

# PROJETO APA SUL RMBH Estudos do Meio Físico



ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL  
SUL DA REGIÃO METROPOLITANA  
DE BELO HORIZONTE

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E  
TRANSFORMAÇÃO MINERAL  
CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE  
E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL  
CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS

PROGRAMA GATE  
INFORMAÇÕES PARA A GESTÃO TERRITORIAL

## HIDROLOGIA

Volume 9  
Parte A

*Elizabeth Guelman Davis - Eng. Civil  
Eber José de Andrade Pinto - Eng. Civil Consultor Interno, M.Sc.  
Magda Cristina Ferreira Pinto - Química, M.Sc.*



Secretaria de Geologia,  
Mineração e Transformação Mineral

Ministério de  
Minas e Energia



Belo Horizonte  
2005

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**

*Silas Rondeau Cavalcante Silva*  
Ministro de Estado

**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E  
TRANSFORMAÇÃO MINERAL**

*Cláudio Scliar*  
Secretário

**CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL**

*Agamenon Sérgio Lucas Dantas*  
Diretor - Presidente

*Manoel Barretto da Rocha Neto*  
Diretor de Geologia e Recursos Minerais

*José Ribeiro Mendes*  
Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

*Fernando Pereira de Carvalho*  
Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento

*Álvaro Rogério Alencar Silva*  
Diretor de Administração e Finanças

*Carlos Schobbenhaus Filho*  
Chefe do Departamento de Geologia

*Inácio de Medeiros Delgado*  
Chefe da Divisão de Geologia Básica

*Cássio Roberto da Silva*  
Chefe do Departamento de Gestão Territorial

*Regina Célia Gimenez Armesto*  
Chefe da Divisão de Gestão Territorial

**SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELO HORIZONTE**

*Hélio Pereira*  
Superintendente

*Márcio de Oliveira Cândido*  
Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

*Fernando Antônio Rodrigues de Oliveira*  
Gerente de Geologia e Recursos Minerais

*Marcelo de Araújo Vieira*  
Gerente de Relações Institucionais e Desenvolvimento

*Silvia Efigênia Vieira de Melo*  
Gerente de Administração e Finanças

**GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

*Aécio Neves*  
Governador

**SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E  
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

José Carlos Carvalho  
Secretário de Estado

Shelley de Souza Carneiro  
Secretário Adjunto

Antônio Eustáquio Oliver  
Chefe de Gabinete

Rubens Varga Filho  
Superintendente de Apoio Técnico

Rogério Noce Rocha  
Superintendente de Política Ambiental

Eduardo Henrique Alves de Paula  
Superintendente de Administração e Finanças

**COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS**

Djalma Bastos de Moraes  
Presidente

José Maria de Macedo  
Diretor de Distribuição

Flávio Decat de Moura  
Diretor de Finanças

Heleni de Mello Fonseca  
Diretor de Gestão Empresarial

Celso Ferreira  
Diretor de Planejamento, Projetos e Construções

Elmar de Oliveira Santana  
Diretor de Geração e Transmissão

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA  
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL  
CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL  
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELO HORIZONTE  
SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL  
CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS

CONVÊNIO SEMAD - CPRM  
Nº 011/CPRM/01

***PROJETO APA SUL RMBH***  
***Estudos do Meio Físico***

**Belo Horizonte**  
**2005**

# EQUIPE TÉCNICA

## COORDENAÇÃO E SUPERVISÃO

*Maria Antonieta Alcântara Mourão - Geóloga, M.Sc.  
Helio Antonio de Sousa - Geólogo, M.Sc.*  
**Coordenadores do Projeto APA Sul RMBH**

*Maria Antonieta Alcântara Mourão - Geóloga, M.Sc.*  
**Representante da CPRM**

### RELATÓRIOS TEMÁTICOS Responsáveis Técnicos

#### Geologia

*Sérgio Lima da Silva - Geólogo  
Eduardo Araújo Monteiro - Geólogo  
Orivaldo Ferreira Baltazar - Geólogo  
Márcia Zucchetti - Geóloga, M.Sc.*

