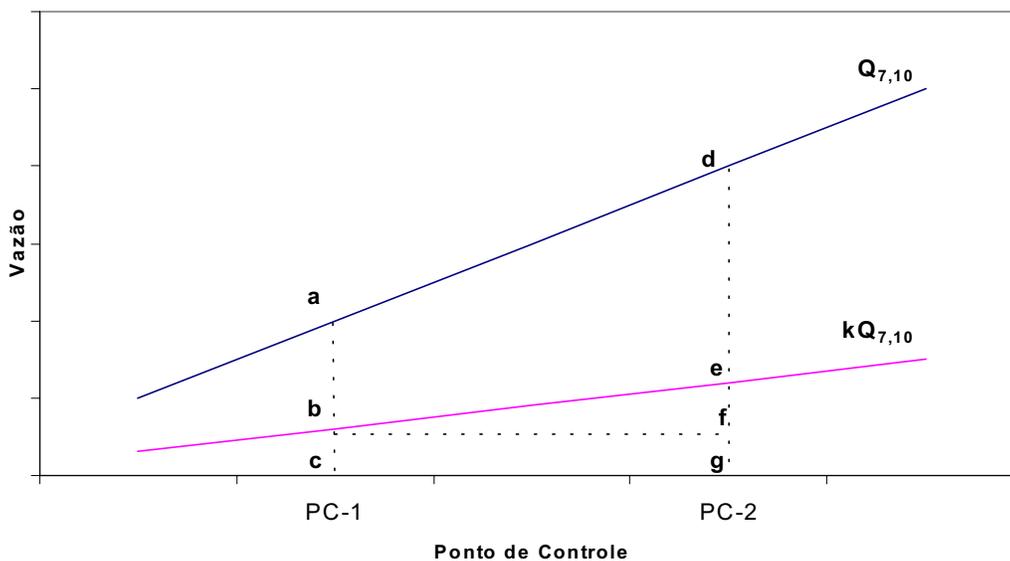
Os postos de controle - PC representam as seções do curso d'água com histórico de vazões suficiente para se estimar $Q_{7,10}$. O segmento abc representa o valor de $Q_{7,10}$ no PC-1, bc é a vazão outorgável, $kQ_{7,10}$, e ab , a vazão ecológica.

Caso no PC-1 não exista consumo, a vazão afluente ao PC-2 seria equivalente ao valor de dg . Porém, caso houvesse consumo total da vazão para outorga no PC-1, a

vazão afluyente ao PC-2 seria na realidade o equivalente ao trecho df . Logo, a vazão disponível para outorga no PC-2 seria apenas o valor representado por ef , ao se retirar também o valor da vazão ecológica, de .

Este procedimento é aplicado aos demais PC's de forma análoga.

GRÁFICO 2.1
Aplicação do critério de outorga por vazão referencial



LANNA (1997) cita como forte desvantagem desse critério de outorga o fato dela ser dirigida a condições de estiagem, limitando severamente a expansão dos sistemas de uso das águas.

"Os usuários podem verificar que na maior parte do tempo as vazões são superiores à vazão ecológica, criando uma impressão de desperdício de água. Com efeito, o uso é limitado a uma fração de $Q_{7,10}$, situação que ocorrerá nos 7 dias mais críticos do ano que ocorre, em média, uma vez a cada 10 anos. Nos outros 9 anos - e nos 358 dias desse ano crítico - o suprimento poderia ser aumentado. Devido a isto, as entidades responsáveis pela outorga são submetidas a pressões por parte do usuários para revisá-las, ..." LANNA (1997).

2.2.3.2 Critério da Vazão Excedente / Garantia de Suprimento

Para toda classe de demanda de uso das águas existente na bacia é atribuída uma prioridade. A garantia de suprimento é o percentual entre os meses em que a vazão é totalmente suprida e o total de meses de simulação. Reservando-se a vazão para abastecimento público e a vazão ecológica, o restante é outorgado em cada ponto de controle, de montante para jusante no curso d'água, até que o número de falhas no atendimento atinja a garantia desejada.

Em LANNA (1997) foi utilizada como vazão ecológica 20% de $Q_{7,10}$ da bacia incremental, num estudo feito para a bacia do Rio dos Sinos. A outorga às outras demandas foi baseada em um critério de garantia de suprimento. São citados níveis de garantia de 90%, 80% e 70%.

Ao se estabelecer o montante outorgável como 90%, por exemplo, as demandas de abastecimento foram inicialmente supridas; em seguida reservou-se a vazão ecológica. Finalmente, partindo de montante para jusante, a vazão outorgável foi incrementada em cada PC até o momento em que o número de falhas atingisse 10% do período total da amostra.

Neste estudo encontraram-se vazões de outorga superiores em até três vezes o valor da vazão referencial $Q_{7,10}$.

Este é um critério que se considera adequado a um esquema de cobrança pelo uso da água, com maiores valores de cobrança para maior garantia, e que gera valores de vazão superiores à vazão referencial.

2.2.3.3 Critério da Vazão Excedente / Impacto Econômico

DA SILVA (1997) *apud* LANNA (1997) apresenta uma metodologia para determinação de critérios de outorga das águas na bacia do Rio Branco, no cerrado baiano, a qual é uma bacia onde o uso das águas para irrigação é bastante intenso. Foi adotada uma abordagem do ponto de vista econômico, cujo objetivo foi maximizar a renda regional derivada do uso da água, garantindo as vazões prioritárias: abastecimento público e ecológica, esta última arbitrariamente fixada em 50% da $Q_{7,10}$.

O processo é realizado através do incremento de vazões concedidas por outorgas em cada PC, de montante para jusante. Desse modo admite-se a prioridade das vazões outorgadas a montante do PC. O aumento da vazão outorgada no PC aumentaria a produção agrícola, devido à possibilidade de se ampliar a área irrigada. Entretanto, também aumentam as falhas no abastecimento. Esse processo foi aplicado a toda a bacia, supondo-se que as vazões outorgadas seriam totalmente utilizadas nos PC's; procurando-se também verificar uma vazão outorgada "*ótima*" para cada PC, a qual representaria um equilíbrio entre a produção obtida e as falhas no suprimento.

Como resultado verificou-se um aumento na produção agrícola, porém, os valores de vazão outorgados tendem a decrescer de montante para jusante, devido ao fato de se dar prioridade às vazões outorgadas a montante. Há também um aumento nas vazões outorgadas em toda a bacia.

O objetivo de se adotar critérios de fixação da vazão de outorga alternativos ao critério da vazão referencial é, naturalmente, poder aumentar a oferta de água na bacia. Entretanto, o critério da vazão referencial ainda é o mais utilizado por ser mais simples de ser estimado e implementado em sistemas de outorga de uso das águas superficiais, especialmente em bacias onde existem poucos registros históricos de vazões.

O critério da vazão referencial também pode ser reavaliado, de maneira a torná-lo suficiente para o atendimento à demanda de água na bacia. Neste estudo, pretende-se efetuar uma análise do critério de outorga das águas no Estado de Minas Gerais, fixado em 30% de $Q_{7,10}$, para um determinado trecho fluvial. Para tanto, será necessária a análise de frequência regional de vazões mínimas, a fim de se poder estimar a vazão referencial de outorga nos vários trechos da bacia. Em seguida, serão avaliados os componentes da vazão de outorga: a duração, o tempo de retorno e a fração da vazão referencial a ser outorgada, de maneira a determinar os melhores valores desses parâmetros para o atendimento da demanda.

Não foram encontradas na bibliografia pesquisada referências sobre a verificação de vazões de outorga em função da avaliação de seus parâmetros de cálculo. Também não foram encontrados estudos anteriores a este que tratem de vazões de referência para determinação da vazão de outorga com variação anual, ou mesmo sazonal.

2.3 Análise Local de Frequência de Vazões Mínimas

Em NERC (1992), apresenta-se uma variedade de características de vazões mínimas que descrevem e quantificam diferentes propriedades de regimes de vazões, tendo diversas aplicações no setor de recursos hídricos. Na TAB. 2.2 são apresentadas algumas dessas características.

TABELA 2.2
Sumário de estatísticas de vazões mínimas

CARACTERÍSTICAS	DESCRIÇÃO	DADOS NECESSÁRIOS	APLICAÇÃO
Curva de duração de vazão	Proporção de tempo que uma dada vazão é excedida	Vazões médias diárias ou vazões médias de durações de dias, semanas ou meses	Outorgas de uso das águas Caracterização hidrológica de uma região
Curva de frequência de vazões (mínimas anuais)	Proporção de anos nos quais a vazão média de duração t é menor que um dado valor	Vazões mínimas diárias ou vazões mínimas de duração t	Período de retorno da estiagem Análise de volume útil de reservatórios
Duração da estiagem	Frequência que a vazão permanece abaixo de um valor determinado	Períodos de vazões mínimas extraídos da série seguido por uma análise estatística das durações	Problema de qualidade da água Pesca Navegação
Volumes de deficiência	Frequência da exigência de um volume de reservação para manter uma vazão mínima no rio	Durações das estiagens que geram volumes abaixo do mínimo	Projeto de reservatório de regularização
Capacidade de reservação	Frequência da necessidade de um certo volume de armazenamento para suprir a demanda	Vazões diárias ou vazões mínimas de durações d	Cálculos iniciais de volume útil de reservatórios. Revisão de volume útil de reservatórios existentes
Constante de recessão	Taxa de recessão do hidrograma	Vazões diárias em períodos de recessão	Previsão hidrológica de curto tempo Caracterização hidrológica de uma região Estudos hidrogeológicos

FONTE: NERC (1992).

As vazões mínimas se caracterizam pelos menores valores das séries anuais. À vazão mínima é normalmente associada uma duração, pois mínimas de durações superiores a um dia, tais como 7 dias, são de maior interesse, visto que a seqüência cronológica de valores baixos de vazões é que caracteriza os períodos de estiagem.

Um exemplo de uso de vazões mínimas é o valor representado pela vazão mínima de 7 dias de duração e 10 anos de tempo de retorno, ou $Q_{7,10}$, usualmente adotada como vazão de referência para determinação da vazão passível de outorga.

A vazão mínima $Q_{t,Tr}$, de t dias de duração e Tr anos de tempo de retorno é calculada pela análise de freqüência das vazões mínimas de um posto fluviométrico.

NERC (1980) determina que devem ser retiradas de cada ano da série as vazões mínimas na duração t escolhida, as quais devem ser representadas graficamente em relação à distribuição de probabilidade empírica. A partir daí é realizado o ajuste de uma distribuição teórica de probabilidade aos pontos.

MAIDMENT *et al.* (1993) indicam a posição de plotagem de Weibull para o cálculo da distribuição empírica, independente das durações escolhidas para as vazões médias mínimas. NERC (1980) e ELETROBRAS (1985) utilizam a distribuição de probabilidade de Weibull para o ajuste às vazões.

Segundo MAIDMENT *et al.* (1993):

"Sejam Q_i as vazões mínimas em diferentes dias do ano, então a mínima anual é o menor valor de Q_i , sendo que Q_i é limitada por zero. Neste caso, a variável aleatória $x = \text{mínimo}(Q_i)$ pode ser descrita pela distribuição de valores extremos do tipo III para mínimos ou distribuição de Weibull de dois parâmetros."

A função de densidade de probabilidade de Weibull de dois parâmetros é:

$$f_X(x) = \alpha x^{\alpha-1} \beta^{-\alpha} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}; x \geq 0; \alpha, \beta > 0 \quad (2.1)$$

e a função acumulada é:

$$F_X(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha} \quad (2.2)$$

Em HAAN (1977) são descritos métodos para a determinação dos parâmetros α e β .

Após o ajuste da distribuição de Weibull, o quantil ou a vazão característica $Q_{t,Tr}$ é calculada para $Tr = 1/F_X(x)$, com $F_X(x) = \text{Prob. } (X \leq x)$, através da função inversa da distribuição de probabilidades.

2.4 Análise Regional de Freqüência de Vazões Mínimas

O alto custo da implantação e manutenção de uma rede hidrométrica dificulta a obtenção de variáveis hidrológicas na densidade e período de observação desejáveis para uma bacia hidrográfica.

Segundo TUCCI (1993), a análise regional de freqüência, ou regionalização, de variáveis hidrológicas consiste num conjunto de ferramentas de análise das séries históricas existentes numa bacia hidrográfica, que visam a determinação de variáveis em regiões sem dados ou insuficientes. Além de possibilitar o cálculo de quantis em locais desprovidos de observações sistemáticas, a análise regional de freqüência também produz valores mais confiáveis de quantis e parâmetros em locais medidos.

Dentre outros fins, a regionalização pode ser utilizada na obtenção de:

- funções estatísticas de variáveis hidrológicas: curvas de probabilidade de vazões máximas, médias ou mínimas, curvas de probabilidade de precipitações máximas;
- funções específicas que relacionam variáveis: curva de regularização, curva de infiltração, curva de permanência;
- parâmetros de modelos hidrológicos: características do hidrograma unitário.

Para ELETROBRAS (1985), os resultados de estudos de regionalização podem ser utilizados em projetos tais como:

- dimensionamento do volume de reservatórios;
- dimensionamento de obras hidráulicas diversas;
- previsão de inundações;
- planejamento de recursos hídricos.

2.4.1 Métodos de Regionalização de Variáveis Hidrológicas

Dentre os métodos correntes de regionalização de variáveis hidrológicas, TUCCI (1993) cita como sendo três os tipos básicos de procedimentos:

- métodos que regionalizam parâmetros de uma distribuição estatística;
- métodos que regionalizam o evento associado a um determinado risco;
- métodos que regionalizam uma curva de probabilidade adimensional e o fator de adimensionalização.

2.4.1.1 Método de Regionalização de Parâmetros de Distribuição

PINHEIRO (1997) descreve a aplicação desse método da seguinte forma:

- a) supõe-se a existência de uma região hidrologicamente homogênea, isto é, séries amostrais oriundas de um mesmo fenômeno aleatório e populações regidas por uma única distribuição teórica, variando apenas os parâmetros da amostra;
- b) ajusta-se uma única distribuição teórica a cada posto da região;
- c) calculam-se os parâmetros necessários para o ajuste;
- d) relaciona-se os parâmetros da distribuição, através de uma análise de regressão, com características físicas e meteorológicas da região.

Assim, com base nessa equação, pode-se calcular os parâmetros da distribuição estatística para quaisquer pontos da bacia, desde que conhecidas as variáveis da equação de regressão.

2.4.1.2 Método de Regionalização de Eventos Associados a Um Determinado Risco

Segundo TUCCI (1993), este método consiste no ajuste de uma ou mais distribuições estatísticas aos diversos postos da bacia.

O objetivo é estabelecer uma equação de regressão que relacione eventos de tempo de retorno escolhidos com características da bacia.

2.4.1.3 Método de Regionalização de Uma Curva de Probabilidade Adimensional e Fator de Adimensionalização

Introduzido por DALRYMPLE (1960), esse método, também denominado "*Index Flood*" ou "Cheia-Índice", consiste na determinação de curvas de frequência empíricas para as observações adimensionalizadas em cada posto, e a análise conjunta dessas curvas, determinando uma curva regional única para postos que apresentem curvas de mesma tendência.

Primeiramente, é necessário tornar adimensional a série de dados de cada posto, dividindo-se cada elemento da série por um fator de adimensionalização, ou "*index flood*". Este fator é representado por uma medida de tendência central da série de cada posto, como por exemplo, a média das vazões mínimas de duração t , para o caso de regionalização de vazões mínimas.

As curvas de frequência empíricas de cada posto são traçadas em papel de probabilidade adequado, e agrupadas de acordo com a similaridade das características físicas da região e tendência apresentada. Caracterizada a homogeneidade da região em estudo, pode-se traçar, em seguida, uma curva de frequência regional, também chamada de "curva de crescimento", a qual pode ser representada por um modelo paramétrico.

Na seqüência, os postos de uma região homogênea são agrupados para a definição de uma equação de regressão que relaciona o fator de adimensionalização com características físicas e meteorológicas da região (PINHEIRO, 1997).

PINHEIRO (1997) também comenta que a utilização dos três métodos descritos depende da existência de dados históricos com períodos suficientemente representativos, sendo o mais freqüente a utilização de períodos comuns de dados.

2.4.2 Análise Regional de Frequência de Vazões Mínimas

TUCCI (1993) sugere as seguintes etapas a serem seguidas para a regionalização de vazões mínimas:

- a) análise dos dados básicos e seleção dos postos hidrológicos e características da região;
- b) determinação da curva adimensional de frequência para os postos e definição da curva regional;
- c) determinação de uma regressão do fator de adimensionalização com características da região;
- d) verificação da necessidade de se definirem regiões hidrologicamente homogêneas, estabelecimento das funções de regionalização, cálculo das vazões desejadas e variância das estimativas;
- e) mapeamento de vazões específicas, quando necessário.

Essas etapas serão descritas nas seções a seguir, e voltadas para a análise de dados dentro de um mesmo período comum de observações, conforme recomendados por DALRYMPLE (1960).

2.4.2.1 Seleção e Análise dos Dados Básicos

O desenvolvimento de relações entre características estatísticas do regime de vazões e características físicas e meteorológicas da bacia deve ser baseado em dados de boa qualidade e regimes de vazão com nenhuma ou pouca interferência artificial.

Em ELETROBRAS (1985) são analisados os seguintes dados:

Dados Descritivos

- Localização geográfica e política;
- descrição dos rios principais e tributários;
- cobertura vegetal e principais usos do solo;
- relevo e formação geológica;
- distribuição climática;
- principais aproveitamentos d'água e outras interferências.

Dados Físicos

Devem ser obtidos a partir de cartas geográficas em escala apropriada, ou em estudos hidrológicos anteriores da região:

- áreas de drenagem das sub-bacias;
- comprimento dos cursos d'água principais;
- declividade dos cursos d'água principais;
- densidade de drenagem das sub-bacias.

Dados Hidrológicos

Algumas variáveis hidrológicas podem ser consideradas como variáveis explicativas do regime de vazões mínimas, como precipitação média anual, precipitação acumulada média do trimestre mais seco *etc*, as quais podem ser determinada a partir de estudos anteriores ou na análise das séries diárias de precipitação existentes na bacia.

NERC (1980) apresenta três critérios para a escolha de séries de vazões a serem utilizadas no estudo de regionalização:

- precisão das medições de vazão e leituras fluviométricas;
- previsão da influência de obras hidráulicas ou outras interferências artificiais;
- extensão do período de dados disponível.

Deve realizada uma análise da consistência dos dados de vazão, a fim de verificar a existência de erros de observação e medição de vazões (ELETROBRAS, 1985).

As entidades operadoras de redes hidrometeorológicas, como a Agência Nacional de Energia Elétrica- ANEEL e a Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG, usualmente publicam boletins com os dados hidrológicos já consistidos.

A presença de interferências artificiais no curso d'água, como reservatórios de acumulação, sistemas de captação e de lançamento de esgotos, pode modificar o regime de vazões de tal forma que impossibilite o uso de alguns dos postos escolhidos. Algumas dessas interferências e suas possíveis conseqüências são (NERC, 1980):

- reservatórios: suavização do hidrograma anual, e dados de vazão tendenciosos se a água é exportada para outra bacia;
- exploração de água subterrânea: os efeitos dependem do grau de confinamento e localização do aquífero, podendo ocorrer suavização do hidrograma anual, e dados de vazão tendenciosos se a água é exportada para outra bacia;

- lançamento de esgotos: efeitos dependem da magnitude do lançamento, podendo mascarar o valor das vazões mínimas;
- drenagem de minas: se há bombeamento e dependendo da magnitude, pode ser considerado como exploração de água subterrânea;
- captação de água: comportamento tendencioso dos dados, dependendo da posição da captação;
- eclusas, seções canalizadas e influência de marés: dados tendenciosos.

Os valores da série histórica devem ser independentes, estacionários e representativos para sua utilização.

Os valores são independentes quando um evento não afeta a probabilidade de ocorrência de outro. Para tanto, os períodos anuais para a seleção de valores mínimos devem se situar entre períodos chuvosos. No caso do Estado de Minas Gerais, devido à sua distribuição temporal das chuvas, concentrada entre os meses de outubro a março, é utilizado o ano civil.

A série é estacionária quando não ocorrem modificações em suas características estatísticas, como média, variância e assimetria. Uma das causas para a não estacionaridade da série é a presença de influências artificiais, como as já citadas. Outra pode ser a não representatividade da amostra.

Uma amostra é representativa quando o período de dados é de uma extensão tal que caracterize o comportamento hidrológico da bacia. A utilização de séries que contenham apenas períodos chuvosos, por exemplo, apresenta resultados tendenciosos para a análise das vazões mínimas.

Segundo ELETROBRAS (1985), um bom indicador da qualidade da série é a análise de continuidade. Para tanto calcula-se a diferença entre as vazões mínimas anuais de duração de 7 dias de um posto e de outro a jusante e no mesmo curso d'água, a qual deve ser positiva.

Em NERC (1992) é sugerido um índice de sensibilidade - IS, para a avaliação da qualidade da relação cota - vazão, ou curva - chave, definido como:

$$IS = \frac{Q_1 - Q_{95}}{Q_{95}} \quad (2.3)$$

onde Q_{95} é a vazão de 95% de permanência, e Q_1 é a vazão representada pela cota superior em 10mm à cota de Q_{95} , retirada da curva - chave.

Valores de SI inferiores a 20% sugerem uma boa relação cota-descarga, enquanto que valores superiores a 50% indicam uma relação ruim.

Em ELETROBRAS (1985) afirma-se que para a análise dos dados hidrológicos dentro de um mesmo período comum, as falhas na série de um podem ser preenchidas por meio de correlação com outros postos.

Para o estudo de vazões mínimas, ELETROBRAS (1985) sugere a utilização de mínimas móveis de durações de 1, 3, 7, 14, 30, 60, 90, 120 e 150 dias.

2.4.2.2 Curva Regional de Frequência

Segundo NERC (1980) a curva de frequência de vazões representa a proporção de anos ou o intervalo médio em anos (tempo de retorno), nos quais a vazão é inferior a um determinado valor. A curva pode ser feita a partir das vazões médias de duração diária ou superior, ou mesmo mensais. Para a determinação da curva regional é necessário antes examinar as curvas individuais de frequência de cada posto. A análise gráfica das curvas individuais permite a identificação de tendências diferentes na bacia, o que significaria a divisão da bacia em sub-regiões homogêneas.

Curvas Individuais de Freqüência

As curvas individuais são obtidas conforme descrito na seção 2.3, para cada duração escolhida.

Curva Regional de Freqüência

É necessário, primeiro, obter a curva adimensional para cada duração, para cada posto. Isto é feito dividindo-se a vazão mínima observada pela média das vazões mínimas de mesma duração, a qual é o fator de adimensionalização, ou "*index-flood*". Ao serem colocadas num mesmo gráfico, as curvas de cada posto devem apresentar a mesma tendência. A curva regional é então definida para cada região, ajustando-se a distribuição de Weibull aos pontos médios ou medianas (ELETROBRAS, 1985).

Entretanto, as curvas individuais podem não ter a mesma tendência, tornando necessário separar a bacia em sub-regiões distintas de estudo.

As curvas adimensionais também podem se distribuir sem a dependência da duração das vazões mínimas, ou seja, pode ser determinada uma única curva regional para todas as durações (ELETROBRAS, 1985).

2.4.2.3 Regressão do Fator de Adimensionalização

A equação de regressão é definida entre o fator de adimensionalização, que na maioria dos casos é a vazão média das mínimas anuais de cada posto (Q_m), nas durações escolhidas, e variáveis físicas e meteorológicas da bacia.

TUCCI (1993) cita como variáveis explicativas de Q_m : área de drenagem (A), precipitação média anual (P), declividade média do curso d'água (D), densidade de drenagem (DD), comprimento do curso d'água (L) e a duração das mínimas (t).

Em NERC (1980) obteve-se melhores resultados na regressão com a introdução de um índice representativo do escoamento básico (IEB), o qual é a razão do escoamento total pelo de base. Na mesma referência é descrito como se obter este valor a partir de séries de vazões médias diárias. Outros métodos também são apresentados por USGS (1996).

Segundo TUCCI (1993), a função de regressão normalmente utilizada é da forma:

$$Q_m = aA^b P^c D^d DD^e L^f t^g \quad (2.4)$$

onde os coeficientes a , ..., g podem ser calculados pelo método usual dos mínimos quadrados. A equação (2.4) pode ser linearizada aplicando-se logaritmo aos dois lados da equação.

2.4.2.4 Regiões Homogêneas

ELETROBRAS (1985) define que para o caso das curvas individuais de frequência não apresentarem uma única tendência, ou o modelo regional de regressão apresentar baixos valores de correlação, é necessária a divisão da bacia em sub-regiões homogêneas através de critérios físicos e estatísticos.

2.4.2.5 Mapeamento de Vazões específicas

ELETROBRAS (1985) recomenda que sejam traçadas as vazões específicas de durações e tempos de retorno de interesse, a fim de se permitir um rápido cálculo da vazão desejada, e uma visualização espacial dos recursos hídricos.

2.5 Definição da Vazão Ecológica

A instalação de projetos para aproveitamento dos recursos hídricos pode causar a alteração do regime de vazões do curso d'água, afetando a comunidade de organismos aquáticos e a capacidade de diluição e de autodepuração dos rios.

A fim de se proteger o meio ambiente aquático, é normalmente fixada uma vazão residual a ser mantida no curso d'água, denominada vazão ecológica.

PELISSARI *et al.* (1999) citam como três as classes de métodos para definição da vazão ecológica:

- a) métodos baseados em séries históricas de vazões;
- b) métodos baseados na relação entre parâmetros hidráulicos e a vazão, visando atender a operação das obras hidráulicas existentes, os demais usos das águas e impactos ambientais provenientes dos usos;
- c) métodos baseados na relação entre a vazão e o habitat, objetivando a conservação do habitat natural das espécies e a especificidade dos ecossistemas.

Entretanto, devido à falta de informações relativas aos ecossistemas aquáticos na maioria dos cursos d'água, o mais comum é que se fixe a vazão ecológica como uma fração de uma vazão mínima característica.

O parágrafo 1º do artigo 8º da Portaria 010/98 do IGAM determina como vazão residual 70% de $Q_{7,10}$, até que se façam estudos na bacia hidrográfica para estabelecimento das vazões de referência.

Em seu trabalho, PELISSARI *et al.* (1999) descrevem um método para determinação da vazão ecológica baseado em um índice de sustentabilidade do habitat, ou de preferência de habitat, o qual define a vazão residual ao considerar diversas relações entre a vazão e o meio aquático existente.

No estado americano do Texas, o Texas Water Development Board – TWDB, também determina que devem ser mantidas vazões residuais no curso d'água para manutenção do meio aquático e preservação da capacidade de diluição do curso d'água.

Na falta de estudos sobre a influência da alteração do regime de vazões sobre o meio ambiente, o TWDB estipula vazões mínimas residuais para projetos de reservatórios e aproveitamento das águas a serem instalados, da seguinte forma:

Reservatórios

O volume total do reservatório é dividido em três zonas, em função de sua capacidade de reservação. Para cada zona, são impostas vazões residuais mínimas, caracterizadas na TAB. 2.3.

TABELA 2.3
Vazões residuais de reservatórios no Estado do Texas, EUA

ZONA	LIMITES	VAZÃO RESIDUAL
1	Nível d'água acima de 80% da capacidade do reservatório	Vazão acima da média mensal, ou dependendo da hidrologia da bacia, uma vazão característica de tendência central dos dados históricos observados, como a mediana
2	Nível d'água entre 50% e 80% da capacidade do reservatório	Vazão equivalente a vazão mensal de 25% de permanência
3	Nível d'água abaixo de 50% da capacidade do reservatório	Vazão adequada à manutenção do ecossistema, ou, na falta de estudos na bacia, a vazão de 7 dias de duração e 2 anos de tempo de retorno

FONTE: TWDB, em <http://www.twdb.state.tx.us>

Cursos d'água

De maneira semelhante aos reservatórios, os rios também são divididos em três zonas, como visto na TAB. 2.4:

TABELA 2.4

Vazões residuais de projetos de aproveitamento de águas superficiais no Estado do Texas, EUA

ZONA	LIMITES	VAZÃO RESIDUAL
1	Nível d'água acima da média mensal de longo termo	Vazão acima da média mensal, ou dependendo da hidrologia da bacia, uma vazão característica de tendência central dos dados históricos observados, como a mediana
2	Nível d'água menor ou igual à média mensal de longo termo, mas acima da média mensal de 25% de permanência	Vazão equivalente a vazão mensal de 25% de permanência
3	Nível d'água menor ou igual à média mensal de 25% de permanência	Vazão adequada à manutenção do ecossistema, ou, na falta de estudos na bacia, a vazão mensal de 15% de permanência

FONTE: TWDB, em <http://www.twdb.state.tx.us>

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

3 METODOLOGIA

O uso de um processo de outorga das águas superficiais tem por objetivo garantir a todos o acesso às águas. Para tanto é necessário utilizar uma vazão máxima de outorga no curso d'água, seja ela fixa ao longo do ano, ou variando de acordo com a disponibilidade hídrica. Tradicionalmente se adota como tal a vazão $Q_{7,10}$, considerada característica de períodos críticos de estiagens.

Neste capítulo serão descritos os métodos utilizados para se obter a vazão característica Q_{t,T_r} , de t dias de duração e T_r anos de retorno, em locais com dados históricos, e o processo de regionalização de vazões mínimas para obtenção de Q_{t,T_r} em locais sem dados.

Após o estabelecimento do cálculo de Q_{t,T_r} , serão apresentadas formas de avaliação do critério de outorga de vazão referencial, no caso, kQ_{t,T_r} , onde k é o coeficiente de restrição da vazão referencial, usualmente fixado em 30%. Estas avaliações têm por objetivo verificar a influência dos parâmetros de cálculo da vazão de outorga: k , t e T_r , e confiabilidade da utilização deles em relação ao atendimento às demandas de águas superficiais existentes num determinado local.

Também formula-se e discute-se um critério de outorga fixado anualmente em função da variação do regime de vazões ao final da estação chuvosa de cada ano, visando determinar um fator de correção anual para a vazão de outorga, dando a oportunidade ao Poder Público outorgante de poder aumentar o volume de uso das águas em tempos de maior oferta hídrica.

3.1 Análise de Frequência Local de Vazões Mínimas

Para a obtenção da vazão característica Q_{t,T_r} num local com dados observados de vazões médias diárias, é necessária a definição da curva de frequência de vazões mínimas. Para tanto devem ser definidas antes as durações de interesse da vazão mínima. Neste estudo foram adotadas durações de 1, 3, 5, 7, 10, 15 e 30 dias.

Para um certo posto fluviométrico, são seguidos os seguintes passos para a determinação da curva de frequência para cada duração:

- a) determinar para cada série de vazões médias diárias a seqüência de médias móveis;
- b) retirar as mínimas anuais, as quais devem ser ordenadas crescentemente;
- c) calcular a posição de plotagem de Weibull para as vazões, definida como:

$$pp = \frac{m}{n+1} \quad (3.1)$$

onde m é o número de classificação da vazão e n o tamanho da amostra;

- d) representar graficamente as vazões mínimas contra a posição de plotagem, definindo assim a distribuição empírica das vazões, ou, numa forma mais usual de apresentação, representar as vazões mínimas contra o tempo de retorno calculado pela distribuição empírica, o qual é $T_r=1/pp$;
- e) ajustar à amostra a distribuição de probabilidade de Weibull (NERC, 1980).

3.1.1 Distribuição de Probabilidade de Weibull

No estudo de vazões mínimas, o tempo de retorno T_r é definido como o tempo médio em anos para que ocorra o evento A: {a variável é menor ou igual a um certo valor} uma vez num ano qualquer.

Vazões mínimas são limitadas numa direção, ou seja, são sempre iguais ou superiores a um valor mínimo, usualmente suposto como zero. Embora qualquer distribuição de probabilidade limitada à esquerda possa ser utilizada para modelar eventos mínimos, muitos autores recomendam a distribuição de probabilidade de Weibull de 3 parâmetros. Sua função densidade de probabilidade é definida como:

$$f_X(x) = \alpha x^{\alpha-1} \beta^{-\alpha} \exp\left[-\left(\frac{x-\varepsilon}{\beta}\right)^\alpha\right]; x \geq \varepsilon; \alpha, \beta > 0; \quad (3.2)$$

onde ε , α e β representam os parâmetros de posição, forma e escala, respectivamente.

Se o limite a esquerda ε for fixado em zero, ou seja, $x \geq 0$, a distribuição passa a ter dois parâmetros e são válidas as seguintes relações:

$$E(X) = \beta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \quad (3.3)$$

$$Var(X) = \beta^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \right] \quad (3.4)$$

onde $E(X)$ e $Var(X)$ denotam respectivamente o valor esperado e a variância populacionais, sendo a função gama Γ definida pela integral:

$$\Gamma(z) = \int_0^\infty t^{z-1} e^{-t} dt \quad (3.5)$$

Os parâmetros da distribuição de Weibull podem ser calculados pelo método dos momentos, substituindo-se nas equações 3.3 e 3.4 o valor esperado $E(X)$ e a variância

Var(X) populacionais por seus respectivos estimadores amostrais. As soluções simultâneas do sistema podem ser mais facilmente obtidas através do coeficiente de variação amostral CV:

$$\frac{1}{CV} = \frac{\hat{E}(X)}{\sqrt{\hat{V}\hat{A}R(X)}} = \frac{\bar{X}}{S_x} = \frac{\Gamma(1+1/\alpha)}{\sqrt{\Gamma(1+2/\alpha) - \Gamma^2(1+1/\alpha)}} = \frac{A(\alpha)}{\sqrt{B(\alpha) - A^2(\alpha)}} \quad (3.6)$$

A partir da variação arbitrária de $1/\alpha$, são calculados os valores de $A(\alpha)$, $B(\alpha)$ e CV pela equação (3.6). O processo é repetido até que o valor de CV se aproxime do valor calculado do coeficiente de variação através da razão entre o desvio padrão e a média amostrais. Um exemplo para a determinação dos parâmetros α e β é apresentado na TAB. 3.1.

TABELA 3.1
Determinação de α e β para o CV amostral = 0,5697

$1/\alpha$	$A(\alpha)$	$B(\alpha)$	CV
0,0500	0,9735	0,9514	0,0620
0,1000	0,9514	0,9182	0,1203
0,1500	0,9330	0,8975	0,1758
0,2000	0,9182	0,8873	0,2291
0,2500	0,9064	0,8862	0,2805
0,3000	0,8975	0,8935	0,3307
0,3500	0,8912	0,9086	0,3797
0,4000	0,8873	0,9314	0,4279
0,4500	0,8857	0,9618	0,4755
0,5000	0,8862	1,0000	0,5227
0,5500	0,8889	1,0465	0,5697

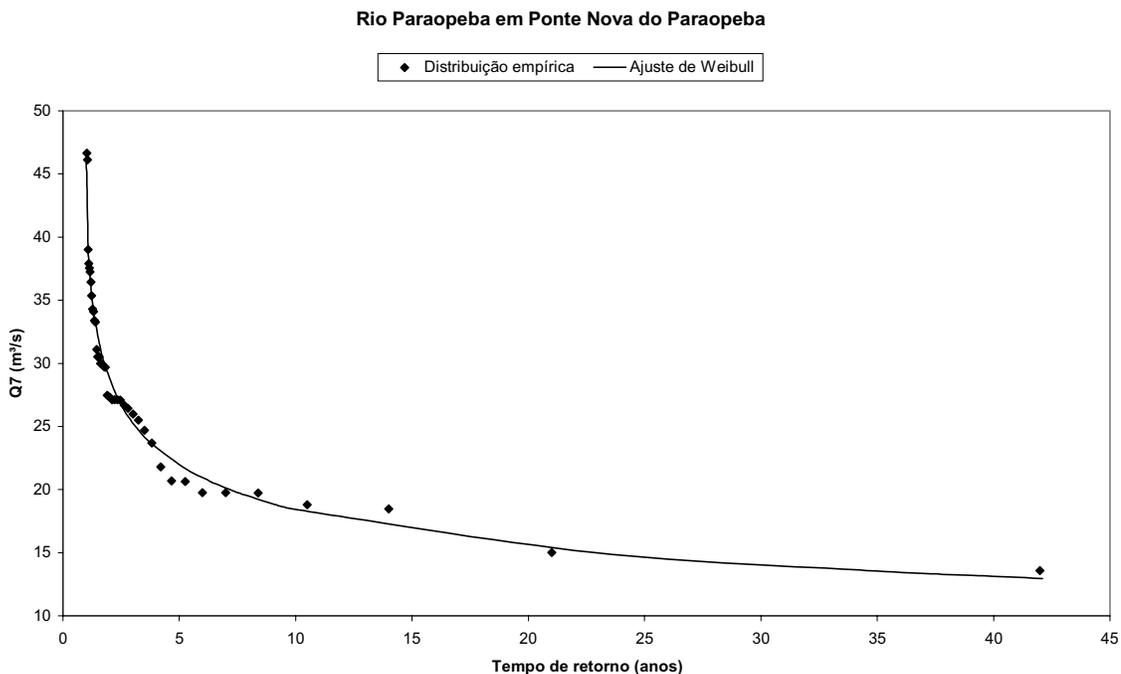
O parâmetro β é calculado por:

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{X}}{A(\alpha)} \quad (3.7)$$

O ajuste da distribuição de Weibull deve ser feito para cada duração de vazões mínimas. Um exemplo de ajuste é o apresentado no GRÁF. 3.1, para as vazões Q_7 observadas em Ponte Nova do Paraopeba, no Rio Paraopeba (MG).

GRÁFICO 3.1

Ajuste da distribuição de probabilidade de Weibull para vazões mínimas de 7 dias de duração



Para se determinar a vazão mínima de tempo de retorno T_r na duração de interesse, utiliza-se a relação:

$$Tr = \frac{1}{F_X(x)} \quad (3.8)$$

sendo $F_X(x)$ a função acumulada de distribuição de Weibull, definida por:

$$F_X(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (3.9)$$

cuja inversa fornece os quantis X_T dados pela expressão:

$$X_T = \beta \left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T_r}\right) \right]^{\frac{1}{\alpha}} \quad (3.10)$$

3.2 Análise Regional de Frequência de Vazões Mínimas

Os estudos regionais de frequência objetivam a determinação de variáveis hidrológicas, ou mesmo características estatísticas destas variáveis, como médias, desvios padrões, quantis regionais normalizados, para uma bacia onde não existam dados hidrológicos. Isto é feito a partir da análise de bacia próximas, de comportamento hidrológico similar e que possuam registro histórico de dados.

Nesta seção são apresentadas as metodologias para a análise regional de frequência de vazões mínimas, baseada no método do *index flood*, a partir do apresentado por DALRYMPLE (1960), e para a determinação das equações de regressão. Ambas as metodologias são voltadas para a análise de séries de vazões com período comum de registros.

3.2.1 Método do *Index Flood* para a Análise de Frequência de Vazões Mínimas

Supõe-se no método original, desenvolvido para a análise de frequência de cheias, que as distribuições das cheias em diferentes locais de uma região são parecidas, para um mesmo parâmetro de escala ou índice de cheia – *index flood*, o qual reflete o tamanho e características da precipitação e escoamento de cada sub-bacia (MAIDMENT, 1993). Geralmente, utiliza-se a média dos eventos extremos como *index flood*, pois pode ser calculada adequadamente para um local com dados, mesmo que o período de observações seja curto.

O objetivo deste método é a definição de uma curva regional de frequência de vazões, conforme já descrito na seção 2.4.1.3.

Para a análise de vazões mínimas é necessário que se considere a duração do evento para a determinação de sua distribuição de frequência. Assim, para cada duração determinada, deverá ser definida uma curva regional de frequência.

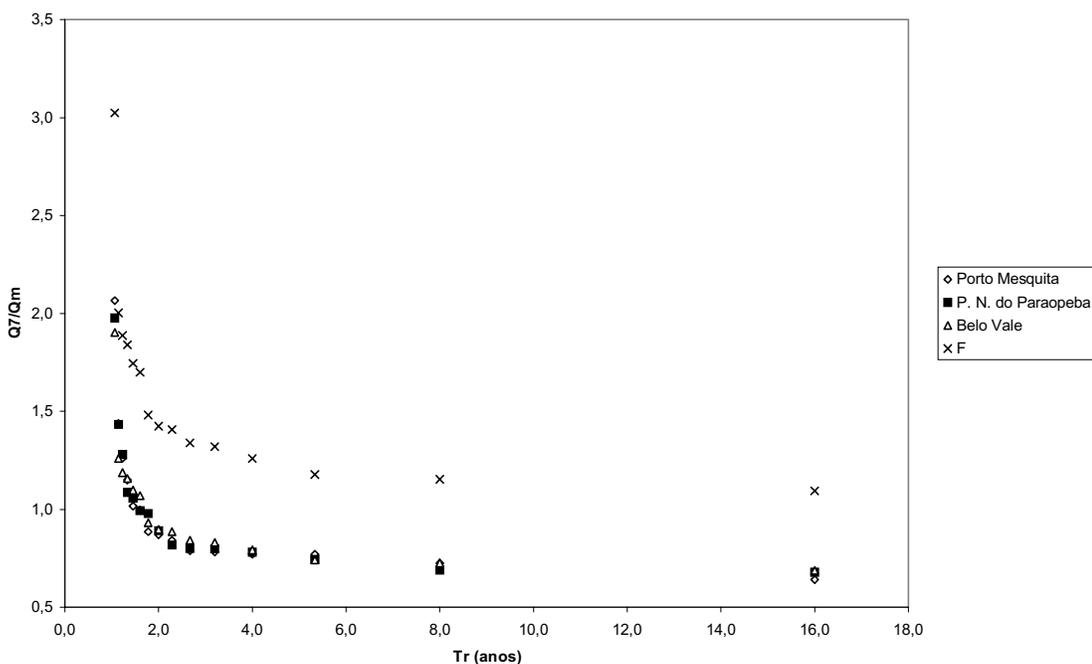
A curva regional é determinada da seguinte maneira:

- a) seleção do período comum de extensão dos dados de vazões médias diárias, de modo a se obter o maior número de postos fluviométricos, com o maior período possível, sendo permitido o preenchimento de falhas desde que o período total de falhas não exceda 25% do total;
- b) retirar das séries de vazões médias diárias, as vazões mínimas anuais de durações de 1, 3, 5, 7, 10, 15 e 30 dias;
- c) dividir as vazões mínimas anuais por sua respectiva média local, a fim de tornar adimensional a série, sendo a média das vazões mínimas anuais de duração t caracterizada como o *index flood*, ou fator de adimensionalização;
- d) para cada duração, ordenar crescentemente a série de vazões e calcular sua posição de plotagem através da expressão de Weibull;
- e) representar no mesmo gráfico, para uma mesma duração, as vazões adimensionalizadas contra sua posição de plotagem, de todos os postos analisados; caso as curvas apresentem tendências diferentes será necessária a divisão da bacia em sub-regiões homogêneas, caso contrário, faz-se o ajuste da distribuição de probabilidade de Weibull aos pontos médios.

Os pontos médios são determinados pela média dos valores de vazão adimensional dos postos analisados com mesma posição de plotagem (ELETROBRAS, 1985).

No GRÁF. 3.2 observa-se que a estação fluviométrica fictícia F apresenta uma tendência discrepantes das demais. Assim, deveriam ser definidas 2 curvas regionais: uma para a região de F e outra para as demais.

GRÁFICO 3.2
Exemplo de comportamento de tendências dentro da mesma bacia



Nota: a estação F aqui representada provém de uma série fictícia, colocada apenas para ilustrar a necessidade de estabelecimento de regiões homogêneas.

As curvas regionais são definidas para cada duração, entretanto, elas podem se distribuir independentemente da duração. Assim, uma única curva regional poderia ser definida para todas as durações. Caso isso se verifique, pode ser ajustada a distribuição de Weibull aos pontos médios de todas as durações.

Ao se ajustar a distribuição de probabilidade de Weibull às vazões mínimas adimensionalizadas, as vazões de tempo de retorno de interesse são obtidas pela equação (3.10). Observa-se que nesta equação são conhecidos o parâmetros α e β da distribuição de Weibull e o tempo de retorno. Assim, para a obtenção da vazão característica $Q_{t,Tr}$ num ponto qualquer, basta determinar Q_m .

O próximo passo então é determinar uma equação regional de regressão, relacionando Q_m com outras características da bacia.

3.2.2 Equação de Regressão Regional

Para a determinação de Q_m são utilizadas neste estudo como variáveis explicativas a área de drenagem (A), declividade (I) e comprimento (L) do curso d'água principal, densidade de drenagem (DD), precipitação média anual (P) e o índice de escoamento de base (IEB). Faz-se necessário então que se determinem estas variáveis para cada posto fluviométrico utilizado na análise regional.

Na equação de regressão também é necessária a inclusão da duração (t).

ELETROBRAS (1985) cita como usual um modelo de regressão não linear, como:

$$Q_m = aA^b I^c L^d DD^e P^f IEB^g \quad (3.11)$$

onde os coeficientes a, \dots, g devem ser calculados pelo método dos mínimos quadrados.

MAIDMENT (1993) afirma que o principal desafio da análise de regressão e determinação de seus parâmetros a partir de dados observados é que somente são obtidos estimadores amostrais da variável hidrológica. Existe então, associado ao modelo, um erro ε , o qual é proporcional à representatividade da amostra e ao ajuste do modelo.

O melhor modelo de regressão é aquele que não só apresenta o menor erro, mas também o menor número de variáveis explicativas, objetivando a diminuição do tempo e custo envolvidos na determinação das variáveis.

Neste estudo serão ajustados e avaliados os seguintes modelos para a obtenção da equação regional:

$$Q_m = a_0 A^{a_1} L^{a_2} I^{a_3} DD^{a_4} IEB^{a_5} P^{a_6} t^{a_7} + a_8 \quad (3.12)$$

$$Q_m = a_0 A^{a_1} + a_2 L^{a_3} + a_4 I^{a_5} + a_6 DD^{a_7} + a_8 IEB^{a_9} + a_{10} P^{a_{11}} + a_{12} t^{a_{13}} + a_{14} \quad (3.13)$$

$$Q_m = a_0A + a_1L + a_2I + a_3DD + a_4IEB + a_5P + a_6t + a_7 \quad (3.14)$$

Os coeficientes a_0 a a_{14} serão calculados pelo método dos mínimos quadrados.

Nas próximas seções será descrito como são obtidas as características físicas e hidrológicas necessárias aos modelos de equação de regressão propostos.

3.2.3 Determinação de Características Físicas da Bacia Hidrográfica

Conforme citado na seção 2.4.2.1, é necessária a determinação de características físicas da bacia para o estudo de regressão do fator de adimensionalização, ou “*index flood*”. São então descritos os meios utilizados para determinação das características utilizadas.

3.2.3.1 Área de Drenagem

A área de drenagem (A) é obtida após a delimitação da bacia hidrográfica em uma carta geográfica de escala apropriada ao porte da bacia. A área é então obtida por auxílio de um planímetro (ELETROBRAS, 1985).

Uma forma de se obter a área de drenagem com maior precisão é digitalizar a carta geográfica com a área já delimitada, e, utilizando um software de edição de mapas digitais, como o AutoMap, da AutoDesk, ou o MapInfo, determinar o valor da área por meio das ferramentas de análise de poligonais oferecidas por estes *softwares*.

Normalmente, entidades como a ANEEL determinam e publicam as áreas de drenagem dos postos fluviométricos por elas operados.

3.2.3.2 Perfil Longitudinal do Curso D'Água

A definição do perfil longitudinal permite o cálculo do comprimento total e da declividade do curso d'água.

O perfil é levantado em cartas geográficas, retirando altitudes e distâncias de interesse. Normalmente se indicam reservatórios, afluentes e postos fluviométricos. O comprimento pode ser obtido com a ajuda de um curvímeter, enquanto que para o cálculo da declividade média se utiliza o método da declividade $I_{15,85}$.

Este método de cálculo da declividade consiste na obtenção das altitudes a 15% e 85% do comprimento do rio até o ponto desejado, como, por exemplo, a estação fluviométrica de interesse. Portanto são desprezados os trechos da nascente, geralmente de declividade mais alta, e final, de declividade mais baixa. Divide-se então a diferença entre as altitudes por 70% do comprimento do rio no trecho de interesse, obtendo então o valor de $I_{15,85}$ (CPRM, 1996).

3.2.3.3 Densidade de Drenagem

A densidade de drenagem é um indicador do relevo superficial e das características geológicas da bacia, e consiste no número de junções por quilômetro quadrado da bacia, sendo uma junção o encontro de dois rios quaisquer.

A densidade de drenagem varia de acordo com a escala da carta geográfica na qual é levantada, portanto deve-se usar sempre a mesma escala.

De maneira análoga ao descrito na seção 3.4.3.1, o perfil longitudinal, comprimento e declividade do curso d'água podem ser melhor determinados com a utilização de *softwares* de edição de mapas, também conhecidos por “*Desktoping Mapping*”, para a análise da rede de drenagem digitalizada. Entretanto, para a densidade

de drenagem, torna-se necessária a utilização de ferramentas mais avançadas, presentes em Sistemas de Informações Geográficas – SIG, como o ArcInfo.

3.2.4 Determinação de Características Hidrológicas da Bacia Hidrográfica

No estudo de regionalização de vazões mínimas pode-se utilizar a precipitação média anual da região para melhorar a correlação da equação de regressão regional (ELETROBRAS, 1985). NERC (1980) recomenda também a utilização de um índice representativo do escoamento subterrâneo, ou de base.

3.2.4.1 Determinação da Precipitação Média Anual

A precipitação média anual pode ser calculada pela metodologia apresentada em ELETROBRAS (1985), a qual consiste no traçado de um mapa de isolinhas de precipitação utilizando um período comum de dados pluviométricos diários de postos na bacia.

O mapa de isolinhas tem por finalidade permitir a determinação da precipitação em locais sem dados na bacia.

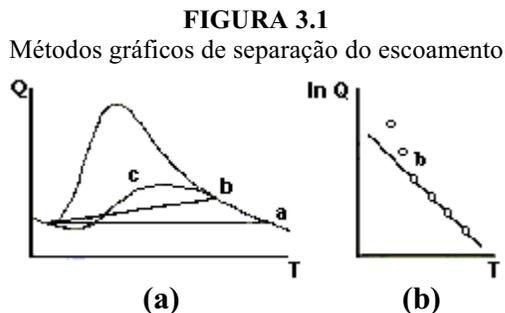
Neste estudo foram retiradas as precipitações médias anuais do mapa de isolinhas apresentado por CPRM (1995).

3.2.4.2 Determinação do Índice de Escoamento de Base para Locais Com Dados

O índice do escoamento de base – IEB, é apresentado em NERC (1980), como uma medida da proporção do escoamento do curso d'água que é derivada de recursos armazenados. IEB é a razão entre os volumes do escoamento de base e do total.

Sua determinação requer a utilização de um método para a separação do escoamento de base do escoamento total. A FIG. 3.1 (a) mostra alguns dos métodos gráficos mais comuns. A separação mais simples é feita traçando-se uma linha horizontal do ponto de início da ascensão do hidrograma até o ponto *a*. Assume-se com isto, porém, que o evento chuvoso causador da elevação do hidrograma não contribui para o escoamento subterrâneo. Uma separação mais realista seria a curva *c*, a qual mostra um pico efetivo logo após o pico do hidrograma. Mas o traçado desta curva é de grande subjetividade, produzindo resultados diferentes por diferentes analistas.

Uma maneira de diminuir essa subjetividade é traçar uma reta do ponto de ascensão do hidrograma ao ponto *b*. Após *b*, assume-se que o hidrograma torna-se uma curva exponencial, podendo então se fixar o ponto *b* no gráfico semi – logaritmo, como na FIG. 3.1 (b).



A área abaixo da linha de separação do escoamento é então calculada para se obter o volume do escoamento de base.

NERC (1980) utiliza um método analítico para determinação anual de IEB a partir de séries de vazões médias diárias, descrito a seguir:

- a) divida os dados em blocos de 5 dias, a partir de 1º de janeiro;
- b) marque a mínima vazão de cada bloco, e nomeie como Q_1, Q_2, \dots, Q_n ;
- c) considere os blocos formados por $(Q_1, Q_2, Q_3), (Q_2, Q_3, Q_4), \dots, (Q_{n-1}, Q_n, Q_{n+1})$ etc. Em cada bloco, se 90% do valor central é menor que os outros valores, então o valor central é um ponto de inflexão da linha de separação do escoamento;
- d) marque as datas dos pontos de inflexão como x_1, x_2, \dots, x_p , e as vazões q_1, q_2, \dots, q_p . Calcule os tempos entre os pontos de inflexão, $(x_2-x_1), \dots, (x_p-x_{p-1})$; e as vazões médias entre os tempos, $(x_1+x_2)/2, \dots, (x_{p-1}+x_p)/2$;
- e) o volume abaixo da linha de separação do hidrograma, ou volume de escoamento de base (VB), entre o primeiro e o último pontos de inflexão é calculado somando as áreas individuais entre os pontos, ou seja, multiplicando o tempo entre pontos de inflexão pela vazão média;
- f) calcula-se o volume total do escoamento (VT), o que pode ser feito somando-se as vazões médias diárias entre o primeiro e o último pontos de inflexão, inclusive;
- g) por fim, $IEB = VB/VT$.

O método pode ser melhor visualizado na TAB 3.2, que exemplifica o cálculo de IEB para o trimestre janeiro a março do ano de 1970 de uma série de vazões hipotética, representada na TAB. 3.3.

O volume do escoamento de base é a soma da última coluna, ou seja, 53,24 m³/dia, enquanto que o volume total do escoamento é obtido na TAB. 3.3, somando-se as vazões médias diárias entre 07/01/1970 e 23/07/1970, que é 63,84 m³/dia. IEB para o trimestre é então a razão entre os dois volumes: 83,40%.

TABELA 3.2
Exemplo de tabela auxiliar para determinação de IEB

DATA DE INFLEXÃO	VAZÃO m ³ /s	INTERVALO dias	VAZÃO MÉDIA m ³ /s	INCREMENTO DE VOLUME DE BASE m ³ /dia
07/01/70	0,364			
17/01/70	0,628	10	0,496	4,96
21/01/70	0,645	4	0,637	2,55
06/02/70	0,756	16	0,701	11,21
11/02/70	0,706	5	0,731	3,66
15/02/70	0,667	4	0,687	2,75
28/02/70	0,731	13	0,699	9,09
03/03/70	0,711	3	0,721	2,16
10/03/70	0,698	7	0,705	4,93
15/03/70	0,734	5	0,716	3,58
21/03/70	0,694	6	0,714	4,28
26/03/70	0,676	5	0,685	3,43
27/03/70	0,638	1	0,657	0,66

NERC (1992), após a análise de séries de vazões de 135 postos, com períodos superiores a 9 anos, concluiu que valores anuais de IEB são mais estáveis ao longo da série que outras características de vazões mínimas.

USGS (1996) apresenta um programa computacional, denominado “HYSEP”, para a separação do hidrograma. O programa produz como resultados: hidrograma anual separado em escoamentos total e de base para cada ano da série, resumos mensais e anuais dos escoamentos, e curvas de duração e permanência dos escoamentos total, de base e superficial.

O programa é de extrema praticidade, visto a rapidez de processamento e uniformização dos resultados, ao utilizar um método analítico para a separação do hidrograma, razões pelas quais foi adotado para uso neste estudo.

Nesse programa, são oferecidos três métodos para a separação dos escoamentos: intervalo fixo, intervalo móvel e mínimo local.

Os três métodos são baseados numa duração N do escoamento superficial, definida a partir da área de drenagem A , em km², sendo:

$$N = \left(\frac{A}{2,59} \right)^{0,2} \quad (3.15)$$

TABELA 3.3
Vazões médias diárias (m³/s) utilizadas para cálculo do IEB

Dia	Jan	Fev	Mar
1	0,422	0,883	0,733
2	0,426	0,941	0,737
3	0,421	0,851	0,711
4	0,398	0,879	0,816
5	0,969	0,797	0,765
6	0,395	0,756	0,768
7	0,364	0,776	0,790
8	0,379	0,781	0,759
9	0,593	0,805	0,708
10	0,775	0,729	0,698
11	1,020	0,706	0,978
12	0,740	0,813	0,997
13	0,630	0,749	0,859
14	0,988	0,708	0,798
15	0,740	0,667	0,734
16	0,708	0,673	0,741
17	0,628	0,879	0,785
18	0,657	0,907	0,759
19	0,633	1,000	0,697
20	0,628	0,975	0,708
21	0,645	1,040	0,694
22	0,784	1,040	0,686
23	1,550	0,962	0,732
24	1,189	0,850	0,734
25	0,937	0,806	0,692
26	0,990	0,761	0,676
27	0,820	0,748	0,638
28	0,786	0,731	0,648
29	0,856	-	0,658
30	1,280	-	0,649
31	0,916	-	0,679

N pode ser melhor definido como o intervalo em dias a partir do qual cessa o escoamento superficial.

O método do intervalo fixo pode ser entendido como uma barra de intervalo $2N^*$ se movendo ao longo do hidrograma. Para cada intervalo $2N^*$, defini-se o volume do escoamento de base como a área da barra, de altura igual à menor vazão contida no intervalo. $2N^*$ é definido como o inteiro ímpar entre 3 e 11 mais próximo de $2N$.

No método do intervalo móvel, encontra-se a menor vazão no intervalo $[0,5(2N^*-1)]$ dias, antes e após a data considerada. Muda-se para a próxima data e

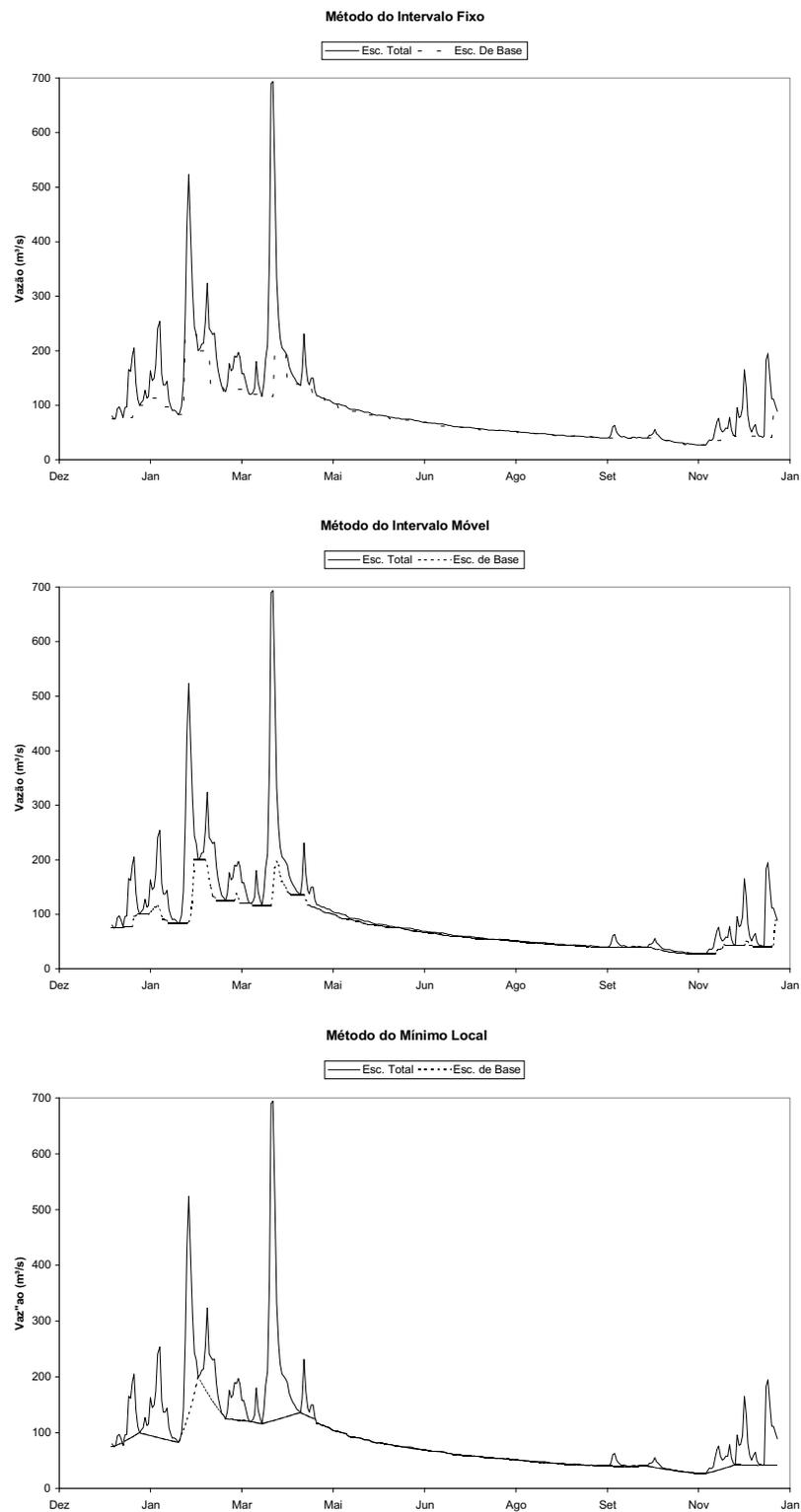
repete-se o processo. Este método é melhor visualizado como uma barra deslizando pelo hidrograma, dia a dia.

O método do mínimo local verifica a cada dia se este contém a menor vazão no intervalo $[0,5(2N^*-1)]$ dias antes e após a data considerada. Se for, este é definido como um mínimo local. O volume do escoamento de base é definido como a área limitada superiormente por uma linha unindo os mínimos locais.

Para exemplificar os três métodos é apresentada a FIG. 3.2, com a separação do hidrograma correspondente ao ano de 1951 da estação Ponte Nova do Paraopeba, no Rio Paraopeba.

Neste estudo foi utilizado o programa HYSEP (método do intervalo móvel) para a separação dos hidrogramas. O programa HYSEP é fornecido gratuitamente pelo *United States Geological Survey* – USGS, e pode ser obtido na INTERNET, através da URL: <http://www.usgs.gov>.

FIGURA 3.2
 Separação do hidrograma para Ponte Nova do Paraopeba pelo HYSEP



NOTA: realizado para o ano de 1951. Área de drenagem: 5830km².

3.2.4.3 Determinação do Índice de Escoamento de Base para Locais Sem Dados

Segundo NERC (1980), o IEB pode ser determinado em uma bacia por analogia com uma outra de geologia similar com um IEB conhecido. Entretanto, a subjetividade envolvida neste tipo de análise é muito grande.

Os preceitos básicos são:

- a) localizar e marcar em um mapa de escala apropriada as estações com IEB calculado, bem como causas artificiais de influência no valor de IEB, como reservatórios e captações de água;
- b) delimitar as áreas geológicas principais;
- c) tentar reproduzir no mapa características hidrogeológicas, como localização e abrangência de aquíferos, transmissividade hidráulica etc;
- d) tentar relacionar o IEB calculado com as características locais e tentar estimá-lo para áreas com as mesmas características.

3.2.5 Escolha do Melhor Modelo de Regressão

Inicialmente é necessário o cálculo da matriz de correlação simples entre as variáveis, o que permite verificar a relevância de cada variável explicativa. A matriz de correlação é construída a partir da determinação dos coeficientes de correlação simples entre as variáveis do modelo.

A correlação entre duas variáveis X_1 e X_2 é determinada pelo coeficiente de regressão simples r , definido como:

$$r = \frac{\Sigma X_1 X_2}{\sqrt{\Sigma X_1^2 \Sigma X_2^2}} \quad (3.16)$$

O coeficiente r varia de -1 a 1 . Quando r é positivo, indica uma tendência de crescimento conjunto para X_1 e X_2 . Se r é negativo, maiores valores de X_1 são associados a menores valores de X_2 . Quanto mais próximo da unidade, melhor a correlação entre X_1 e X_2 (SNEDECOR e COCHRAN, 1995).

Sejam Y a variável dependente, X_1 e X_2 as variáveis explicativas, e r_{ab} o coeficiente de correlação simples entre a e b , a matriz de correlação simples é:

TABELA 3.4
Matriz de correlação simples

	Y	X₁	X₂
Y	1	r_{YX_1}	r_{YX_2}
X₁	r_{YX_1}	1	$r_{X_1X_2}$
X₂	r_{YX_2}	$r_{X_1X_2}$	1

O valor de r serve como um dos critérios para a exclusão de variáveis do modelo de regressão.

O próximo passo é a determinação dos coeficientes do modelo de regressão. Os coeficientes são calculados com base no quanto é minimizada a variância residual (soma dos resíduos ao quadrado) ao redor do modelo de regressão. O resíduo ou desvio entre o

valor observado e o previsto pelo modelo é interpretado como uma perda na precisão do modelo. Pode-se dizer que o propósito desse tipo de determinação, denominado método dos mínimos quadrados, é minimizar uma função de perdas, ou “*função objetivo*”. Essa função é definida como a soma do quadrado dos desvios em relação aos valores previstos.

Neste estudo foi utilizado o *software* STATISTICA, da empresa americana STATSOFT (na INTERNET: <http://www.statsoft.com>) para a determinação dos coeficientes dos modelos de regressão.

Após a determinação dos coeficientes de regressão é necessária a análise do ajuste do modelo. São descritos a seguir os meios utilizados neste estudo para a avaliação dos modelos.

3.2.5.1 Coeficiente de Determinação

O coeficiente de determinação R^2 não tendencioso é definido em TUCCI (2000) como:

$$R^2 = 1 - \frac{s^2}{s_y^2} \quad (3.18)$$

onde:

$$s^2 = \frac{\sum (\ln Q_{oi} - \ln Q_{ci})^2}{n - p - 1} \quad (3.19)$$

$$s_y^2 = \frac{\sum (\ln Q_{oi} - \overline{\ln Q_{oi}})^2}{n - 1} \quad (3.20)$$

e n é o tamanho da amostra, p é o número de variáveis independentes, Q_{oi} é a vazão observada e Q_{ci} é a vazão calculada pelo modelo.

O coeficiente R^2 apresenta como desvantagem o fato de quase sempre aumentar quando se acrescenta uma nova variável explicativa ao modelo, independentemente do ganho relativo ser por vezes insignificante. Assim, MONTGOMERY e PECK (1992) recomendam o uso de $R^2_{ajustado}$:

$$R^2_{ajustado} = 1 - \frac{n-1}{n-p}(1 - R^2) \quad (3.21)$$

onde n é o número de valores observados e p o número de variáveis explicativas utilizadas no modelo.

3.2.5.2 Coeficiente de Correlação Múltipla

Segundo SNEDECOR e COCHRAN (1995) o coeficiente de correlação múltipla R pode ser calculado por:

$$R = \frac{(\sigma_{yyp})^2}{[(\sigma_{y^2})(\sigma_{yp^2})]} = \frac{\Sigma y p^2}{[(\Sigma y^2)(\Sigma_{yp^2})]} = \frac{\Sigma_{yp^2}}{\Sigma y^2}; \quad (3.22)$$

sendo y o valor observado na amostra e yp o valor calculado pelo modelo.

Quanto mais próximo R da unidade, melhor a correlação do modelo.

3.2.5.3 Gráfico dos Valores Previstos Contra os Observados

Representam-se os valores previstos contra os observados em um gráfico de pontos. Se o modelo é apropriado, os pontos se aproximam de uma linha reta. Caso contrário, tendem a se dispersar.

Estabelecidas as variáveis dependente e explicativas, os modelos de regressão, o método de determinação dos coeficientes dos modelos e critérios de análise do ajuste

dos modelos, faz-se necessária a escolha do modelo que melhor represente os dados observados com o menor número de variáveis explicativas. São então seguidos os seguintes passos:

- a) calcular os coeficientes dos modelos;
- b) calcular os coeficientes R , R^2 e R^2_{ajustado} , e traçar o gráfico dos valores previstos contra os observados;
- c) refazer os passos anteriores, mas retirando de cada modelo a variável explicativa que apresenta a menor correlação com a variável dependente na matriz de correlação.

O objetivo é a retirada das variáveis de menor relevância na modelagem. ELETROBRAS (1985) encontrou significância somente com a duração, área e densidade de drenagem.

Definido o melhor modelo, os valores de Q_m podem ser calculados para os locais na bacia sem registro histórico, determinando-se as vazões $Q_{t,Tr}$ na curva de frequência regional adimensional.

3.3 Avaliação do Critério da Vazão Referencial

Ao se definir a fração k da vazão $Q_{t,Tr}$, de t dias de duração e tempo de retorno T_r como vazão passível de ser outorgada num trecho fluvial, o objetivo é tentar assegurar que haverá água disponível para os usuários naquele trecho, bem como uma vazão residual, geralmente aceita como $(1-k) Q_{t,Tr}$, para fins de manutenção do ecossistema aquático.

A vazão $Q_{t,Tr}$ é uma vazão característica de períodos críticos de estiagem, sendo geralmente utilizada a vazão $Q_{7,10}$, conforme já visto no Capítulo 2. Logo, para os demais períodos do ano, e principalmente em anos chuvosos, a vazão de outorga $k Q_{t,Tr}$ será inferior à vazão disponível, sugerindo uma "perda" de recurso hídrico que poderia ser mais explorado.

Um problema sério advindo da restrição ao uso do volume de água superficial é o fato de que, em algumas regiões, a demanda de usos das águas já é superior à vazão outorgável, como em alguns cursos d'água do Estado de Minas Gerais, onde o IGAM utiliza como vazão de outorga 30% $Q_{7,10}$. Outro transtorno de se fixar uma vazão de outorga é a possibilidade da vazão, em um determinado período de estiagem, ser maior que a vazão disponível no curso d'água.

O termo risco é usualmente associado à probabilidade de falha. Em hidrologia, risco pode ser definido como a probabilidade que um ou mais eventos excedam ou sejam inferiores a um determinado valor em um certo período de tempo de referência. Supõem-se assim, que a frequência de distribuição dos eventos seja conhecida (USACE, 1993).

Ao se fixar um valor de vazão de outorga como $k Q_{t,Tr}$, aceita-se que há um risco de que, para o período de tempo equivalente à concessão da outorga, ocorram períodos em que a vazão disponível no curso d'água seja inferior à vazão outorgada ou demanda dos usuários, ou seja, falhas.

Nesta seção são então descritos os métodos utilizados para a avaliação do risco associado a cada um dos parâmetros da vazão referencial: a fração k , a duração t e o tempo de retorno T_r . Apresenta-se também uma metodologia alternativa para a determinação anual do parâmetro k , em função do regime de vazões do início do ano, com o objetivo de possibilitar o aumento de vazão outorgada para anos com maior disponibilidade de águas superficiais.

3.3.1 Avaliação do Tempo de Retorno da Vazão Referencial

Considerando uma seqüência de intervalos de tempo discretos, denomina-se p a probabilidade de que um evento ocorra em cada intervalo e , de forma dicotômica, $(1-p)$ representa a probabilidade de que o evento não ocorra. A ocorrência de um evento é independente da ocorrência ou não de eventos anteriores. Em cada intervalo de tempo, este tipo de processo estocástico é chamado processo de Bernoulli.

Uma seqüência finita de processos de Bernoulli pode ser descrita pela distribuição binomial, onde a probabilidade de $X \leq x$ ocorrências de um evento em n tentativas independentes, sendo p a probabilidade de ocorrência em uma tentativa é:

$$F_X(x; n, p) = \sum_{i=0}^x \binom{n}{i} p^i q^{n-i}; \quad x = 0, 1, 2, \dots, n \quad (3.23)$$

onde $q = 1-p$ é a probabilidade de não ocorrência.

Num sistema de outorga de vazões superficiais, caracteriza-se a falha quando a vazão outorgada é inferior à disponível. Supondo que a probabilidade P de haver, no máximo, f anos de falha, durante um período de n anos de concessão de outorga, seja uma seqüência de processos de Bernoulli, então P pode ser definida através da equação (3.23), como:

$$P = \sum_{i=0}^f \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i} ; f = 0, 1, 2, \dots, n \quad (3.24)$$

onde p é a probabilidade de não excedência, ou seja, $p = 1/T_r$, e :

$$\binom{n}{i} = \frac{n!}{(n-i)! i!} \quad (3.25)$$

Logo, o risco R de que aconteça mais que f anos de falha, no intervalo n , é simplesmente $1-P$. Ou:

$$P = PROB.(X \leq x); \quad (3.26)$$

$$R = 1 - P = PROB.(X > x) \quad (3.27)$$

O risco R deve ser calculado para valores arbitrários de T_r e f , para o período de concessão de outorga n .

3.3.2 Avaliação da Duração da Vazão Referencial

A adoção de valores superiores a 7 dias para a determinação da vazão referencial para outorgas num trecho do curso d'água implica em valores superiores de vazão. Entretanto, ao se aumentar a vazão outorgada, corre-se um risco maior de que, em um certo período, a vazão disponível no curso d'água seja inferior à vazão outorgada.

Neste estudo, pretende-se avaliar a vazão referencial de outorga em função da sua duração, a partir da análise do coeficiente de variação da vazão mínima, e da possibilidade da vazão de outorga ser superior à vazão disponível, em um período de tempo qualquer.

3.3.2.1 Avaliação do Coeficiente de Variação da Vazão Referencial

Sendo Q_m a vazão média aritmética das vazões mínimas anuais Q_i de duração t , retiradas da série histórica de vazões médias diárias, e S o desvio padrão amostral, determinado por:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Q_i - Q_m)^2} \quad ; i = 1, 2, \dots, n \quad (3.28)$$

onde n é o tamanho da amostra, então o coeficiente de variação CV é definido por:

$$CV = \frac{S}{Q_m} \quad (3.29)$$

Quanto maior a duração t , maior será a vazão mínima $Q_{t,Tr}$, para um determinado tempo de retorno T_r . Isso também implica no aumento de Q_m e S . Logo, CV também poderá ser maior, indicando um distanciamento da vazão $Q_{t,Tr}$ dos valores mínimos de vazão da série.

Para a análise de CV é adotado o seguinte procedimento:

- a) fixar as durações de interesse;
- b) retirar de cada ano da série a menor vazão média de t dias de duração;
- c) determinar Q_m , S e CV para os valores de vazão mínima de cada duração.

O próximo passo é tentar definir até que ponto aumentar a duração implica num aumento significativo de CV .

Um outro indicador da variabilidade da vazão mínima é o coeficiente CV^* , em substituição a CV , dado por:

$$CV^* = \frac{Q_{75} - Q_{25}}{Q_{50}} \quad (3.30)$$

onde Q_{75} é a vazão representativa do quartil 75% da amostra de vazões mínimas anuais, e Q_{25} e Q_{50} são, respectivamente, os quartis de 25% e 50%. Q_{50} , por definição, é a mediana. CV^* pode ser um estimador da variabilidade mais robusto que CV .

Neste estudo são avaliadas as durações de 1, 3, 5, 7, 10, 15 e 30 dias.

3.3.2.2 Avaliação da Duração da Vazão Referencial em Relação à Série Histórica de Dados

Suponha que R_t represente o risco da vazão média Q de um dia qualquer ser inferior ao valor da vazão referencial $Q_{t,Tr}$. Como o valor de $Q_{t,Tr}$ aumenta com o aumento da duração, R_t também aumentará. Logo, o risco R_t é diretamente proporcional à duração.

Uma forma de se calcular R_t para um local com série histórica de vazões médias diárias é:

$$R_t = \frac{n_f}{n} \quad (3.31)$$

onde n_f é o número de dias onde $Q < Q_{t,Tr}$, e n é o número total de dias da amostra.

O risco R_t é calculado a partir da análise da série histórica de vazões médias diárias de um posto fluviométrico. Devem então ser selecionados postos fluviométricos com período de dados suficientemente extenso para que seja representativo de períodos críticos de estiagem.

Como R_t é calculado a partir de $Q_{t,Tr}$, é também influenciado pelo tempo de retorno. Assim, a análise de R_t deve ser feita para as várias durações de tempos de retorno de interesse.

3.3.3 Avaliação do Coeficiente k da Vazão Referencial

Conforme visto anteriormente, o coeficiente k da vazão referencial $Q_{t,Tr}$ é arbitrariamente fixado em 30% no Estado de Minas Gerais, para a vazão de outorga de $Q_{7,10}$. É possível, então, que haja uma demanda em um dado local que seja superior ao critério de vazão referencial.

A avaliação do coeficiente k, para um determinado ponto, deve se basear na verificação do valor de k que garanta o atendimento à demanda existente, e em relação à hidrologia do local, ou seja, se o regime de vazões é suficiente para que se outorgue $kQ_{t,Tr}$.

3.3.3.1 Avaliação do Coeficiente k em Função das Demandas das Classes de Usuários

As demandas de águas superficiais num local são definidas pelo seu agrupamento em classes de usuários. Normalmente, dá-se maior prioridade ao consumo humano, nos meios urbano e rural, e em seguida, dessedentação de animais, irrigação e usos industriais e comerciais. As classes são numeradas em função da prioridade, sendo a classe 1 o consumo humano, e assim por diante.

As vazões utilizadas em cada classe devem ser levantadas no local de estudo. À classe 1 soma-se a vazão ecológica.

Observa-se que, por se dar prioridade s classes, a classe de prioridade superior deve ser inteiramente atendida antes da seguinte. Isso equivale a dizer que a vazão Q_i a ser atendida na classe i é igual a:

$$Q_i = \sum_{j=0}^i Q_j ; j = 1, \dots, i \quad (3.32)$$

Para a avaliação do atendimento à vazão de outorga, basta então que se verifique para todo $k > 0$ a seguinte condição para todas as classes:

$$k Q_{t,Tr} - Q_i \geq 0 \quad (3.33)$$

Neste estudo é avaliado se o critério de outorga do Estado de Minas Gerais, ou seja, 30% $Q_{7,10}$, atende às demandas das classes de usuários, e também, outros valores arbitrários de k .

3.3.3.2 Avaliação do Coeficiente k em Função da Disponibilidade Hídrica

Outra incerteza ao se arbitrar um valor fixo de vazão referencial é o risco de não haver vazão suficiente, todo o tempo, no curso d'água, para atender à vazão outorgada.

Assim, fixando-se um valor de $Q_{t,Tr}$, pode-se calcular um risco R_k de não atendimento da vazão de outorga de $k Q_{t,Tr}$, associado à variação de k .

R_k é definido como a possibilidade de que, em um ano qualquer, em um certo local, aconteça pelo menos um dia em que a vazão média é inferior a $k Q_{t,Tr}$, ou:

$$R_k = \frac{n_f}{n} \quad (3.34)$$

onde n_f é o número de anos da série histórica de vazões médias diárias do local em estudo, onde ocorre pelo menos um dia de vazão inferior a $k Q_{t,Tr}$, e n é o total de anos da série.

Estes dois critérios permitem ao poder outorgante avaliar se a vazão referencial para outorga dos usos das águas é de um valor tal que não somente seja suficiente para o atendimento da demanda existente, mas também possua um risco aceitável de falha, ou seja, ser de valor superior ao regime de vazões do curso d'água para um ano qualquer.

3.3.4 Avaliação da Disponibilidade Hídrica Face à Demanda Existente

Outro problema relativo à definição dos instrumentos de outorga dos usos das águas é a insuficiência das águas superficiais em um dado local para o atendimento às demandas das classes, gerando conflitos de usos locais e obrigando a intervenção do Poder Público em áreas críticas.

É necessário, então, que o Poder Outorgante avalie a suficiência da disponibilidade hídrica. Uma forma de avaliação é a determinação do risco de que, para um ano qualquer, haja uma falha no abastecimento, ou seja, a vazão do curso d'água seja inferior à vazão demandada pelas classes de usuários.

O risco de não atendimento à demanda, R_d , pode ser definido para cada classe de usuários i , a partir da série histórica de vazões médias diárias do trecho em estudo, da seguinte forma:

$$R_d = \frac{n_f}{n} \quad (3.35)$$

onde n_f é o número de anos da série nos quais ocorra pelo menos uma falha, e n é o número de anos da série. A falha é caracterizada pela relação:

$$Q < Q_i = \sum_{j=1}^i Q_j \quad (3.36)$$

sendo Q a vazão média diária e Q_i a vazão acumulada na classe de usuário i , obtida pela equação (3.25).

Assim, o risco R_d aumenta à medida que se avaliam classes de prioridade inferior, visto que a demanda das classes superiores deve ser atendida antes que se passe para a nova classe.

Entretanto, é possível que a falha no atendimento de um dia não traga conseqüências para uma certa classe de usuários. Torna-se interessante, então, avaliar o

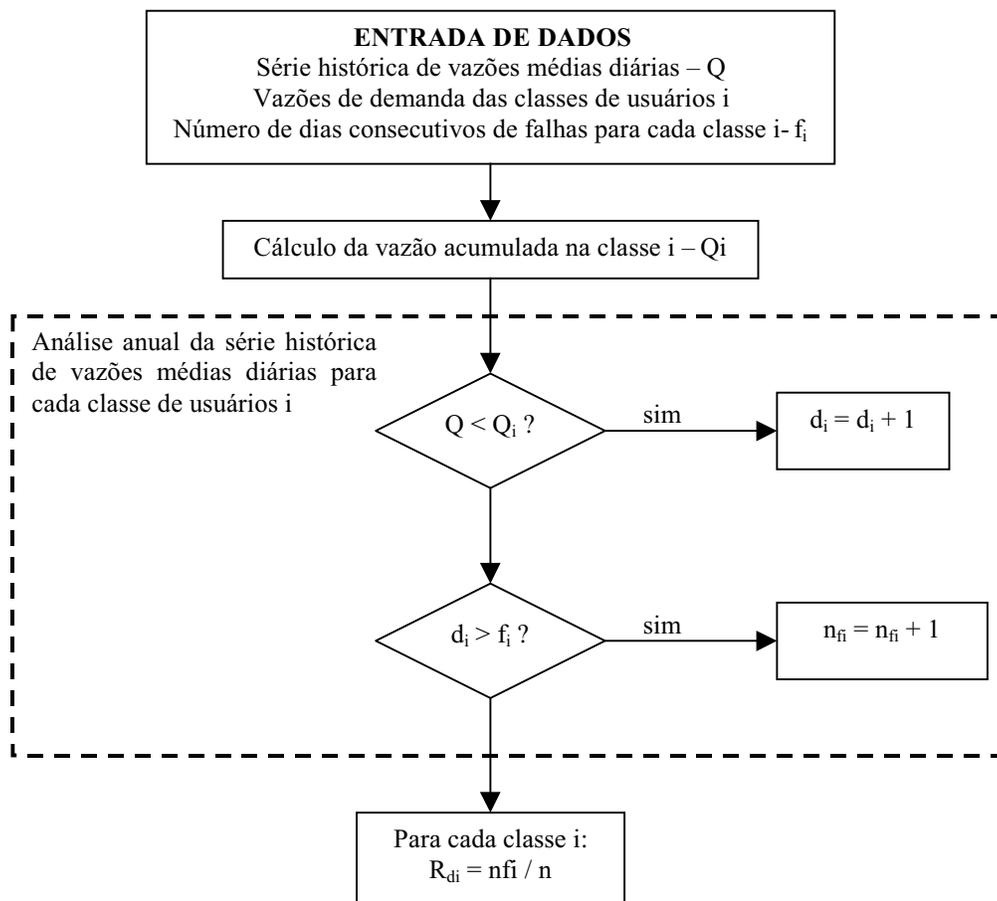
risco de não atendimento associado a um período de dias consecutivos de falhas aceitável para cada classe de usuários.

Esta avaliação somente pode não ser válida para a classe 1, relativa ao consumo humano e vazão ecológica, onde tradicionalmente não se aceita falha no atendimento.

Para tanto, foi desenvolvido pelo autor um programa em linguagem Delphi, para uso nos sistemas operacionais Microsoft Windows 95 e 98, que calcula o risco R_d para cada classe de usuários, em função do período de falhas aceitável para a classe. O cálculo é feito conforme o fluxograma da FIG 3.3. No cálculo, f_i é o número de dias consecutivos aceitos para a classe i e d_i é o número de dias de falha encontrados no ano. Se $d_i > f_i$, então soma-se 1 a n_{fi} , que representa o número de anos com pelo menos uma falha.

FIGURA 3.3

Fluxograma do cálculo de R_d para cada classe de usuários, aceitando um período de falhas



3.4 Critério de Vazão Referencial com Variação Anual

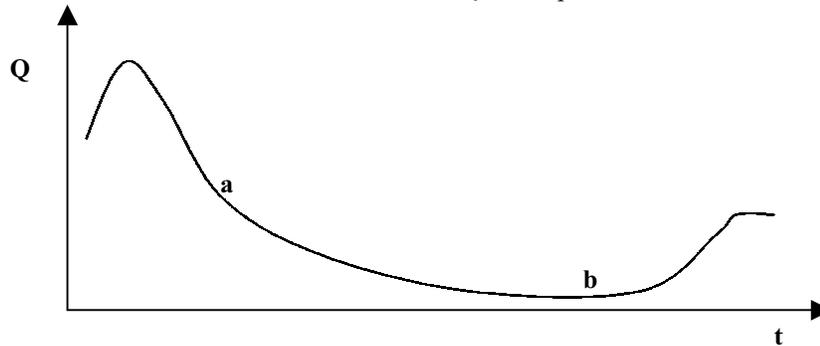
Fixar um valor referencial de vazão de outorga garante o uso racional do recurso hídrico, principalmente durante períodos de escassez. Entretanto, em anos nos quais a oferta hídrica é superior, as águas excedentes ao valor total da vazão outorgada, as quais poderiam ser utilizadas como fator de desenvolvimento econômico de vários setores de usuários, como na agricultura, podem não ser aproveitadas. Assim, visando o melhor aproveitamento do recurso hídrico, procurou-se definir um critério de vazão referencial sensível ao aumento da oferta de águas superficiais numa bacia hidrográfica.

Considere que $Q_{7,10}$ é a vazão referencial, sendo que a vazão outorgada se restrinja a 30% de seu valor, e os 70% restantes representem a vazão ecológica. A vazão $Q_{7,10}$ é determinada para um trecho do curso d'água a partir da análise de períodos de estiagem da série histórica de vazões médias diárias. Mais especificamente, a partir da análise de frequência das vazões mínimas anuais de 7 dias de duração, Q_7 .

Como o objetivo é aumentar a vazão outorgada, 30% $Q_{7,10}$, para um ano de maior oferta hídrica, em um determinado trecho fluvial, torna-se necessária a previsão do comportamento das vazões de estiagem para aquele ano, a fim de se calcular qual o acréscimo de vazão a ser feito na vazão outorgada. Poderia ser possível relacionar uma característica do regime de vazões do início do ano com a vazão mínima anual de 7 dias, Q_7 .

A vazão Q_7 poderia ser associada à vazão média de um dia representativo do início da recessão do hidrograma. Suponha que este dia seja o ponto a na FIG. 3.4, e Q_7 seja b . Para a determinação de um fator de correção da vazão outorgada, deve-se então calcular uma equação de regressão entre os pontos a e b retirados de todos os anos da série histórica de um posto fluviométrico.

FIGURA 3.4
Determinação dos pontos a e b



Um problema advindo do uso da vazão média diária é o fato dela ser sujeita a grandes variações inter-anuais. Logo, pode ser necessária a utilização de um valor mais estável, como a média do mês típico de início da recessão.

O modelo de regressão para o fator de correção FC_i de um ano qualquer i da vazão de outorga, definido neste estudo como a razão entre a vazão Q_7 do ano i e $Q_{7,10}$ calculada para a série, é da forma:

$$FC_i = \frac{Q_{7i}}{Q_{7,10}} = f(Q_{ci}) \quad (3.37)$$

onde Q_{ci} é a vazão característica a ser usada para a previsão, seja uma média diária ou mensal, referente ao período de início da recessão.

Numa aplicação prática, são conhecidos $Q_{7,10}$ e a vazão Q_{ci} . Pelo modelo de regressão determina-se FC_i . Cada usuário, detentor de outorga de direito do uso das águas, multiplicaria então sua quota de vazão pelo fator de correção.

Entretanto, a utilização de somente uma variável, Q_{ci} , pode resultar em valores insatisfatórios de ajuste do modelo para a previsão de FC_i . Logo também serão agregados ao modelo o índice de escoamento de base IEB, definido na seção 3.3.2, e a constante de recessão do hidrograma k_r .

Segundo MAIDMENT *et al.* (1993), k_r para um dado ano da série de vazões médias diárias, pode ser obtido pela equação:

$$q_t = q_0 k_r^t \quad (3.38)$$

onde q_t é a vazão no tempo t , fixado em dias, no fim da recessão do hidrograma, e q_0 é a vazão do início da recessão.