#### Mineração

*Antônio Carlos Girodo - Eng. de Minas Consultor, Especialista*

#### Cobertura e Uso da Terra

*Graziela da Silva Rocha Oliveira - Geógrafa Especialista  
Patrícia Düringer Jacques - Geóloga, M.Sc.  
Edgar Shinzato - Eng. Agrônomo, M.Sc.*

#### Geotecnia

*Jorge Pimentel - Geólogo, M.Sc.  
Cornélio Zampier Teixeira - Eng. Civil Consultor, Dr.  
Fábio Moraes Silva - Geólogo, M.Sc.*

#### Pedologia

*Edgar Shinzato - Eng. Agrônomo, M.Sc.  
Amaury de Carvalho Filho - Eng. Agrônomo, M.Sc.*

#### Geomorfologia

*Antônio Ivo de Menezes Medina - Geólogo  
Marcelo Eduardo Dantas - Geógrafo, M.Sc.  
Allaoua Saadi - Geógrafo Consultor, Prof. Dr.*

#### Geoquímica Ambiental

*Fernanda Gonçalves da Cunha - Geóloga, Dra.  
Gilberto José Machado - Geólogo, M.Sc.*

#### Hidrogeologia

*Décio Antônio Chaves Beato - Geólogo  
André Luiz Mussel Monsorens - Geólogo, M.Sc.  
Antônio Carlos Bertachinni - Geólogo Consultor, M.Sc.*

#### Hidrologia

*Elizabeth Guelman Davis - Eng. Civil  
Eber José de Andrade Pinto - Eng. Civil Consultor Interno, M.Sc.  
Magda Cristina Ferreira Pinto - Química, M.Sc.*

#### Uso e Disponibilidade de Recursos Hídricos

*Elizabeth Guelman Davis - Eng. Civil  
Eber José de Andrade Pinto - Eng. Civil Consultor Interno, M.Sc.  
Décio Antônio Chaves Beato - Geólogo*

### APOIO OPERACIONAL

*Agnaldo Francisco Teixeira de Freitas - Ass. Tec. Especializado  
Alessandro José da Silva - Ass. Tec. Especializado  
Antônio dos Santos Neto - Auxiliar Tec. Manutenção  
Arlindo Akio Yamato - Geólogo, M.Sc.  
Branca Estrella Cardoso - Estagiária de Geografia  
Deli Moreira Soares - Auxiliar Tec. Manutenção  
Edésio Lucrécio Lucas Diniz - Hidrotécnico  
Eliane Moraes Almeida - Estagiária de Geografia  
Eloísa Helena Munck - Estagiária de Geografia  
Francisco Magela Dias - Auxiliar Tec. Manutenção*

*René Henrique Cardoso Renault - Biólogo*  
**Gerente da APA Sul RMBH**  
**Representante da SEMAD**

### APOIO OPERACIONAL

*Giovanni Diniz Moreira - Estagiário de Geografia  
José Ismael Bento - Técnico de Perfuração  
Keli Regina Rodrigues Pedroza - Técnico Administrativo  
Lana de Cássia Andrade - Estagiária de Geografia  
Márcio Alexandre - Técnico de Hidrologia  
Marco Antônio Leitão Pimentel - Técnico Administrativo  
Márcio de Oliveira Cândido - Eng. Civil, M.Sc.  
Márcio Ferreira Augusto - Desenhista  
Maria Lúcia Chagas Ribeiro Vasconcelos - Bibliotecária  
Maurício Alves Ferreira Santos - Estagiário de Geografia  
Maurício Vieira Rios - Técnico em Prospecção  
Maurina Soares Siqueira de Freitas - Técnico de Hidrologia  
Michelle Rodrigues Araújo - Estagiária de Geografia  
Neuro Rodrigues - Técnico de Hidrologia  
Osvaldo Pereira dos Santos - Técnico de Hidrologia  
Paulo César Santarém da Silva - Geólogo, M.Sc.  
Terezinha Inácia Carvalho Pereira - Técnica em Cartografia  
Sarah Costa Cordeiro - Ass. Tec. Especializado  
Valdiva de Oliveira - Ass. Tec. Especializado  
Valter Gonçalves de Araújo - Ass. Tec. Especializado  
Wanda A. X. França - Ass. Tec. Especializado  
Wilson Luís Féboli - Geólogo*