Logo, a função (3.30) passa a ser:

$$FC_i = \frac{Q_{7i}}{Q_{7,10}} = f(Q_{ci}, k_r, IEB) \quad (3.39)$$

O modelo de regressão de FC pode ser obtido para cada posto fluviométrico de interesse na bacia. Entretanto, pode ser interessante estabelecer um modelo de regressão regional de FC, tornando mais confiáveis os valores determinados para locais com poucos registros históricos de vazões.

Após a obtenção do modelo de regressão de FC, a vazão de outorga para um ano i poderia ser $FC_i * (30\%Q_{7,10})$.

CAPÍTULO 4

ÁREA DE ESTUDO: BACIA DO RIO PARAOPEBA

4 ÁREA DE ESTUDO: BACIA DO RIO PARAOPEBA

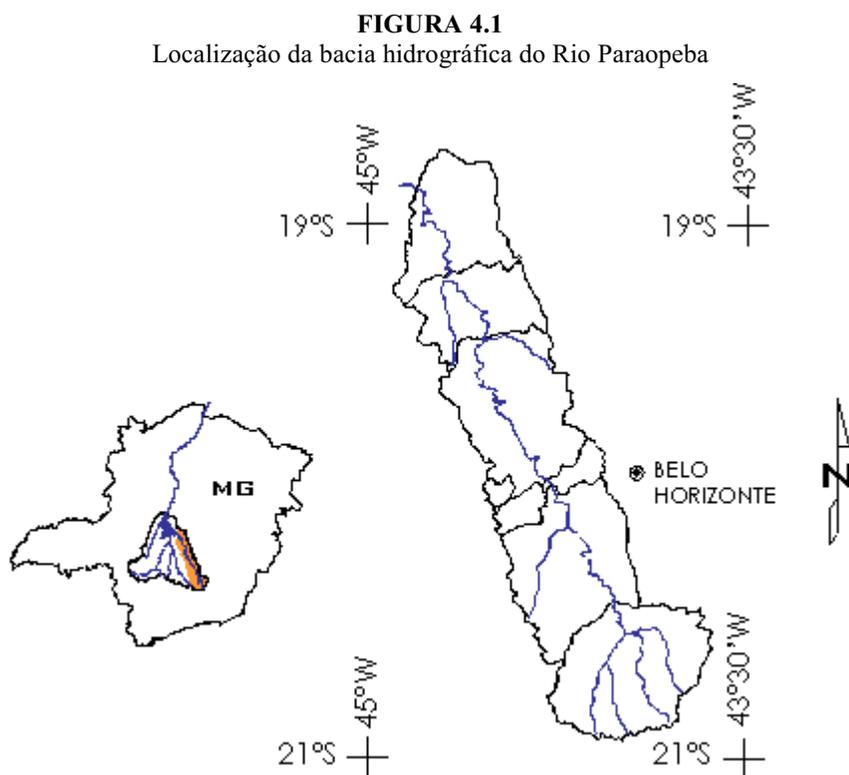
Como área de estudo para aplicação da metodologia descrita no capítulo anterior foi escolhida a bacia hidrográfica do Rio Paraopeba, localizada no Estado de Minas Gerais. A área foi selecionada devido à sua diversidade de usos das águas superficiais, em atividades como agricultura, pecuária, mineração e no setor industrial, além de ser densamente habitada. A bacia também conta com um número razoável de estações hidrometeorológicas.

A bacia hidrográfica do Rio Paraopeba localiza-se na área central do Estado de Minas Gerais, e é responsável por grande parte do abastecimento de água da Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH, através dos sistemas Vargem das Flores, Serra Azul e Manso, operados pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA MG. A bacia também abriga uma das primeiras iniciativas brasileiras de gestão dos recursos hídricos, através do Consórcio Intermunicipal da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba - CIBAPAR (CPRM, 1996).

4.1 Localização

De acordo com a codificação estabelecida pelo extinto Departamento de Águas e Energia Elétrica - DNAEE, a bacia hidrográfica do Rio Paraopeba pertence à sub-bacia 40, ou Alto São Francisco, que também compreende as nascentes dos rios São Francisco, Pará, Indaiá, Borrachudo e seus afluentes até a Barragem de Três Marias, da CEMIG.

A região está localizada entre os paralelos $18^{\circ}30'$ e 21° de latitude Sul e os meridianos $43^{\circ}30'$ e 45° de longitude Oeste (FIG. 4.1). Possui uma área de cerca de 13.300km^2 , correspondente a 2,5% da área total do estado.



4.2 População e Economia

A região abrange 48 municípios localizados total ou parcialmente na bacia, com cerca de 933.600 habitantes, conforme a Contagem Populacional de 1996 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Na TAB. 4.1 são apresentados os municípios integrantes da bacia, com suas respectivas contagens populacionais e áreas. Na FIG. I.1, do Anexo I, estão representados os limites e as sedes dos municípios da bacia. Há uma maior concentração populacional no alto e médio curso do Rio Paraopeba, como se observa na FIG. 4.2.

Como atividades econômicas mais importantes na bacia estão as lavras de minério de manganês e ferro, com grandes depósitos no alto e médio curso do Rio Paraopeba. A agricultura e pecuária se distribuem ao longo da bacia, tendo como principais produtos agrícolas: o milho, o feijão, o arroz, a cana-de-açúcar, o café e a batata. A bovinocultura, principal atividade de pecuária, é predominante no norte da bacia (SCHVARZTMAN et al., 1999).

TABELA 4.1
Municípios integrantes da bacia hidrográfica do Rio Paraopeba

MUNICÍPIO	POPULAÇÃO HAB.	ÁREA KM ²	MUNICÍPIO	POPULAÇÃO HAB.	ÁREA KM ²
Belo Vale	6955	367	Itaverava	6579	284
Betim	249451	347	Jeceaba	6054	236
Bonfim	7206	310	Juatuba	12306	97
Brumadinho	24336	634	Lagoa Dourada	10862	479
Cachoeira da Prata	3713	61	Maravilhas	6066	261
Caetanópolis	7587	157	Mario Campos	7269	35
Casa Grande	2176	158	Mateus Leme	20720	303
Congonhas	38767	306	Moeda	4201	155
Conselheiro Lafaiete	94538	371	Ouro Branco	29783	261
Contagem	492350	195	Ouro Preto	61633	1249
Cristiano Ottoni	4632	133	Papagaios	12817	554
Crucilândia	4294	167	Pará de Minas	68585	553
Curvelo	63467	3306	Paraopeba	18623	627
Desterro de Entre-Rios	6781	371	Pequi	3485	205
Entre-Rios de Minas	12838	464	Piedade dos Gerais	4037	261
Esmeraldas	33934	912	Pompéu	23250	2566
Felixlândia	12010	1558	Queluzito	1893	154
Florestal	5363	195	Resende Costa	9783	633
Fortuna de Minas	2283	199	Rio Manso	4276	233
Ibirité	106781	73	São Brás do Suaçuí	3229	111
Igarapé	17903	110	São Joaquim de Bicas	13160	73
Inhaúma	4688	245	São José da Varginha	2960	206
Itatiaiuçu	8243	296	Sarzedo	12577	62
Itaúna	70919	497	Sete Lagoas	167340	539

Fonte: IBGE, URL: <http://www.ibge.gov.br>

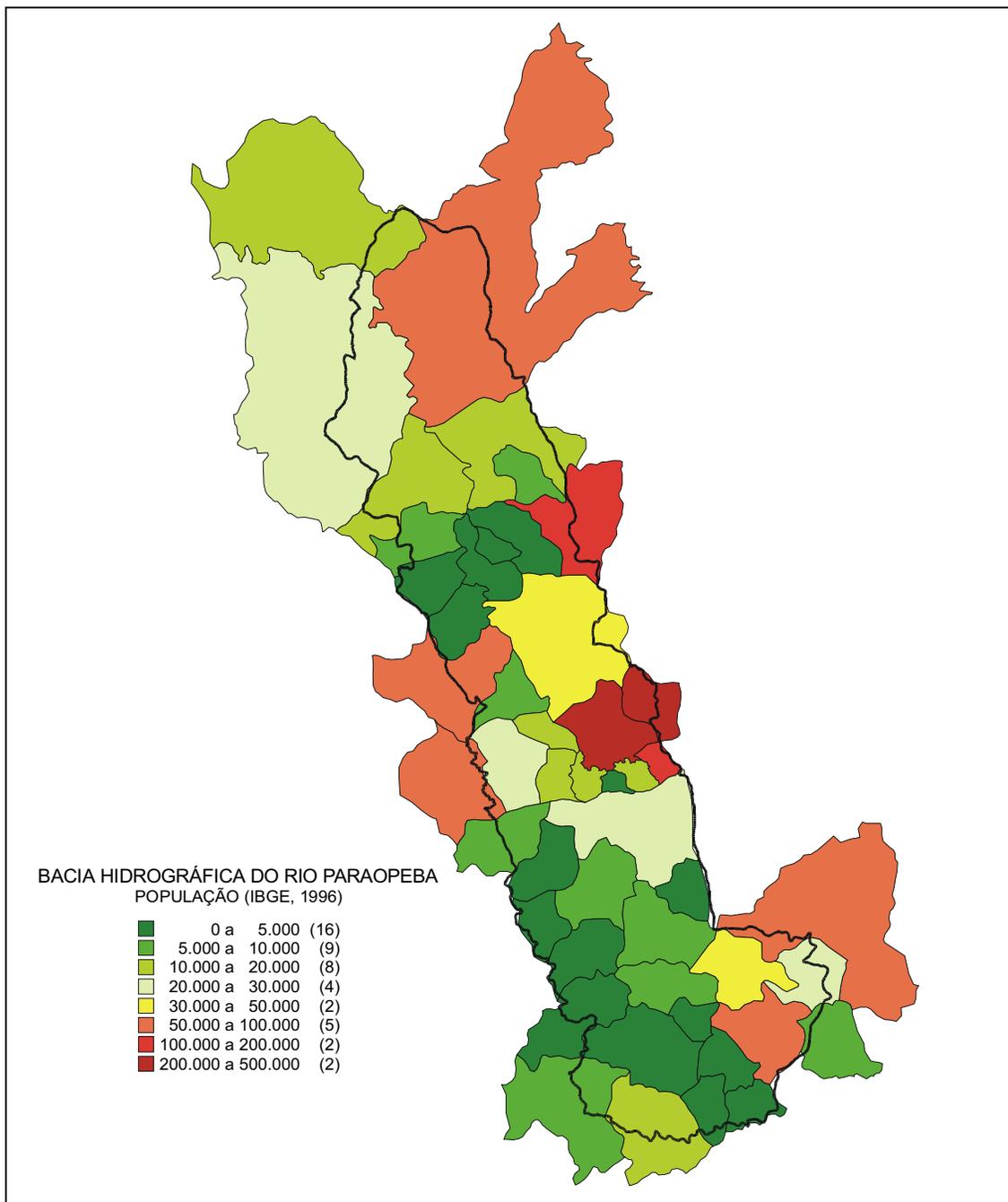
4.3 Geologia e Relevo

Segundo CPRM (1995):

“A Leste e Sudoeste, a sub-bacia do médio e alto Rio Paraopeba drena a região cárstica da Formação Sete Lagoas do Grupo Bambuí, as rochas granito e gnáissicas dos complexos Belo Horizonte e Bonfim (Arqueanos), e as unidades dos supergrupos Minas e Rio das Velhas (Proterozóico Superior e Arqueano, respectivamente).

A Nordeste, o baixo Rio Paraopeba drena terrenos conformados em rochas das formações Paraopeba e Três Marias, do Grupo Bambuí (Proterozóico Superior).”

FIGURA 4.2
Distribuição da população na bacia do Rio Paraopeba



O relevo da região é caracterizado por planos, depressões e áreas dissecadas resultantes predominantemente da alternância de atuação dos processos morfoclimáticos associados ao condicionamento geológico.

As unidades geomorfológicas principais são o Planalto Dissecado do Centro-Sul e Leste de Minas, correspondente à região de nascente da bacia, de vales encaixados, e a Depressão São Franciscana, englobando o médio curso da bacia, de formas aplainadas e superfícies onduladas intercaladas a cristas e colinas com vales encaixados e vertentes ravinadas.

Para um melhor entendimento da conformação do relevo da bacia foi feito um modelo digital do terreno, a partir de cartas digitais de curvas de nível, na escala 1:100.000. O modelo foi obtido através do cálculo de um *grid* de altitudes pelo método da mínima curvatura, utilizando o *software Oasis Montaj*, da empresa canadense *Geosoft, Inc.* Uma representação simplificada do modelo é apresentada na FIG. 4.3.

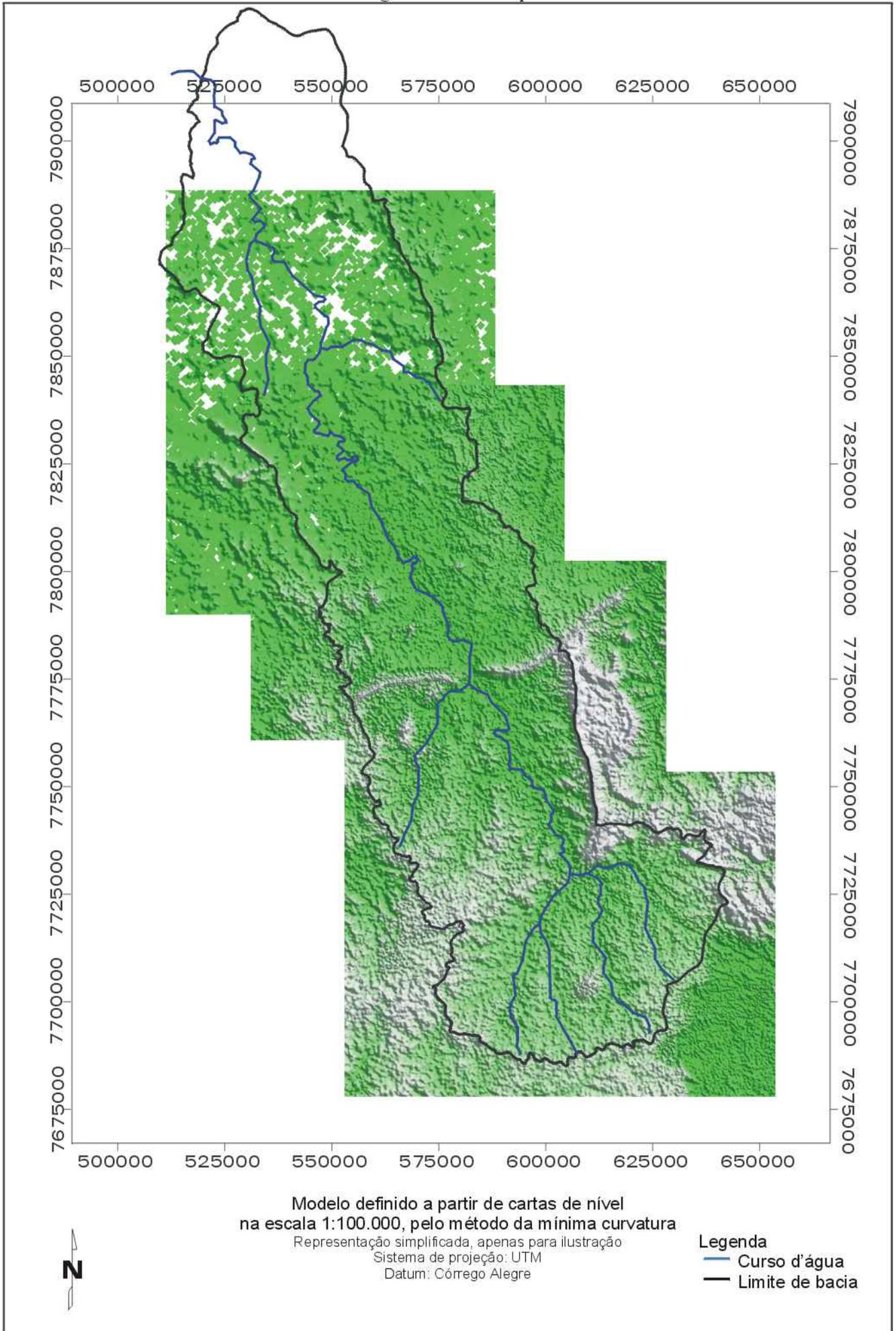
4.4 Vegetação

A vegetação nativa da região é constituída predominantemente pelo cerrado, característico de regiões de clima semi-úmido, formado por gramíneas, arbustos e árvores de médio porte.

Em áreas de solos mais ricos em águas e sais minerais, o cerrado apresenta uma gradação denominada cerradão, o qual possui uma composição florística similar à do cerrado, porém de vegetação mais densa e de maior porte.

O cerrado se encontra em maior estado de preservação em regiões de relevo mais acidentado, enquanto que nas regiões mais planas da bacia, vem sendo crescentemente substituído por pastagens e culturas agrícolas (CPRM, 1995).

FIGURA 4.3
Modelo digital do terreno simplificado



4.5 Clima

A região apresenta temperatura média anual variando entre 19° e 23°C, sendo as menores temperaturas encontradas ao Sul da bacia, devido à influência orográfica.

Esses valores indicam a predominância de temperaturas medianas a elevadas durante quase todo o ano. O mês mais quente, janeiro, apresenta média das máximas variando entre 28° e 30°C. Já no período outono-inverno ocorre um significativo decréscimo da temperatura, com a média do mês mais frio, julho, variando entre 8° e 10°C. A amplitude térmica anual é de 12° a 14°C (CPRM, 1995).

O regime pluviométrico é típico das regiões de clima tropical, com ocorrência dos valores mensais máximos no verão, e dos mínimos no inverno.

O trimestre mais chuvoso contribui com cerca de 55% a 60% do total anual precipitado, correspondendo, para quase toda a bacia, aos meses de novembro, dezembro e janeiro. A exceção ocorre na extremidade ocidental da bacia, onde os meses mais chuvosos são dezembro, janeiro e fevereiro. Já o trimestre mais seco: junho, julho e agosto, contribui com menos de 5% da precipitação anual.

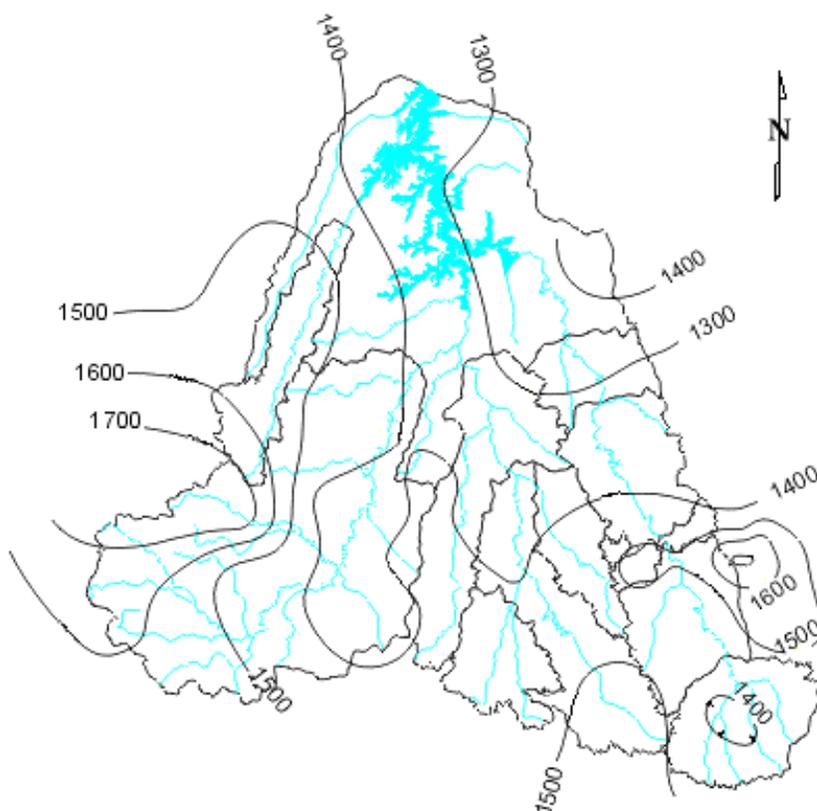
Os núcleos de maiores precipitações estão no Sudoeste da bacia, e em toda a extensão das serras do Quadrilátero Ferrífero (Médio Paraopeba), com índices pluviométricos anuais superiores a 1500mm. A precipitação diminui em direção ao Baixo Paraopeba, atingindo valores próximos a 1200mm anuais, na região do município de Curvelo.

A FIG. 4.5 é uma representação de um mapa de isoietas de precipitações médias anuais, traçadas a partir dos resultados do estudo de consistência de dados pluviométricos diários na sub-bacia 40, apresentado em CPRM (1995).

Ainda segundo CPRM (1995), são encontrados na bacia três tipologias climáticas predominantes, de acordo com a classificação de W. Köppen (1846-1940):

- Cwb: clima temperado brando com verão ameno e inverno brando, ocorrendo junto à cabeceira da bacia, entre as latitudes 20°15' e 21° Sul;
- Cwa: clima temperado brando com verão quente e inverno brando, característico da faixa central da bacia, entre as latitudes 19° e 20° Sul;
- Aw: clima tropical chuvoso, quente e úmido, com inverno seco e verão chuvoso, ocorrendo entre as latitudes 18° e 19° Sul, próximo à Represa de Três Marias.

FIGURA 4.4
Mapa de isoietas de precipitação média anual: sub-bacia 40



4.6 Caracterização Hidrográfica

O Rio Paraopeba tem suas nascentes localizadas no município de Cristiano Ottoni, com 1140m de altitude aproximada, e deságua no Reservatório de Três Marias, após percorrer cerca de 540km. Seus principais afluentes, pela margem esquerda, são os rios Camapuã, Manso e Serra Azul, e pela margem direita, os rios Maranhão e Betim. Possui uma área de drenagem de 13160km², englobando parte da região metropolitana de Belo Horizonte.

As potamografias para os principais cursos d'água do Rio Paraopeba encontram-se no Anexo I, bem como o seu perfil longitudinal.

A bacia possui vários reservatórios, construídos para diversos fins: abastecimento de água, geração de energia elétrica etc. Os principais reservatórios são apresentados na TAB. 4.2.

TABELA 4.2
Principais reservatórios na bacia do Paraopeba

BARRAGEM	RIO	VOLUME (m ³)	PROPRIEDADE	COORDENADAS	
				LAT.	LONG.
Ibirité	Rib. Ibirité	20,0 x 10 ⁶	PETROBRÁS	20°02'	44°10'
Vargem das Flores	Rib. Betim	44,0 x 10 ⁶	COPASA	19°52'	44°12'
Serra Azul	Rib. Serra Azul	-	COPASA	19°57'	44°20'
Soledade	Soledade	-	AÇOMINAS	20°31'	43°50'
Manso	Manso	-	COPASA	-	-

Fonte: CPRM (1996)

4.7 Caracterização das Demandas de Águas Superficiais na Bacia

Segundo SCHVARTZMAN *et al.* (1999), as outorgas de direito de uso dos recursos hídricos emitidas pelo IGAM consideram todas as vazões outorgadas como um uso consuntivo da água, comprometendo assim os volumes acumulados até a seção considerada.

As demandas consideradas prioritárias são aquelas destinadas ao abastecimento humano, seja urbano ou rural, seguidas pelas demandas destinadas à dessedentação animal, irrigação na agricultura e demandas dos setores industriais e comerciais.

As prioridades de usos das águas devem ser fixadas pelo Planos Diretores de Recursos Hídricos, conforme declara a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997). Por ainda não haver um Plano Diretor para a bacia do Rio Paraopeba, e objetivando avaliar a demanda de usos das águas na bacia, estabeleceram-se as seguintes classes de usuário e prioridades neste estudo:

- classe 1: abastecimento humano, populações urbanas e rurais;
- classe 2: dessedentação animal (ou simplesmente pecuária);
- classe 3: irrigação de culturas agrícolas (agricultura);
- classe 4: usos na indústria e comércio.

Na TAB. 4.3 estão as demandas de águas superficiais estimadas para o ano de 1996, por município integrante da bacia, por classes de usuários (SCHVARTZMAN *et al.*, 1999).

A TAB. 4.4 apresenta uma projeção de demanda das águas, relativa ao ano de 2006, para os municípios da TAB. 4.3, e baseada em projeções de crescimento da população, do efetivo animal e do incremento da área de irrigação e expansão da indústria. Essa projeção de demandas futuras foi retirada de SCHVARTZMAN (2000), e se baseia em estimativas feitas pelo Centro de Estatística e Informações – CEI, da Fundação João Pinheiro, e da Contagem da População e Censo Agropecuário de 1996, do IBGE.

TABELA 4.3

Demandas de água, em l/s, por município integrante da bacia, por classe de uso, para 1996

MUNICÍPIO	P. RURAL	P. URBANA	PECUÁRIA	AGRICULTURA	INDÚSTRIA	TOTAL
Belo Vale	6,19	5,26	7,82	27,00	0,00	46,27
Betim	18,01	547,41	6,87	279,00	211,93	1063,22
Bonfim	6,70	4,82	9,48	58,00	0,51	79,51
Brumadinho	14,20	32,66	16,47	186,00	4,32	253,65
Cachoeira da Prata	0,28	7,11	1,47	57,00	0,00	65,86
Caetanópolis	1,64	12,97	2,94	57,00	0,73	75,28
Casa Grande	1,66	1,85	2,83	116,50	0,00	122,84
Congonhas	9,31	74,22	3,10	3,00	0,00	89,63
Cons. Lafaiete	8,24	204,15	6,60	305,70	19,78	544,47
Contagem	0,00	256,63	0,50	14,50	69,42	341,05
Cristiano Ottoni	1,59	6,86	3,15	119,50	0,56	131,66
Crucilândia	3,23	3,99	7,25	31,00	0,52	45,99
Curvelo*	4,66	0,00	15,92	910,90	4,60	936,08
Desterro de Entre Rios *	2,92	0,00	4,86	51,70	0,00	59,48
Entre Rios de Minas	6,93	15,90	11,73	17,00	1,51	53,07
Esmeraldas	33,08	18,74	22,56	677,70	0,96	753,04
Felixlândia	4,41	17,72	14,97	132,70	1,20	171,00
Florestal	2,35	7,16	7,49	72,20	0,68	89,88
Fortuna de Minas	1,31	2,71	5,35	185,00	0,00	194,37
Ibirité	0,79	245,86	3,41	1206,00	9,22	1465,28
Igarapé	10,49	54,42	4,99	136,00	3,27	209,17
Inhaúma	2,46	5,90	9,49	389,00	0,00	406,85
Itatiaiuçú	2,47	9,50	3,53	194,40	0,24	210,14
Itaúna *	0,66	0,00	1,61	15,20	0,00	17,47
Itaverava *	0,27	0,00	0,23	32,50	0,01	33,01
Jeceaba	4,23	6,09	5,17	0,00	0,00	15,49
Juatuba	6,19	18,17	0,00	45,00	32,39	101,75
Lagoa Dourada *	4,49	0,00	7,01	311,70	0,00	323,20
Maravilhas	2,14	7,76	5,04	161,20	0,50	176,64
Mário Campos	1,78	12,12	0,00	0,00	0,54	14,44
Mateus Leme	5,39	38,98	6,02	1391,00	3,93	1445,32
Moeda	3,90	2,82	3,59	5,00	0,45	15,76
Ouro Branco	3,38	59,57	1,21	299,30	4,16	367,62
Ouro Preto *	0,97	0,00	0,49	3,40	0,00	4,86
Papagaios *	4,29	0,00	11,06	440,70	0,00	456,05
Pará de Minas *	3,13	0,00	15,59	143,30	10,98	173,00
Paraopeba	3,57	36,24	8,21	679,00	3,21	730,23
Pequi	1,73	4,54	6,33	328,00	0,00	340,60
Piedade dos Gerais	3,85	2,57	5,66	17,00	0,00	29,08
Pompéu*	2,77	0,00	20,56	227,10	2,38	252,81
Queluzita	1,83	1,16	2,69	320,00	0,00	325,68
Resende Costa *	0,92	0,00	2,96	2,30	0,23	6,41
Rio Manso	2,39	5,18	3,22	449,00	0,20	459,99
S.Brás do Suaçuí	0,86	5,28	3,37	0,00	0,27	9,78
São Joaquim de Bicas	4,10	23,63	0,00	0,00	3,27	31,00
São José da Varginha	2,30	2,64	7,57	325,00	0,00	337,51
Sarzedo	1,58	26,48	0,00	0,00	1,78	29,84
Sete Lagoas *	1,93	0,00	8,55	244,90	0,00	255,38
Total	211,57	1789,07	298,92	10667,40	393,75	13360,71

(*) Municípios com sede localizada fora da bacia

TABELA 4.4

Demandas de água, em l/s, por município integrante da bacia, por classe de uso, para 2006

MUNICÍPIO	P. RURAL	P. URBANA	PECUÁRIA	AGRICULTURA	INDÚSTRIA	TOTAL
Belo Vale	5,74	4,68	8,96	36,29	0,00	55,67
Betim	36,00	1094,14	7,87	374,95	240,67	1753,63
Bonfim	6,25	4,50	10,86	77,95	0,58	100,14
Brumadinho	21,32	49,02	18,87	249,97	4,91	344,09
Cachoeira da Prata	0,28	7,16	1,68	76,60	0,00	85,72
Caetanópolis	1,67	13,22	3,37	76,60	0,83	95,69
Casa Grande	1,73	1,93	3,24	156,56	0,00	163,46
Congonhas	10,78	85,92	3,55	4,03	0,00	104,28
Cons. Lafaiete	9,58	237,47	7,56	410,83	22,46	687,90
Contagem	0,00	292,93	0,57	19,49	78,83	391,82
Cristiano Ottoni	1,84	7,95	3,61	160,60	0,64	174,64
Crucilândia	2,73	3,37	8,31	41,66	0,59	56,66
Curvelo*	5,68	0,00	18,24	1224,16	5,22	1253,30
Desterro de Entre Rios *	2,77	0,00	5,57	69,48	0,00	77,82
Entre Rios de Minas	7,33	19,22	13,44	22,85	1,71	64,55
Esmeraldas	61,21	34,68	25,85	910,76	1,09	1033,59
Felixlândia	2,77	11,13	17,15	178,34	1,36	210,75
Florestal	2,53	7,69	8,58	97,03	0,77	116,60
Fortuna de Minas	1,24	2,56	6,13	248,62	0,00	258,55
Ibirité	1,40	436,48	3,91	1620,74	10,47	2073,00
Igarapé	6,11	31,71	5,72	182,77	3,71	230,02
Inhaúma	2,30	5,52	10,87	522,78	0,00	541,47
Itatiaiuçú	2,95	11,34	4,04	261,25	0,27	279,85
Itaúna *	0,73	0,00	1,84	20,43	0,00	23,00
Itaverava *	0,28	0,00	0,26	43,68	0,01	44,23
Jeceaba	3,10	4,47	5,92	0,00	0,00	13,49
Juatuba	10,16	29,81	0,00	60,48	36,78	137,23
Lagoa Dourada *	5,25	0,00	8,03	418,89	0,00	432,17
Maravilhas	2,62	9,51	5,77	216,64	0,57	235,11
Mário Campos	3,40	26,46	0,00	0,00	0,61	30,47
Mateus Leme	7,18	51,95	6,90	1869,36	4,46	1939,85
Moeda	4,36	3,16	4,11	6,72	0,51	18,86
Ouro Branco	3,84	67,72	1,39	402,23	4,72	479,90
Ouro Preto *	0,95	0,00	0,56	4,57	0,00	6,08
Papagaios *	6,65	0,00	12,67	592,26	0,00	611,58
Pará de Minas *	3,80	0,00	17,86	192,58	12,47	226,71
Paraopeba	4,08	41,41	9,41	912,51	3,65	971,06
Pequi	2,00	5,24	7,25	440,80	0,00	455,29
Piedade dos Gerais	3,44	2,30	6,49	22,85	0,00	35,08
Pompéu*	2,52	0,00	23,56	305,20	2,70	333,98
Queluzita	2,09	1,32	3,08	430,05	0,00	436,54
Resende Costa *	0,93	0,00	3,38	3,09	0,26	7,66
Rio Manso	2,17	4,70	3,69	603,41	0,23	614,20
S.Brás do Suaçuí	0,85	5,17	3,86	0,00	0,31	10,19
São Joaquim de Bicas	9,87	56,85	0,00	0,00	3,71	70,43
São José da Varginha	2,68	3,07	8,67	436,77	0,00	451,19
Sarzedo	2,56	42,93	0,00	0,00	2,02	47,51
Sete Lagoas *	2,50	0,00	9,80	329,12	0,00	341,42
Total	282,21	2718,68	342,49	14335,92	447,14	18126,44

(*) Municípios com sede localizada fora da bacia

CAPÍTULO 5

**REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÍNIMAS NA
BACIA DO RIO PARAÓPEBA**

5 REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÍNIMAS NA BACIA DO RIO PARAOPEBA

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com o estudo de regionalização de vazões mínimas para a bacia do Rio Paraopeba. São apresentados: seleção de postos fluviométricos, dados hidrológicos e valores de vazões mínimas, ajuste da curva regional de frequência de vazões mínimas, modelos de regressão para o fator de adimensionalização (*index-flood*), e a equação de regressão adotada.

O objetivo deste estudo é permitir a estimativa de valores de vazões mínimas em locais da bacia sem dados históricos de vazões, possibilitando também a obtenção de valores mais confiáveis em locais com dados. Os valores de vazões mínimas são necessários para a determinação da vazão outorgável, a qual será discutida no próximo capítulo.

5.1 Seleção de Dados Básicos

5.1.1 Séries Históricas de Vazões Médias Diárias

Foram identificadas 45 estações fluviométricas com séries históricas de medições de vazão e observações diárias de cotas fluviais na bacia do Rio Paraopeba, operadas pela ANEEL e CEMIG. Na TAB II.1, Anexo II, encontram-se as estações, cursos d'água onde se localizam e entidades operadoras, e na sua localização é representada na FIG. II.1.

As séries históricas de vazões médias diárias das estações foram obtidas na ANEEL, CPRM, CEMIG e na RURALMINAS, a qual recentemente apresentou um estudo de consistência de dados fluviométricos, relativo à bacia do Rio Paraopeba (RURALMINAS e IGAM, 1998).

Na FIG. II.2 do Anexo II encontra-se um diagrama unifilar da bacia do Rio Paraopeba, com os principais afluentes e estações fluviométricas.

A extensão das séries históricas obtidas cobrem, basicamente, o período de 1938 a 1994. Entretanto, para grande parte das séries, o período de observações não é coincidente. Outro problema é a intervenção antrópica na bacia, por meio das derivações existentes nos cursos d'água para abastecimento, irrigação e outros usos, além de reservatórios, como os apresentados na TAB. 4.2. Esses fatores acabam por reduzir o número de postos fluviométricos a serem utilizados neste estudo.

Os postos fluviométricos com registro histórico de vazões médias diárias utilizados para o estudo de regionalização de vazões mínimas foram selecionados de maneira a se obter o maior período comum de dados possível, e com o menor intervalo de falhas de observação. Após a análise do período histórico de observações dos postos por meio do diagrama da TAB. II.2, adotou-se como período base para a análise

regional de frequência de vazões mínimas, o intervalo de 1980 a 1994. O período foi também escolhido por conter o maior número de estações ainda em operação na bacia, facilitando assim a seleção posterior de pontos de controle de vazão no curso d'água, necessária para a análise de vazões de outorga.

Foram então excluídas as estações que possuísem períodos de falha superior a 25% do total, e estações a jusante de reservatórios.

O último critério de seleção a ser aplicado foi a análise de continuidade de vazões mínimas. Estações que apresentassem vazões mínimas anuais sistematicamente inferiores a outras estações a montante foram excluídas, pois o decréscimo nas vazões mínimas de montante para jusante no curso d'água indica a existência de derivação ou captação de águas. Foram então selecionadas as estações da TAB. 5.1.

TABELA 5.1
Estações selecionadas para análise regional de frequência de vazões mínimas

ESTAÇÃO	CÓDIGO	CURSO D'ÁGUA	LATITUDE	LONGITUDE
São Brás do Suaçuí	40550000	Paraopeba	20°36'14"S	43°54'32"WG
Belo Vale	40710000	Paraopeba	20°24'29"S	44°01'16"WG
Alberto Flores	40740000	Paraopeba	20°09'40"S	44°09'38"WG
Ponte Nova do Paraopeba	40800001	Paraopeba	19°56'56"S	44°18'12"WG
Jardim	40811100	Rib. Serra Azul	20°02'51"S	44°24'32"WG
Porto Mesquita	40865001	Paraopeba	19°10'17"S	44°40'07"WG

A seguir, os períodos de falha de cada estação foram preenchidos a partir de uma análise de regressão simples com outra estação próxima, e no mesmo curso d'água, conforme apresentado na TAB.5.2.

TABELA 5.2
Períodos falhos preenchidos e estações-apoio utilizadas na regressão

ESTAÇÃO	PERÍODO FALHO	APOIO
São Brás do Suaçuí	1980-1982	Belo Vale
	1991	Alberto Flores
Belo Vale	1991	Alberto Flores
	1992	S. Joaquim de Bicas
	1993-1994	Alberto Flores
Alberto Flores	1990	S. Joaquim de Bicas
	1992	S. Joaquim de Bicas
Ponte Nova do Paraopeba	1986	S. Joaquim de Bicas
Jardim	1989	Ponte N. do Paraopeba e Porto Mesquita

Para a determinação de IEB, já vista no Capítulo 3, deve-se converter os valores de vazão média diária, de m^3/s , para ft^3/s , e seu armazenamento em arquivos digitais do tipo ASCII, no formato descrito em USGS (1996).

Entretanto, estimar o valor de IEB em locais sem dados históricos demanda a comparação com outros locais, com IEB conhecido, e com características geológicas similares. Tornou-se então necessário o cálculo de IEB em outras estações, além das seis selecionadas para o estudo de análise de frequência regional.

Como o valor de IEB representa a parte subterrânea do escoamento, ele depende, em sua maior parte, das condições geológicas do meio. Pode-se supor então que o IEB é uma variável estável, não sofrendo alterações significativas ao longo dos anos, o que pode ser constatado no GRAF. 5.1, onde, com exceção de poucos valores, o IEB se mantém entre 76% e 68%, para um período de 56 anos no Rio Paraopeba em Ponte Nova do Paraopeba. Dessa maneira, não seriam necessários o estabelecimento de um intervalo comum e um período de dados muito grande para a escolha de mais estações.

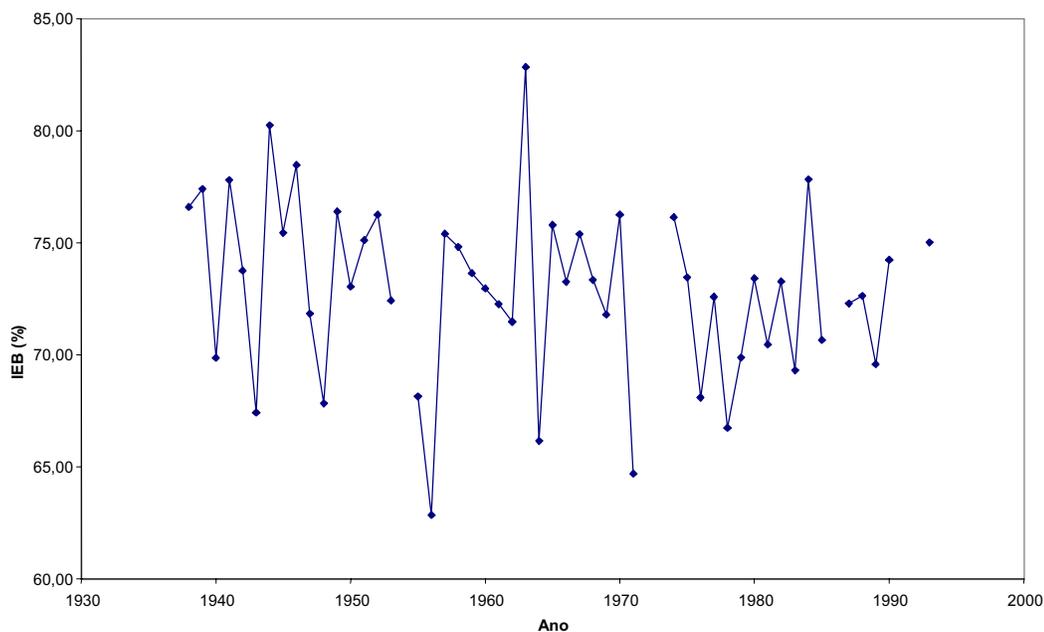
Foi então calculado o valor de IEB para 20 estações, as quais dispunham de uma série histórica de vazões médias diárias naturais superior a 5 anos (TAB. 5.5).

Uma das formas de se estimar IEB seria a superposição dos valores calculados sobre um mapa geológico do local. Assim, regiões de mesma geologia poderiam ser identificadas mais facilmente. A fim de auxiliar a determinação de IEB, poderia também ser feito um mapa de isolinhas de mesmo valor de IEB, à semelhança de um mapa de isoietas de precipitação.

Outra maneira pode ser o estudo de uma associação entre valores de IEB e características hidrogeológicas, como transmissividade ou condutividade hidráulica. Porém, este estudo requer que também existam registros sobre a perfuração e testes de bombeamento em poços de exploração de águas subterrâneas na região, além do conhecimento do comportamento dos aquíferos e solos do local, dados que, no presente momento, são inexistentes para a bacia em estudo.

GRÁFICO 5.1

Variação de IEB, período 1938-1993, Rio Paraopeba em Ponte Nova do Paraopeba

**TABELA 5.5**
Valores calculados de IEB

CÓDIGO	ESTAÇÃO	ÁREA km²	IEB %
40550000	São Brás do Suaçuí	299	73,83
40580000	Congonhas	656	75,59
40675000	Cachoeira do Gordo	187	81,27
40700002	Jeceaba	2520	72,07
40710000	Belo Vale	2820	70,92
40740000	Alberto Flores	4030	71,56
40788000	São Joaquim de Bicas	5550	73,44
40790000	Betim	199	65,00
40800001	Ponte Nova do Paraopeba	5830	73,28
40810350	Fazenda Laranjeiras	10,2	85,35
40810800	Fazenda Pasto Grande	54,7	75,19
40811100	Jardim	104	76,98
40814000	Fazenda do Mosquito	5,2	89,06
40816000	Fazenda Currealinho	6,3	74,84
40819500	Azurita - Cachoeira	21,7	83,17
40820000	Azurita (Soledade)	40,1	77,10
40822000	Azurita (Sesmaria)	39,8	78,25
40823500	Suzana	154	77,92
40850000	Ponte da Taquara	8910	73,01
40865001	Porto Mesquita	10300	73,95

5.1.4 Séries de Vazões Mínimas Anuais

Neste estudo foram calculadas as vazões mínimas anuais de durações de 1, 3, 5, 7, 10, 15 e 30 dias, para cada estação fluviométrica da TAB. 5.1.

A vazão mínima Q_t , para um determinado ano, é o menor valor das médias móveis de duração t dias, calculadas para o ano, ou:

$$Q_t = \text{mínimo anual} \left(Q_i = \frac{1}{t} \sum_{j=1}^t Q_{i-j} \right); i = 1, 2, \dots, 365; j = 1, \dots, t \quad (5.1)$$

onde Q_i é a média móvel do intervalo $(i, i+t)$ dias.

As vazões mínimas anuais para cada estação são apresentadas no Anexo IV.

Como fator de adimensionalização, ou *index-flood*, foi adotada a vazão média das mínimas anuais de cada duração, as quais se encontram na TAB. 5.6.

TABELA 5.6
Vazão média das mínimas anuais, Q_m , de duração t dias

ESTAÇÃO	t (dias)						
	1	3	5	7	10	15	30
	Q_m (m ³ /s)						
São Brás do Suaçuí	2,45	2,78	2,87	2,94	2,97	3,07	3,42
Belo Vale	17,83	18,06	18,20	18,41	18,74	19,52	21,15
Alberto Flores	23,61	24,00	24,29	24,50	24,81	25,62	27,23
P. N. Paraopeba	29,54	30,11	30,75	31,14	31,72	32,78	35,56
Jardim	0,50	0,52	0,53	0,55	0,57	0,60	0,67
Porto Mesquita	45,97	46,57	47,05	47,53	48,39	49,67	53,89

5.2 Análise de Frequência de Vazões Mínimas

Nas próximas seções serão apresentados os resultados obtidos com o ajuste da distribuição de probabilidade de Weibull de dois parâmetros às séries de vazões mínimas anuais dos postos selecionados anteriormente, e o ajuste para a curva regional de frequência das vazões mínimas adimensionalizadas.

5.2.1 Análise de Frequência Local

Foi realizada a análise de frequência local de vazões mínimas de duração de 7 dias para as estações integrantes da TAB. 5.1, com o propósito de se avaliar os resultados equivalentes obtidos com a curva regional de frequência.

Os parâmetros α e β da distribuição de probabilidade de Weibull foram estimados conforme já descrito no Capítulo 3, a partir das vazões mínimas anuais. Na TAB. 5.7 são apresentados os períodos de dados utilizados para a estimação dos parâmetros, os quais estão na TAB. 5.8, juntamente com as vazões $Q_{7,10}$ e $Q_{7,5}$ referentes às estações selecionadas.

Nos GRAF. III.1 a GRAF. III.6, do Anexo III, estão representadas as curvas de frequência das estações, mostrando o ajuste da função de probabilidade de Weibull à distribuição empírica, determinada pela posição de plotagem de Weibull. Todas as séries apresentam aderência visual satisfatória ao ajuste de Weibull, e, em especial, a estação Ponte Nova do Paraopeba.

Na TAB. 5.8 foi incluída a vazão média de longo termo como forma de se ressaltar o quão pequeno é o valor de $Q_{7,10}$. Para a estação Ponte Nova do Paraopeba também foi calculada a curva de permanência de vazões médias diárias, para o período

de 1938 a 1978, representada no GRAF. 5.2. Observa-se que a vazão com 95% de permanência Q_{95} , também chamada de “vazão firme”, é estimada com o valor de $26,2\text{m}^3/\text{s}$, muito superior ao valor de $Q_{7,10}$, estimado em $18,07\text{m}^3/\text{s}$.

TABELA 5.7

Período utilizado para a estimação dos parâmetros da distribuição de probabilidade de Weibull

ESTAÇÃO	PERÍODO	AMOSTRA anos	PERÍODOS EXCLUÍDOS
São Brás do Suaçuí	1957-1994	25	1964, 1965, 1970-1975, 1979-1982, 1991
Belo Vale	1966-1990	25	-
Alberto Flores	1968-1994	23	1971, 1974, 1990, 1992
Ponte Nova do Paraopeba	1938-1994	56	1986
Jardim	1979-1994	15	1989
Porto Mesquita	1978-1994	17	-

TABELA 5.8

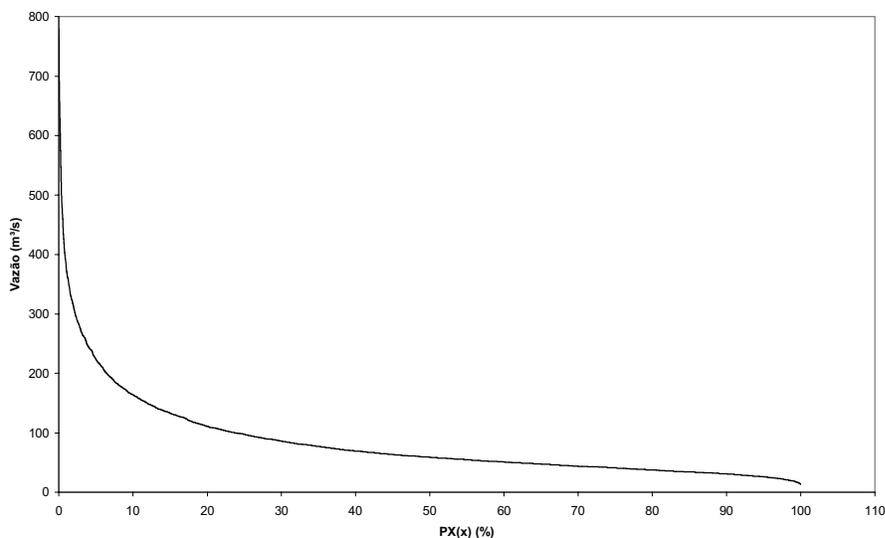
Parâmetros da distribuição de probabilidade de Weibull e vazões mínimas características, em m^3/s

ESTAÇÃO	α	β	$Q_{7,10}$	$Q_{7,5}$	Q_{MLT}
São Brás do Suaçuí	3,6146	2,8853	1,55	1,91	7,64
Belo Vale	3,7346	18,3431	10,04	12,28	48,84
Alberto Flores	3,9858	25,0464	14,24	17,19	62,27
Ponte Nova do Paraopeba	3,8117	32,6108	18,07	22,00	84,64
Jardim	2,9738	0,6156	0,29	0,37	1,69
Porto Mesquita	3,0907	53,8195	25,99	33,13	139,56

Nota: Q_{MLT} : vazão média de longo termo, retirada de RURALMINAS e IGAM (1998)

GRÁFICO 5.2

Curva de permanência de vazões médias diárias para o Rio Paraopeba em Ponte Nova do Paraopeba



5.2.2 Análise de Frequência Regional

O objetivo da análise de frequência regional é a obtenção da curva regional de frequência de vazões mínimas. Para tanto, é preciso fazer o ajuste da distribuição de probabilidade de Weibull aos pontos médios das vazões mínimas adimensionalizadas de cada duração. O primeiro passo, entretanto, é verificar se as séries de vazões mínimas das estações são características de uma mesma região homogênea.

Assim, as vazões mínimas adimensionalizadas pela vazão média das mínimas, Q_m , de 1, 3, 5, 7, 10, 15 e 30 dias de duração, foram representadas graficamente contra a posição de plotagem de Weibull (GRAF. 5.3). Verificou-se aí que todas as séries apresentam a mesma tendência, indicando localizarem-se em uma região homogênea.

Foram estimados então os parâmetros α e β da distribuição de probabilidade de Weibull para os pontos médios das vazões mínimas adimensionalizadas de 1, 3, 5, 7, 10, 15 e 30 dias de duração, para os valores das estações selecionadas na TAB. 5.1. Os valores dos parâmetros α e β encontram-se na TAB. 5.9.

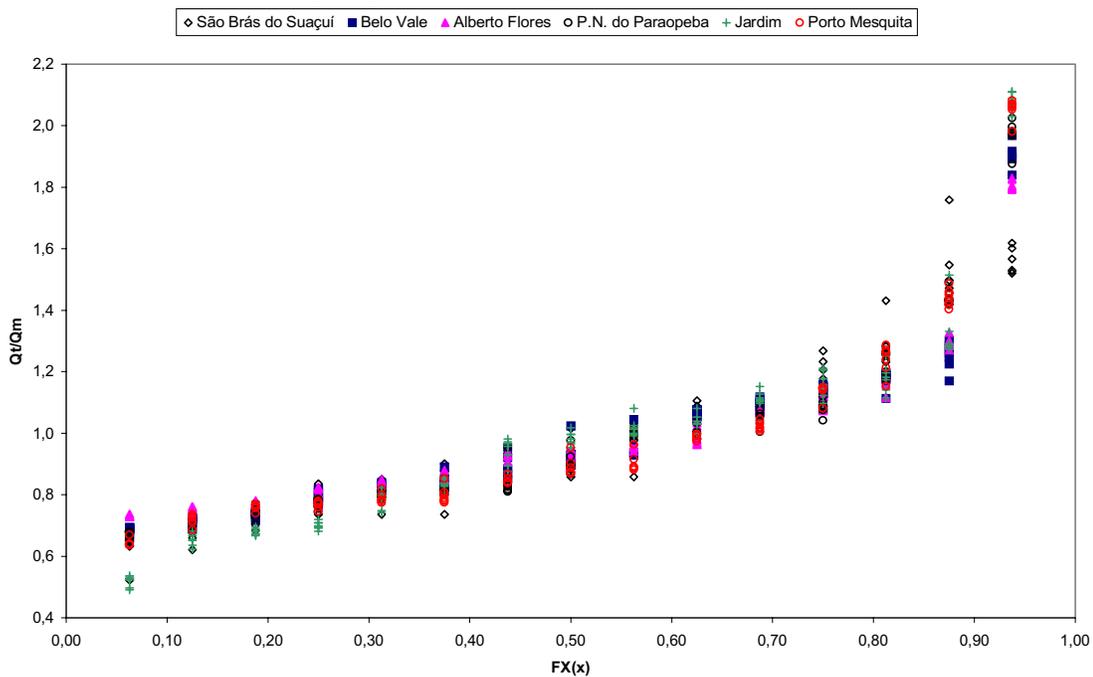
TABELA 5.9
Parâmetros da distribuição de Weibull estimados para os valores médios de vazões mínimas, por duração

DURAÇÃO Dias	α	β
1	3,19055	1,11666
3	3,39929	1,11312
5	3,44151	1,11241
7	3,48394	1,11169
10	3,51662	1,11114
15	3,47877	1,11178
30	3,60438	1,10967

Nota-se que os valores estimados de α e β para as várias durações não são próximos entre si, tornando necessária a definição de uma curva regional para cada duração. As curvas regionais, para cada duração, são apresentadas em GRAF. 5.4 e GRAF. 5.5.

GRÁFICO 5.3

Vazões mínimas de duração de 1, 3, 5, 7, 10, 15 e 30 dias adimensionalizadas contra a posição de plotagem de Weibull, para todas as estações

**GRÁFICO 5.4**

Curvas regionais de frequência, ajustadas para os pontos médios das durações de 1, 3, 5 e 7 dias

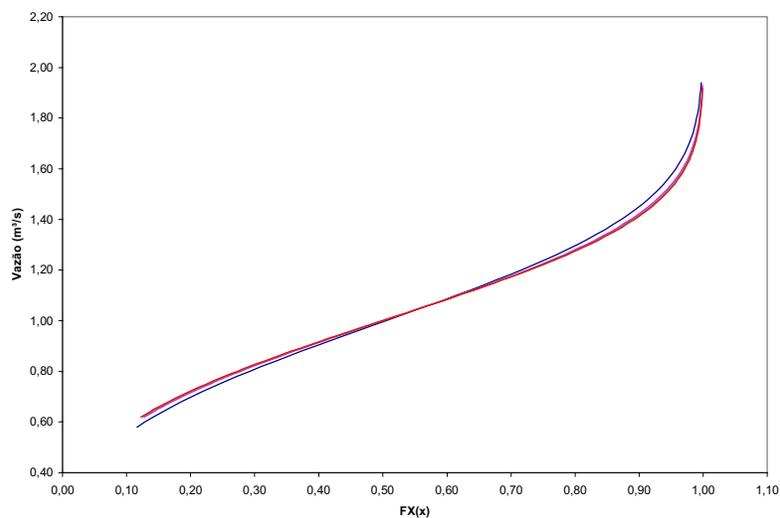
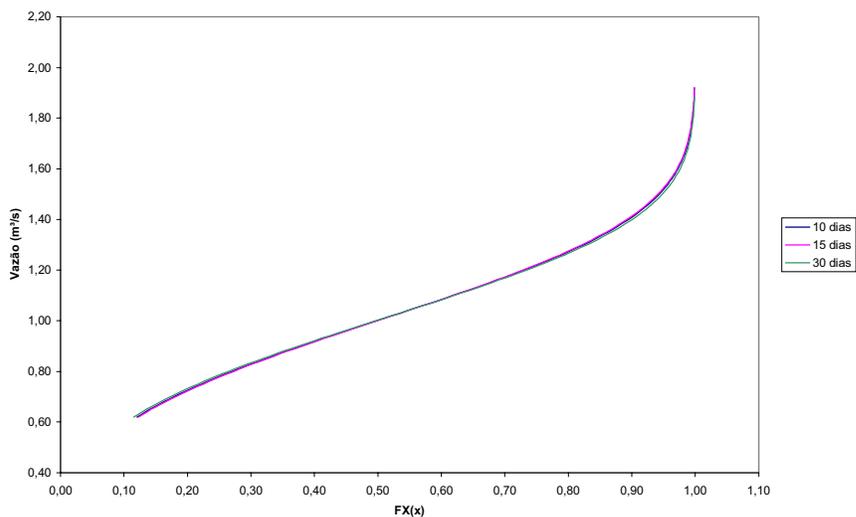


GRÁFICO 5.5

Curvas regionais de frequência, ajustadas para os pontos médios das durações de 10, 15 e 30 dias



Após a definição das curvas regionais, para se obter o valor de uma vazão mínima característica de t dias de duração de um ponto qualquer, é necessário apenas utilizar o tempo de retorno T_r e a vazão média das mínimas anuais na relação:

$$\frac{Q_{t,Tr}}{Q_m} = \beta \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T_r} \right) \right]^{\frac{1}{\alpha}} \quad (5.2)$$

A relação (5.2) é obviamente simples para locais com dados históricos de vazões. Para locais sem dados na bacia é necessário utilizar a vazão média Q_m estimada por uma equação de regressão com outras variáveis físicas e hidrológicas da região, o que será apresentado na seção seguinte.

5.3 Análise de Regressão da Variável de Adimensionalização

Para a análise de regressão da variável de adimensionalização Q_m , foram utilizadas como variáveis explicativas: área de drenagem, comprimento e declividade do curso d'água, índice de escoamento de base, densidade de drenagem, precipitação média anual e a duração da vazão mínima. As unidades das variáveis são as apresentadas na TAB. 5.10.

TABELA 5.10
Variáveis explicativas utilizadas na regressão de Q_m

VARIÁVEIS	DESCRIÇÃO	UNIDADE
Q_m	Vazão mínima média	m ³ /s
DIA	Duração	dias
AREA	Área de drenagem	km ²
L	Comprimento do curso d'água	km
DEC	Declividade do curso d'água	m/km
IEB	Índice de escoamento-base	-
PMA	Precipitação média anual	mm
DD	Densidade de drenagem	junções/km ²

A análise da equação de regressão para Q_m pode ser realizada para cada duração das vazões mínimas ou para todas as durações. Neste estudo optou-se pela análise de regressão para todas as durações.

Para orientar o processo de escolha das variáveis que melhor expliquem a variável dependente Q_m foi calculada a matriz de correlação simples entre as variáveis, apresentada na TAB. 5.11.

TABELA 5.11
Matriz de correlação simples entre as variáveis

VARIÁVEL	Q_m	DIA	AREA	L	DD	DEC	IEB	PMA
Q_m	1	0,0603	0,9842	0,9790	0,0208	-0,8859	-0,3545	-0,6613
DIA	0,0603	1	-0,0076	-0,0043	-0,0009	0,0018	-0,0181	-0,0089
AREA	0,9842	-0,0076	1	0,9975	-0,1096	-0,8209	-0,2317	-0,7480
L	0,9790	-0,0043	0,9975	1	-0,1244	-0,8209	-0,2342	-0,7685
DD	0,0208	-0,0009	-0,1096	-0,1244	1	-0,3813	-0,6013	0,5601
DEC	-0,8859	0,0018	-0,8209	-0,8209	-0,3813	1	0,7179	0,4610
IEB	-0,3545	-0,0181	-0,2317	-0,2342	-0,6013	0,7179	1	0,0155
PMA	-0,6613	-0,0089	-0,7480	-0,7685	0,5601	0,4610	0,0155	1

As variáveis que apresentam melhor correlação com a vazão média Q_m são, por ordem, área de drenagem, comprimento e declividade do curso d'água e precipitação média anual. Apesar da duração da vazão mínima possuir baixa correlação, ela deve ser incluída na regressão. A densidade de drenagem apresentou baixa correlação, contrário aos resultados descritos em ELETROBRAS (1985). O índice de escoamento de base IEB também apresentou baixa correlação com a vazão média, não confirmando a expectativa do mesmo ser um parâmetro representativo do período de estiagem.

Os modelos escolhidos para a regressão foram analisados com relação à sua aderência aos valores observados. Para cada modelo foram calculados os índices de correlação e determinação descritos no Capítulo 3, utilizando todas as variáveis explicativas, e, depois, retirando-as uma a uma, de acordo com a correlação da variável com a vazão média, apresentada na TAB. 5.11. Os modelos analisados foram:

$$Q_m = a_0 A^{a_1} L^{a_2} I^{a_3} DD^{a_4} IEB^{a_5} P^{a_6} t^{a_7} + a_8 \quad (5.3)$$

$$Q_m = a_0 A^{a_1} + a_2 L^{a_3} + a_4 I^{a_5} + a_6 DD^{a_7} + a_8 IEB^{a_9} + a_{10} P^{a_{11}} + a_{12} t^{a_{13}} + a_{14} \quad (5.4)$$

$$Q_m = a_0 A + a_{12} L + a_2 I + a_3 DD + a_4 IEB + a_5 P + a_6 t + a_7 \quad (5.5)$$

A análise da correlação dos modelos com a vazão média é apresentada na TAB. 5.12.

As melhores correlações foram obtidas com o uso do modelo (5.3). No entanto, ao se retirar variáveis da equação, os resultados obtidos com o modelo (5.3) se aproximam dos valores do modelo (5.4), ao ponto de se diferenciarem apenas pelo coeficiente de correlação múltipla R^2 , quando se utilizam a duração e a área de drenagem.

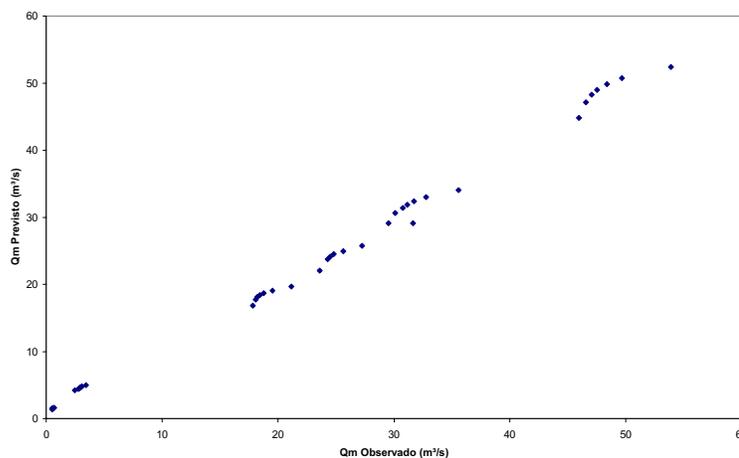
TABELA 5.12
Avaliação dos modelos de regressão de Q_m

MODELO	VARIÁVEIS	R	R ² (%)	R ² Ajust.
5.3	DIA, AREA, L, DD, DEC, IEB, PMA	0,9993	99,8541	0,9983
	DIA, AREA, L, DEC, IEB, PMA	0,9993	99,8521	0,9983
	DIA, AREA, L, DEC, PMA	0,9993	99,8541	0,9984
	DIA, AREA, L, DEC	0,9988	99,7681	0,9975
	DIA, AREA, L	0,9987	99,7462	0,9973
	DIA, AREA	0,9976	99,5226	0,9951
5.4	DIA, AREA, L, DD, DEC, IEB, PMA	0,9982	99,6423	0,9958
	DIA, AREA, L, DEC, IEB, PMA	0,9982	99,6403	0,9959
	DIA, AREA, L, DEC, PMA	0,9981	99,6204	0,9958
	DIA, AREA, L, DEC	0,9984	99,6803	0,9966
	DIA, AREA, L	0,9981	99,6144	0,9959
	DIA, AREA	0,9976	99,5166	0,9951
5.5	DIA, AREA, L, DD, DEC, IEB, PMA	0,9987	99,7362	0,9969
	DIA, AREA, L, DEC, IEB, PMA	0,9986	99,7222	0,9968
	DIA, AREA, L, DEC, PMA	0,9981	99,6283	0,9959
	DIA, AREA, L, DEC	0,9971	99,4129	0,9937
	DIA, AREA, L	0,9874	97,5018	0,9737
	DIA, AREA	0,9866	97,3320	0,9727

O objetivo da análise de vários modelos de regressão é minimizar o número de variáveis explicativas, buscando porém a melhor correlação entre o modelo e os pontos observados. Portanto, adotou-se a equação de regressão a seguir com o menor número de variáveis e ainda assim, com um ajuste satisfatório do modelo aos dados observados, observado pelo GRAF. 5.6:

$$Q_m = 0,041675DIA^{0,04583} AREA^{0,75550} \quad (5.6)$$

GRÁFICO 5.6
Valores observados contra previstos da vazão média Q_m ,



Outra forma de avaliação utilizada para a equação adotada foi determinar o valor do desvio entre vazões mínimas de 7 dias de duração e 5 e 10 anos de retorno, calculadas a partir da equação de regressão e de séries históricas para as estações selecionadas (TAB. 5.13).

TABELA 5.13
Avaliação das vazões obtidas pela equação de regressão em relação à série histórica

ESTAÇÃO	Q_{7,5} m³/s	Q_{7,5}* m³/s	DESVIO %	Q_{7,10} m³/s	Q_{7,10}* m³/s	DESVIO %
São Brás do Suaçuí	1,91	3,37	77,13	1,55	2,73	76,51
Belo Vale	12,28	13,41	9,27	10,04	10,86	8,16
Alberto Flores	17,19	17,57	2,18	14,24	14,22	0,13
Ponte Nova do Paraopeba	22,00	23,22	5,53	18,07	18,80	4,03
Jardim	0,37	1,11	198,18	0,29	0,90	210,72
Porto Mesquita	33,13	35,69	7,74	25,99	28,90	11,21

(*) Vazões calculadas pela equação de regressão

Os resultados somente não são satisfatórios para as estações São Brás do Suaçuí e Jardim. Uma explicação possível pode ser a pequena área de drenagem dessas estações, em relação às demais. Este desvio pode indicar a necessidade de se realizar uma nova análise da equação de regressão para áreas inferiores a 500km² na bacia.

Como a regionalização de vazões neste estudo visa melhorar a estimação de vazões mínimas características em pontos da calha principal do Rio Paraopeba, irá se manter a equação (5.6) para a análise de vazões de outorga referenciais.

CAPÍTULO 6

**AVALIAÇÃO DA VAZÃO REFERENCIAL DE
OUTORGA $kQ_{t,Tr}$**

6 AVALIAÇÃO DA VAZÃO REFERENCIAL DE OUTORGA kQ_{t,T_r}

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos na análise dos componentes da vazão referencial de outorga: a duração t da vazão mínima, o tempo de retorno T_r , e a porcentagem k da vazão a ser outorgada.

A análise consiste na avaliação do risco, associado a cada um dos componentes da vazão de referência, de que a vazão de outorga seja superior à vazão disponível no curso d'água, num intervalo de tempo qualquer ou, então, seja inferior à demanda total dos usuários.

Além da avaliação das três componentes da vazão de referência, é também apresentado um critério alternativo de cálculo da vazão, o qual varia anualmente, em função do regime de vazões do início do ano. Este critério foi determinado para alguns trechos do Rio Paraopeba, e verificado quanto à possibilidade de aumento da oferta de água, em relação ao critério atual, e à demanda dos usuários no trecho.

6.1 Avaliação do Tempo de Retorno da Vazão Referencial

O risco de se adotar um certo valor de tempo de retorno foi avaliado em função da probabilidade de acontecerem, durante o período de validade da concessão da outorga, anos nos quais a vazão de outorga seja superior à vazão disponível (Seção 3.3.1, Capítulo 3).

O risco, definido como a probabilidade de haver mais do que f falhas, durante um período de concessão de outorga n , foi determinado para as durações de concessão da outorga de 5, 10, 15, 20, 30 e 35 anos. Para cada período de concessão utilizaram-se os tempos de retorno de 3, 5, 7, 10, 15 e 30 anos.

Os resultados da aplicação da estimativa do risco associado ao tempo de retorno, para cada duração, encontram-se nas tabelas TAB. V.1 a V.6, no Anexo V. Os gráficos GRAF. V.1 a V.6, também no Anexo V, ilustram a evolução do risco, para cada período de concessão da outorga e tempo de retorno, em função do número de anos com falha f , durante a concessão.

O risco foi determinado para cada valor de f , em anos, até que ele tendesse a zero. Observa-se que isto acontece, para todas as durações de concessão da outorga, antes que o período de anos com falha se iguale ao período de concessão.

Dois fatos observados na análise do risco, comuns aos diferentes períodos de duração da outorga, são:

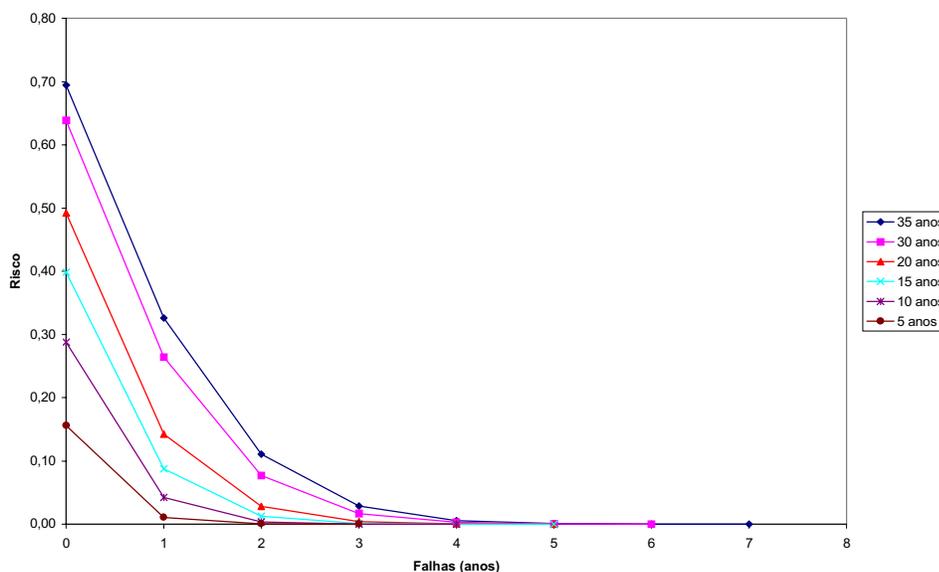
- o risco diminui em todos os períodos de retorno considerados, à medida que se aumenta o período de falhas; logo, torna-se evidente, ao outorgado, que admitir um período de falhas maior dentro do intervalo de concessão implica numa diminuição do risco de não atendimento;
- para um mesmo valor mínimo de falhas, ao se diminuir o tempo de retorno, há um aumento do risco.

A segunda afirmativa pode ser interpretada da seguinte forma: tempos de retorno maiores, em análise de frequência de vazões mínimas, implicam em valores menores de vazão. Assim, haverá uma tendência da vazão outorgada ser inferior à vazão disponível no curso d'água, na maior parte do tempo, resultando em períodos menores de falha durante o intervalo da concessão.

Outra observação a ser feita é a diminuição do risco de haver mais que f anos com falhas no intervalo da concessão, independente do tempo de retorno considerado, em função da diminuição do intervalo de concessão. Isto é ilustrado através do GRAF. 6.1, onde, para o tempo de retorno de 30 anos, é representado o risco para os intervalos de concessão da outorga de 35, 30, 20, 15, 10 e 5 anos.

GRÁFICO 6.1

Riscos para o tempo de retorno de 30 anos, em função do intervalo de concessão da outorga



6.2 Avaliação da Duração da Vazão Referencial

Quanto maior o período de duração da vazão mínima, para um certo tempo de retorno, maior será o valor da vazão de referência. Por outro lado, aumentar a vazão de referência para a outorga implica em um possível aumento do período de falhas no atendimento, ou seja, a vazão outorgada ser maior que a vazão disponível.

A duração da vazão mínima foi avaliada em função do seu coeficiente de variação, como um meio de se determinar o afastamento da vazão mínima dos valores extremos, e em relação à probabilidade, ou risco, da vazão ser superior à vazão disponível no curso d'água, através da análise da série histórica de vazões médias diárias existente no local de interesse.

6.2.1 Avaliação do Coeficiente de Variação da Vazão Referencial

Foram avaliadas as séries de vazões médias diárias das estações apresentadas na TAB. 6.1.

TABELA 6.1
Estações fluviométricas utilizadas na análise do coeficiente de variação da vazão mínima

ESTAÇÃO	ÁREA DE DRENAGEM (km²)	PERÍODO DA SÉRIE
São Brás do Suaçuí	454	1957-1994
Belo Vale	2820	1966-1990
Alberto Flores	4030	1968-1994
P. N. Paraopeba	5830	1938-1994
Jardim	104	1979-1994
Porto Mesquita	10300	1978-1994
Porto das Andorinhas	13087	1958-1992

As estações utilizadas localizam-se no Rio Paraopeba, com exceção de Porto das Andorinhas. Esta estação, situada no Rio São Francisco, com coordenadas geográficas 16°19'48" de latitude sul e 48°16'50" de longitude oeste, foi incluída no estudo por

possuir um período significativo de dados (35 anos), e tamanho da área de drenagem, além de ser em outra bacia, o que pode ser usado para verificar uma possível tendência comum de comportamento do coeficiente de variação para postos fluviométricos na mesma bacia, caso os valores do coeficiente de variação de Porto das Andorinhas apresentassem um comportamento diferente em relação aos demais.

As vazões mínimas anuais de 1, 3, 5, 7, 10, 15 e 30 dias de duração, calculadas para as estações citadas, encontram-se no Anexo IV, nas tabelas TAB. IV.1 a TAB. IV.7. As características estatísticas amostrais utilizadas para o cálculo e avaliação do coeficiente de variação CV, média e desvio padrão, são apresentadas respectivamente em TAB. IV.9. e TAB. IV.10.

A partir da média e desvio padrão das vazões mínimas anuais, calculou-se o coeficiente de variação CV para as diferentes durações, apresentados na TAB. 6.2.

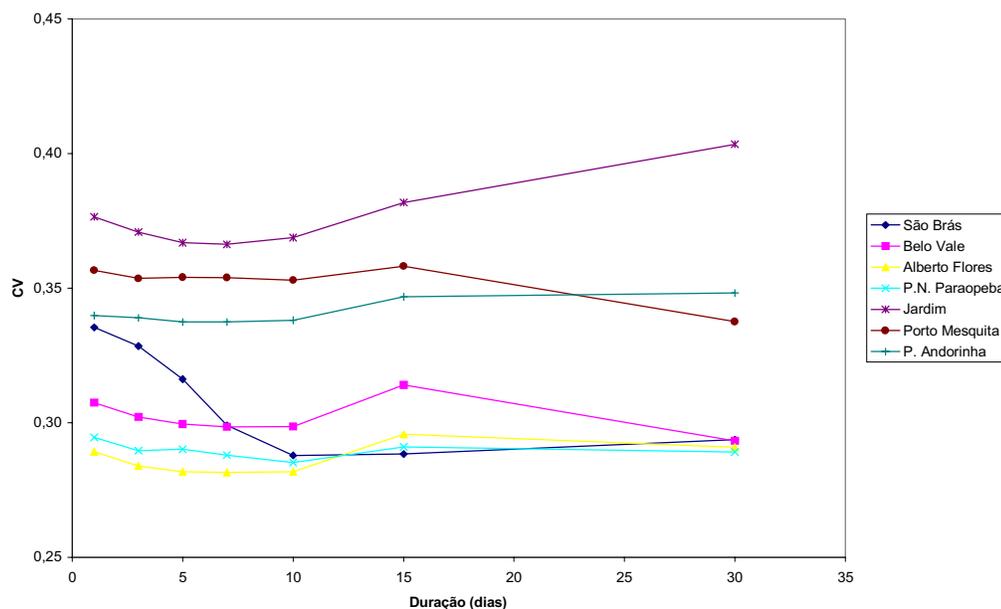
TABELA 6.2
Coeficiente de variação CV das vazões mínimas anuais, para as diversas durações

ESTAÇÃO	DURAÇÃO (dias)						
	1	3	5	7	10	15	30
São Brás	0,3354	0,3284	0,3162	0,2989	0,2879	0,2884	0,2937
Belo Vale	0,3074	0,3021	0,2994	0,2985	0,2986	0,3140	0,2932
Alberto Flores	0,2892	0,2839	0,2817	0,2815	0,2817	0,2957	0,2909
P.N. Paraopeba	0,2946	0,2896	0,2901	0,2880	0,2852	0,2909	0,2890
Jardim	0,3765	0,3707	0,3669	0,3663	0,3687	0,3819	0,4034
Porto Mesquita	0,3567	0,3537	0,3540	0,3539	0,3530	0,3581	0,3376
P. Andorinhas	0,3398	0,3390	0,3374	0,3374	0,3380	0,3467	0,3482

Intuitivamente, esperava-se que o valor de CV aumentasse em função do aumento da média e do desvio padrão, os quais aumentam com a duração. Entretanto, verifica-se nos resultados obtidos que isso não acontece. Isto pode ser causado pelo fato do valor do desvio padrão não ter seu valor aumentado proporcionalmente ao valor da média, com o aumento da duração.

O GRAF. 6.2 ilustra o comportamento de CV em função da variação da duração.

GRÁFICO 6.2
CV em função da duração da vazão mínima

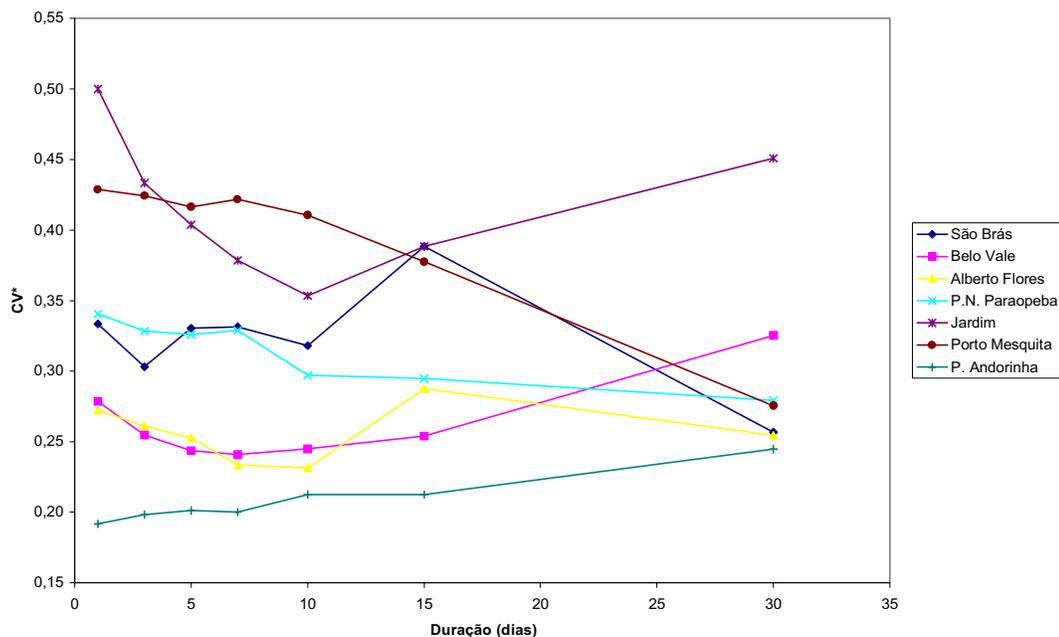


Foi então analisado o coeficiente de variação CV^* , proposto na Seção 3.3.2.1, Capítulo 3, determinado em função dos quantis de 25%, 50% e 75% da amostra de vazões mínimas anuais. Os valores de CV^* são apresentados na TAB. 6.3, enquanto que os quantis, na TAB. IV.8 do Anexo IV.

TABELA 6.3
Coeficiente de variação CV^* das vazões mínimas anuais, para as diversas durações

ESTAÇÃO	DURAÇÃO (dias)						
	1	3	5	7	10	15	30
São Brás	0,3333	0,3030	0,3304	0,3313	0,3180	0,3884	0,2567
Belo Vale	0,2786	0,2548	0,2437	0,2408	0,2449	0,2541	0,3253
Alberto Flores	0,2725	0,2611	0,2527	0,2335	0,2315	0,2877	0,2546
P. Nova do Paraopeba	0,3405	0,3284	0,3258	0,3290	0,2971	0,2947	0,2792
Jardim	0,5000	0,4333	0,4038	0,3784	0,3534	0,3883	0,4507
Porto Mesquita	0,4289	0,4242	0,4163	0,4217	0,4106	0,3775	0,2755
Porto das Andorinhas	0,1916	0,1984	0,2010	0,2001	0,2125	0,2125	0,2445

GRÁFICO 6.3
CV* em função da duração da vazão mínima



Observa-se que, a exemplo de CV, o coeficiente CV* também não é diretamente proporcional ao aumento da média e do desvio padrão, em função do aumento da duração.

Conclui-se então que a utilização dos coeficientes CV e CV* não é suficiente para a análise da duração da vazão mínima.

6.2.2 Avaliação da Duração da Vazão Referencial em Relação à Série Histórica de Dados

O risco de se adotar uma vazão referencial superior à vazão disponível no curso d'água foi avaliado, nesta seção, em função da variação da duração da vazão mínima e análise das séries históricas de vazões médias diárias disponíveis nas estações fluviométricas analisadas.

Foram calculadas as vazões mínimas características das estações, de durações de 3, 5, 7, 10, 15 e 30 dias, e 5, 7, 10, 15 e 30 anos de tempo de retorno, as quais são apresentadas na TAB. IV.11, Anexo IV.

Para cada vazão de referência, em todas as estações fluviométricas, verificou-se se a vazão de referência era superior à vazão média diária, de cada dia da série histórica, o que caracterizaria uma falha.

O risco R_t foi então calculado como a razão entre o número de dias de falha e o número de dias da série de vazões, ou a porcentagem de falhas na amostra.

O risco R_t calculado para as durações e tempos de retorno está representado no Anexo V, TAB. V.7 a TAB. V.12.

Os gráficos GRAF. V.1 a V.6, no Anexo V, ilustram a variação do risco R_t em função da duração da vazão mínima, para os tempos de retorno considerados, nas estações analisadas.

Observou-se que o risco R_t de não atendimento da vazão de referência, em relação à série histórica de vazões no posto fluviométrico, é alto (acima de 30%) somente nas estações São Brás do Suaçuí e Jardim, ambas com áreas de drenagem inferiores a 500km². As demais estações, com área superior a 2500km², apresentam valores de R_t abaixo de 3,5%. Assim, pode haver uma influência da área de drenagem no risco R_t , caracterizada, talvez, pela alta variação das vazões em bacias de pequenas áreas. As estações São Brás do Suaçuí e Jardim também apresentam os maiores valores do coeficiente de variação amostral CV.

Cabe também ressaltar a maior influência do tempo de retorno da vazão mínima, em relação à duração, no cálculo do risco R_t . Isso se explica pelo fato da variação do aumento do tempo de retorno, para uma determinada duração da vazão mínima, produzir maiores valores de vazão do que a situação inversa, com o tempo de retorno fixo, e variando-se a duração.

6.3 Avaliação do Coeficiente k da Vazão Referencial

O coeficiente k da vazão referencial $Q_{t,Tr}$ foi avaliado em relação à demanda existente dos diversos usuários das águas superficiais, e à disponibilidade hídrica da bacia. Para tanto, a bacia do Rio Paraopeba foi dividida através de pontos de controle - PC's, fixados arbitrariamente como os trechos do rio entre as estações fluviométricas. Para cada PC foram levantadas as demandas por classes de usuários, a partir das demandas estimadas para os municípios integrantes da bacia do Rio Paraopeba, para os anos de 1996 e 2006, as quais são apresentadas nas tabelas TAB. IV.12 e TAB. IV.13, do Anexo IV.

6.3.1 Avaliação do Coeficiente k em Função das Demandas das Classes de Usuários

Fixar uma vazão de referência, do tipo $kQ_{t,Tr}$, como a vazão a ser outorgada, implica na avaliação do coeficiente k em relação à demanda das águas já existente na bacia. Assim, procurou-se verificar qual o valor de k suficiente para atender aos usuários da bacia, para a vazão de referência $Q_{7,10}$ de cada PC.

Os valores de $Q_{7,10}$ e das demandas totais das classes de usuários, por PC, para o ano de 1996, encontram-se na TAB. 6.4. Na TAB. 6.5 estão os valores de demandas das classes de usuários projetadas para o ano de 2006

TABELA 6.4
Vazões de demandas pelas classes de usuários, para 1996, em m³/s

PC	ESTAÇÃO	$Q_{7,10}$	DEMANDAS DAS CLASSES DE USUÁRIOS			
			1	2	3	4
1	São Brás do Suaçuí	1,55	0,04	0,01	0,53	0,00
2	Belo Vale	10,04	0,38	0,05	1,06	0,02
3	Ponte Nova do Paraopeba	18,07	0,93	0,07	3,16	0,18
4	Ponte da Taquara	23,70	0,54	0,09	3,30	0,17
5	Porto Mesquita	25,99	0,07	0,03	1,45	0,01

Fonte: SCHVARTZMAN et al., 1999

TABELA 6.5
Vazões de demandas pelas classes de usuários, para 2006, em m³/s

DEMANDAS DAS CLASSES DE USUÁRIOS						
PC	ESTAÇÃO	Q _{7,10}	1	2	3	4
1	São Brás do Suaçuí	1,55	0,05	0,01	0,72	0,00
2	Belo Vale	10,04	0,44	0,05	1,43	0,03
3	Ponte Nova do Paraopeba	18,07	1,51	0,08	4,25	0,21
4	Ponte da Taquara	23,70	0,91	0,11	4,44	0,19
5	Porto Mesquita	25,99	0,08	0,04	1,95	0,01

Fonte: SCHVARTZMAN, 2000

A avaliação do coeficiente k foi realizada procurando-se atender as vazões de demanda das classes por prioridade, simultaneamente em todos os PC's, ou seja, atende-se a vazão da classe 1 em todos os PC's, para em seguida passar à classe 2, e assim por diante. Esta é uma verificação racional de k, ao procurar atender as demandas por prioridades. Os resultados obtidos encontram-se na TAB. V.13, do Anexo V, para as demandas de 1996, e na TAB. V.14, para as demandas estimadas para o ano de 2006, onde a ocorrência de valores negativos de $(k \cdot Q_r - VC)$ indica a deficiência da vazão de outorga $kQ_{7,10}$ no atendimento à demanda das classes de usuários.

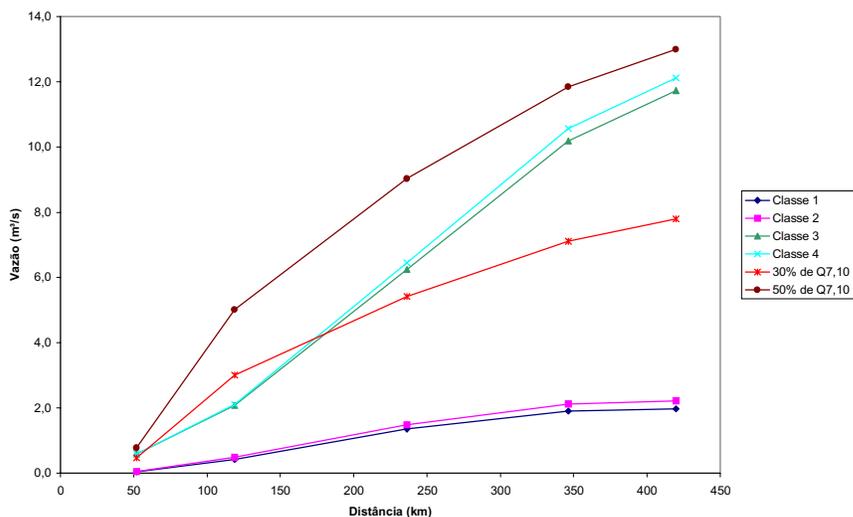
O GRAF. 6.4 ilustra as demandas das classes, acumuladas em cada PC, estimadas para o ano de 1996. Apresenta-se também a vazão de outorga atualmente praticada no Estado de Minas Gerais, pelo IGAM, de 30% de $Q_{7,10}$. Observa-se como a vazão de outorga atual é inferior à demanda total das classes, com exceção do PC-2. A demanda somente seria suprida se a vazão de outorga for elevada para 50% de $Q_{7,10}$.

O GRAF. 6.5 mostra as demandas em relação à vazão de outorga, para o ano de 2006. A situação de não atendimento se repete, porém, com o aumento das vazões demandadas pelas classes, a vazão de outorga deveria ser elevada para 70% de $Q_{7,10}$.