### APOIO TÉCNICO

**Contribuição Técnica no Capítulo de  
Sedimentometria do Tema Hidrologia**  
*Alice Silva de Castilho - Eng. Civil, M.Sc.*

**Digitalização de Mapas para o Tema Geologia:**  
*José Geraldo de Souza - Técnico de Mineração  
Lindouro Araújo Duarte - Técnico de Mineração*

### Editoração Cartográfica e Composição de Leiaute Final:

*Elizabeth Almeida Cadete Costa - Tec. em Cartografia  
Rosângela Gonçalves Bastos de Souza - Geógrafa*

### Levantamento de Campo e Consistência de Dados Hidrogeológicos:

*Georgete Macedo Dutra - Geóloga  
Júlio de Freitas Fernandes Vasques - Prospector e  
Hidrotécnico*

### Levantamento de Dados Secundários:

*José do Espírito Santo Lima - Geólogo*

### Levantamento de Campo para os Temas Hidrogeologia e Hidrologia:

*Antônio Luiz do Nascimento - Hidrotécnico  
Gesler Ferreira - Técnico de Mineração  
Luiz Fernando Zacarias - Técnico de Mineração*

### Normalização e Pesquisa Bibliográfica:

*Maria Madalena Costa Ferreira - Bibliotecária*

### Organização de Banco de Dados e Levantamento de Campo para o Tema Geotecnia:

*Nelson Baptista de Oliveira Rezende Costa - Geólogo*

### Tratamento de Dados Temáticos em GIS:

*Carlos Augusto Silva Leite - Geólogo Supervisor  
Márcio Antônio da Silva - Geólogo Supervisor, M.Sc.*

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA  
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL  
CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL  
GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS  
SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL  
CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS

PROGRAMA GATE  
INFORMAÇÕES PARA A GESTÃO TERRITORIAL

**PROJETO APA SUL RMBH**  
**Estudos do Meio Físico**

Hidrologia  
Volume 9  
Parte A

*Elizabeth Guelman Davis - Eng. Civil*  
*Eber José de Andrade Pinto - Eng. Civil Consultor Interno, M.Sc.*  
*Magda Cristina Ferreira Pinto - Química, M.Sc.*



**HIDROLOGIA**

---

**Belo Horizonte**  
**2005**

## PROGRAMA GATE - INFORMAÇÕES PARA A GESTÃO TERRITORIAL

### PROJETO APA SUL RMBH - ESTUDOS DO MEIO FÍSICO

Executado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM  
Superintendência Regional de Belo Horizonte

CPRM - Superintendência Regional de Belo Horizonte  
Av. Brasil, 1731 - Bairro Funcionários  
Belo Horizonte - MG - 30140-002  
Fax: (31) 3261 5585  
Tel: (31) 3261 0391  
<http://www.cprm.gov.br>

#### Ficha Catalográfica

##### Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM

Projeto APA Sul RMBH: estudos do meio físico, hidrologia, *Elizabeth Guelman Davis*, *Eber José de Andrade Pinto*, *Magda Cristina Ferreira Pinto*.- Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005.

178p., il. v. 9; 4 mapas em apêndices (Série Programa Informações Básicas para a Gestão Territorial - GATE). Versão digital e convencional.

Conteúdo: Projeto APA Sul RMBH - inclui 10 volumes de textos, mapas, quadros e fotos de campo. Contém partes A, B e C do volume 9.

1- Gestão Territorial Regional de Belo Horizonte. 2 - Hidrologia. 3 - Estação fluviométricas. I - Título. II - Davis, E.G. III - Pinto, E. J.de A. - IV Pinto, M. C. F. V - Série.

CDU 577.4

##### **Direitos desta edição: CPRM - Serviço Geológico do Brasil**

É permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte.