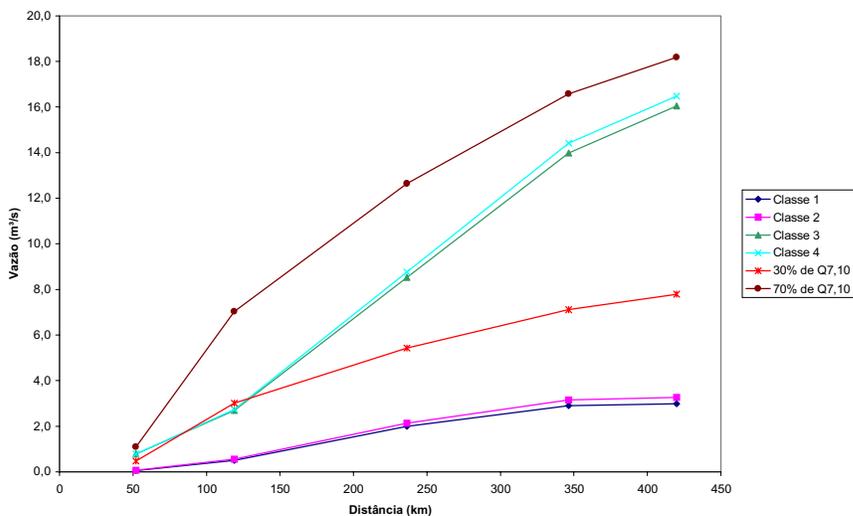
Nesta avaliação não foi considerada a vazão ecológica, normalmente fixada em 70% de $Q_{7,10}$. Obviamente, o aumento do coeficiente k acarreta na diminuição do percentual reservado à vazão ecológica. Entretanto, tal fato não implica necessariamente que o excedente a $kQ_{7,10}$ no curso d'água seja inferior ao valor mínimo para manutenção do ecossistema local.

GRÁFICO 6.4

Demandas das classes de usuários, acumuladas no PC, e vazão de outorga, para 1996

**GRÁFICO 6.5**

Demandas das classes de usuários, acumuladas no PC, e vazão de outorga, para 2006



O excedente à vazão outorgada depende do regime de vazões da bacia, sujeito às variações climáticas e antrópicas. Visto que a própria vazão $Q_{7,10}$ ocorreria, em média, a cada 10 anos, no restante do tempo a vazão excedente poderia ser suficiente para atender à demanda da vazão ecológica.

6.3.2 Avaliação do Coeficiente k em Função da Disponibilidade Hídrica

A avaliação do coeficiente k da vazão de outorga $kQ_{t,Tr}$, em relação à disponibilidade hídrica, tem o propósito de analisar a possibilidade, ou risco, de não atendimento da vazão de outorga, ou seja, que em um ano qualquer, em um dado local, aconteça pelo menos um dia em que a vazão média do curso d'água seja inferior a $k Q_{t,Tr}$.

Assim, fixando-se um valor de $Q_{t,Tr}$, aqui representado por $Q_{7,10}$, pode-se estimar um risco R_k de não atendimento da vazão de outorga de $k Q_{t,Tr}$, associado à variação de k.

O risco R_t foi avaliado em relação às séries históricas de vazões médias diárias das estações fluviométricas, representadas pelos pontos de controle 1 a 5. Para todos os PC's, o risco de se outorgar uma vazão, e haver uma falha num ano qualquer, foi nulo para valores de k até 70%, ou seja, para vazões de outorga 70% de $Q_{7,10}$ em cada PC. R_t somente foi superior a zero para valores de k acima de 70%, conforme mostra a TAB. 6.6. Logo, o valor de k pode ser superior à 30% para a bacia do Rio Paraopeba, podendo então atender às demandas das classes de usuários.

TABELA 6.6
Risco R_t de não atendimento, em um ano qualquer,
da vazão de outorga $kQ_{7,10}$

PC	$Q_{7,10}$ m³/s	k %	$k*Q_{7,10}$ m³/s	RISCO %
1	1,55	70	1,09	0,00
		75	1,16	2,63
		80	1,24	2,63
		85	1,32	2,63
		90	1,40	2,63
		95	1,47	2,63
		100	1,55	2,63
2	10,04	70	7,03	0,00
		75	7,53	0,00
		80	8,03	0,00
		85	8,53	0,00
		90	9,04	0,00
		95	9,54	0,00
		100	10,04	0,00
3	18,07	70	12,65	0,00
		75	13,55	2,44
		80	14,46	7,32
		85	15,36	7,32
		90	16,26	7,32
		95	17,17	9,76
		100	18,07	12,20
4	23,7	70	16,59	0,00
		75	17,78	5,56
		80	18,96	5,56
		85	20,15	5,56
		90	21,33	5,56
		95	22,52	11,11
		100	23,70	11,11
5	25,99	70	18,19	0,00
		75	19,49	0,00
		80	20,79	0,00
		85	22,09	0,00
		90	23,39	0,00
		95	24,69	0,00
		100	25,99	0,00

6.3.3 Avaliação da Disponibilidade Hídrica Face à Demanda Existente

A análise da disponibilidade de vazões do curso d'água, em relação à demanda das classes de usuários existente na bacia, pode ser fundamental no apoio ao gerenciamento dos recursos hídricos e dos rumos de desenvolvimento econômico e social da bacia.

Áreas com escassez de oferta hídrica têm, tradicionalmente, seu potencial de desenvolvimento econômico reduzido, acarretando graves conseqüências sociais, como o empobrecimento da população. Torna-se, assim, de grande importância o conhecimento da oferta hídrica na bacia.

Para se avaliar a disponibilidade de vazões no Rio Paraopeba em relação à demanda das classes de usuários foi desenvolvido um programa, em linguagem Delphi, para o sistema operacional Microsoft Windows 95 e 98, o qual avalia o risco R_d de não atendimento da vazão disponível no curso d'água, para um ano qualquer, à demanda de cada classe.

Foi levada em conta a prioridade das classes de usuários, ou seja, a vazão de uma classe superior deve ser atendida em todos os pontos de controle, antes que se passe para a próxima classe. Somaram-se à vazão de cada classe do PC as vazões de mesma classe utilizadas no PC a montante. Também se considerou a vazão ecológica, 70% de $Q_{7,10}$, incorporada à demanda da classe 1.

Levou-se também em consideração que a falha de um ou mais dias no abastecimento de água para uma determinada classe de usuários, de prioridade inferior à classe 1, não tenha conseqüências operacionais significativas. Verificou-se, então, o risco de não atendimento associado a uma duração de n dias consecutivos de falha no atendimento para um ano qualquer.

A TAB. 6.7 mostra o risco R_d de não atendimento da vazão de demanda das classes de usuários, admitindo-se como falha o não atendimento em um único dia do ano, para as demandas estimadas no ano de 1996.

TABELA 6.7

Risco R_d de não atendimento da vazão disponível às vazões das classes de usuários, para 1996

PC	$Q_{7,10}$ m ³ /s	Q_e m ³ /s	CLASSE i	Q_i m ³ /s	Q_i ACUML. m ³ /s	R_d %
1	1,55	1,085	1	0,045	1,130	2,63
			2	0,011	1,141	2,63
			3	0,534	1,675	5,26
			4	0,003	1,678	5,26
2	10,04	7,028	1	0,383	8,004	0,00
			2	0,048	8,052	0,00
			3	1,062	9,114	0,00
			4	0,023	9,137	0,00
3	18,07	12,649	1	0,931	15,689	7,32
			2	0,068	15,757	7,32
			3	3,161	18,918	14,63
			4	0,183	19,101	14,63
4	23,7	16,590	1	0,543	23,585	11,11
			2	0,093	23,678	11,11
			3	3,302	26,980	22,22
			4	0,171	27,151	22,22
5	25,99	18,193	1	0,069	28,823	0,00
			2	0,031	28,854	0,00
			3	1,452	30,306	5,88
			4	0,005	30,311	5,88

Nota: Q_e é a vazão ecológica no PC, Q_i é a demanda da classe i, no PC, e Q_i ACUML. é a demanda acumulada na classe i

Observa-se que os piores trechos localizam-se nos PC's 3 e 4, com riscos superiores a 14,6% e 22%, respectivamente. Embora os valores do risco R_d calculados para estes trechos aparentem ser mínimos, deve-se levar em conta que se localizam em áreas de menor densidade populacional na bacia do Rio Paraopeba. Logo, a intensificação do uso das águas superficiais nos próximos anos pode vir a criar situações de escassez hídrica e conflito de usos.

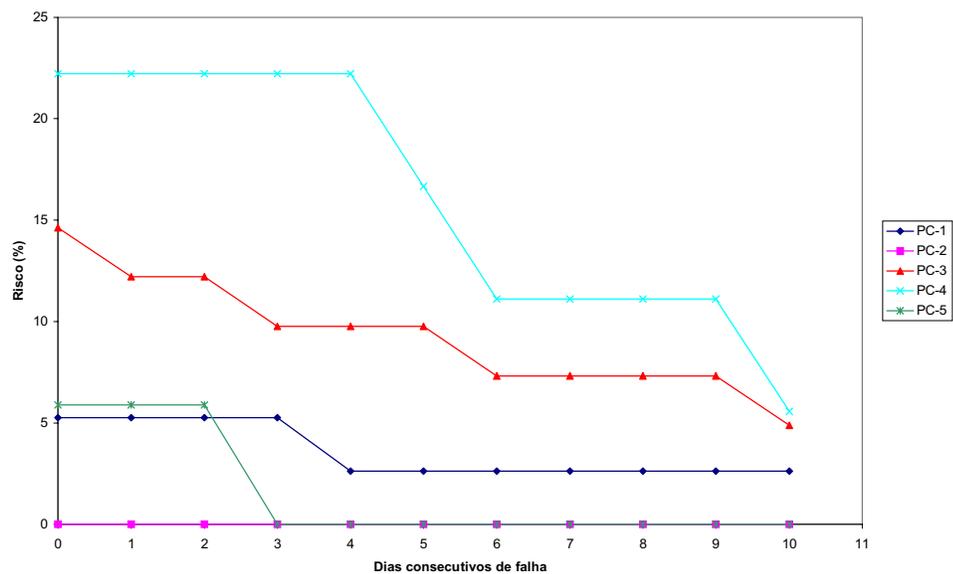
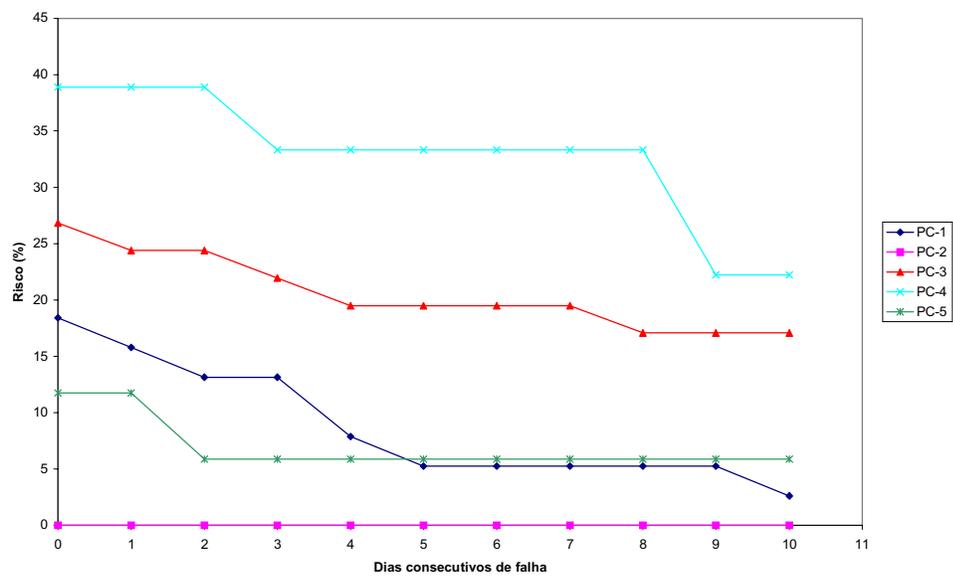
Isto pode ser verificado pela análise da TAB. 6.8, com as vazões de demandas das classes estimadas para o ano de 2006, onde o risco de não atendimento para a classe 4 no PC-3 chega a 26,8%, e 38,9% no PC-4.

TABELA 6.8
Risco R_d de não atendimento da vazão disponível às vazões das classes de usuários, para 2006

PC	$Q_{7,10}$ m ³ /s	Q_e m ³ /s	CLASSE i	Q_i m ³ /s	Q_i ACUML. m ³ /s	R_d %
1	1,55	1,085	1	0,051	1,136	2,63
			2	0,013	1,149	2,63
			3	0,718	1,867	18,42
			4	0,004	1,871	18,42
2	10,04	7,028	1	0,437	8,251	0,00
			2	0,055	8,306	0,00
			3	1,427	9,733	0,00
			4	0,026	9,759	0,00
3	18,07	12,649	1	1,506	17,117	9,73
			2	0,078	17,195	9,73
			3	4,248	21,443	26,83
			4	0,208	21,651	26,83
4	23,7	16,590	1	0,906	26,267	16,67
			2	0,106	26,373	16,67
			3	4,438	30,811	38,89
			4	0,195	31,006	38,89
5	25,99	18,193	1	0,080	32,689	5,88
			2	0,035	32,724	5,88
			3	1,951	34,675	11,76
			4	0,006	34,681	11,76

Nota: Q_e é a vazão ecológica no PC, Q_i é a demanda da classe i, no PC, e Q_i ACUML. é a demanda acumulada na classe i

Entretanto, quando se admite falha no atendimento às vazões de demandas das classes de usuários, o risco R_d cai significativamente, como se observa no GRAF. 6.6, o qual mostra a evolução do risco em função de dias de falha consecutivos no atendimento às demandas das classes estimadas para o ano de 1996. Para o ano de 2006, ilustrado no GRAF. 6.7, o risco, em cada PC, sofre um aumento considerável. Esta análise fornece uma indicação da garantia de suprimento de vazões no curso d'água. Os riscos calculados para cada PC, por classe de usuário, encontram-se nas tabelas TAB. V.15, no Anexo V, para as demandas de 1996, e TAB. V.16, para 2006.

GRÁFICO 6.6Análise do risco de não atendimento R_d em função de dias consecutivos de falha às demandas de 1996**GRÁFICO 6.7**Análise do risco de não atendimento R_d em função de dias consecutivos de falha às demandas de 2006

6.4 Critério de Vazão Referencial com Variação Anual

O objetivo da definição de um critério de vazão de outorga com variação anual é possibilitar ao Poder Outorgante aumentar a vazão outorgada para um ano de maior oferta hídrica, em um determinado trecho fluvial, a partir da previsão do comportamento das vazões de estiagem para aquele ano, com uma certa antecedência. Os trechos fluviais para uso do critério de outorga variável foram definidos neste estudo como os intervalos entre as estações fluviométricas.

Procurou-se então estabelecer um modelo regional de regressão entre um fator de correção da vazão de outorga, FC, e uma vazão característica do início do período de recessão, sendo FC a razão entre a vazão Q_7 mínima do ano de interesse e a vazão $Q_{7,10}$.

O início da recessão se dá normalmente entre os meses de abril e maio na bacia do Rio Paraopeba. Assim, para o primeiro modelo de regressão analisado, utilizou-se a vazão média do dia 30 de abril como variável explicativa de FC.

A vazão média de 30 de abril de cada ano, disponível nas séries dos postos fluviométricos utilizados no estudo, foi adimensionalizada pela vazão média do mês de abril de longo termo.

Adotou-se como modelo de regressão a equação:

$$FC_i = a_1 \frac{Q_{30/04}}{Q_{ABRIL}} + a_2 \quad (6.1)$$

onde $Q_{30/04}$ é a vazão média do dia 30 de abril do ano i , e Q_{ABRIL} , a vazão média de abril de longo termo.

Os dados anuais da vazão média do mês de abril e Q_7 mínima encontram-se no Anexo VI, para as estações utilizadas.

Os coeficientes da equação 6.1 foram estimados pelo método dos mínimos quadrados, para cada estação analisada. Foram também calculados o coeficiente de

correlação R e de determinação R² para os modelos. Os resultados se encontram na TAB. 6.9.

TABELA 6.9
Resultados da regressão de FC para estações fluviométricas na bacia do Rio Paraopeba

ESTAÇÕES	a ₁	a ₂	R	R ²
São Brás do Suaçuí	2,04598	0,63461	0,71324	0,508711
Belo Vale	0,98322	0,80104	0,86498	0,748190
Alberto Flores	0,95862	0,75540	0,79034	0,624644
Ponte Nova do Paraopeba	1,16279	0,65865	0,72978	0,532586
Jardim	1,71130	0,32106	0,88895	0,790226
Porto Mesquita	1,20250	0,82393	0,76122	0,579450

Os coeficientes R e R² encontrados não foram considerados satisfatórios para a maioria das estações. Optou-se então por utilizar a vazão média de abril, ao contrário da vazão média do dia 30 de abril, dividida pela vazão média anual de longo termo, o que poderia melhorar a correlação, visto que a utilização de valores médios diários está sujeita a ocorrência de valores amostrais atípicos, sendo de grande variação entre um ano e outro. Por este mesmo motivo, retirou-se do estudo a estação Jardim, de área de drenagem de apenas 104km².

Às estações da TAB. 6.9 acrescentaram-se mais três estações, apresentadas na TAB. 6.10, sendo determinados para cada uma a constante de recessão k_r e o índice de escoamento base IEB (TAB. 6.11). Os valores de k_r foram determinados para o anos nos quais foi possível a identificação, nos hidrogramas, do início e fim da recessão.

TABELA 6.10
Estações fluviométricas utilizadas para o modelo de regressão de FC

ESTAÇÃO	CÓDIGO	CURSO D'ÁGUA	LATITUDE	LONGITUDE	ÁREA km ²
São Brás do Suaçuí	40550000	Paraopeba	20°36'14"	43°54'32"	454
Congonhas	40580000	Maranhão	20°31'07"	43°50'08"	656
Jeceaba	40700002	Paraopeba	20°32'00"	43°58'00"	2520
Belo Vale	40710000	Paraopeba	20°24'29"	44°01'16"	2820
Alberto Flores	40740000	Paraopeba	20°09'40"	44°09'38"	4030
P. N. Paraopeba	40800001	Paraopeba	19°56'56"	44°18'12"	5830
Ponte da Taquara	40850000	Paraopeba	19°25'22"	44°32'55"	8910
Porto Mesquita	40865001	Paraopeba	19°10'17"	44°40'07"	10300

TABELA 6.11
Características das estações fluviométricas utilizadas para o modelo de regressão de FC

ESTAÇÃO	Q _A * m ³ /s	Q _{MLT} ** m ³ /s	IEB %	k _r
São Brás do Suaçuí	6,89	7,39	73,83	0,9942
Congonhas	9,68	9,93	75,59	0,9946
Jeceaba	45,51	45,09	72,07	0,9945
Belo Vale	44,94	47,82	70,92	0,9940
Alberto Flores	62,00	64,13	71,56	0,9937
P. N. Paraopeba	87,52	86,83	73,28	0,9939
Ponte da Taquara	100,46	112,63	73,01	0,9938
Porto Mesquita	162,62	156,73	73,95	0,9929

(*) vazão média do mês de abril de longo termo

(**) vazão média anual de longo termo

Os dados anuais de vazões médias do mês de abril, Q₇ mínimas, IEB e k_r encontram-se no Anexo VI, para as estações utilizadas.

Foi determinada uma matriz de correlação simples para todos os valores das estações fluviométricas, apresentada na TAB. 6.2, a fim de serem avaliadas as variáveis explicativas quanto à sua significância.

TABELA 6.12
Matriz de correlação simples entre as variáveis de todas as estações

VARIÁVEL	FC	Q _{ABRIL}	Q ₇	Q _{7,10}	ÁREA	IEB	k _r	Q _{ABRIL} /Q _{MLT}
FC	1	0,42667	0,44393	0,03303	0,04936	0,00721	-0,13221	0,77924
Q _{ABRIL}	0,42667	1	0,95727	0,82479	0,83458	-0,19374	-0,75955	0,44796
Q ₇	0,44393	0,95727	1	0,87162	0,86506	-0,25839	-0,76768	0,34995
Q _{7,10}	0,03303	0,82479	0,87162	1	0,98054	-0,33208	-0,81430	0,02416
ÁREA	0,04936	0,83458	0,86506	0,98054	1	-0,20850	-0,84197	0,02407
IEB	0,00721	-0,19374	-0,25839	-0,33208	-0,20850	1	0,34334	0,02865
k _r	-0,13221	-0,75955	-0,76768	-0,81430	-0,84197	0,34334	1	-0,03530
Q _{ABRIL} /Q _{MLT}	0,77924	0,44796	0,34995	0,02416	0,02407	0,02865	-0,03530	1

Observa-se pela TAB. 6.12 que FC apresenta baixa correlação com IEB e k_r, sendo o melhor resultado encontrado com a razão Q_{ABRIL}/Q_{MLT}.

Foi adotado o modelo de regressão expresso pela equação:

$$FC = a_0 \left(\frac{Q_{ABRIL}}{Q_{MLT}} \right)^{a_1} + a_2 \text{Área} + a_3 k_r + a_4 \text{IEB} + a_5 \quad (6.2)$$

O modelo foi ajustado pelo método dos mínimos quadrados, sendo retiradas, após cada ajuste, as variáveis com menor correlação, a fim de se encontrar o modelo mais simples, porém com ajuste satisfatório. Foram determinados os coeficientes R e R^2 para cada ajuste. Os resultados da análise de regressão se encontram na TAB. 6.13.

TABELA 6.13
Resultados do ajuste do modelo de regressão de FC, utilizando todas as estações

MODELO	VARIÁVEIS	R	R^2	$R^2_{ajust.}$
1	Q_{ABRIL}/Q_{MLT} , Área, k_r , IEB	0,8060	0,64964	0,64290
2	Q_{ABRIL}/Q_{MLT} , k_r , IEB	0,7999	0,63984	0,63467
3	Q_{ABRIL}/Q_{MLT} , Área, k_r	0,8050	0,64803	0,64297
4	Q_{ABRIL}/Q_{MLT} , k_r	0,7996	0,63936	0,63593
5	Q_{ABRIL}/Q_{MLT} , IEB	0,7936	0,62980	0,62628
6	Q_{ABRIL}/Q_{MLT} , Área	0,7642	0,58400	0,58004
7	Q_{ABRIL}/Q_{MLT}	0,7935	0,62964	0,62789

Embora os valores calculados para o coeficiente R sejam significativos, os valores de $R^2_{ajust.}$ não são satisfatórios. Uma forma de se tentar minimizar a variância encontrada foi analisar à parte as estações com menor área de drenagem: São Brás do Suaçuí e Congonhas, procurando-se ajustar a cada estação um modelo de regressão local para FC. Às demais estações, com áreas superiores a 2500km², tentou-se ajustar um modelo regional de regressão de FC. Foi adotado, como anteriormente, o modelo expresso pela equação (6.2).

Os resultados encontrados para as estações São Brás do Suaçuí e de Congonhas são apresentados nas tabelas TAB. 6.14 e TAB. 6.15, respectivamente.

TABELA 6.14
Resultados do ajuste do modelo de regressão de FC, para São Brás do Suaçuí

MODELO	VARIÁVEIS	R	R^2	$R^2_{ajust.}$
1	Q_{ABRIL}/Q_{MLT} , Área, k_r , IEB	0,7006	0,49084	0,38901
2	Q_{ABRIL}/Q_{MLT} , k_r , IEB	0,7006	0,49084	0,41810
3	Q_{ABRIL}/Q_{MLT} , Área, k_r	0,7006	0,49084	0,41810
4	Q_{ABRIL}/Q_{MLT} , k_r	0,7006	0,49084	0,44455
5	Q_{ABRIL}/Q_{MLT} , IEB	0,7006	0,49084	0,44455
6	Q_{ABRIL}/Q_{MLT} , Área	0,7006	0,49084	0,44455
7	Q_{ABRIL}/Q_{MLT}	0,7006	0,49084	0,46870

TABELA 6.15
Resultados do ajuste do modelo de regressão de FC, para Congonhas

MODELO	VARIÁVEIS	R	R ²	R ² _{ajust.}
1	Q _{ABRIL} /Q _{MLT} , Área, k _r , IEB	0,6291	0,39577	0,32468
2	Q _{ABRIL} /Q _{MLT} , k _r , IEB	0,6309	0,39803	0,34644
3	Q _{ABRIL} /Q _{MLT} , Área, k _r	0,6309	0,39803	0,34644
4	Q _{ABRIL} /Q _{MLT} , k _r	0,6309	0,39803	0,36459
5	Q _{ABRIL} /Q _{MLT} , IEB	0,6309	0,39803	0,36459
6	Q _{ABRIL} /Q _{MLT} , Área	0,6291	0,39577	0,36220
7	Q _{ABRIL} /Q _{MLT}	0,6073	0,36881	0,35175

Os resultados encontrados para as duas análises de regressão não são satisfatórios. Isto pode ser explicado, em parte, pela extensão das áreas de drenagem das estações, o que poderia causar uma grande variação no regime de vazões ao longo do ano, nos respectivos cursos d'água.

Os resultados do ajuste dos modelos de regressão para o grupo das demais estações, com área de drenagem superior a 2500km², encontram-se na TAB 6.16.

TABELA 6.16
Resultados do ajuste do modelo de regressão de FC, para estações com área superior a 2500km²

MODELO	VARIÁVEIS	R	R ²	R ² _{ajust.}
1	Q _{ABRIL} /Q _{MLT} , Área, k _r , IEB	0,8661	0,75013	0,74324
2	Q _{ABRIL} /Q _{MLT} , k _r , IEB	0,8651	0,74840	0,74323
3	Q _{ABRIL} /Q _{MLT} , Área, k _r	0,8660	0,74996	0,74482
4	Q _{ABRIL} /Q _{MLT} , k _r	0,8647	0,74771	0,74427
5	Q _{ABRIL} /Q _{MLT} , IEB	0,8574	0,73513	0,73153
6	Q _{ABRIL} /Q _{MLT} , Área	0,8588	0,73754	0,73397
7	Q _{ABRIL} /Q _{MLT}	0,8567	0,73393	0,73214

Observa-se que com as estações com área de drenagem superior a 2500km² é obtido um ajuste superior aos modelos anteriores, resultando em coeficientes de determinação ajustado R²_{ajust} e de correlação múltipla R satisfatórios.

Adotou-se então como modelo de regressão o modelo de número 7 da TAB. 6.16, o qual apresentou boa correlação com o menor número de variáveis explicativas, dado pela expressão:

$$FC = 0,60155 \left(\frac{Q_{ABRIL}}{Q_{MLT}} \right)^{1,73547} + 0,98757 \quad (6.3)$$

6.4.1 Avaliação do Critério de Vazão Referencial com Variação Anual

A equação 6.3, quando aplicada aos dados disponíveis das estações fluviométricas, pode resultar em fatores de correção FC inferiores à unidade, de acordo com os valores da vazão média mensal de abril.

Anos em que ocorra uma vazão mínima de 7 dias de duração inferior ou igual à vazão $Q_{7,10}$, num trecho do curso d'água, podem vir a se caracterizar como anos de escassez, tornando necessária a adoção de medidas de racionalização dos usos das águas. Para tais anos, não deveria então ser utilizado o critério da vazão referencial variável.

Foram então retirados das amostras de vazões características das estações analisadas os valores referentes aos anos onde a razão $Q_7/Q_{7,10}$ é inferior à unidade, e refeito o ajuste do modelo de regressão, obtendo-se a seguinte expressão, em substituição à equação 6.3:

$$FC = 0,49292 \left(\frac{Q_{ABRIL}}{Q_{MLT}} \right)^{1,93978} + 1,09805 \quad (6.4)$$

Analisando-se o desvio médio entre os valores de FC observados e calculados para as séries de vazões das estações fluviométricas, nota-se uma diminuição dos desvios, ao se adotar a equação 6.4, em substituição à 6.3, conforme se vê na TAB. 6.17.

TABELA 6.17
Desvio médio entre os valores de FC observados e calculados

ESTAÇÃO	AMOSTRA	DESVIO*	DESVIO**
	anos	%	%
Jeceaba	13	14,91	12,86
Belo Vale	24	12,24	12,05
Alberto Flores	24	9,45	9,17
Ponte Nova do Paraopeba	52	14,38	13,17
Ponte da Taquara	18	15,83	13,61
Porto Mesquita	17	12,02	11,73

(*) Desvio em função da equação 6.3

(**) Desvio em função da equação 6.4

No Anexo VI, gráficos GRAF. VI.1 a VI.6, encontram-se representados os valores observados de FC contra os valores previstos pela equação 6.4, para as séries de vazões disponíveis das estações fluviométricas.

Como não se conhece antecipadamente, para um certo ano, se o valor da razão $Q_7/Q_{7,10}$ será inferior à unidade, torna-se necessária a definição de critérios a fim de se determinar a possibilidade de se utilizar o fator de correção FC da vazão de outorga, naquele ano.

Uma forma de se prever a situação de estiagem seria tornar a razão $Q_7/Q_{7,10} = 1$, na equação 6.4. Como a vazão média de longo termo é conhecida, para as estações fluviométricas com séries de vazões, pode-se estabelecer então um valor limite da vazão média de abril, Q_{ABRIL} . Para um ano qualquer, onde a vazão média do mês de abril for inferior, ou mesmo próxima, ao valor limite de Q_{ABRIL} , pode não ser possível a utilização do fator de correção da vazão de outorga FC.

Outra maneira de se prever a situação de estiagem é a simples análise dos totais mensais de precipitação, correspondentes ao período chuvoso, o qual é bem definido na bacia do Paraopeba, entre os meses de outubro a março. Valores mensais de precipitações inferiores em relação aos valores médios esperados podem indicar, em função de sua magnitude, anos com escassez hídrica.

6.4.2 Fator de Correção Anual Aplicado à Vazão de Outorga no Rio Paraopeba até Ponte Nova do Paraopeba

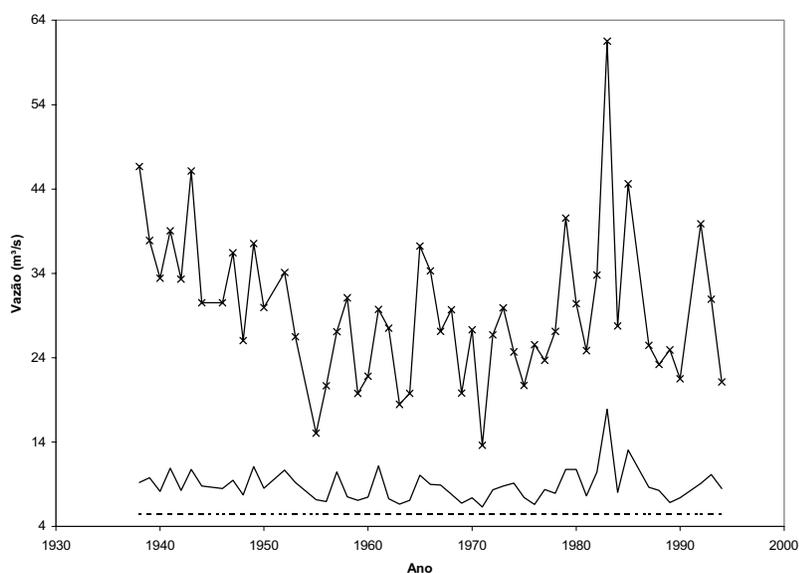
Após o estabelecimento do cálculo do fator de correção, torna-se necessário definir sua utilização na determinação da vazão de outorga.

Inicialmente, pensou-se em utilizar como vazão de outorga a expressão $FC(30\%Q_{7,10})$, visto que a vazão de outorga adotada no Estado de Minas Gerais é 30% de $Q_{7,10}$. O GRAF. 6.8 ilustra o ganho da aplicação do fator de correção FC em relação à

utilização do valor fixo de 30% de $Q_{7,10}$, para o trecho do Rio Paraopeba até a estação Ponte Nova do Paraopeba, analisando a série de vazões da estação, compreendida entre 1938 e 1994. Entretanto, ao se acrescentar no mesmo gráfico a série de vazões mínimas anuais de 7 dias de duração, observa-se que os valores de $FC(30\%Q_{7,10})$ ainda são inferiores a elas, sugerindo, então, a utilização de um critério de vazão de outorga que gere valores superiores de vazão.

GRÁFICO 6.8

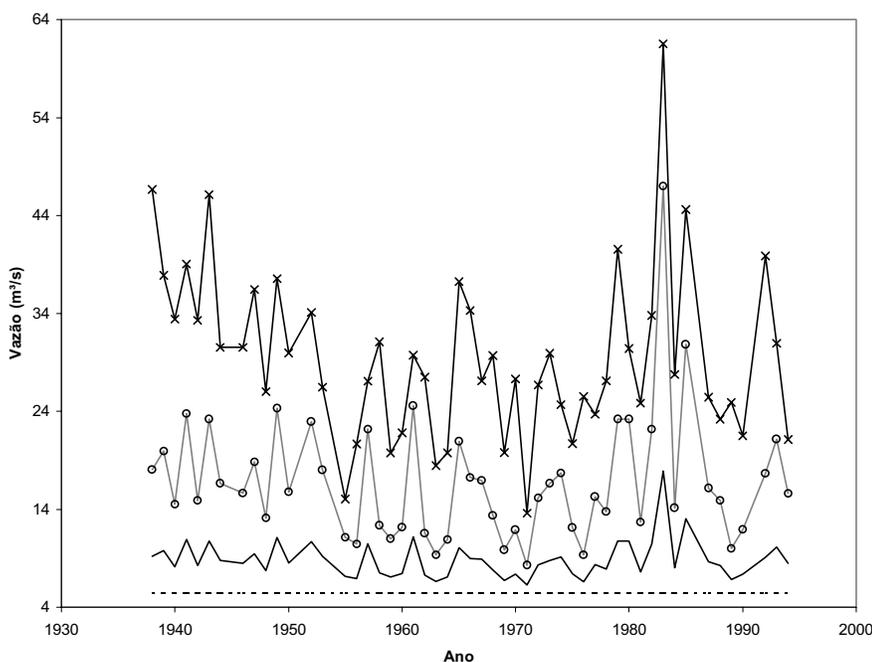
Aplicação de $FC(30\%Q_{7,10})$ para o Rio Paraopeba, em Ponte Nova do Paraopeba



Considere então que o valor de vazão equivalente a 70% de $Q_{7,10}$, num trecho fluvial, seja suficiente para a demanda da vazão ecológica. Logo, a vazão de outorga poderia ser a vazão definida por $FCQ_{7,10} - 70\%Q_{7,10}$. Substituindo-se no GRAF. 6.8 a vazão de outorga, tem-se o GRAF. 6.9.

GRÁFICO 6.9

Aplicação de FC $Q_{7,10} - 70\%Q_{7,10}$ para o Rio Paraopeba, em Ponte Nova do Paraopeba



Verifica-se assim a possibilidade da utilização de $FCQ_{7,10} - 70\%Q_{7,10}$ para a estação de Ponte Nova do Paraopeba, onde a vazão outorgada é continuamente inferior às vazões mínimas anuais de 7 dias de duração. Cabe ressaltar, entretanto, que o fator de correção FC somente foi utilizado para anos onde a razão $Q_7/Q_{7,10}$ é superior à unidade.

Outro fator a ser considerado são as demandas de água pelas classes de usuários da bacia. Foram então analisados dois cenários de demanda:

- cenário 1: fixando-se as vazões das classes de usuários estimadas para o ano de 1996 no trecho do Rio Paraopeba até a estação Ponte Nova do Paraopeba, faz-se a análise do atendimento da vazão de outorga às classes de usuários na série histórica de vazões da estação;
- cenário 2: refaz-se a análise do cenário 1, porém, utilizando as vazões de demanda das classes de usuário estimadas para o ano de 2006.

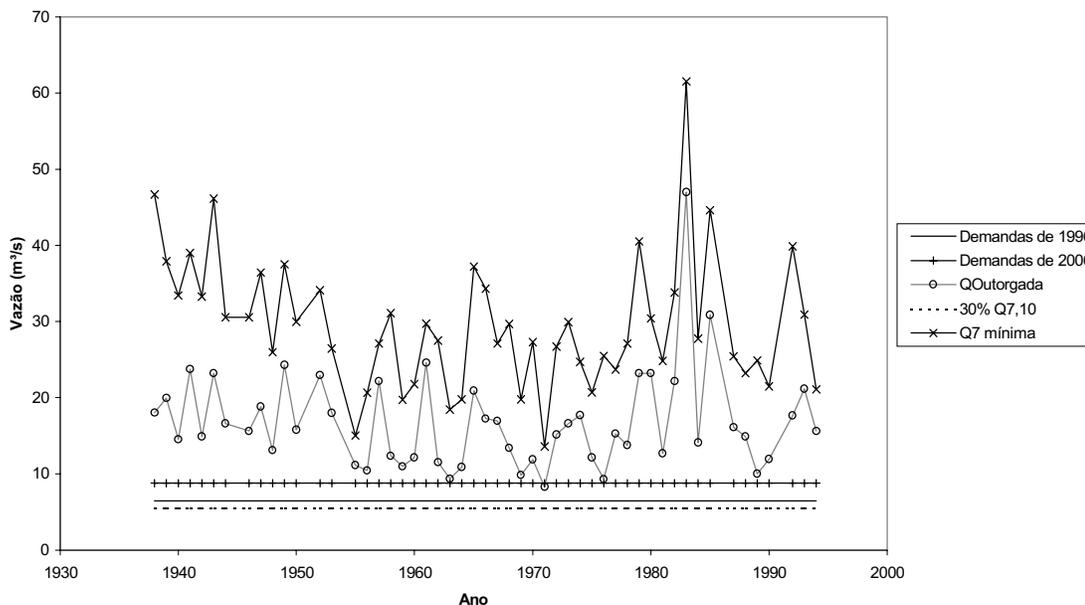
O objetivo da análise dos cenários de demanda de vazão por classes de usuários é verificar a possibilidade de não atendimento pela vazão de outorga definida por $FCQ_{7,10} - 70\%Q_{7,10}$ às classes de usuários.

Os dois cenários são ilustrados pelo GRAF. 6.10, onde as demandas para 1996 e 2006 representam o somatório das vazões das 4 classes de usuários em Ponte Nova do Paraopeba, incluindo-se também as vazões demandadas nos trechos das estações a montante, no Rio Paraopeba.

Verifica-se que, para os dois casos, a vazão outorgada é superior à demanda em toda a série de vazões. Há somente uma exceção, para a demanda total estimada para 2006, para a qual ocorre uma falha, no período de 52 anos analisados.

GRÁFICO 6.10

Avaliação de cenários de demanda das águas para o Rio Paraopeba, em Ponte Nova do Paraopeba



CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste estudo, procurou-se avaliar a aplicabilidade da utilização do critério da vazão referencial para definição da vazão máxima outorgável, tanto em relação à possibilidade da vazão do curso d'água ser inferior, em um certo período do tempo, à vazão outorgada, quanto ao atendimento da demanda dos usuários das águas na bacia.

Para tanto, foram avaliados os três componentes da vazão referencial: a duração da vazão mínima, o tempo de retorno e a fração da vazão característica a ser outorgada.

Pela análise do tempo de retorno da vazão referencial, observa-se que o risco de falhas durante o período de validade da concessão da outorga, ou seja, anos nos quais a vazão de outorga seja superior à vazão disponível no curso d'água, aumenta com o aumento do período de concessão da outorga. O risco também aumenta se é diminuído o período de anos com falha no atendimento permitidos durante a concessão.

A avaliação do risco de se adotar uma vazão referencial superior à vazão disponível no curso d'água, relacionado à duração da vazão mínima, e realizada a partir da análise da série histórica de vazões de estações fluviométricas, resultou em maiores valores do risco para estações com menores áreas de drenagem, bem como para vazões referenciais de tempos de retorno menores.

Verificou-se também que o critério adotado pelo Estado de Minas Gerais, fixado em 30% de $Q_{7,10}$, é insuficiente para o atendimento das demandas dos usuários das águas da bacia do Rio Paraopeba, estimadas para os anos de 1996 e 2006. Observa-se que, em relação às séries históricas de vazões das estações fluviométricas analisadas, o risco de se adotar um valor de vazão de outorga superior à vazão disponível é nulo para vazões de até 70% de $Q_{7,10}$. É possível, então, aumentar o valor praticado de vazão de outorga na bacia do Rio Paraopeba, atendendo assim à maioria dos usos existentes das águas, incluindo-se também aqui os valores de demandas previstas para o ano de 2006.

Realizou-se também a análise da disponibilidade de vazões do curso d'água, em relação à demanda das classes de usuários existente na bacia, verificando-se o risco de

ocorrência de períodos de escassez, e também como forma de se identificar possíveis áreas de conflitos dos usos das águas. Considerando-se que não são aceitos períodos de falha no atendimento às demandas dos usuários, são encontrados riscos significativos para os trechos a montante das estações de Ponte Nova do Paraopeba e Ponte da Taquara. Porém, quando são aceitos períodos de dias consecutivos de falha, os riscos caem consideravelmente.

Este tipo de análise pode ser utilizado quando se outorgam valores de vazão superiores à classe de prioridade 1, fornecendo ao outorgado uma garantia de suprimento da vazão requerida. Num esquema de cobrança pelo uso das águas de um curso d'água, podem ser estabelecidos maiores valores financeiros pela licença de uso da água em troca de maior garantia de suprimento.

Finalmente, foi aplicado um fator de correção anual da vazão de outorga, em um trecho da bacia do Rio Paraopeba, com o objetivo de se aumentar a vazão a ser outorgada no curso d'água, em anos onde a oferta hídrica é superior.

Como resultado, foram obtidos valores superiores de vazão ofertada, em relação ao critério da vazão fixa de 30% de $Q_{7,10}$. O critério adotado de vazão de outorga, $FCQ_{7,10} - 70\%Q_{7,10}$, simulado para a série de 52 anos da estação fluviométrica de Ponte Nova do Paraopeba, somente foi inferior à demanda projetada para o ano de 2006, em um único ano.

A utilização do fator de correção é relativamente simples, cabendo ao órgão outorgante conhecer a vazão média de abril do ano corrente, e a vazão média de longo termo, do trecho do curso d'água onde se pretende aplicá-lo. Portanto, o uso do fator de correção está restrito a bacias com uma rede de estações fluviométricas densa o bastante para se estabelecer uma relação regional do fator, e para que se determinem as vazões médias com segurança nos trechos de controle.

Torna-se clara aqui a importância da existência de uma rede de monitoramento hidrometeorológico nas bacias hidrográficas, com o propósito de não apenas identificar potenciais hidrelétricos em cursos d'água, motivo pelo qual foram instaladas a maior parte das estações hidrológicas no Brasil, mas para assegurar informações consistentes e

em densidade suficiente para que sejam executados os estudos necessários para o desenvolvimento e a adequação de técnicas de gerenciamento dos recursos hídricos às condições locais das bacias. Este estudo de análise da vazão de outorga não seria passível de realização sem a existência de estações hidrológicas na bacia do Rio Paraopeba, com dados representativos do regime de vazões e bem consistidos.

As estações fluviométricas, instaladas em trechos de controle no curso d'água, também servem como identificadores de períodos de escassez para a população local, bastando identificar as réguas referentes às cotas mínimas, como as cotas das vazões de outorga e abastecimento humano somada à vazão ecológica.

Com base nos resultados dos estudos realizados nesta dissertação sobre o critério de vazão referencial para a definição de vazões de outorga, recomenda-se a utilização da metodologia em outras bacias hidrográficas, com as seguintes considerações:

- o fator de correção anual da vazão de outorga pode não se aplicar a anos secos, nos quais venha a caracterizar-se uma situação de racionamento dos recursos hídricos, cabendo então ao poder outorgante alterar ou mesmo suspender as outorgas concedidas, preservando os usos prioritários;
- sub-bacias com áreas de drenagem inferiores a 2000km² devem ser analisadas com maior acuidade, visto que a variabilidade dos valores de vazões mínimas é mais acentuada;
- deve ser avaliada a exploração de água subterrânea na bacia hidrográfica, já que o regime de vazões do curso d'água, durante o período de estiagem, é mantido principalmente pelos sistemas de aquíferos da bacia.

Critérios de outorga das águas também podem tolher o desenvolvimento de atividades econômicas na bacia, ao estabelecer prioridades de uso, como, por exemplo, priorizar o uso das águas na irrigação em detrimento da indústria. Por outro lado, ao limitar a cota de vazões destinada a usos industriais, o Poder Público pode exercer certo controle sobre atividades poluidoras.

CAPÍTULO 8

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS - ABRH. Boletim Informativo 25, 1986 apud LANNA, Antônio E. *Gestão das Águas*. Porto Alegre: IPH, 1997. 225p.(Texto de referência: Curso Introdução à Gestão dos Recursos Hídricos. Belo Horizonte: UFMG, 1997).

BAHIA. Lei nº 6.855, de 12 de maio de 1995, regulamentada pelo Decreto 6.296/97. Define a Política Estadual de Recursos Hídricos da Bahia.

BISWAS, Asit K. (Ed.). *Water Resources; Environmental Planning, Management, and Development*. EUA: Ed. McGraw-Hill, 1996. 737p.

BRASIL. Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Cria e regulamenta o Código de Águas.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelos Decretos 97.632/89 e 99.274/90, e alterada pelas Leis 7.804/89 e 8.028/90. Determina a Política Nacional do Meio Ambiente, a criação do Sistema Nacional de Meio Ambiente - SISNAMA, e o Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA.

BRASIL. Lei nº 6.662, de 25 de junho de 1979, regulamentada pelo Decreto 89.496/84. Cria a Política Nacional de Irrigação.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. *Projeto Análise de Consistência de Dados Pluviométricos – Bacia do Rio São Francisco, Sub-Bacias 40 a 44*; Relatório Técnico Parcial: Sub-Bacia 40. Rio de Janeiro: CPRM, 1995. 3v.

CPRM. *Rede Hidrometeorológica e Caracterização Física da Bacia do Alto São Francisco*. Belo Horizonte: CPRM, 1996. 34p. Anexos.

DA SILVA, L. Análise de Critério de Outorga de Direitos de Uso da Água na Bacia do Rio Branco. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 1997. 142p, anexos. (Dissertação, Programa de Pós - Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento) *apud* LANNA, Antônio E. *Gestão das Águas*. Porto Alegre: IPH, 1997. 225p.(Texto de referência: Curso Introdução à Gestão dos Recursos Hídricos. Belo Horizonte: UFMG, 1997).

DALRYMPLE, Tate. *Flood-Frequency Analyses*; Geological Survey Water Supply Paper 1543-A. EUA: U. S. Government Printing Office, 1960.80p.

ELETROBRÁS. *Metodologia para Regionalização de Vazões*. Rio de Janeiro: Eletrobras, 1985. 211p.

GEOMINAS. URL: <http://www.geominas.mg.gov.br>. Minas Gerais, 2000.

HEATHCOTE, Isobel W. *Integrated Watershed Management - Principles and Practice*. EUA: Ed. John Wiley & Sons, 1998. 420p.

INTERNATIONAL OFFICE FOR WATER. URL: <http://www.oieau.fr>. França, 2000.

LANNA, Antônio E. *Gestão das Águas*. Porto Alegre: IPH, 1997. 225p.(Texto de referência: Curso Introdução à Gestão dos Recursos Hídricos. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1997).

MAIDMENT, David R. (Ed.). *Handbook of Hydrology*. EUA: Ed. McGraw-Hill, 1993.

MASTERS, Roger D. *Da Vinci & Maquiavel: Um Sonho Renacentista; De como o curso de um rio mudaria o destino de Florença*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor Ltda, 1999. 261p.

MAYS, Larry W. (Ed.). *Water Resources Handbook*. EUA: Ed. McGraw-Hill, 1996.

MINAS GERAIS. Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999. Disciplina a Política Estadual de Recursos Hídricos, e o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SEGRH.

MONTGOMERY, Douglas C., PECK, Elizabeth A. *Introduction to Linear Regression Analysis*. 2.ed. EUA: John Wiley & Sons, 1992. 527p.

NAGHETTINI, Mauro C. *Hidrologia Estatística*. Belo Horizonte, Escola de Engenharia da UFMG, 1998. 160p. (Notas de aula).

NAGHETTINI, Mauro C. *Engenharia de Recursos Hídricos*. Belo Horizonte, Escola de Engenharia da UFMG, 1999. 251p. (Notas de aula).

NERC. *Low Flow Studies*; IH Report Number 1-3. Inglaterra: NERC, 1980. 224p.

NERC. *Low Flow Estimation in the United Kingdom*; IH Report Number 108. Inglaterra: NERC, 1992. 88p. Anexos.

PELLISSARI, Vinícius Braga, SARMENTO, Robson. Deteminação da Vazão Residual dos Rios: Estado-da-Arte. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XIII, 1999, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1999.

PINHEIRO, Márcia M. G. *Estudo de Chuvas Intensas na Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH*. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1997. 216p. (Dissertação, Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos).

RURALMINAS, IGAM. *Plano Diretor de Recursos Hídricos das Bacias Afluentes do Rio São Francisco em Minas Gerais*, Relatório Parcial de Estudos Ambientais e Levantamento de Dados. Belo Horizonte: RURALMINAS, 1998. Vol. 1, Tomo VI.

RIO GRANDE DO SUL. Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994. Define a Política Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul.

SÃO PAULO. Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991. Estabelece normas de orientação para a Política Estadual de Recursos Hídricos, e o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

SCHVARTZMAN, Alberto S., MEDEIROS, Marcelo J., NASCIMENTO, Nilo, NAGHETTINI, Mauro da C. Avaliação Preliminar do Critério de Outorga Adotado no Estado de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XIII, 1999, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1999.

SCHVARTZMAN, Alberto S. *Cobrança e Outorga das Águas na Bacia do Rio Paraopeba*. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2000. (Dissertação, Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, a ser publicada).

SHIKLOMANOV, I. World Fresh Water Resources. In: GLEICK, P. (Ed.). *Water in Crisis*. EUA: Oxford University Press, 1993 *apud* MAYS, Larry W. (Ed.). *Water Resources Handbook*. EUA: Ed. McGraw-Hill, 1996.

SNEDECOR, George W., COCHRAN, William G. *Statistical Methods*. 8.ed. EUA: Iowa State University Press, 1995.

TUCCI, Carlos E. M. Regionalização de Vazões. In: TUCCI, Carlos E. M (Ed.). *Hidrologia; Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: Editora da Universidade - UFRGS, 1993. 944p. Capítulo 15, p. 573-619.

TUCCI, Carlos E. M. *Regionalização de Vazões; Versão Preliminar*. Brasília: ANEEL-SIH, 2000. 143p.

U. S. GEOLOGICAL SURVEY - USGS. *Hysep - A Computer Program for Streamflow Hydrograph Separation and Analysis*; Water Resources Investigations Report 96-4040. EUA: USGS, 1996. 54p.

USGS. URL: [HTTP:// www.usgs.gov](http://www.usgs.gov). EUA, 2000.

U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS – USACE. *Hydrologic Frequency Analysis*; Engineer Manual No. 1110-2-1415. EUA: USACE, 1993.

ANEXO I

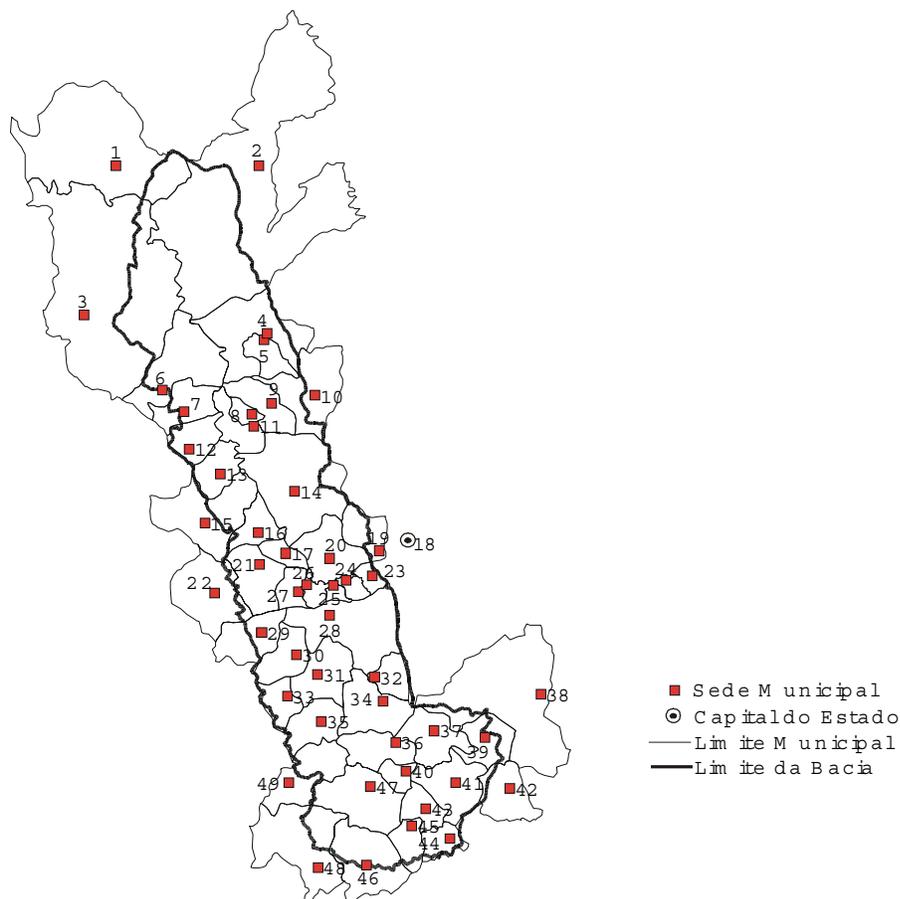
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAOPEBA

MUNICÍPIOS INTEGRANTES

POTAMOGRAFIA DOS CURSOS D'ÁGUA PRINCIPAIS

PERFIL LONGITUDINAL DO RIO PARAOPEBA

FIGURA I.1
Mapa de localização dos municípios integrantes da bacia do Rio Paraopeba



RELAÇÃO DE MUNICÍPIOS

Número	Município	Número	Município
1	Felixlândia	26	São Joaquim de Bicas
2	Curvelo	27	Igarapé
3	Pompéu	28	Brumadinho
4	Paraopeba	29	Itatiaiuçu
5	Caetanópolis	30	Rio Manso
6	Papagaios	31	Bonfim
7	Maravilhas	32	Moeda
8	Cachoeira da Prata	33	Crucilândia
9	Inhaúma	34	Belo Vale
10	Sete Lagoas	35	Piedade dos Gerais
11	Fortuna de Minas	36	Jeceaba
12	Pequi	37	Congonhas
13	São José da Varginha	38	Ouro Preto
14	Esmeraldas	39	Ouro Branco
15	Pará de Minas	40	São Brás do Suaçuí
16	Florestal	41	Conselheiro Lafaiete
17	Juatuba	42	Itaverava
18	Belo Horizonte	43	Queluzito
19	Contagem	44	Cristiano Ottoni
20	Betim	45	Casa Grande
21	Mateus Leme	46	Lagoa Dourada
22	Itaúna	47	Entre-Rios de Minas
23	Ibirité	48	Resende Costa
24	Sarzedo	49	Desterro de Entre-Rios
25	Mario Campos		

I.2 Potamografia dos Cursos D'Água Principais

As potamografias dos principais cursos d'água da bacia do Rio Paraopeba, descritas a seguir, foram retiradas de CPRM (1996).

Rio São Francisco

O rio São Francisco nasce na serra da Canastra, município de São Roque de Minas, em Minas Gerais, a 1460m de altitude. Após cerca de 570km de percurso é barrado formando o reservatório de Três Marias. Seus principais afluentes são, pela margem esquerda, rios Abaeté, Paracatu, Urucuia, Carinhanha, Corrente e Grande; pela margem direita, rios Pará, Paraopeba, das Velhas, Pacu e Verde Grande. Deságua no oceano Atlântico entre os estados de Alagoas e Sergipe, percorrendo 2700km.

Rio Paraopeba

O Rio Paraopeba nasce a 1140m de altitude entre as serras das Vertentes e do Espinhaço, no município de Cristiano Ottoni. Seus principais afluentes são, pela margem direita, Rio Maranhão, Ribeirão Sarzedo e Rio Betim; pela margem esquerda, Rio Camapuã, Ribeirão das Águas Claras, Rio Manso, Rio Juatuba e Ribeirão Florestal. Após um percurso de aproximadamente 500km deságua no reservatório de Três Marias pela margem direita.

Ribeirão do Calado - Córrego Pau Grande

O ribeirão do Calado nasce na altitude 1160m, na cidade de Ouro Branco, Minas Gerais, com o nome de córrego Pau Grande e deságua na margem direita do córrego Castelhana, após um percurso de 7,5km.

Ribeirão Campestre - Córrego dos Vieiras - Córrego Castelhana

O ribeirão Campestre nasce na altitude 1240m próximo à localidade de Vieiras, na cidade de Ouro Branco, Minas Gerais. Recebe o nome de córrego dos Vieiras e posteriormente córrego Castelhana. Tem como afluente na margem direita o córrego Pau Grande e deságua no ribeirão Varginha também pela margem direita, após um percurso de 8,5km.

Ribeirão Varginha - Córrego Varzas

O ribeirão Varginha nasce na altitude 1060m próximo à localidade de Vargas, com o nome de Córrego Vargas, no município de Ouro Branco, Minas Gerais. Tem como afluente pela margem direita o córrego Castelhana e deságua no ribeirão da Passagem pela margem esquerda após um percurso de 17km.

Ribeirão da Passagem

O ribeirão da Passagem nasce na altitude 1000m, no município de Ouro Branco, Minas Gerais. Tem como afluente da margem esquerda o ribeirão Varginha e deságua no ribeirão Soledade também pela margem esquerda, após um percurso de 9km.

Ribeirão Soledade

O ribeirão Soledade nasce na altitude 1380m, com o nome de ribeirão Burnier, no município de Ouro Preto, Minas Gerais. Após um percurso de 19,1km deságua no rio Maranhão pela margem direita, na altitude 870m. Seu principal afluente pela margem esquerda é o ribeirão da Passagem.

Rio Maranhão - Rio Bananeiras

O rio Maranhão é formado pelo rio Bananeiras, que nasce a 1060m de altitude próximo à serra do Espinhaço, na cidade de Conselheiro Lafaiete, Minas Gerais. Após receber o ribeirão Soledade pela margem direita passa a se chamar rio Maranhão. Além do ribeirão Soledade, o ribeirão Santo Antônio também é seu afluente pela margem direita. Ao longo do seu percurso de 56km atravessa as cidades de Conselheiro Lafaiete e Congonhas. Deságua no rio Paraopeba pela margem direita, na altitude 840m.

Ribeirão Santo Antônio - Córrego Poço Fundo - Também chamado de Ribeirão Lagarto

O ribeirão Santo Antônio nasce na serra da Moeda na altitude 1460m próximo à localidade de Casa de Pedra, com o nome de córrego do Poço Fundo, na cidade de Congonhas, Minas Gerais. Após um percurso de aproximadamente 13km, deságua na margem direita do rio Maranhão, na altitude 720m.

Ribeirão Curralinho

O ribeirão Curralinho nasce na serra das Vertentes a 1125m de altitude, na cidade de Resende Costa, Minas Gerais, com o nome de Ribeirão dos Paulos, e deságua na margem esquerda do rio Brumado, na altitude 870m, após um percurso de 29km.

Rio Brumado

O rio Brumado nasce na serra das Vertentes, no município de Lagoa Dourada, Minas Gerais, a 1100m de altitude com o nome de córrego da Mutuca. Seu principal afluente na margem esquerda é o ribeirão Curralinho. Após um percurso de 49km deságua no rio Camapuã pela margem esquerda, na altitude 860m.

Rio Camapuã - Córrego do Paiol Velho - Córrego Grande - Rio Grande

O rio Camapuã nasce na altitude 1080m na serra das Vertentes, na cidade de Lagoa Dourada, Minas Gerais, recebendo sucessivamente os nomes de córrego do Paiol Velho, córrego Grande, rio Grande e finalmente rio Camapuã. Seu principal afluente pela margem esquerda é o rio Brumado. Após um percurso de 68km deságua no rio Paraopeba pela margem esquerda, na altitude 830m.

Ribeirão das Águas Claras - Córrego das Parreiras

O ribeirão das Águas Claras nasce na altitude 1100m no município de Crucilândia, Minas Gerais, com o nome de córrego das Parreiras, e deságua na margem esquerda do rio Paraopeba próximo à cidade de Brumadinho, tendo percorrido 50km.

Rio Manso

O rio Manso nasce na altitude 1170m na cidade de Crucilândia, Minas Gerais. Ao longo do seu percurso de 57km é barrado, formando o reservatório do Manso da COPASA para fins de abastecimento, e deságua na margem esquerda do rio Paraopeba, na altitude 720m.

Córrego Rola Moça

O córrego Rola Moça nasce na serra Rola Moça na altitude 1410m, na cidade de Ibitité, Minas Gerais, e após um percurso de 6,7km deságua na margem esquerda do ribeirão Ibitité, na altitude 850m.

Córrego Taboão ou Córrego dos Tabuões

O córrego Taboão nasce na altitude 1110m próximo à localidade de Taboão, município de Ibirité, Minas Gerais, e após um percurso de 6,1km deságua na margem esquerda do ribeirão Ibirité, na altitude 820m.

Ribeirão Ibirité

O ribeirão Ibirité nasce na altitude 980m no município de Ibirité, e após um percurso de 3,7km é barrado, formando a Represa de Ibirité. Tem um comprimento de aproximadamente 18,3km e deságua na margem esquerda do ribeirão Sarzedo, na altitude 750m.

Ribeirão Sarzedo

O ribeirão Sarzedo nasce na altitude 900m próximo à refinaria Gabriel Passos da PETROBRÁS, no município de Ibirité, Minas Gerais. Após um percurso de 18,4km deságua na margem direita do rio Paraopeba, na altitude 710m. Seu principal afluente pela margem esquerda é o ribeirão Ibirité.

Rio Betim

O rio Betim nasce na altitude 920m na cidade de Contagem. A 17,5km da sua nascente é barrado, formando a represa de Vargem das Flores, passando em seguida pela cidade de Betim, desaguando na margem direita do rio Paraopeba, na altitude 705m, após um percurso de 36,5km. Tem uma bacia hidrográfica de 219km².

Rio Florestal - Ribeirão das Lajes - Ribeirão das Vacas

O ribeirão das Lajes nasce na altitude 960m com o nome de ribeirão das Vacas, na cidade de Florestal. Durante o seu percurso de 22,1km corta a BR-262, desaguando na margem esquerda do rio Paraopeba, na altitude 695m.

Rio Juatuba - Ribeirão dos Freitas - Ribeirão Serra Azul

O ribeirão Serra Azul é um dos formadores do rio Juatuba. Nasce com o nome de ribeirão dos Freitas, na serra Azul, município de Itaúna, Minas Gerais, a 1160m de altitude, e passa a se denominar Serra Azul após receber, pela margem esquerda, o córrego da Matinha ou Mato Frio. Após a confluência com o ribeirão Mateus Leme, passa a se denominar ribeirão Juatuba. Deságua no rio Paraopeba pela margem esquerda, na altitude 700m, após um percurso de 44,1km. Seus principais afluentes são,

pela margem esquerda, córrego Mato Frio, córrego do Jacu, córrego do Brejo e ribeirão Mateus Leme; e, pela margem direita, córrego Pedreira e ribeirão do Diogo.

Ribeirão Mato Frio - Também chamado de Córrego da Matinha ou Córrego Mato Frio

O ribeirão Mato Frio nasce na altitude 1090m, na cidade de Itaúna, Minas Gerais, e após um percurso de 6,2km deságua na margem esquerda no ribeirão Serra Azul, na altitude 870m.

Córrego Pedreira

O córrego Pedreira nasce na altitude 910m próximo à localidade de Gavião, município de Mateus Leme, Minas Gerais, e após um percurso de 5,4km, deságua na margem direita do ribeirão Serra Azul, na altitude 785m.

Córrego do Jacu

O córrego do Jacu nasce na serra da Saudade a 1090m de altitude, na cidade de Mateus Leme, Minas Gerais, e após um percurso de aproximadamente 6,8 km, deságua na margem esquerda do ribeirão Serra Azul, na altitude 775 m.

Ribeirão do Diogo - Córrego Contendas

O córrego Contendas é a denominação local do curso superior do ribeirão do Diogo, que tem sua nascente a 1180m de altitude na serra Azul, no município de Mateus Leme, Minas Gerais. Após um percurso de 17,2km deságua na margem direita do ribeirão Serra Azul, na altitude 760m. Seus principais afluentes são, pela margem direita, córregos Estiva, Potreiro e Curralinho.

Córrego Brumado - Córrego Mosquito - Córrego Vista Alegre

O córrego Brumado que tem também os nomes de córrego do Mosquito e Vista Alegre, nasce na serra Azul, município de Igarapé, Minas Gerais, nas proximidades do local denominado Moinho do Messias, a 1280m de altitude. Após um percurso de 8,2km deságua na margem esquerda do córrego Estiva, na altitude 795m.

Ribeirão da Estiva

O ribeirão da Estiva nasce na serra Azul a 1000m de altitude, no município de Igarapé, Minas Gerais, tendo como afluente, pela margem esquerda, o córrego Brumado, e após um percurso de 9,5km, deságua na margem direita do ribeirão do Diogo, na altitude 780m.

Córrego do Potreiro

O córrego do Potreiro nasce na altitude 860m, na cidade de Igarapé, Minas Gerais, e após um percurso de 4,2km, deságua na margem direita do ribeirão do Diogo, na altitude 770m.

Córrego Curralinho

O córrego Curralinho nasce na coata 840m, na cidade de Igarapé, Minas Gerais, e após um percurso de 6,9km, deságua na margem direita do ribeirão do Diogo, na altitude 770m.

Córrego do Brejo

O córrego do Brejo nasce na altitude 860m próximo à localidade de tijuco, no município de Mateus Leme, Minas Gerais, e deságua na margem esquerda do ribeirão Serra Azul, após um percurso de 5,5km.

Ribeirão Mateus Leme - Córrego Laranjeiras - Córrego Água Limpa - Ribeirão Soledade

O ribeirão Mateus Leme, um dos formadores do rio Juatuba, nasce com o nome de córrego Laranjeiras, em um dos contrafortes da serra Morro Grande, município de Itaúna, Minas Gerais, a aproximadamente 1100m de altitude. Toma sucessivamente as denominações de córrego Água Limpa, ribeirão Soledade e ribeirão Mateus Leme até sua confluência com o ribeirão Serra Azul. Os principais afluentes são, pela margem esquerda, ribeirão Sesmária; pela margem direita, córrego da Cachoeira. Tem um comprimento de 29km e altitude final de 720m.

Ribeirão Cachoeira ou Córrego Cachoeira

O ribeirão Cachoeira nasce na altitude 1030m, na cidade de Mateus Leme, Minas Gerais e, após um percurso de 8,9km, deságua na margem direita do ribeirão Soledade nas proximidades da cidade de Azurita, na altitude 830m.

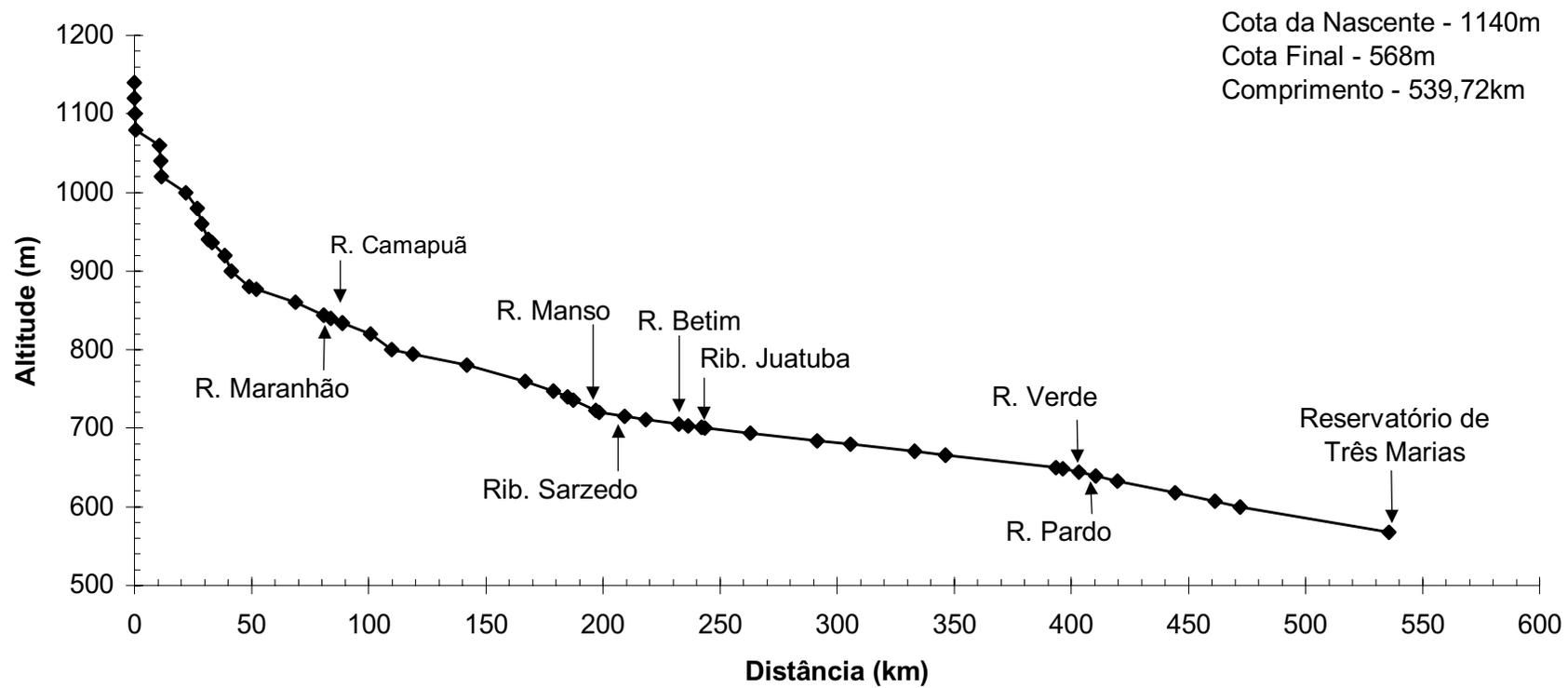
Córrego Arrudas

O córrego Arrudas, afluente do ribeirão Sesmaria pela margem direita, nasce nas proximidades da localidade de Arrudas, município de Itaúna, Minas Gerais, a 1000m de altitude e tem um comprimento de 4,8km.

Ribeirão Sesmaria - Córrego Sesmaria

O ribeirão Sesmaria nasce na altitude 1040m, na cidade de Mateus Leme, Minas Gerais, e após um percurso de 10,3km, deságua na margem esquerda do ribeirão Soledade, na altitude 820m. Seu principal afluente é o córrego Arrudas pela margem direita.

FIGURA I.2
Perfil longitudinal do Rio Paraopeba



ANEXO II

POSTOS FLUVIOMÉTRICOS NA BACIA DO RIO PARAOPEBA

POSTOS FLUVIOMÉTRICOS NA BACIA

DIAGRAMA UNIFILAR DO RIO PARAOPEBA

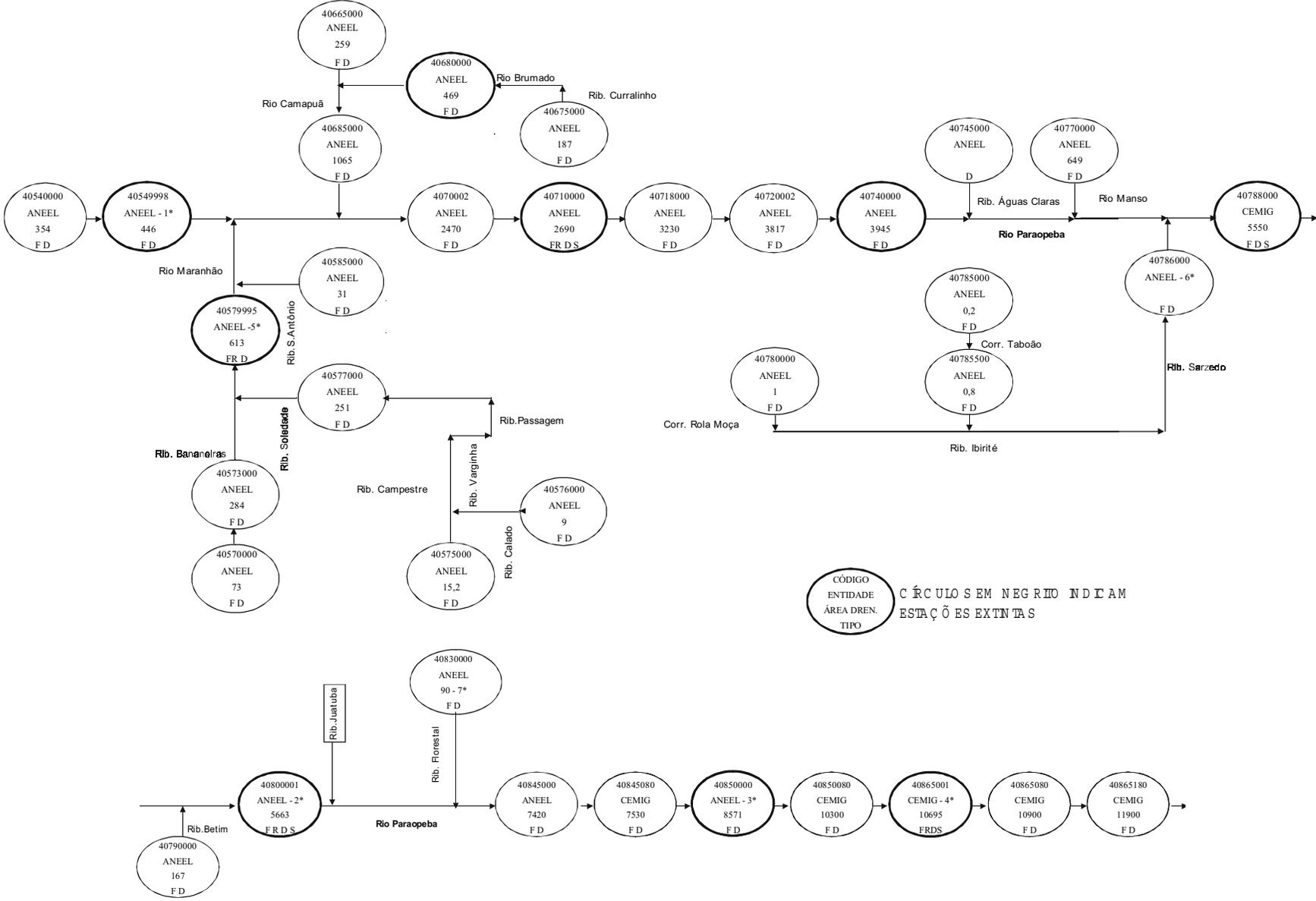
PERÍODO DE DADOS HISTÓRICOS EXISTENTES

TABELA II.1
Estações fluviométricas na bacia do Rio Paraopeba

CÓDIGO	ESTAÇÃO	RIO	ENTIDADE	INÍCIO	FIM
40540000	Jurema	Paraopeba	ANEEL	1938	1951
40550000	São Brás do Suaçuí Mont	Paraopeba	ANEEL	1956	1994
40573000	Joaquim Murtinho	Bananeiras	ANEEL	1942	1965
40577000	Ponte Jubileu	Rib. Soledade	ANEEL	1942	1965
40580000	Congonhas	Maranhão	ANEEL	1938	1994
40665000	Usina João Ribeiro	Camapuã	ANEEL	1938	1985
40675000	Cachoeira do Gordo	Rib. Curralinho	ANEEL	1941	1965
40680000	Entre Rios de Minas	Brumado	ANEEL	1938	1994
40700002	Jeceaba	Paraopeba	ANEEL	1925	1957
40710000	Belo Vale	Paraopeba	ANEEL	1965	1994
40720002	Melo Franco	Paraopeba	ANEEL	1935	1965
40740000	Alberto Flores	Paraopeba	ANEEL	1963	1994
40770000	Conceição do Itaguá	Manso	ANEEL	1965	1991
40788000	São Joaquim de Bicas	Paraopeba	CEMIG	1982	1994
40790000	Betim	Betim	ANEEL	1938	1965
40800001	Ponte Nova do Paraopeba	Paraopeba	CEMIG	1938	1994
40810350	Faz. Laranjeiras	Rib. Mato Frio	ANEEL	1976	1985
40810500	Jusante Carrapato	Rib. Serra Azul	ANEEL	1972	1975
40810800	Faz. Pasto Grande	Rib. Serra Azul	ANEEL	1978	1994
40811000	Serra Azul	Rib. Serra Azul	ANEEL	1972	1978
40811100	Jardim	Rib. Serra Azul	ANEEL	1978	1994
40811500	Faz. Sobradinho	Rib. Serra Azul	ANEEL	1973	1981
40812500	Varginha	Cór. Contendas	ANEEL	1978	1982
40813000	Faz. do Roque	Rib. do Diogo	ANEEL	1972	1977
40814000	Faz. Do Mosquito	Cór. Brumado	ANEEL	1972	1977
40815500	Vargem Grande	Rib. do Diogo	ANEEL	1972	1981
40816000	Faz. Curralinho	Cór. Curralinho	ANEEL	1972	1978
40817000	Candidos	Rib. Serra Azul	ANEEL	1973	1980
40818000	Juatuba	Rib. Serra Azul	ANEEL	1942	1965
40819500	Azurita-Cachoeira	Rib. Cachoeira	ANEEL	1979	1985
40820000	Azurita(Soledade)	Rib. Soledade	ANEEL	1972	1980
40821000	Faz. Sesmaria	Cór. Arrudas	ANEEL	1972	1975
40821998	Bom Jardim	Rib. Sesmaria	ANEEL	1983	1985
40822000	Azurita (Sesmaria)	Rib. Sesmaria	ANEEL	1972	1978
40822995	Mateus Leme (Aldeia)	Rib. Mateus Leme	ANEEL	1982	1994
40822998	Mateus Leme Montante	Rib. Mateus Leme	ANEEL	1979	1981
40823000	Mateus Leme	Rib. Mateus Leme	ANEEL	1973	1979
40823500	Suzana	Rib. Mateus Leme	ANEEL	1980	1994
40824000	Juatuba	Rib. Mateus Leme	ANEEL	1942	1965
40824001	Juatuba Jusante	Rib. Mateus Leme	ANEEL	1975	1978
40830000	Faz. Escola Florestal	Floresta	ANEEL	1942	1965
40845000	Santa Cruz	Paraopeba	ANEEL	1939	1946
40850000	Ponte Taquara	Paraopeba	ANEEL	1960	1994
40865001	Porto do Mesquita	Paraopeba	CEMIG	1977	1994
40870001	Barra do Paraopeba	São Francisco	ANEEL	1939	1954

Nota: Início e Fim se referem ao período disponível da série de vazões médias diárias obtidas da estação.

FIGURA II.1
Diagrama unifilar do Rio Paraopeba



ANEXO III

ANÁLISE DE FREQUÊNCIA LOCAL

CURVAS DE FREQUÊNCIA LOCAIS DE VAZÕES MÍNIMAS

III.1 Curvas de Frequência Locais de Vazões Mínimas

GRÁFICO III.1

Distribuição de probabilidade de Weibull aplicada às vazões mínimas anuais de São Brás do Suaçuí

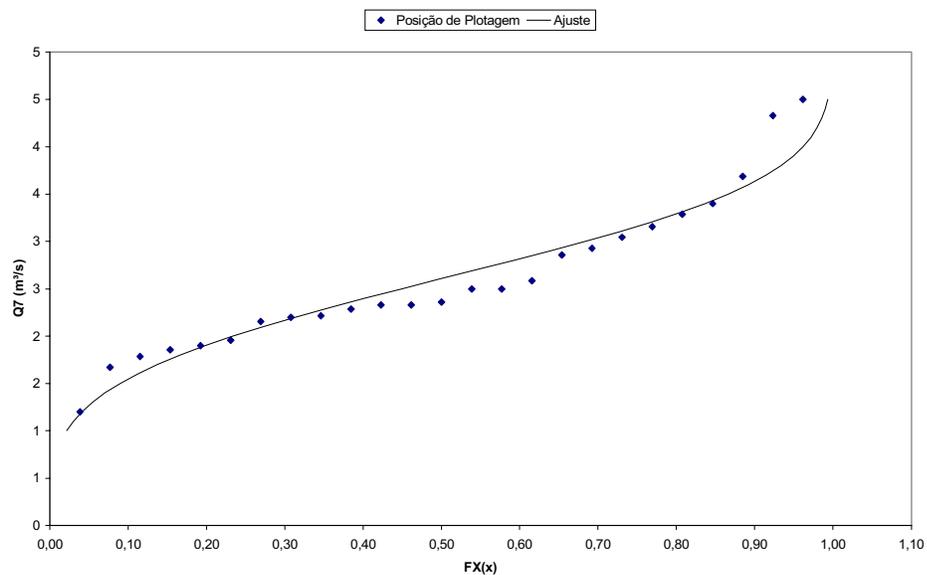


GRÁFICO III.2

Distribuição de probabilidade de Weibull aplicada às vazões mínimas anuais de Belo Vale

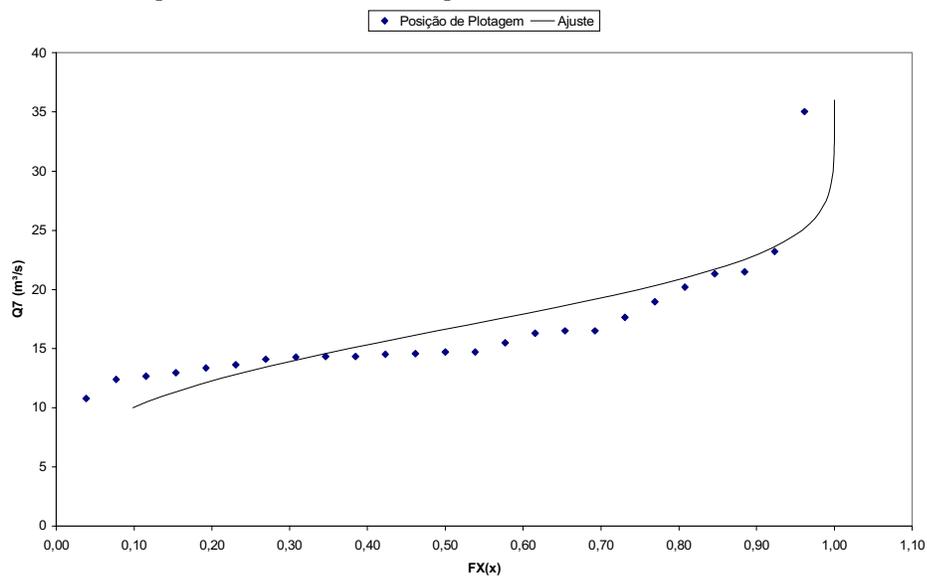
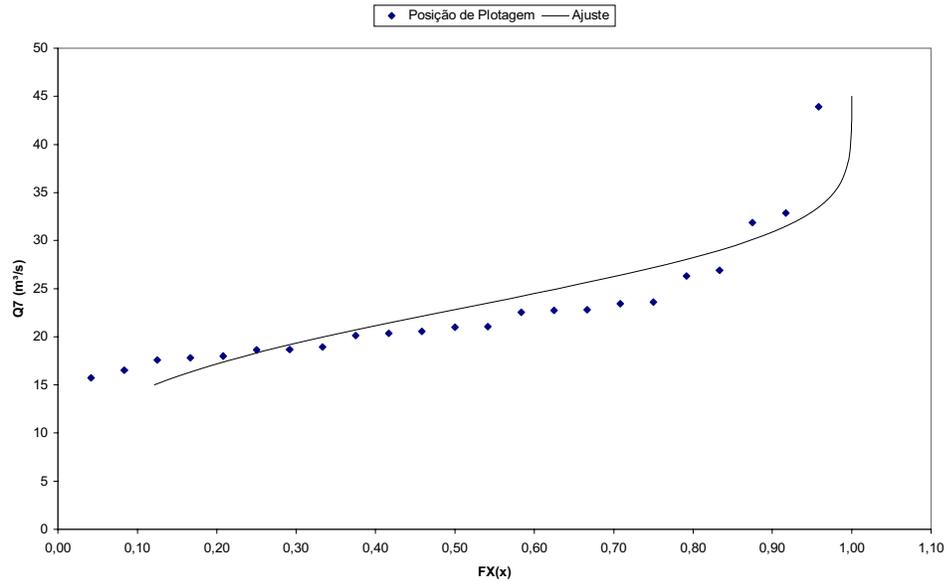


GRÁFICO III.3

Distribuição de probabilidade de Weibull aplicada às vazões mínimas anuais de Alberto Flores

**GRÁFICO III.4**

Distribuição de probabilidade de Weibull aplicada às vazões mínimas anuais de Ponte Nova do Paraopeba

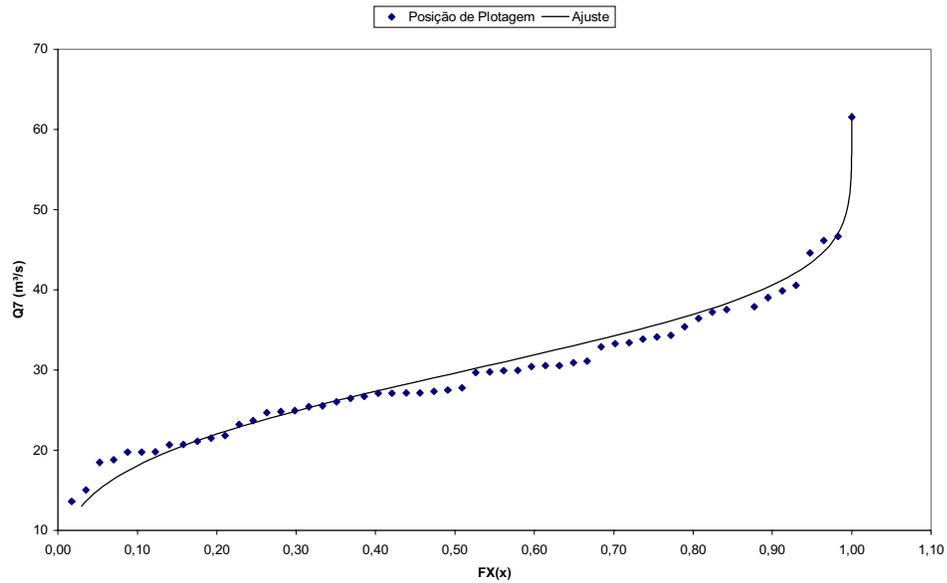


GRÁFICO III.5

Distribuição de probabilidade de Weibull aplicada às vazões mínimas anuais de Jardim

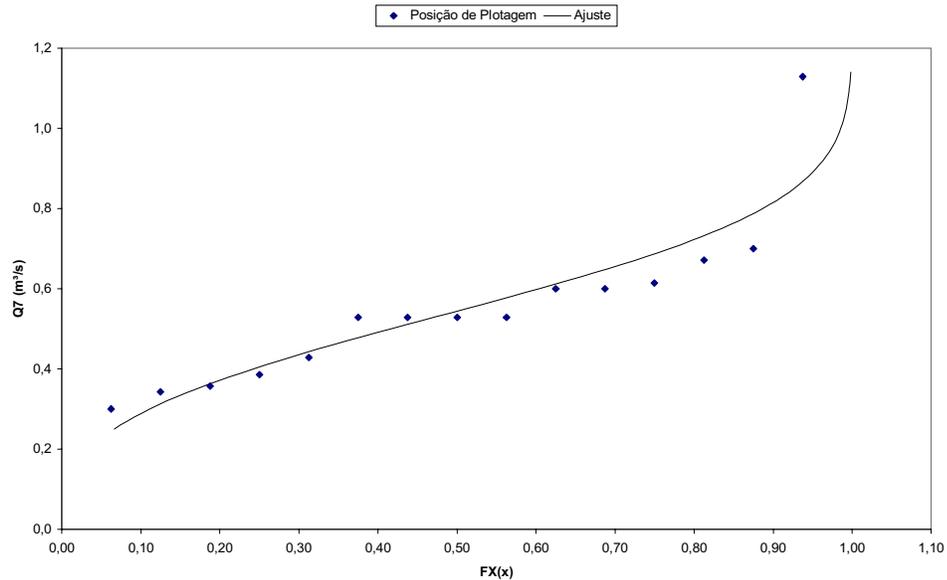
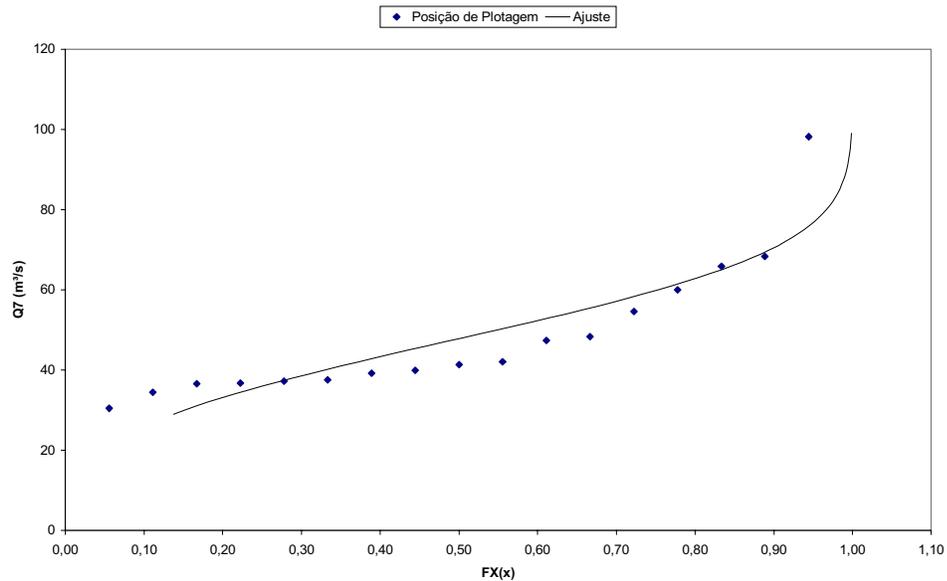