## AGRADECIMENTOS

---

*Aos órgãos, instituições e empresas que contribuíram para o desenvolvimento das atividades do Projeto, em especial:*

*Água Consultores Associados*

*Anex (Superfilito)*

*Anglogold*

*Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC*

*Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA*

*Companhia Vale do Rio Doce - CVRD*

*Departamento de Estradas de Rodagem - DER*

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA*

*Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM*

*Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais - FIEMG*

*Fundação João Pinheiro - FJP*

*Fundação Biodiversitas*

*Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM*

*Instituto Estadual de Florestas - IEF*

*Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM*

*Minerações Brasileiras Reunidas S.A. - MBR*

*Serviços de Hidrogeologia Ltda. - MDGEO*

*Mineral do Brasil*

*Pedras Congonhas*

*Prefeituras dos Municípios integrantes da APA Sul RMBH*

*Província Brasileira Congregação Missão (Santuário Caraça)*

*Rio Verde Mineração*

*SAMOTRACIA ALPHAVILLE*

*Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Itabirito*

*V & M Mineração Ltda*

## RESUMO

---

O tema apresenta a caracterização climática, pluviométrica e sedimentométrica, bem como a avaliação quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos de superfície relativos à região que abrange a Área de Proteção Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte – APA Sul RMBH. Na caracterização climatológica, foram analisadas as variações sazonais e espaciais de algumas variáveis que caracterizam o clima da APA Sul RMBH, tendo sido utilizados os dados das normais climatológicas das estações de Ibirité e Belo Horizonte publicadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. São apresentados os dados relativos ao balanço hídrico de Thornthwaite-Matter (1995), quantificadas as variáveis evapotranspiração potencial, evapotranspiração real, precipitação efetiva, excedente hídrico e deficiência hídrica, e avaliada suas variações espaciais e sazonais. Na caracterização pluviométrica, foram identificados os padrões pluviométricos, e definidas as isoietas de precipitação média anual, a estimativa da probabilidade de ocorrência de precipitações anuais e a regionalização das precipitações máximas diárias. Foram utilizadas as estações pluviométricas pertencentes à Agência Nacional de Águas, à CEMIG, e à MBR. Quanto aos recursos hídricos de superfície, foi realizada a caracterização hidrográfica das sub-bacias que drenam a região, onde são descritas as características fisiográficas dos principais cursos d'água e apresentados os dados obtidos por estações fluviométricas pertencentes a empresas particulares, da rede hidrométrica da ANA e da rede de monitoramento fluviométrico instalada para o projeto APA Sul RMBH. Foi também realizada a estimativa das vazões características através da regionalização hidrológica, a avaliação da relação entre os volumes anuais escoados e precipitações, e determinado o coeficiente de escoamento superficial das estações fluviométricas pertencentes a ANA. A caracterização sedimentométrica foi feita através da estimativa da produção de sedimentos em bacias monitoradas que abrangem a região em estudo. Foram utilizados os dados sedimentométricos das estações pertencentes às redes da ANA e da CEMIG. Finalmente, foi realizada uma análise de aspectos qualitativos das águas de superfície, a partir dos dados disponíveis e obtidos pela rede de monitoramento instalada para o projeto.

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

### TABELAS

TABELA 1 – Participação dos municípios na área total da APA Sul RMBH. ....	5
TABELA 2 – Estações climatológicas .....	11
TABELA 3 – Evapotranspiração Real Média - Ano Hidrológico (mm).....	16
TABELA 4 – Evapotranspiração Potencial (mm).....	17
TABELA 5 – Balanço hídrico de Ibitaré (Capacidade de armazenamento, 100 mm).....	18
TABELA 6 – Balanço hídrico de Belo Horizonte (Capacidade de armazenamento, 100 mm).....	19
TABELA 7 – Resumo dos resultados do balanço hídrico .....	19
TABELA 8 – Relação das séries pluviométricas reunidas para o estudo.....	22
TABELA 9 – Precipitações mensais (mm).....	32
TABELA 10 – Estações utilizadas no traçado das isoietas médias anuais .....	34
TABELA 11 – Estações pluviométricas utilizadas no estudo.....	36
TABELA 12 – Razões-L calculadas .....	38
TABELA 13 – Parâmetros estimados da distribuição Generalizada Normal.....	40
TABELA 14 – Probabilidade de ocorrência da precipitação anual (%) .....	41
TABELA 15 – Estações pluviométricas utilizadas na regionalização de máximos diários (continua)..	43
TABELA 16 – Razões-L calculadas para a regionalização de máximos diários .....	45
TABELA 17 – Parâmetros estimados da distribuição GEV .....	47
TABELA 18 – Quantis adimensionais da GEV para precipitações máximas diárias.....	47
TABELA 19 – Quantis de precipitações máximas diárias (mm) .....	48
TABELA 20 – Quantis regionais adimensionalizados.....	50
TABELA 21 – Intensidade Média (mm/h) – (PA = 1500 mm) .....	51
TABELA 22 – Intensidade Média (mm/h) – (PA = 1800 mm) .....	51
TABELA 23 – Características fisiográficas dos principais cursos d’água da APA Sul RMBH .....	55
TABELA 24 – Estações Fluviométricas pertencente à rede ANA/ANEEL.....	57
TABELA 25 – Estações Fluviométricas pertencente a outras entidades .....	58