GRÁFICO III.6

Distribuição de probabilidade de Weibull aplicada às vazões mínimas anuais de Porto Mesquita



ANEXO IV

VAZÕES MÍNIMAS E DEMANDAS DOS USUÁRIOS

VAZÕES MÍNIMAS ANUAIS

CARACTERÍSTICAS ESTATÍSTICAS DAS VAZÕES MÍNIMAS PARA AS
DIVERSAS DURAÇÕES

DEMANDAS DE ÁGUAS SUPERFICIAIS POR CLASSE DE USUÁRIOS, POR
PONTO DE CONTROLE

TABELA IV.1
Vazões mínimas anuais para o Rio Paraopeba em São Brás do Suaçuí, em m³/s

DURAÇÃO (dias)							
ANO	1	3	5	7	10	15	30
1957	1,70	1,70	1,74	1,90	1,94	1,94	2,09
1958	2,10	2,10	2,12	2,21	2,53	2,55	2,90
1959	1,60	1,60	1,62	1,67	1,70	1,77	1,78
1960	1,70	1,70	1,70	1,79	1,88	1,95	2,40
1961	2,70	2,97	2,98	3,04	3,12	3,16	3,19
1962	2,30	2,47	2,50	2,50	2,57	2,68	2,75
1963	1,10	1,10	1,14	1,20	1,29	1,45	1,63
1966*	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,48	3,63
1976	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,57	2,91
1977	2,00	2,13	2,24	2,36	2,39	2,42	2,57
1978	2,20	2,23	2,30	2,33	2,36	2,41	2,67
1983	4,50	4,50	4,50	4,50	4,52	4,69	5,48
1984	1,80	1,90	2,06	2,16	2,23	2,39	2,90
1985	3,50	3,50	3,62	3,69	3,76	3,94	4,21
1986	1,80	1,83	2,00	2,20	2,21	2,22	2,46
1987	2,10	2,20	2,40	2,59	2,60	2,69	3,08
1988	2,10	2,23	2,30	2,33	2,35	2,38	2,48
1989	2,40	2,47	2,76	2,93	2,97	3,16	3,47
1990	2,10	2,10	2,20	2,29	2,35	2,40	2,86
1993	3,10	3,10	3,14	3,16	3,21	3,39	3,67
1994	1,80	1,80	1,82	1,86	1,93	2,03	2,21

(*) período incompleto, mas com dados suficientes no período seco

TABELA IV.2
Vazões mínimas anuais para o Rib. Serra Azul em Jardim, em m³/s

DURAÇÃO (dias)							
ANO	1	3	5	7	10	15	30
1979	0,70	0,70	0,70	0,70	0,73	0,83	0,91
1980	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,63	0,77
1981	0,40	0,40	0,42	0,43	0,44	0,44	0,49
1982	0,50	0,50	0,52	0,53	0,58	0,67	0,75
1983	1,00	1,07	1,08	1,13	1,18	1,26	1,41
1984	0,60	0,60	0,60	0,61	0,63	0,65	0,78
1985	0,60	0,63	0,66	0,67	0,71	0,78	1,01
1986	0,30	0,33	0,34	0,36	0,37	0,40	0,40
1987	0,30	0,30	0,32	0,34	0,36	0,39	0,46
1988	0,50	0,50	0,50	0,53	0,55	0,57	0,62
1990	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,32	0,32
1991	0,40	0,50	0,52	0,53	0,53	0,55	0,58
1992	0,60	0,60	0,60	0,60	0,63	0,66	0,69
1993	0,50	0,50	0,50	0,53	0,59	0,63	0,68
1994	0,30	0,37	0,36	0,39	0,41	0,40	0,44

TABELA IV.3
Vazões mínimas anuais para o Rio Paraopeba em Belo Vale, em m³/s

ANO	DURAÇÃO (dias)						
	1	3	5	7	10	15	30
1966*	17	18,0	18,2	18,94	19,46	20,03	21,71
1967	13,7	13,9	13,9	14,1	14,3	14,7	16,2
1968	15,5	16,0	16,2	16,5	17,2	18,7	20,1
1969	13,7	13,8	14,1	14,3	14,9	15,2	15,9
1970	14,0	14,0	14,1	14,4	14,8	15,4	16,4
1971	10,5	10,5	10,7	10,8	10,9	10,9	11,4
1972	14,0	14,0	14,2	14,7	15,5	16,3	19,1
1973	17,0	17,2	17,4	17,6	18,1	18,6	19,5
1974	11,6	12,3	12,7	13,0	13,1	13,2	13,9
1975	12,2	12,3	12,4	12,4	12,4	12,5	12,9
1976	14,0	14,0	14,2	14,3	14,6	15,3	18,0
1977	12,8	13,6	14,0	14,5	15,2	15,1	16,4
1978	14,0	14,0	14,4	14,7	15,1	15,5	17,7
1979	20,2	20,4	20,9	21,5	22,5	24,3	26,9
1980	16,5	16,5	16,5	16,5	16,6	18,0	22,8
1981	19,6	20,2	20,2	20,2	20,6	20,6	22,1
1982	23,2	23,2	23,2	23,2	23,4	23,9	24,7
1983	34,0	34,2	34,5	35,0	35,9	38,4	38,9
1984	15,0	15,7	15,5	16,3	17,0	18,1	21,7
1985	20,2	20,2	20,9	21,3	21,2	22,5	23,5
1986*	12,8	13,1	13,4	13,6	14,0	13,9	14,6
1987	14,0	14,0	14,2	14,6	15,1	15,9	18,8
1988	13,1	13,1	13,2	13,4	13,5	13,5	14,1
1989	14,5	15,2	15,5	15,5	15,7	16,1	17,7
1990	12,2	12,5	12,6	12,7	13,0	14,0	15,7

(*) período incompleto, mas com dados suficientes no período seco

TABELA IV.4
Vazões mínimas anuais para o Rio Paraopeba em Alberto Flores, em m³/s

ANO	DURAÇÃO (dias)						
	1	3	5	7	10	15	30
1968	21,0	21,4	22,2	22,6	22,8	22,9	24,3
1969	15,4	15,7	15,7	15,7	15,9	16,2	16,8
1970	17,5	17,5	17,8	18,0	18,2	18,5	19,6
1972	18,0	18,0	18,3	18,7	19,0	19,5	22,5
1973	20,3	20,6	20,7	21,0	21,4	22,2	22,8
1975	16,4	16,4	16,5	16,5	16,6	16,6	17,8
1976	17,0	17,3	17,5	17,6	17,9	18,5	21,1
1977	16,7	17,3	18,1	18,6	18,8	19,1	21,1
1978	19,5	19,8	20,1	20,4	20,7	21,3	23,4
1979	31,5	31,7	32,2	32,9	33,7	36,3	39,0
1980	23,5	23,5	23,6	23,6	23,9	26,2	30,4
1981	22,2	22,3	22,5	22,8	23,1	23,3	25,2
1982	26,5	26,8	26,9	26,9	27,0	27,4	28,2
1983	43,2	43,2	43,6	43,9	44,6	46,8	49,2
1984	22,6	22,6	23,3	23,5	23,8	25,0	25,9
1985*	30,0	30,8	31,4	31,9	32,0	33,3	36,1
1986*	19,9	20,3	20,7	21,0	21,5	21,8	22,1
1987	17,7	19,8	20,2	20,5	20,9	21,8	24,0
1988	17,4	17,5	17,7	17,8	18,2	18,7	19,9
1989*	18,0	18,3	18,6	18,9	19,4	19,6	20,9
1991*	22,2	22,5	22,6	22,7	23,1	23,6	25,8
1993	25,5	26,0	26,3	26,3	26,7	27,5	29,1
1994	20,0	20,0	20,0	20,1	20,3	20,6	21,7

(*) período incompleto, mas com dados suficientes no período seco

TABELA IV.5
Vazões mínimas anuais para o Rio Paraopeba em Ponte Nova do Paraopeba, em m³/s

ANO	DURAÇÃO (dias)						
	1	3	5	7	10	15	30
1938	43,5	44,3	46,6	46,7	47,4	47,8	52,8
1939	36,7	37,2	37,7	37,9	38,4	39,2	41,7
1940	33,4	33,4	33,4	33,4	33,6	33,8	34,0
1941	36,7	37,3	38,1	39,0	41,5	43,2	45,8
1942	31,8	32,6	32,9	33,3	33,6	33,9	34,7
1943	42,7	44,3	45,5	46,1	46,6	47,9	51,5
1944	30,2	30,2	30,4	30,5	30,7	31,2	32,5
1945	34,2	34,5	34,8	35,4	36,1	37,0	39,9
1946	30,2	30,2	30,4	30,5	30,8	31,4	33,4
1947	35,0	35,3	35,8	36,4	38,0	40,0	41,7
1948	24,9	25,6	26,0	26,0	26,2	26,3	28,9
1949	36,7	37,0	37,2	37,5	37,8	38,5	40,2
1950	28,6	29,4	29,7	30,0	30,3	30,6	31,9
1951	27,0	27,0	27,0	27,1	27,7	28,6	31,9
1952	32,6	33,1	33,2	34,1	36,0	37,0	38,0
1953	24,2	24,9	25,6	26,5	27,3	27,8	28,6
1955	14,6	14,8	15,0	15,0	15,3	15,4	16,0
1956	14,6	16,4	18,8	20,7	22,5	22,8	25,0
1957	24,9	25,6	26,5	27,1	27,9	28,4	31,5
1958	29,4	30,2	30,7	31,1	31,5	31,7	32,3
1959	19,4	19,6	19,6	19,7	20,0	20,3	20,9
1960	20,7	21,2	21,5	21,8	22,2	22,8	25,6
1961	28,6	28,6	28,8	29,7	31,0	31,9	32,0
1962	26,3	26,5	27,0	27,5	27,7	27,8	28,3
1963	17,0	17,6	18,2	18,5	18,8	19,1	19,3
1964	19,4	19,4	19,5	19,8	20,3	20,6	22,0
1965	35,9	36,8	37,1	37,2	37,5	38,3	40,8
1966	34,3	34,3	34,3	34,3	34,5	35,1	36,8
1967	26,3	26,5	26,9	27,1	27,7	28,3	30,4
1968	28,5	28,5	29,2	29,7	31,8	32,5	35,0
1969	19,4	19,4	19,4	19,8	20,6	21,2	21,8
1970	26,3	26,5	27,0	27,3	27,8	28,4	30,5
1971	13,3	13,3	13,4	13,6	13,8	14,3	15,0
1972	26,3	26,3	26,4	26,7	27,2	28,4	32,9
1973*	29,3	29,3	29,5	29,9	30,6	31,9	34,1
1974	24,2	24,4	24,6	24,7	24,8	25,2	26,7
1975	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	20,8	22,1
1976	24,6	25,1	25,2	25,5	25,8	26,6	29,2
1977	18,1	21,7	23,0	23,7	26,0	25,7	29,5
1978	24,6	25,1	25,6	27,1	28,3	28,5	31,1
1979	39,0	39,0	39,7	40,5	42,0	45,1	50,2
1980	29,4	30,2	30,5	30,4	31,0	33,9	38,8
1981	24,4	24,4	24,5	24,8	25,7	25,7	28,2
1982	33,1	33,1	33,4	33,8	34,1	34,2	35,2
1983	59,8	60,1	60,9	61,5	62,4	64,8	66,7
1984	25,6	26,6	27,5	27,8	28,5	30,3	35,7

(*) período incompleto, mas com dados suficientes no período seco

TABELA IV.5 (Continuação)Vazões mínimas anuais para o Rio Paraopeba em Ponte Nova do Paraopeba, em m³/s

ANO	DURAÇÃO (dias)						
	1	3	5	7	10	15	30
1985	41,9	43,1	44,1	44,6	45,3	47,1	53,1
1986*	25,6	25,6	26,0	26,2	26,6	26,8	27,9
1987	23,8	24,4	25,0	25,4	25,9	27,4	33,9
1988	22,0	22,6	22,8	23,2	23,6	23,9	25,1
1989	24,4	24,4	24,5	24,9	26,3	26,7	30,3
1990	20,2	20,8	21,3	21,5	21,8	22,2	25,1
1991*	32,4	32,4	32,7	32,9	33,4	34,1	35,5
1992*	34,8	36,1	38,7	39,9	39,9	40,5	41,6
1993	29,3	30,0	30,6	30,9	31,7	33,0	34,7
1994	19,5	20,4	20,9	21,1	21,3	21,9	23,1

(*) período incompleto, mas com dados suficientes no período seco

TABELA IV.6Vazões mínimas anuais para o Rio Paraopeba em Porto Mesquita, em m³/s

ANO	DURAÇÃO (dias)						
	1	3	5	7	10	15	30
1978	37,5	37,8	38,7	39,2	39,4	40,1	44,1
1979	62,8	63,4	64,6	65,9	68,4	74,5	78,4
1980	40,1	40,7	41,0	41,3	43,2	45,5	52,5
1981	39,2	39,2	39,4	40,0	40,7	41,7	45,9
1982	59,2	59,2	59,6	60,0	60,0	60,3	62,1
1983	95,7	96,4	97,5	98,2	99,3	102,3	106,7
1984	40,5	41,4	41,8	42,1	42,9	44,8	55,5
1985	64,5	66,0	67,2	68,4	70,2	72,5	80,1
1986	34,9	35,6	36,0	36,6	37,3	38,7	39,9
1987	34,9	36,1	36,9	37,2	38,0	39,6	46,7
1988	35,6	35,8	36,3	36,7	37,1	37,7	40,2
1989	35,6	36,3	36,9	37,5	39,0	39,7	44,2
1990	29,4	29,8	30,2	30,4	30,8	31,8	36,1
1991	48,0	48,0	48,0	48,3	49,0	50,0	51,9
1992	52,8	53,3	53,9	54,6	55,6	56,5	58,2
1993	45,6	46,4	46,9	47,3	48,2	48,8	51,3
1994	33,5	34,2	34,3	34,4	34,6	35,2	37,0

TABELA IV.7
Vazões mínimas anuais para o Rio São Francisco em Porto Andorinha, em m³/s

ANO	DURAÇÃO (dias)						
	1	3	5	7	10	15	30
1958	56,00	56,00	56,72	57,20	58,24	58,29	60,11
1959	36,00	36,73	37,32	37,57	37,76	38,35	40,70
1960	43,80	44,17	44,46	45,07	46,15	47,91	52,37
1961	47,20	47,20	47,20	47,51	48,08	48,83	50,40
1962	63,40	64,60	65,08	65,29	65,80	67,00	70,68
1963	30,60	31,70	32,36	32,96	33,77	35,99	39,87
1964	30,60	30,97	31,26	31,39	31,92	32,80	35,17
1965	69,40	70,60	71,08	71,80	73,15	74,83	79,26
1966	63,40	63,40	63,40	64,09	64,84	66,04	68,77
1967	59,70	59,83	60,44	61,03	61,69	62,85	65,02
1968	52,00	53,33	54,08	55,31	57,14	57,73	60,69
1969	43,80	43,80	43,80	43,80	43,94	44,13	45,40
1970	54,00	54,00	54,48	54,86	55,32	56,21	60,33
1971	30,60	30,60	30,60	30,60	30,76	30,97	31,91
1972	61,00	61,93	62,20	62,54	63,16	64,20	69,26
1973	58,70	59,43	59,58	59,99	60,53	62,05	64,32
1974	50,00	50,00	50,00	50,00	50,20	50,93	52,41
1975	43,00	43,00	43,00	43,29	43,70	44,13	45,73
1976	58,70	58,87	59,10	59,27	59,80	61,13	70,49
1977	57,40	57,97	59,18	60,20	61,85	62,07	63,21
1978	55,20	55,80	56,32	56,67	57,27	58,51	62,63
1979	74,40	75,57	76,24	77,19	79,48	85,30	92,68
1980	54,20	54,80	55,68	56,20	57,04	58,29	63,83
1981	52,10	52,10	52,46	53,03	53,50	53,97	55,94
1982	80,00	80,37	81,34	82,41	83,26	83,89	86,64
1983	140,00	140,67	141,00	142,29	144,80	152,07	160,70
1984	60,80	61,13	61,68	62,40	63,85	67,37	77,81
1985	70,40	70,73	71,66	72,37	73,50	76,10	87,16
1986	55,30	56,33	56,96	57,23	58,43	59,07	61,63
1987	55,30	55,63	56,34	57,09	58,14	60,93	70,07
1988	47,20	47,53	48,40	49,20	49,80	50,33	52,08
1989	53,20	53,53	54,24	54,54	55,72	58,29	62,50
1990	47,20	48,20	49,00	49,77	51,10	53,93	55,27
1991	69,50	71,03	72,04	72,31	72,52	72,90	74,90
1992	91,50	92,80	93,84	94,10	94,75	97,19	100,50

TABELA IV.8
Quantis das vazões mínimas anuais, para as diversas durações, em m³/s

ESTAÇÃO	QUANTIL	DURAÇÃO (dias)						
		1	3	5	7	10	15	30
São Brás	Q25	1,80	1,83	2,00	2,16	2,21	2,22	2,46
	Q50	2,10	2,20	2,30	2,33	2,39	2,42	2,86
	Q75	2,50	2,50	2,76	2,93	2,97	3,16	3,19
Belo Vale	Q25	13,10	13,60	13,94	14,10	14,32	14,68	15,85
	Q50	14,00	14,00	14,20	14,71	15,23	15,90	18,01
	Q75	17,00	17,17	17,40	17,64	18,05	18,72	21,71
Alberto Flores	Q25	17,60	17,75	18,21	18,64	18,92	19,32	21,10
	Q50	20,00	20,30	20,66	20,99	21,43	21,83	23,37
	Q75	23,05	23,05	23,43	23,54	23,88	25,60	27,05
P.N. Paraopeba	Q25	24,10	24,40	24,52	24,80	25,78	25,71	28,10
	Q50	26,65	26,80	27,27	27,63	28,40	29,44	32,19
	Q75	33,18	33,20	33,41	33,89	34,22	34,39	37,09
Jardim	Q25	0,35	0,38	0,39	0,41	0,43	0,42	0,47
	Q50	0,50	0,50	0,52	0,53	0,58	0,63	0,68
	Q75	0,60	0,60	0,60	0,61	0,63	0,66	0,78
P. Mesquita	Q25	35,60	36,07	36,86	37,20	37,98	39,61	44,07
	Q50	40,10	40,70	40,98	41,33	42,91	44,82	51,31
	Q75	52,80	53,33	53,92	54,63	55,60	56,53	58,20
P. Andorinha	Q25	60,25	60,48	61,06	61,71	62,51	63,52	69,67
	Q50	63,40	64,60	65,08	65,29	65,80	67,37	74,90
	Q75	72,40	73,30	74,14	74,78	76,49	80,00	86,90

TABELA IV.9
Médias das vazões mínimas anuais, para as diversas durações, em m³/s

ESTAÇÃO	DURAÇÃO (dias)						
	1	3	5	7	10	15	30
São Brás	2,31	2,36	2,43	2,50	2,56	2,65	2,92
Belo Vale	15,81	16,07	16,29	16,56	16,95	17,62	19,23
Alberto Flores	21,83	22,13	22,46	22,70	23,01	23,76	25,52
P.N. Paraopeba	28,22	28,70	29,21	29,61	30,28	31,03	33,24
Jardim	0,51	0,53	0,53	0,55	0,57	0,61	0,69
Porto Mesquita	46,46	47,04	47,59	48,12	49,04	50,56	54,75
P. Andorinhas	57,59	58,12	58,64	59,16	60,03	61,56	65,44

TABELA IV.10
Desvios padrão das vazões mínimas anuais, para as diversas durações, em m³/s

ESTAÇÃO	DURAÇÃO (dias)						
	1	3	5	7	10	15	30
São Brás	0,775	0,775	0,768	0,749	0,738	0,764	0,858
Belo Vale	4,860	4,855	4,876	4,944	5,061	5,534	5,638
Alberto Flores	6,312	6,285	6,328	6,389	6,483	7,026	7,423
P.N. Paraopeba	8,313	8,313	8,471	8,528	8,636	9,028	9,607
Jardim	0,191	0,195	0,196	0,201	0,212	0,233	0,277
Porto Mesquita	16,571	16,637	16,844	17,030	17,310	18,109	18,484
P. Andorinhas	19,567	19,702	19,788	19,959	20,291	21,344	22,786

TABELA IV.11
Vazões mínimas Q_{t,T_r} , para as estações fluviométricas, em m^3/s

Estação	DURAÇÃO t (dias)	TEMPO DE RETORNO T_r (anos)				
		5	7	10	15	30
Jardim	3	1,05	0,94	0,84	0,74	0,60
	5	1,08	0,97	0,87	0,77	0,62
	7	1,10	0,99	0,89	0,79	0,64
	10	1,12	1,01	0,91	0,80	0,66
	15	1,14	1,02	0,92	0,81	0,66
	30	1,19	1,07	0,97	0,86	0,71
São Brás do Suaçuí	3	3,19	2,86	2,56	2,26	1,83
	5	3,28	2,95	2,64	2,33	1,90
	7	3,35	3,01	2,70	2,39	1,95
	10	3,42	3,08	2,76	2,45	2,00
	15	3,47	3,12	2,79	2,47	2,02
	30	3,63	3,27	2,94	2,62	2,15
Belo Vale	3	12,69	11,38	10,17	8,98	7,29
	5	13,05	11,72	10,49	9,28	7,55
	7	13,31	11,97	10,73	9,51	7,75
	10	13,58	12,22	10,97	9,73	7,95
	15	13,78	12,39	11,11	9,83	8,02
	30	14,41	13,01	11,70	10,41	8,54
Alberto Flores	3	16,61	14,90	13,32	11,76	9,54
	5	17,09	15,35	13,74	12,15	9,88
	7	17,44	15,68	14,06	12,45	10,15
	10	17,78	16,01	14,37	12,74	10,41
	15	18,04	16,22	14,54	12,88	10,50
	30	18,87	17,03	15,33	13,63	11,19
Ponte Nova do Paraopeba	3	21,96	19,70	17,61	15,55	12,61
	5	22,59	20,29	18,16	16,06	13,06
	7	23,05	20,72	18,58	16,45	13,42
	10	23,51	21,16	18,99	16,84	13,76
	15	23,85	21,45	19,22	17,02	13,88
	30	24,95	22,51	20,26	18,01	14,79
Porto Mesquita	3	33,76	30,28	27,07	23,90	19,39
	5	34,72	31,18	27,92	24,69	20,08
	7	35,43	31,86	28,56	25,29	20,63
	10	36,14	32,53	29,19	25,88	21,15
	15	36,66	32,97	29,55	26,16	21,33
	30	38,35	34,61	31,14	27,69	22,74

NOTA: Valores estimados pela análise regional de frequência, Capítulo 4.

TABELA IV.12

Demandas das classes de usuários para o ano de 1996, por ponto de controle - PC, em l/s

PC	ESTAÇÃO	MUNICÍPIO	POP. RURAL	POP.URBANA	PECUÁRIA	AGRICULTURA IND.	E COM.
1	São Brás do Suaçuí	Casa Grande (50%)	0,83	0,93	1,42	58,25	0,00
		Cons. Lafaiete (12%)	0,99	24,50	0,79	36,68	2,37
		Cristiano Otoni	1,59	6,85	3,15	119,50	0,56
		Queluzita	1,83	1,16	2,69	320,00	0,00
		S.Brás do Suaçuí	0,87	5,28	3,37	0,00	0,27
Sub-total			6,11	38,72	11,42	534,43	3,20
2	Belo Vale	Casa Grande (50%)	0,83	0,92	1,41	58,25	0,00
		Cons. Lafaiete (88%)	7,25	179,65	5,81	269,02	17,41
		Congonhas	9,31	74,22	3,10	3,00	0,00
		Itaverava *	0,27	0,00	0,23	32,50	0,01
		Lagoa Dourada *	4,49	0,00	7,01	311,70	0,00
		Resende Costa *	0,92	0,00	2,95	2,30	0,23
		Entre Rios de Minas	6,93	15,90	11,73	17,00	1,51
		Ouro Branco	3,38	59,57	1,21	299,30	4,16
		Ouro Preto *	0,97	0,00	0,49	3,40	0,00
		Desterro de Entre Rios *	2,92	0,00	4,86	51,70	0,00
		Jeceaba	4,23	6,09	5,17	0,00	0,00
		Belo Vale (50%)	3,10	2,53	3,91	13,50	0,00
Sub-total			44,60	338,88	47,88	1061,67	23,32

(*) Municípios com sede fora da bacia

TABELA IV.12 (Continuação)
 Demandas das classes de usuários para o ano de 1996, por ponto de controle - PC, em l/s

PC	ESTAÇÃO	MUNICÍPIO	POP. RURAL	POP.URBANA	PECUÁRIA	AGRICULTURA	IND. E COM.
3	Ponte Nova do Paraopeba	Belo Vale (50%)	3,09	2,52	3,91	13,50	0,00
		Moeda	3,90	2,82	3,59	5,00	0,45
		Piedade dos Gerais	3,85	2,57	5,66	17,00	0,00
		Crucilândia	3,23	3,99	7,25	31,00	0,52
		Bonfim	6,70	4,82	9,48	58,00	0,51
		Brumadinho	14,20	32,66	16,47	186,00	4,32
		Rio Manso	2,39	5,18	3,22	449,00	0,20
		Itatiaiuçú	2,47	9,50	3,53	194,40	0,24
		Ibirité	0,79	245,86	3,41	1206,00	9,22
		Sarzedo	1,58	26,47	0,00	0,00	1,78
		Mário Campos	1,78	12,12	0,00	0,00	0,54
		São Joaquim de Bicas	4,10	23,62	0,00	0,00	3,27
		Igarapé	10,49	54,42	4,99	136,00	3,27
		Mateus Leme (50%)	2,70	19,49	3,01	695,50	1,97
		Betim (50%)	9,00	273,71	3,44	139,50	105,97
		Contagem (50%)	0,00	128,32	0,25	7,25	34,71
		Juatuba (50%)	3,10	9,09	0,00	22,50	16,20
Sub-total			73,37	857,16	68,21	3160,65	183,17

TABELA IV.12 (Continuação)
 Demandas das classes de usuários para o ano de 1996, por ponto de controle - PC, em l/s

PC	ESTAÇÃO	MUNICÍPIO	POP. RURAL	POP.URBANA	PECUÁRIA	AGRICULTURA	IND. E COM.
4	Ponte da Taquara	Mateus Leme (50%)	2,69	19,49	3,01	695,50	1,96
		Betim (50%)	9,01	273,70	3,43	139,50	105,96
		Contagem (50%)	0,00	128,31	0,25	7,25	34,71
		Juatuba (50%)	3,09	9,08	0,00	22,50	16,19
		Itaúna *	0,66	0,00	1,61	15,20	0,00
		Esmeraldas	33,08	18,74	22,56	677,70	0,96
		Pará de Minas *	3,13	0,00	15,59	143,30	10,98
		Florestal	2,35	7,16	7,49	72,20	0,68
		São José da Varginha	2,30	2,64	7,57	325,00	0,00
		Pequi	1,73	4,54	6,33	328,00	0,00
		Cachoeira da Prata	0,28	7,11	1,47	57,00	0,00
		Inhaúma	2,46	5,90	9,49	389,00	0,00
		Sete Lagoas *	1,93	0,00	8,55	244,90	0,00
		Fortuna de Minas	1,31	2,71	5,35	185,00	0,00
Sub-total			64,02	479,38	92,70	3302,05	171,44
5	Porto Mesquita	Caetanópolis	1,64	12,97	2,94	57,00	0,73
		Paraopeba	3,57	36,24	8,21	679,00	3,21
		Maravilhas	2,14	7,76	5,04	161,20	0,50
		Papagaios *	4,29	0,00	11,06	440,70	0,00
		Curvelo (10%) *	0,47	0,00	1,60	91,09	0,46
		Pompéu (10%) *	0,28	0,00	2,06	22,71	0,24
		Sub-total	12,39	56,97	30,91	1451,70	5,14
TOTAL			200,49	1771,11	251,12	9510,50	386,27

(*) Municípios com sede fora da bacia

Fonte: SCHVARTZMAN, 2000

TABELA IV.13

Demandas das classes de usuários para o ano de 2006, por ponto de controle - PC, em l/s

PC	ESTAÇÃO	MUNICÍPIO	POP. RURAL	POP.URBANA	PECUÁRIA	AGRICULTURA	IND. E COM.
1	São Brás do Suaçuí	Casa Grande (50%)	0,86	0,97	1,63	78,28	0,00
		Cons. Lafaiete (12%)	1,15	28,50	0,91	49,29	2,69
		Cristiano Ottoni	1,84	7,95	3,61	160,60	0,64
		Queluzita	2,09	1,32	3,08	430,05	0,00
		S.Brás do Suaçuí	0,85	5,17	3,86	0,00	0,31
Sub-total			6,80	43,91	13,09	718,22	3,63
2	Belo Vale	Casa Grande (50%)	0,87	0,96	1,62	78,28	0,00
		Cons. Lafaiete (88%)	8,43	208,97	6,66	361,54	19,77
		Congonhas	10,78	85,92	3,55	4,03	0,00
		Itaverava *	0,28	0,00	0,26	43,68	0,01
		Lagoa Dourada *	5,25	0,00	8,03	418,89	0,00
		Resende Costa *	0,93	0,00	3,38	3,09	0,26
		Entre Rios de Minas	7,33	19,22	13,44	22,85	1,71
		Ouro Branco	3,84	67,72	1,39	402,23	4,72
		Ouro Preto *	0,95	0,00	0,56	4,57	0,00
		Desterro de Entre Rios *	2,77	0,00	5,57	69,48	0,00
		Jeceaba	3,10	4,47	5,92	0,00	0,00
		Belo Vale (50%)	2,87	2,35	4,48	18,14	0,00
Sub-total			47,40	389,61	54,86	1426,78	26,48

(*) Municípios com sede fora da bacia

TABELA IV.13 (Continuação)
 Demandas das classes de usuários para o ano de 2006, por ponto de controle - PC, em l/s

PC	ESTAÇÃO	MUNICÍPIO	POP. RURAL	POP.URBANA	PECUÁRIA	AGRICULTURA	IND. E COM.
3	Ponte Nova do Paraopeba	Belo Vale (50%)	2,87	2,34	4,48	18,14	0,00
		Moeda	4,36	3,16	4,11	6,72	0,51
		Piedade dos Gerais	3,44	2,30	6,49	22,85	0,00
		Crucilândia	2,73	3,37	8,31	41,66	0,59
		Bonfim	6,25	4,50	10,86	77,95	0,58
		Brumadinho	21,32	49,02	18,87	249,97	4,91
		Rio Manso	2,17	4,70	3,69	603,41	0,23
		Itatiaiuçú	2,95	11,34	4,04	261,25	0,27
		Ibirité	1,40	436,48	3,91	1620,74	10,47
		Sarzedo	2,56	42,93	0,00	0,00	2,02
		Mário Campos	3,40	26,46	0,00	0,00	0,61
		São Joaquim de Bicas	9,87	56,85	0,00	0,00	3,71
		Igarapé	6,11	31,71	5,72	182,77	3,71
		Mateus Leme (50%)	3,60	25,98	3,45	934,68	2,24
		Betim (50%)	17,99	547,06	3,94	187,47	120,34
		Contagem (50%)	0,00	146,46	0,29	9,74	39,42
Juatuba (50%)	5,09	14,91	0,00	30,24	18,40		
Sub-total			96,11	1409,56	78,16	4247,60	208,01

TABELA IV.13 (Continuação)
 Demandas das classes de usuários para o ano de 2006, por ponto de controle - PC, em l/s

PC	ESTAÇÃO	MUNICÍPIO	POP. RURAL	POP.URBANA	PECUÁRIA	AGRICULTURA	IND. E COM.
4	Ponte da Taquara	Mateus Leme (50%)	3,59	25,98	3,45	934,68	2,23
		Betim (50%)	18,01	547,07	3,93	187,47	120,33
		Contagem (50%)	0,00	146,47	0,29	9,74	39,42
		Juatuba (50%)	5,07	14,90	0,00	30,24	18,39
		Itaúna *	0,73	0,00	1,84	20,43	0,00
		Esmeraldas	61,21	34,68	25,85	910,76	1,09
		Pará de Minas *	3,80	0,00	17,86	192,58	12,47
		Florestal	2,53	7,69	8,58	97,03	0,77
		São José da Varginha	2,68	3,07	8,67	436,77	0,00
		Pequi	2,00	5,24	7,25	440,80	0,00
		Cachoeira da Prata	0,28	7,16	1,68	76,60	0,00
		Inhaúma	2,30	5,52	10,87	522,78	0,00
		Sete Lagoas *	2,50	0,00	9,80	329,12	0,00
		Fortuna de Minas	1,24	2,56	6,13	248,62	0,00
Sub-total			105,92	800,34	106,22	4437,62	194,69
5	Porto do Mesquita	Caetanópolis	1,67	13,22	3,37	76,60	0,83
		Paraopeba	4,08	41,41	9,41	912,51	3,65
		Maravilhas	2,62	9,51	5,77	216,64	0,57
		Papagaios *	6,65	0,00	12,67	592,26	0,00
		Curvelo (10%) *	0,57	0,00	1,83	122,42	0,52
		Pompéu (10%) *	0,25	0,00	2,36	30,52	0,27
		Sub-total	15,85	64,13	35,42	1950,94	5,84
Total			272,07	2707,55	287,73	12781,16	438,65

(*) Municípios com sede fora da bacia

Fonte: SCHVARTZMAN, 2000

ANEXO V

AVALIAÇÕES DE RISCOS DE NÃO ATENDIMENTO EM RELAÇÃO ÀS DEMANDAS DOS USUÁRIOS DA BACIA, E À DISPONIBILIDADE HÍDRICA

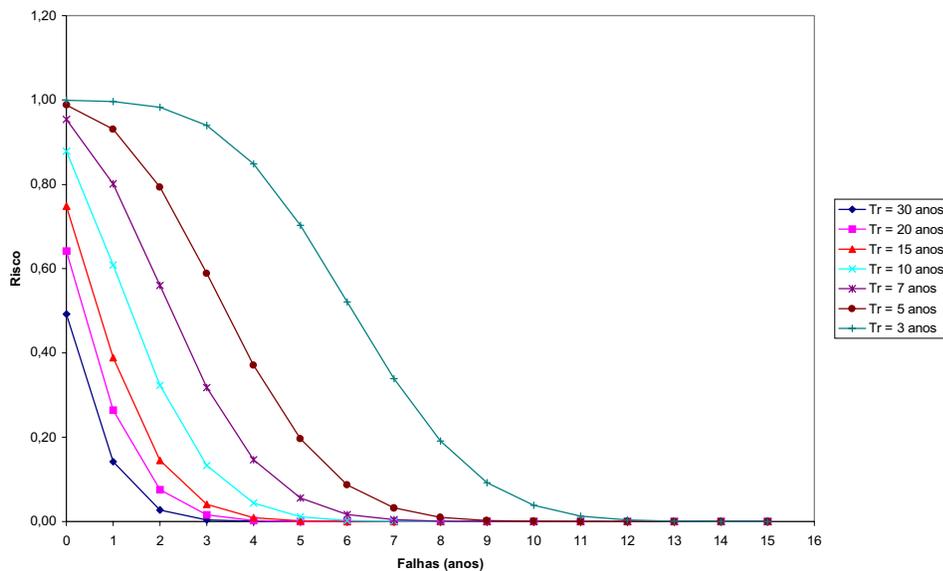
RISCO ASSOCIADO AO TEMPO DE RETORNO

RISCO ASSOCIADO À DURAÇÃO

RISCO ASSOCIADO AO COEFICIENTE k

GRÁFICO V.3

Riscos, para cada tempo de retorno, de haver mais que f anos de falha no intervalo de 20 anos de concessão da outorga

**GRÁFICO V.4**

Riscos, para cada tempo de retorno, de haver mais que f anos de falha no intervalo de 15 anos de concessão da outorga

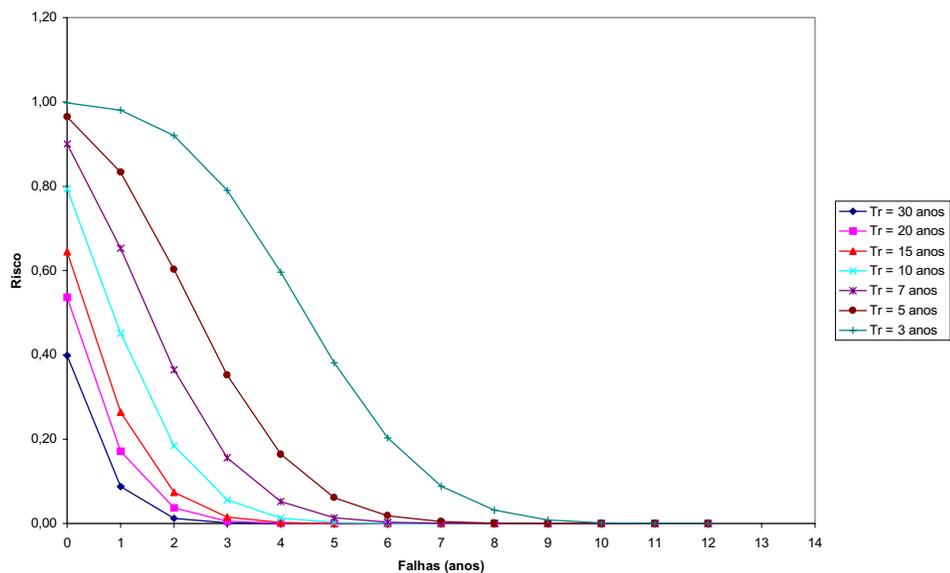
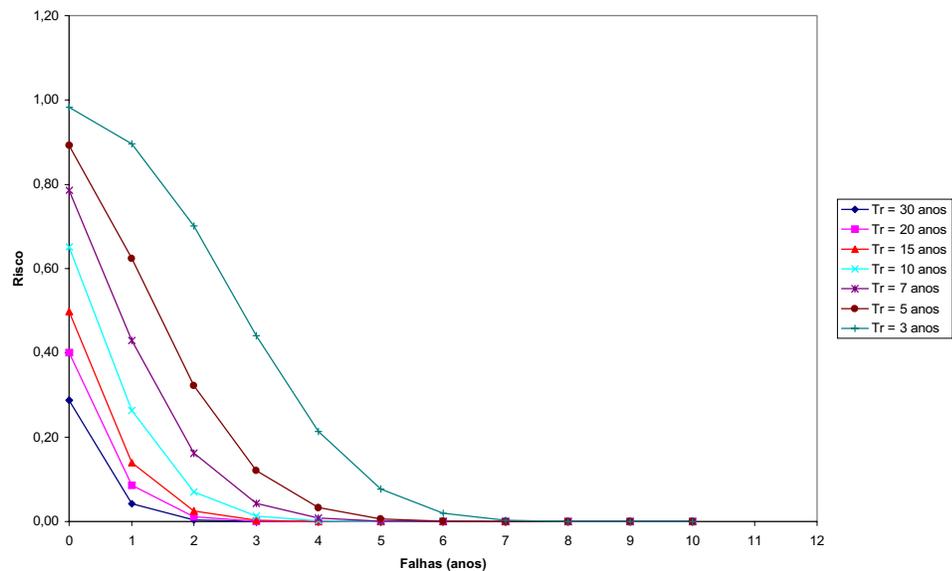


GRÁFICO V.5

Riscos, para cada tempo de retorno, de haver mais que f anos de falha no intervalo de 10 anos de concessão da outorga

**GRÁFICO V.6**

Riscos, para cada tempo de retorno, de haver mais que f anos de falha no intervalo de 5 anos de concessão da outorga

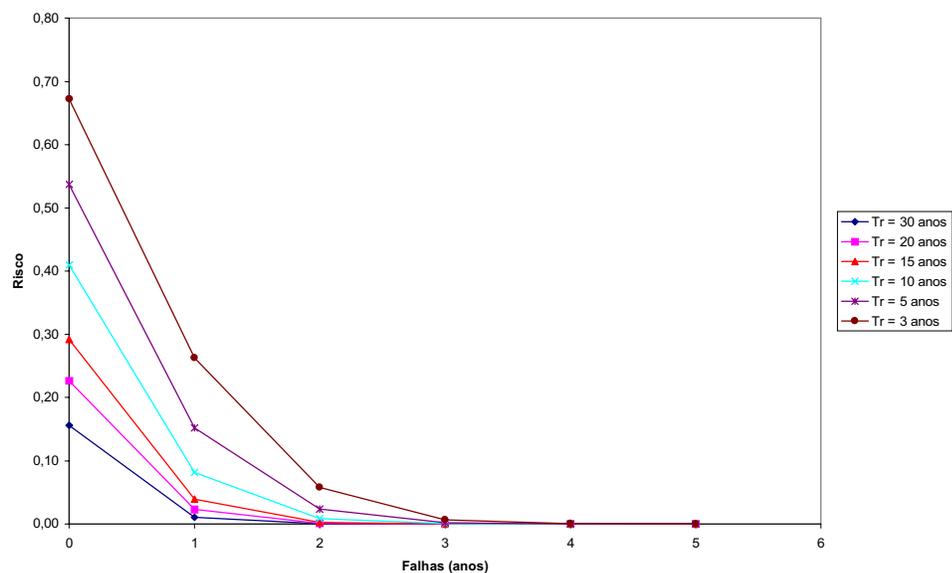


TABELA V.7
 Risco de não atendimento da vazão de referência em relação à duração da vazão mínima e série de vazões, para São Brás do Suaçuí

Tr anos	DURAÇÃO dias	FALHAS dias	R_t %
5	3	1561	20,35
	5	1635	21,32
	7	1826	23,81
	10	1898	24,75
	15	2005	26,14
	30	2265	29,53
7	3	1120	14,60
	5	1246	16,25
	7	1292	16,85
	10	1341	17,49
	15	1478	19,27
	30	1635	21,32
10	3	775	10,11
	5	833	10,86
	7	879	11,46
	10	949	12,37
	15	1024	13,35
	30	1246	16,25
15	3	290	3,78
	5	315	4,11
	7	441	5,75
	10	497	6,48
	15	509	6,64
	30	804	10,48
30	3	76	0,99
	5	91	1,19
	7	134	1,75
	10	135	1,76
	15	139	1,81
	30	250	3,26

NOTA: Tamanho da amostra: 7669 dias.

TABELA V.8

Risco de não atendimento da vazão de referência em relação à duração da vazão mínima e série de vazões, para Belo Vale

Tr anos	DURAÇÃO dias	FALHAS dias	R_t %
5	3	86	0,94
	5	129	1,41
	7	148	1,62
	10	187	2,05
	15	212	2,32
	30	288	3,15
7	3	19	0,21
	5	28	0,31
	7	34	0,37
	10	64	0,70
	15	64	0,70
	30	129	1,41
10	3	0	0,00
	5	0	0,00
	7	3	0,03
	10	3	0,03
	15	17	0,19
	30	28	0,31
15	3	0	0,00
	5	0	0,00
	7	0	0,00
	10	0	0,00
	15	0	0,00
	30	0	0,00
30	3	0	0,00
	5	0	0,00
	7	0	0,00
	10	0	0,00
	15	0	0,00
	30	0	0,00

NOTA: Tamanho da amostra: 9131 dias.

TABELA V.9

Risco de não atendimento da vazão de referência em relação à duração da vazão mínima e série de vazões, para Alberto Flores

Tr anos	DURAÇÃO dias	FALHAS dias	R_t %
5	3	29	0,35
	5	41	0,49
	7	59	0,70
	10	71	0,85
	15	89	1,06
	30	133	1,58
7	3	0	0,00
	5	0	0,00
	7	1	0,01
	10	21	0,25
	15	21	0,25
	30	41	0,49
10	3	0	0,00
	5	0	0,00
	7	0	0,00
	10	0	0,00
	15	0	0,00
	30	0	0,00
15	3	0	0,00
	5	0	0,00
	7	0	0,00
	10	0	0,00
	15	0	0,00
	30	0	0,00
30	3	0	0,00
	5	0	0,00
	7	0	0,00
	10	0	0,00
	15	0	0,00
	30	0	0,00

NOTA: Tamanho da amostra: 8401 dias.

TABELA V.10
 Risco de não atendimento da vazão de referência em relação à duração da vazão mínima e série de vazões, para Ponte Nova do Paraopeba

Tr anos	DURAÇÃO dias	FALHAS dias	R_t %
5	3	344	1,68
	5	418	2,04
	7	479	2,34
	10	539	2,64
	15	548	2,68
	30	704	3,44
7	3	202	0,99
	5	233	1,14
	7	293	1,43
	10	296	1,45
	15	337	1,65
	30	418	2,04
10	3	100	0,49
	5	114	0,56
	7	119	0,58
	10	145	0,71
	15	145	0,71
	30	233	1,14
15	3	34	0,17
	5	49	0,24
	7	57	0,28
	10	75	0,37
	15	86	0,42
	30	113	0,55
30	3	0	0,00
	5	0	0,00
	7	4	0,02
	10	4	0,02
	15	4	0,02
	30	14	0,07

NOTA: Tamanho da amostra: 20454 dias.

TABELA V.11
Risco de não atendimento da vazão de referência em relação à duração da vazão mínima e série de vazões, para Jardim

Tr anos	DURAÇÃO dias	FALHAS dias	R_t %
5	3	2152	39,28
	5	2352	42,93
	7	2352	42,93
	10	2443	44,59
	15	2458	44,86
	30	2613	47,69
7	3	1780	32,49
	5	1914	34,93
	7	1914	34,93
	10	2019	36,85
	15	2062	37,63
	30	2263	41,30
10	3	1273	23,23
	5	1488	27,16
	7	1592	29,06
	10	1592	29,06
	15	1637	29,88
	30	1914	34,93
15	3	888	16,21
	5	1005	18,34
	7	1114	20,33
	10	1148	20,95
	15	1148	20,95
	30	1488	27,16
30	3	440	8,03
	5	509	9,29
	7	539	9,84
	10	670	12,23
	15	670	12,23
	30	773	14,11

NOTA: Tamanho da amostra: 5479 dias.

TABELA V.12

Risco de não atendimento da vazão de referência em relação à duração da vazão mínima e série de vazões, para Porto Mesquita

Tr anos	DURAÇÃO dias	FALHAS dias	R_t %
5	3	13	0,21
	5	17	0,27
	7	26	0,42
	10	38	0,61
	15	50	0,81
	30	74	1,19
7	3	3	0,05
	5	6	0,10
	7	9	0,14
	10	11	0,18
	15	12	0,19
	30	17	0,27
10	3	0	0,00
	5	0	0,00
	7	0	0,00
	10	0	0,00
	15	1	0,02
	30	6	0,10
15	3	0	0,00
	5	0	0,00
	7	0	0,00
	10	0	0,00
	15	0	0,00
	30	0	0,00
30	3	0	0,00
	5	0	0,00
	7	0	0,00
	10	0	0,00
	15	0	0,00
	30	0	0,00

NOTA: Tamanho da amostra: 6209 dias.

GRÁFICO V.1

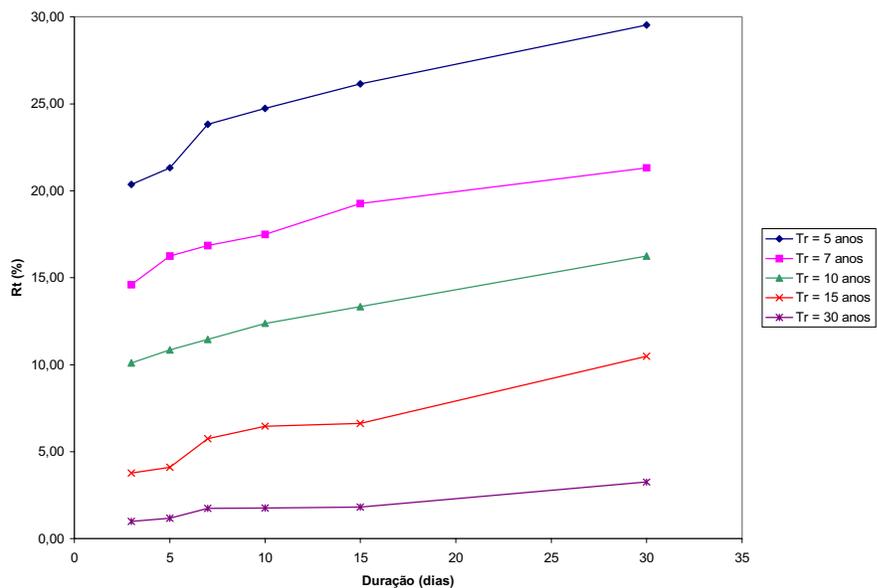
Risco R_t em função da variação da duração, para São Brás do Suaçuí

GRÁFICO V.2

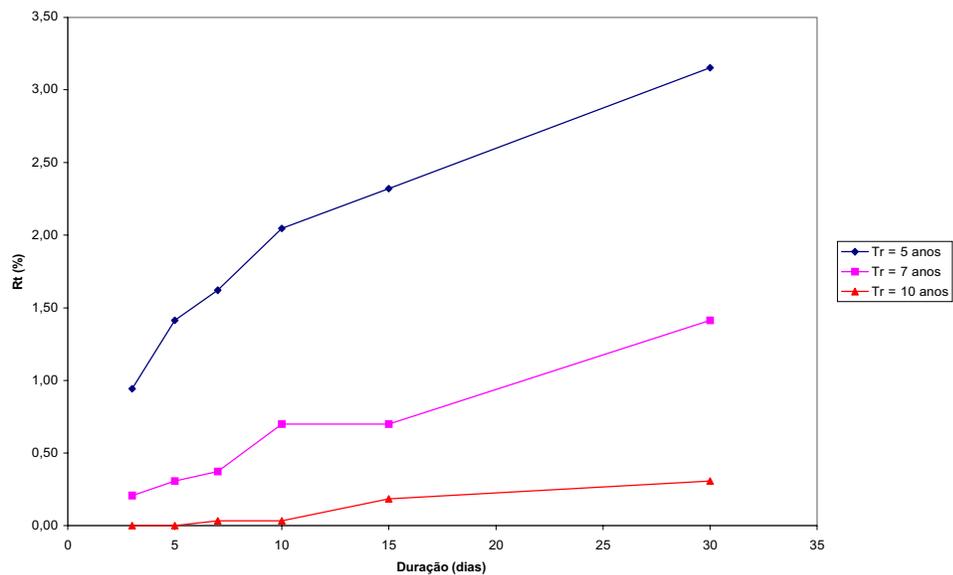
Risco R_t em função da variação da duração, para Belo Vale

GRÁFICO V.3
Risco R_t em função da variação da duração, para Alberto Flores

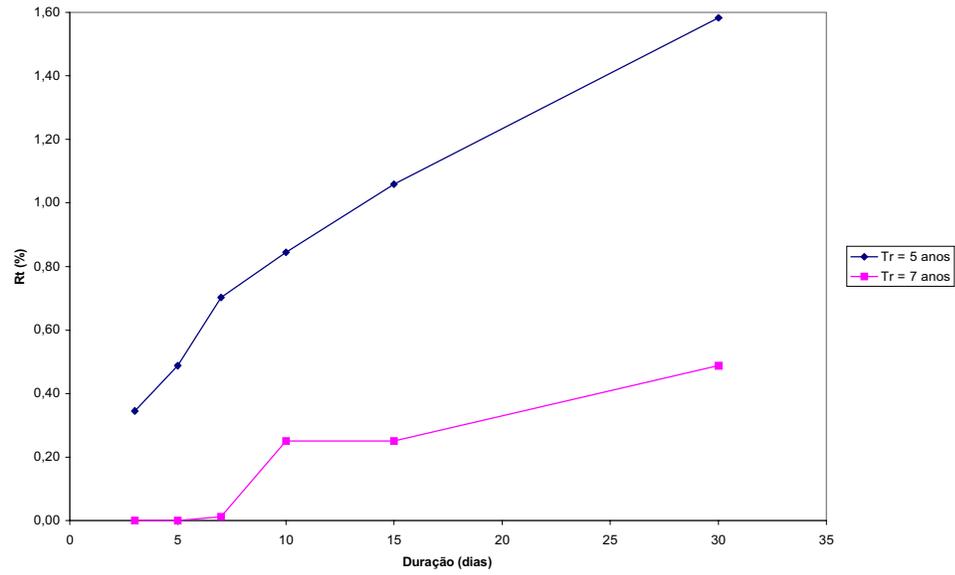


GRÁFICO V.4
Risco R_t em função da variação da duração, para Ponte Nova do Paraopeba

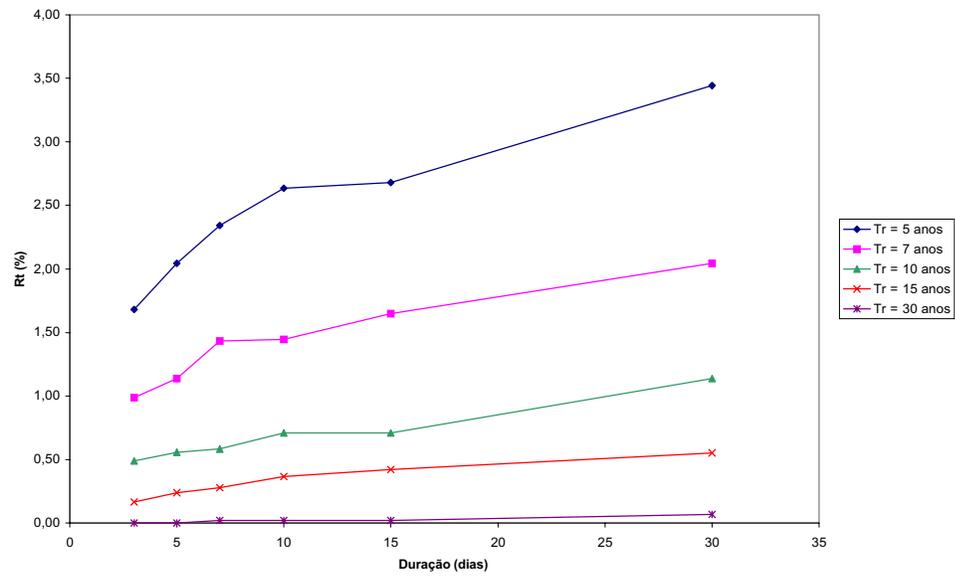


GRÁFICO V.5
Risco R_t em função da variação da duração, para Jardim

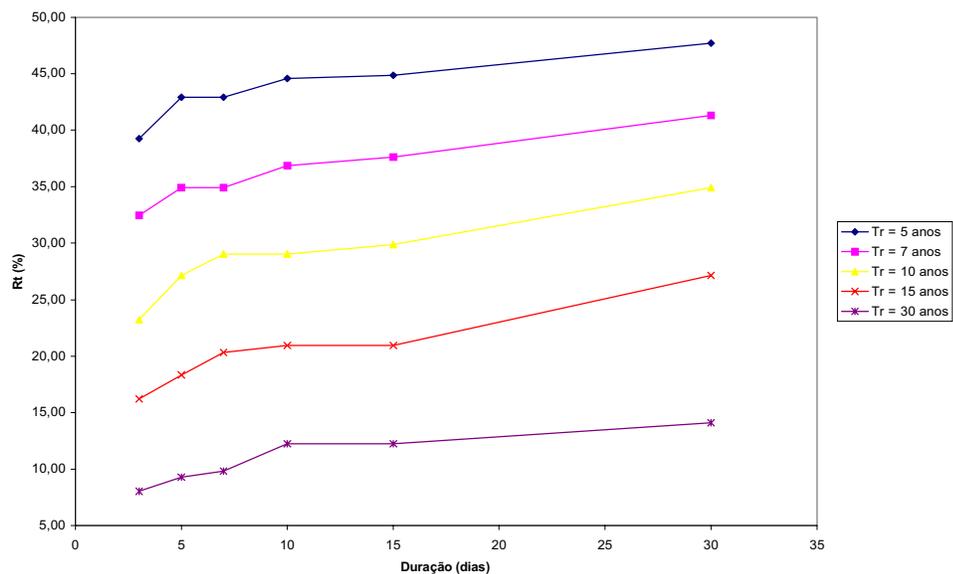


GRÁFICO V.6
Risco R_t em função da variação da duração, para Porto Mesquita

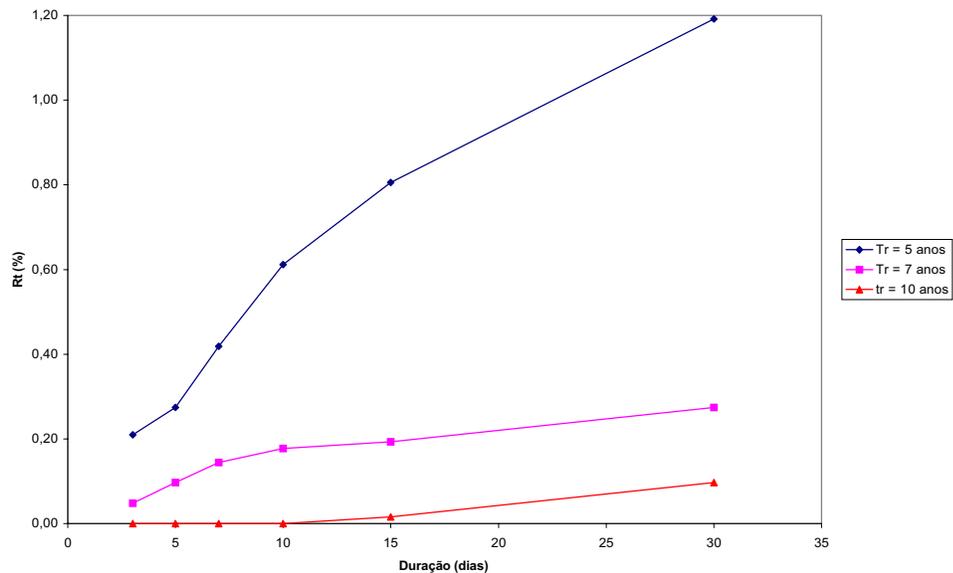


TABELA V.13
Avaliação de k em relação às demandas das classes de usuários, em 1996

PC	Q _{7,10}	CLASSE i	Q _i ACUML m ³ /s	k									
				10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
				k*Q _r - VC m ³ /s									
1	1,55	1	0,045	0,110	0,265	0,420	0,575	0,730	0,885	1,040	1,195	1,350	1,505
		2	0,056	0,099	0,254	0,409	0,564	0,719	0,874	1,029	1,184	1,339	1,494
		3	0,591	-0,436	-0,281	-0,126	0,029	0,184	0,339	0,494	0,649	0,804	0,959
		4	0,594	-0,439	-0,284	-0,129	0,026	0,181	0,336	0,491	0,646	0,801	0,956
2	10,04	1	0,428	0,576	1,580	2,584	3,588	4,592	5,596	6,600	7,604	8,608	9,612
		2	0,488	0,516	1,520	2,524	3,528	4,532	5,536	6,540	7,544	8,548	9,552
		3	2,084	-1,080	-0,076	0,928	1,932	2,936	3,940	4,944	5,948	6,952	7,956
		4	2,110	-1,106	-0,102	0,902	1,906	2,910	3,914	4,918	5,922	6,926	7,930
3	18,07	1	1,359	0,448	2,255	4,062	5,869	7,676	9,483	11,290	13,097	14,904	16,711
		2	1,486	0,321	2,128	3,935	5,742	7,549	9,356	11,163	12,970	14,777	16,584
		3	6,243	-4,436	-2,629	-0,822	0,985	2,792	4,599	6,406	8,213	10,020	11,827
		4	6,453	-4,646	-2,839	-1,032	0,775	2,582	4,389	6,196	8,003	9,810	11,617
4	23,7	1	1,902	0,468	2,838	5,208	7,578	9,948	12,318	14,688	17,058	19,428	21,798
		2	2,122	0,248	2,618	4,988	7,358	9,728	12,098	14,468	16,838	19,208	21,578
		3	10,181	-7,811	-5,441	-3,071	-0,701	1,669	4,039	6,409	8,779	11,149	13,519
		4	10,562	-8,192	-5,822	-3,452	-1,082	1,288	3,658	6,028	8,398	10,768	13,138
5	25,99	1	1,972	0,627	3,226	5,825	8,424	11,023	13,622	16,221	18,820	21,419	24,018
		2	2,223	0,376	2,975	5,574	8,173	10,772	13,371	15,970	18,569	21,168	23,767
		3	11,733	-9,134	-6,535	-3,936	-1,337	1,262	3,861	6,460	9,059	11,658	14,257
		4	12,119	-9,520	-6,921	-4,322	-1,723	0,876	3,475	6,074	8,673	11,272	13,871

Nota: A coluna Q_i ACUML. representa a vazão acumulada na classe i, enquanto que as colunas k*Q_r - VC, a diferença entre a vazão de outorga e a vazão acumulada na classe

TABELA V.14
Avaliação de k em relação às demandas das classes de usuários, em 2006

PC	Q _{7,10}	CLASSE i	Q _i ACUML. m ³ /s	k									
				10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
1	1,55	1	0,051	0,104	0,259	0,414	0,569	0,724	0,879	1,034	1,189	1,344	1,499
		2	0,064	0,091	0,246	0,401	0,556	0,711	0,866	1,021	1,176	1,331	1,486
		3	0,782	-0,627	-0,472	-0,317	-0,162	-0,007	0,148	0,303	0,458	0,613	0,768
		4	0,786	-0,631	-0,476	-0,321	-0,166	-0,011	0,144	0,299	0,454	0,609	0,764
2	10,04	1	0,488	0,516	1,520	2,524	3,528	4,532	5,536	6,540	7,544	8,548	9,552
		2	0,556	0,448	1,452	2,456	3,460	4,464	5,468	6,472	7,476	8,480	9,484
		3	2,701	-1,697	-0,693	0,311	1,315	2,319	3,323	4,327	5,331	6,335	7,339
		4	2,731	-1,727	-0,723	0,281	1,285	2,289	3,293	4,297	5,301	6,305	7,309
3	18,07	1	1,993	-0,186	1,621	3,428	5,235	7,042	8,849	10,656	12,463	14,270	16,077
		2	2,139	-0,332	1,475	3,282	5,089	6,896	8,703	10,510	12,317	14,124	15,931
		3	8,532	-6,725	-4,918	-3,111	-1,304	0,503	2,310	4,117	5,924	7,731	9,538
		4	8,770	-6,963	-5,156	-3,349	-1,542	0,265	2,072	3,879	5,686	7,493	9,300
4	23,7	1	2,900	-0,530	1,840	4,210	6,580	8,950	11,320	13,690	16,060	18,430	20,800
		2	3,152	-0,782	1,588	3,958	6,328	8,698	11,068	13,438	15,808	18,178	20,548
		3	13,982	-11,612	-9,242	-6,872	-4,502	-2,132	0,238	2,608	4,978	7,348	9,718
		4	14,415	-12,045	-9,675	-7,305	-4,935	-2,565	-0,195	2,175	4,545	6,915	9,285
5	25,99	1	2,980	-0,381	2,218	4,817	7,416	10,015	12,614	15,213	17,812	20,411	23,010
		2	3,267	-0,668	1,931	4,530	7,129	9,728	12,327	14,926	17,525	20,124	22,723
		3	16,049	-13,450	-10,851	-8,252	-5,653	-3,054	-0,455	2,144	4,743	7,342	9,941
		4	16,487	-13,888	-11,289	-8,690	-6,091	-3,492	-0,893	1,706	4,305	6,904	9,503

Nota: A coluna Q_i ACUML. representa a vazão acumulada na classe i, enquanto que as colunas k*Q_r - VC, a diferença entre a vazão de outorga e a vazão acumulada na classe

ANEXO VI

**FATOR DE CORREÇÃO FC DA VAZÃO DE
OUTORGA**

TABELA VI.1
Características hidrológicas; Rio Paraopeba em São Brás do Suaçuí

ANO	Q _{ABRIL} m ³ /s	Q _{ANUAL} m ³ /s	Q ₇ m ³ /s	k _r	IEB %
1957	6,79	5,77	1,90	0,9935	71,24
1958	5,10	5,30	2,21		69,67
1959	3,71	4,28	1,67	0,9948	72,52
1960	4,43	5,78	1,79	0,9947	70,23
1961	9,51	9,74	3,04	0,9948	71,23
1962	4,93	6,69	2,50		70,00
1963	3,46	3,60	1,20	0,9970	78,76
1966	7,20	10,60	3,40	0,9961	
1967	7,92	9,71	1,96	0,9923	73,54
1968	5,36	5,59	2,86	0,9951	76,96
1969	4,00	6,11	3,29		71,94
1976	3,41	6,48	2,50		65,48
1977	5,56	5,80	2,36	0,9953	72,82
1978	5,76	7,60	2,33		61,77
1983	15,80	13,90	4,50		74,77
1984	5,76	6,12	2,16	0,9941	81,92
1985	9,02	9,23	3,69	0,9946	75,67
1986	5,21	6,81	2,20		73,83
1987	6,70	6,20	2,59	0,9938	76,66
1988	7,09	7,76	2,33	0,9935	68,75
1989	6,95	7,23	2,93		69,74
1990	8,79	5,42	2,29		70,08
1992	10,40	12,40	4,33	0,9944	65,84
1993	12,00	8,66	3,16	0,9921	73,91
1994	7,38	7,92	1,86	0,9914	64,45

NOTA: Q_{ABRIL} é a vazão média do mês de abril, Q_{ANUAL} é a vazão média anual, Q₇ é a vazão mínima anual de 7 dias de duração, k_r é a constante de recessão do hidrograma, e IEB é o índice de escoamento de base

TABELA VI.2
Características hidrológicas; Rib. Serra Azul em Jardim

ANO	Q _{ABRIL} m ³ /s	Q _{ANUAL} m ³ /s	Q ₇ m ³ /s
1979	2,83	2,72	0,70
1980	2,91	2,05	0,60
1981	1,33	1,66	0,43
1982	2,33	1,88	0,53
1983	4,43	3,47	1,13
1984	1,68	1,66	0,61
1985	2,82	2,57	0,67
1986	1,39	1,63	0,36
1987	1,21	1,36	0,34
1988	1,76	1,57	0,53
1990	0,99	0,91	0,30
1991	1,89	1,55	0,53
1992	1,64	1,97	0,60
1993	1,77	1,46	0,53
1994	1,54	1,59	0,39

TABELA VI.3
Características hidrológicas; Rio Paraopeba em Jeceaba

ANO	Q _{ABRIL} m ³ /s	Q _{Annual} m ³ /s	Q ₇ m ³ /s	k _r	IEB %
1938	44,90	53,40	21,80	0,99396	72,28
1940	36,80	45,33	14,29	0,99434	65,06
1941	48,20	42,79	18,37	0,99439	73,87
1943	59,10	66,03	23,10	0,99323	72,23
1944	45,60	43,11	15,00	0,99402	76,98
1945	56,10	47,33	16,87	0,99256	72,02
1946	46,30	37,37	15,00	0,99399	73,68
1947	49,00	51,54	19,40	0,99558	68,31
1948	33,90	42,68	13,07	0,99666	66,72
1949	48,70	51,74	16,81	0,99434	72,84
1950	40,80	44,70	15,00	0,99476	68,05
1951	78,90	49,85	14,14	0,99328	
1952	52,40	52,77	17,01	0,99353	69,90
1953	40,70	30,33	13,00	0,99599	72,12
1955	25,00	27,07	9,20	0,99697	68,07
1956	21,70	35,41	10,49		56,43

TABELA VI.4
Características hidrológicas; Rio Paraopeba em Belo Vale

ANO	Q _{ABRIL} m ³ /s	Q _{Annual} m ³ /s	Q ₇ m ³ /s	k _r	IEB %
1967	51,90	60,31	14,10	0,99248	69,79
1968	39,30	38,68	16,50		71,00
1969	26,90	34,98	14,34		70,55
1970	28,40	31,11	14,36		75,18
1971	17,60	29,70	10,79		61,89
1972	45,80	47,93	14,71	0,99494	69,36
1973	43,50	50,60	17,64	0,99288	72,52
1974	45,00	40,48	12,97		73,29
1975	34,40	37,37	12,41		69,58
1976	23,30	39,67	14,29		67,65
1977	47,50	42,41	14,54	0,99380	72,15
1978	40,60	46,89	14,71		63,16
1979	59,00	77,08	21,49	0,99610	68,11
1980	63,30	59,94	16,50	0,99448	69,44
1981	42,90	53,71	20,20		72,86
1982	64,00	63,59	23,20	0,99489	73,31
1983	116,00	90,49	35,03		68,18
1984	37,70	41,75	16,29		74,55
1985	62,80	66,61	21,31	0,99370	69,95
1986	33,90	41,58	13,63		
1987	49,30	44,10	14,57	0,99533	73,50
1988	41,10	42,48	13,36	0,99414	70,67
1989	29,10	37,00	15,50	0,99127	70,28
1990	35,20	29,10	12,67		69,57

TABELA VI.5
Características hidrológicas; Rio Paraopeba em Alberto Flores

ANO	Q_{ABRIL} m³/s	Q_{Annual} m³/s	Q₇ m³/s	k_r	IEB %
1968	47,10	48,13	22,57	0,99551	71,80
1969	32,00	41,02	15,74		67,97
1970	34,70	39,38	18,00	0,99429	74,07
1972	56,30	58,84	18,66	0,99247	65,62
1973	56,80	65,33	20,99	0,99383	70,53
1975	47,90	48,59	16,53		72,00
1976	29,20	50,99	17,61		65,44
1977	61,00	54,77	18,61	0,99397	70,16
1978	54,50	61,41	20,37		62,85
1979	88,40	105,79	32,86	0,99325	69,66
1980	84,80	79,99	23,61	0,99376	70,79
1981	51,40	66,43	22,81	0,99338	72,86
1982	80,30	74,91	26,93	0,99505	73,33
1983	133,00	112,32	43,93		71,15
1984	49,40	51,33	23,46		77,63
1985	92,80	89,20	31,86	0,99421	
1986	46,00	54,07	21,04		
1987	60,40	54,95	20,54	0,99253	71,81
1988	54,40	54,86	17,84	0,99422	72,63
1989	38,80	49,10	18,91		
1991	87,00	84,76	22,74	0,99225	
1993	78,10	61,81	26,30	0,99310	74,83
1994	58,50	60,41	20,11	0,99408	70,29

TABELA VI.6
Características hidrológicas; Rio Paraopeba em Ponte da Taquara

ANO	Q_{ABRIL} m³/s	Q_{Annual} m³/s	Q₇ m³/s	k_r	IEB %
1961	158,00	165,50	41,71	0,99312	72,55
1962	76,50	123,30	39,36	0,99576	71,21
1963	59,40	68,94	26,13	0,99606	83,53
1964	83,70	112,92	27,04		65,01
1965	165,00	176,58	43,69	0,99214	77,14
1966	136,00	162,83	46,36	0,99350	73,08
1967	121,00	139,13	38,26	0,99475	76,64
1968	106,00	106,00	43,69	0,99573	74,06
1969	67,70	86,38	30,50		73,31
1970	84,40	86,23	35,66		76,69
1971	39,00	69,33	16,99		64,06
1972	111,00	107,56	35,19		70,13
1973	122,00	132,48	39,24	0,99246	71,58
1974	126,00	105,66	32,29	0,99273	
1975	82,60	90,85	29,00	0,99317	74,65
1976	65,40	85,65	32,66		72,10
1977	106,00	99,42	24,69	0,99243	72,57
1978	98,60	108,58	31,74		64,70

TABELA VI.7
Características hidrológicas; Rio Paraopeba em Ponte Nova do Paraopeba

ANO	Q _{ABRIL} m ³ /s	Q _{Annual} m ³ /s	Q ₇ m ³ /s	k _r	IEB %
1938	95,70	104,52	46,66	0,99632	76,61
1939	104,00	97,77	37,90	0,99643	77,41
1940	78,20	89,67	33,40	0,99430	69,87
1941	119,00	90,42	39,01	0,99570	77,81
1942	80,10	90,45	33,29	0,99467	73,76
1943	117,00	133,43	46,14	0,99408	67,42
1944	89,00	81,99	30,54	0,99455	80,26
1945	117,00	95,20	35,37	0,99453	75,45
1946	84,10	70,85	30,54	0,99513	78,47
1947	99,30	90,33	36,44	0,99428	71,85
1948	70,10	86,00	26,00	0,99465	67,82
1949	121,00	124,85	37,53	0,99342	76,40
1950	84,70	88,30	29,97	0,99405	73,04
1951	161,00	99,28	27,11	0,99351	75,12
1952	116,00	100,39	34,10	0,99344	76,25
1953	95,50	62,35	26,46	0,99411	72,43
1955	56,90	59,47	15,03	0,99295	68,14
1956	51,40	69,21	20,66		62,85
1957	113,00	86,08	27,09	0,99365	75,40
1958	65,30	63,07	31,11		74,82
1959	55,70	52,18	19,74	0,99478	73,64
1960	63,90	71,32	21,80	0,99221	72,97
1961	122,00	119,48	29,74	0,99300	72,27
1962	59,80	82,64	27,49	0,99422	71,48
1963	41,70	45,37	18,46	0,99522	82,85
1964	55,10	77,71	19,76		66,15
1965	108,00	116,66	37,24	0,99373	75,79
1966	92,00	108,54	34,30	0,99409	73,27
1967	90,60	98,53	27,10	0,99347	75,38
1968	71,70	73,43	29,69	0,99553	73,35
1969	46,20	58,79	19,77		71,80
1970	62,10	64,09	27,31		76,25
1971	29,20	47,82	13,60		64,70
1972	81,50	82,75	26,70	0,99440	
1973	89,00	95,32	29,91	0,99352	
1974	94,20	77,97	24,70	0,99283	76,15
1975	63,60	66,78	20,70		73,46
1976	41,50	66,83	25,51		68,10
1977	82,20	73,71	23,69	0,99322	72,58
1978	73,80	78,96	27,11		66,74
1979	117,00	143,14	40,54	0,99480	69,88
1980	117,00	102,07	30,43	0,99325	73,43

TABELA VI.7 (Continuação)
 Características hidrológicas; Rio Paraopeba em Ponte Nova do Paraopeba

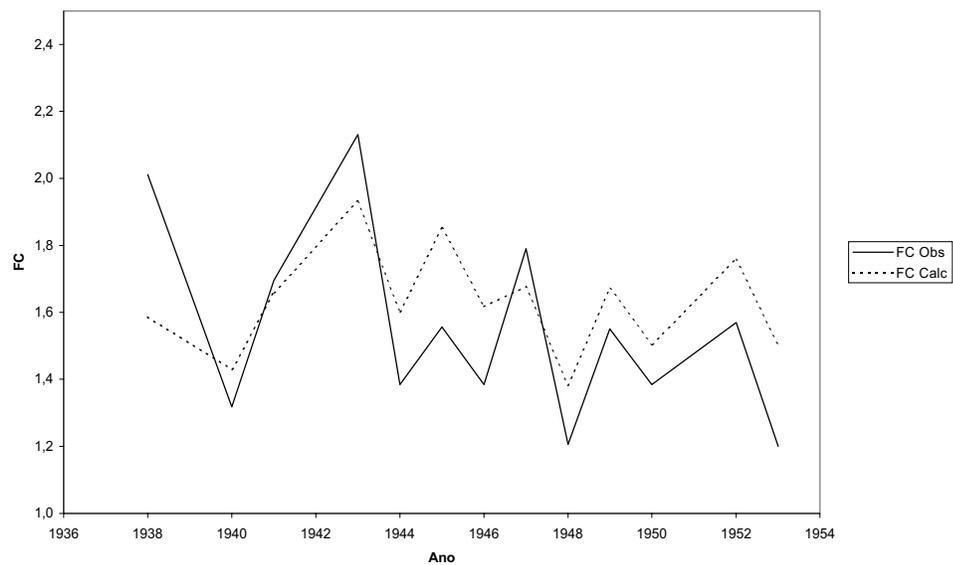
ANO	Q _{ABRIL} m ³ /s	Q _{Annual} m ³ /s	Q ₇ m ³ /s	k _r	IEB %
1981	67,30	85,81	24,83		70,47
1982	113,00	96,34	33,81	0,99289	73,28
1983	187,00	167,08	61,53	0,99313	69,32
1984	75,90	73,34	27,77	0,99421	77,84
1985	143,00	132,46	44,61	0,99404	70,65
1987	86,60	77,25	25,43	0,99335	72,30
1988	80,20	74,91	23,20	0,99266	72,64
1989	47,70	62,89	24,91		69,59
1990	62,40	51,89	21,49		74,25
1992	93,90	112,59	39,86	0,99418	
1993	109,00	83,68	30,93	0,99193	75,02
1994	84,00	83,08	21,10	0,99134	

TABELA VI.8
 Características hidrológicas; Rio Paraopeba em Porto Mesquita

ANO	Q _{ABRIL} m ³ /s	Q _{Annual} m ³ /s	Q ₇ m ³ /s	k _r	IEB %
1978	112,00	125,73	39,23		68,01
1979	207,00	262,81	65,89	0,99380	72,28
1980	200,00	161,41	41,33	0,99219	76,21
1981	106,00	152,49	39,96	0,99276	72,14
1982	218,00	168,17	59,97	0,99263	79,18
1983	338,00	287,92	98,19	0,99246	73,95
1984	130,00	121,25	42,10	0,99439	80,40
1985	252,00	223,03	68,36	0,99315	74,57
1986	116,00	131,67	36,60		75,61
1987	132,00	117,91	37,20	0,99305	71,04
1988	138,00	128,73	36,70	0,99208	73,91
1989	76,90	104,92	37,50		70,89
1990	93,70	80,45	30,41		78,56
1991	196,00	163,03	48,34	0,99288	72,60
1992	142,00	181,41	54,63	0,99363	71,80
1993	164,00	123,40	47,31	0,99274	78,76
1994	143,00	130,11	34,40	0,99204	

GRÁFICO VI.1

Valores observados de FC contra valores previstos, para o Rio Paraopeba em Jeceaba

**GRÁFICO VI.2**

Valores observados de FC contra valores previstos, para o Rio Paraopeba em Belo Vale

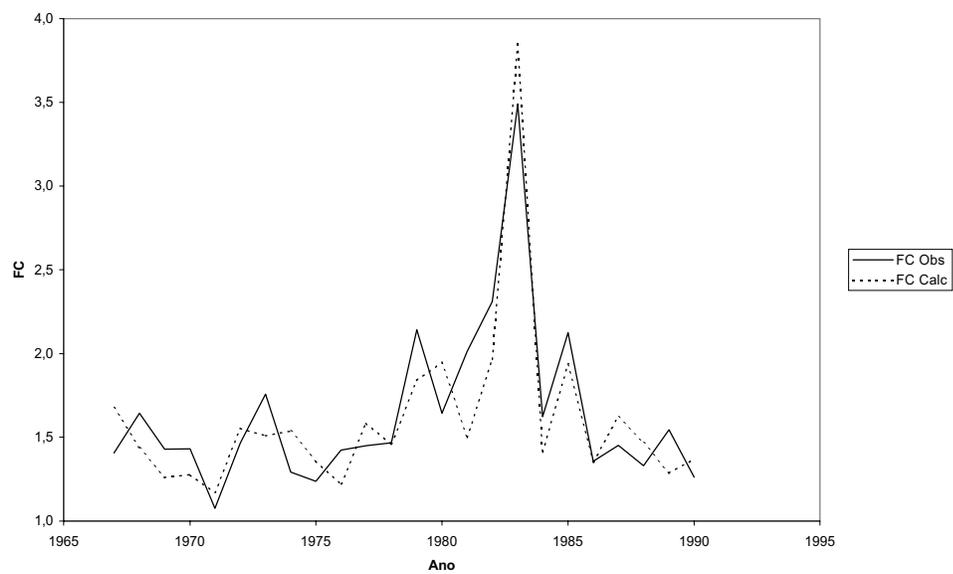
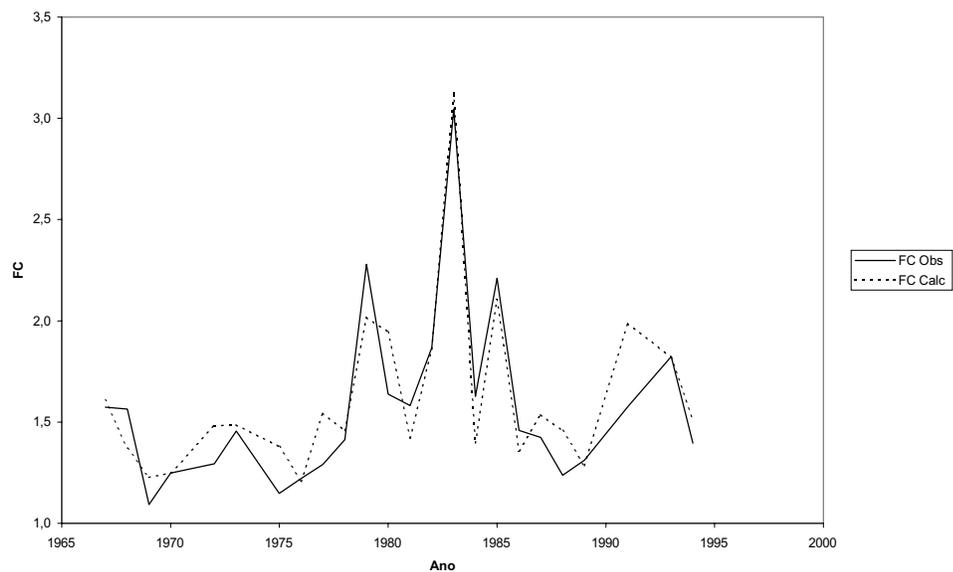


GRÁFICO VI.3

Valores observados de FC contra valores previstos, para o Rio Paraopeba em Alberto Flores

**GRÁFICO VI.4**

Valores observados de FC contra valores previstos, para o Rio Paraopeba em Ponte Nova do Paraopeba

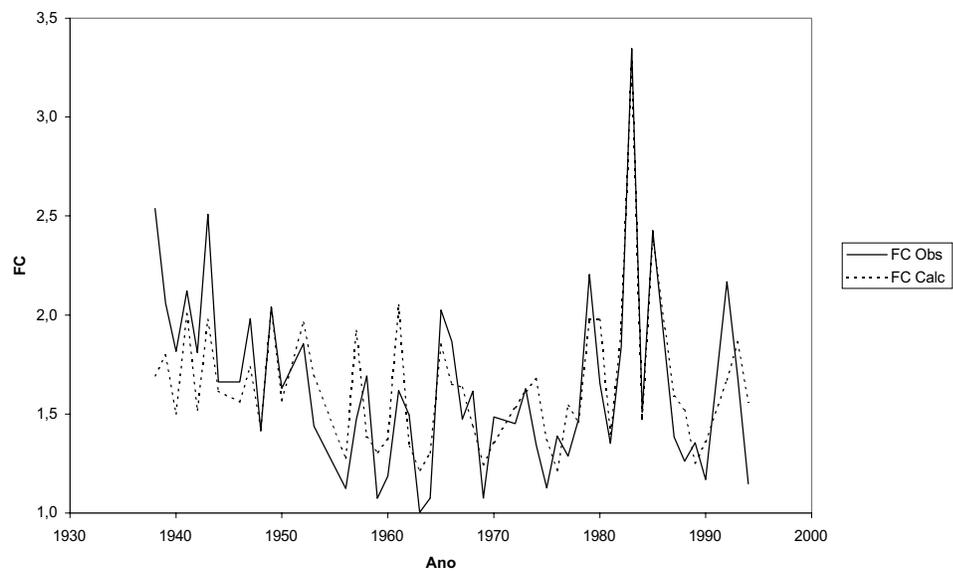
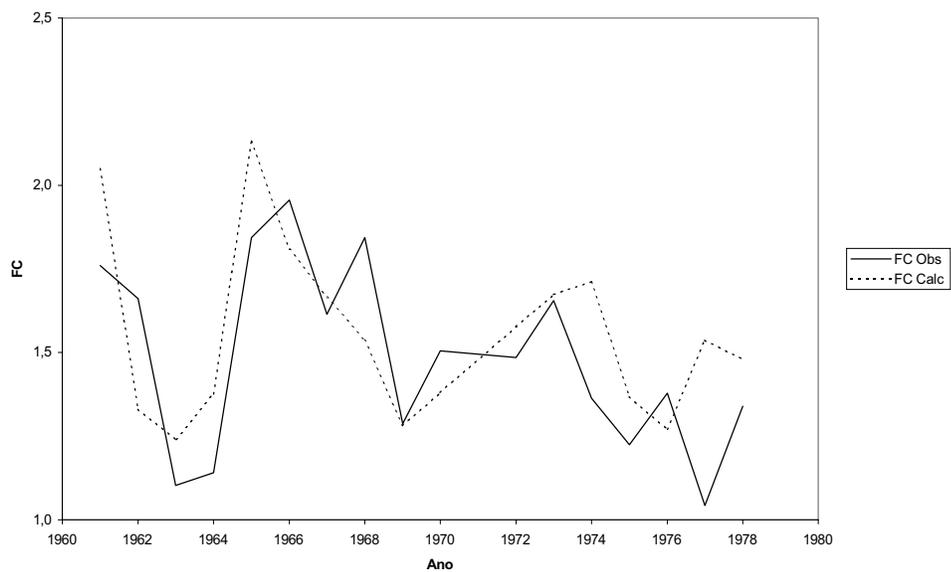


GRÁFICO VI.5

Valores observados de FC contra valores previstos, para o Rio Paraopeba em Ponte da Taquara

**GRÁFICO VI.6**

Valores observados de FC contra valores previstos, para o Rio Paraopeba em Porto Mesquita





ESCOLA DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO, MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MARCELO JORGE MEDEIROS

NÚMERO REGISTRO : 124ª

Às 14:00 horas do dia 29 do mês de agosto de 2000, reuniu-se na Escola de Engenharia da UFMG a Comissão Examinadora de DISSERTAÇÃO, indicada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em SANEAMENTO, MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS, para julgar, em exame final, o trabalho final intitulado:

“AVALIAÇÃO DA VAZÃO REFERENCIAL COMO CRITÉRIO DE OUTORGA DOS DIREITOS DE USOS DAS ÁGUAS NA BACIA DO RIO PARAÓPEBA”

requisito parcial para a obtenção do Grau de MESTRE em SANEAMENTO, MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. Área de Concentração: HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS

Abrindo a sessão, o Orientador, Prof. Mauro da Cunha Naghettini, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra ao candidato, para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa pelo candidato. Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento e expedição do resultado final. Foram atribuídas as seguintes indicações:

Prof.	Mauro da Cunha Naghettini	Instituição	EHR/UFMG	Indicação	Aprovado
Prof.	Marcos von Sperling	Instituição	DESA/UFMG	Indicação	Aprovado
Prof.	Luiz Rafael Palmier	Instituição	EHR/UFMG	Indicação	APROVADO
Prof.	Antônio Eduardo Lanna	Instituição	IPH/UFRS	Indicação	APROVADO
Engº	Aloísio de Araújo Prince	Instituição	IGAM	Indicação	Aprovado

Pelas indicações, o candidato foi considerado APROVADO, devendo proceder a algumas alterações no trabalho, para a sua edição definitiva, a ser entregue no prazo de 02 meses.

O resultado final foi comunicado publicamente ao candidato pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 29 de agosto de 2000.