TABELA 26 – Vazões médias obtidas durante as campanhas de campo .....	60
TABELA 27 – Vazões médias de longo termo das sub-bacias do rio das Velhas .....	62
TABELA 28 – Vazões médias de longo termo das sub-bacias do rio Paraopeba.....	63
TABELA 29 – $Q_{mlt}$ das sub-bacias do rio Piracicaba .....	63
TABELA 30 – Relações entre as contribuições mensais e anuais médias - rio das Velhas .....	65
TABELA 31 – Vazões Médias Mensais das sub-bacias do rio das Velhas ( $m^3/s$ ) .....	67
TABELA 32 – Parâmetros das distribuições de freqüência - Área de interesse do rio das velhas .....	68
TABELA 33 – Relações entre as contribuições mensais e anuais médias – rio Paraopeba .....	71
TABELA 34 – Vazões Médias Mensais das sub-bacias do rio Paraopeba ( $m^3/s$ ).....	71
TABELA 35 – Parâmetros das distribuições de freqüência - Área de interesse do rio Paraopeba.....	73
TABELA 36 – Relações entre as contribuições mensais e anuais médias – Carrapato .....	75
TABELA 37 – Vazões Médias Mensais das sub-bacias do rio Piracicaba ( $m^3/s$ ) .....	75
TABELA 38 – Parâmetros das distribuições de freqüência – Carrapato, cód. 56640000 .....	75
TABELA 39 – Permanência das contribuições específicas mensais ( $L/s.km^2$ ) .....	78
TABELA 40 – Distribuição Normal Parametrizada.....	82
TABELA 41 – Valores regionais das razões-L e dos momentos-L para as regiões MAX-I e MAX-VII	82
TABELA 42 – Parâmetros da distribuições Log-Normal (3P) e Logística Generalizada (LG).....	82
TABELA 43 – Quantis regionais adimensionalizados para vazões máximas $(X/\mu)_T$ .....	83
TABELA 44 – Vazões máximas das sub-bacias do rio das Velhas e do rio Paraopeba ( $m^3/s$ ) .....	84
TABELA 45 – Momentos-L e razões-L da estação de Carrapato, cód. 56640000.....	84
TABELA 46 – Parâmetros da distribuição GEV ajustada as vazões máximas de Carrapato .....	85
TABELA 47 – Vazões máximas das sub-bacias do rio Piracicaba ( $m^3/s$ ) .....	86
TABELA 48 – Parâmetros da distribuição de Weibull (2P).....	87
TABELA 49 – Quantis regionais adimensionais das regiões MIN-A e MIN-D.....	88
TABELA 50 – Vazões mínimas com 7 dias de duração - Sub-bacias dos rios das Velhas e Paraopeba ( $m^3/s$ ) .....	90
TABELA 51 – Os momentos-L e as razões-L dos logaritmos das vazões de Carrapato .....	91
TABELA 52 – Parâmetros da distribuição de Weibull para as vazões mínimas de Carrapato .....	91
TABELA 53 – Vazões mínimas de Carrapato com diferentes tempos de retorno ( $m^3/s$ ) .....	92
TABELA 54 – Vazões mínimas com 7 dias de duração - Sub-bacias do rio Piracicaba ( $m^3/s$ ) .....	93
TABELA 55 – Coeficientes de escoamento superficial .....	96
TABELA 56 – Relação das estações sedimentométricas levantadas .....	98
TABELA 57 – Valores dos coeficientes $a$ e $n$ resultantes do ajuste das curvas-chave .....	101
TABELA 58 – Produção anual de sedimentos em suspensão ( $t/km^2.ano$ ).....	105
TABELA 59 – Descrição dos pontos de monitoramento utilizados.....	121
TABELA 60 – Número de campanhas de amostragem realizadas nos pontos de monitoramento ..	123
TABELA 61 – Pesos relativos ( $w_i$ ) para os nove parâmetros selecionados para o cálculo do IQA ...	125
TABELA 62 – Padrões de qualidade de águas doces, considerando alguns parâmetros. ....	130
TABELA 63 – Resultados de análises .....	136

TABELA 64 – Dados da série de sólidos, turbidez e cor dos pontos de monitoramento em BV013, BV035 e BV037 no mês de janeiro no período de 1998 a 2003.....	140
TABELA 65 – Dados de arsênio, manganês, níquel e cromo trivalente dos pontos de monitoramento em BV013, BV035 e BV037 no mês de janeiro no período de 1998 a 2003.....	141
TABELA 66 – Valores médios de IQA entre 1997 e 2003 .....	153
TABELA 67 – Proposta de valores máximos permitidos (VMP) para fósforo total da reformulação da Resolução CONAMA nº20/86 .....	159
TABELA 68 – Diferença de percentagem de ocorrência de não-conformidade da série histórica de fosfatos entre VMP 0,025 mg P/L e 0,1 mg P/L.....	160

### QUADRO

QUADRO 1 – Feições erosivas e barragens de rejeito por sub-bacia .....	114
QUADRO 2 – Classes das águas doces e seus usos preponderantes conforme a Resolução CONAMA nº 20/1986. ....	128
QUADRO 3 – Cursos d'água das bacias dos rios Piracicaba, Paraopeba e das Velhas enquadrados pelas DN do COPAM presentes na APA Sul RMBH .....	131
QUADRO 4 – Pontos de monitoramento de qualidade das águas da APA Sul .....	133
QUADRO 5 – Análises químicas, físico-químicas e microbiológicas realizadas .....	134
QUADRO 6 – Métodos analíticos utilizados. ....	135
QUADRO 7 – Resumo da avaliação de qualidade das águas .....	163

## LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

### LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Mapa de localização da APA Sul RMBH.....	4
FIGURA 2 – Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS .....	10
FIGURA 3 – Estações utilizadas na estimativa da evapotranspiração real média.....	16
FIGURA 4 – Isoietas de Precipitação Média Anual – Ano Hidrológico (mm) .....	34
FIGURA 5 – Localização das estações pluviométricas .....	36
FIGURA 6 – Probabilidade de ocorrência da precipitação anual na faixa de 1200 a 1500 mm .....	42
FIGURA 7 – Localização da estações utilizadas na regionalização de máximos diários.....	44
FIGURA 8 – Configuração Isoietal.....	50
FIGURA 9 – Rede de drenagem da APA Sul RMBH.....	54
FIGURA 10 – Área interesse – Bacia do rio das Velhas .....	65
FIGURA 11 – Área interesse – Bacia do rio Paraopeba.....	69
FIGURA 12 – Área interesse – Bacia do rio Piracicaba .....	73
FIGURA 13 – Rio das Velhas.....	98
FIGURA 14 – Rio Paraopeba.....	99
FIGURA 15 – Feições erosivas.....	112
FIGURA 16 – Localização das barragens de rejeito.....	113
FIGURA 17 – Rede de monitoramento sedimentométrica proposta .....	117
FIGURA 18 – Curvas individuais dos componentes do IQA (DERÍSIO, 2000). .....	126

### LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Valores Normais de pressão atmosférica.....	11
GRÁFICO 2 – Valores normais de temperatura média compensada.....	12
GRÁFICO 3 – Valores normais de temperatura máxima.....	13
GRÁFICO 4 – Valores normais de temperatura mínima .....	14

GRÁFICO 5 – Valores normais de umidade relativa .....	14
GRÁFICO 6 – Valores normais de evaporação total .....	15
GRÁFICO 7 – Valores normais de insolação.....	17
GRÁFICO 8 – Valores normais de nebulosidade .....	18
GRÁFICO 9 – Balanço Hídrico de Ibirité.....	20
GRÁFICO 10 – Balanço Hídrico de Belo Horizonte.....	20
GRÁFICO 11 – Hietograma anual da estação pluviométrica da Mineração Morro Velho, código 01943000.....	23
GRÁFICO 12 – Hietograma anual da estação pluviométrica de caixa de areia, código 01943022 .....	24
GRÁFICO 13 – Hietograma anual da estação pluviométrica da Lagoa Grande, código 02043002 ....	25
GRÁFICO 14 – Hietograma anual da estação pluviométrica do Rio do Peixe, código 02043004 .....	26
GRÁFICO 15 – Hietograma anual da estação pluviométrica da Represa das Codornas, código 02043042.....	27
GRÁFICO 16 – Hietograma anual da estação pluviométrica da Represa do Miguelão, código 020430432.....	28
GRÁFICO 17 – Hietograma anual da estação pluviométrica do Caraça, código 02043059.....	29
GRÁFICO 18 – Hietograma anual da estação pluviométrica de Ibirité, código 2044012.....	30
GRÁFICO 19 – Hietograma anual da estação pluviométrica da Mina do Pico .....	31
GRÁFICO 20 – Precipitações médias mensais .....	33
GRÁFICO 21 – Precipitações Adimensionais.....	35
GRÁFICO 22 – Diagrama Assimetria-L Curtose-L .....	39
GRÁFICO 23 – Distribuições empíricas e regionais.....	40
GRÁFICO 24 – Diagrama Assimetria-L x Curtose-L.....	46
GRÁFICO 25 – Distribuição regional adimensional e empíricas .....	47
GRÁFICO 26 – Relações IDF .....	49
GRÁFICO 27 – Contribuições específicas mensais na bacia do rio das Velhas.....	66
GRÁFICO 28 – Contribuições específicas associadas a diferentes tempos de retorno – Bacia do rio das Velhas.....	70
GRÁFICO 29 – Contribuições específicas mensais na bacia do rio Paraopeba.....	72
GRÁFICO 30 – Contribuições específicas associadas a diferentes tempos de retorno – Bacia do rio Paraopeba.....	74
GRÁFICO 31 – Contribuições específicas mensais na estação de Carrapato, cód. 56640000 .....	76
GRÁFICO 32 – Contribuições específicas associadas a diferentes tempos de retorno – Carrapato, cód. 5664000.....	77
GRÁFICO 33 – Curvas de Permanência .....	78
GRÁFICO 34 – Curvas de Permanência das estações.....	79
GRÁFICO 35 – Ajuste da distribuição GEV as vazões máximas anuais de Carrapato .....	85
GRÁFICO 36 – Ajuste da distribuição de Weibull às vazões mínimas de 7 dias de Carrapato.....	92
GRÁFICO 37 – Vazões anuais adimensionais.....	93
GRÁFICO 38 – Curva dupla acumulada – Honório Bicalho, cód. 4199998 .....	95
GRÁFICO 39 – Curva dupla acumulada - Carrapato, cód. 56640000.....	95

GRÁFICO 40 – Curva-chave da estação Honório Bicalho .....	102
GRÁFICO 41 – Curva-chave da estação Belo Vale .....	103
GRÁFICO 42 – Curva-chave da estação Ponte Nova do Paraopeba .....	104
GRÁFICO 43 – Diagrama de massa da estação Ponte Nova do Paraopeba .....	106
GRÁFICO 44 – Diagrama de massa da estação Belo Vale .....	107
GRÁFICO 45 – Diagrama de massa da estação Honório Bicalho .....	108
GRÁFICO 46 – Seção Transversal .....	109
GRÁFICO 47 – Seção Transversal .....	109
GRÁFICO 48 – Seção Transversal .....	110
GRÁFICO 49 – Seção Transversal .....	110
GRÁFICO 50 – Curvas de OD e OD <sub>sat</sub> do ponto de monitoramento BV013. ....	138
GRÁFICO 51 – Curvas de OD e OD <sub>sat</sub> do ponto de monitoramento BV035 .....	138
GRÁFICO 52 – Curvas de OD e OD <sub>sat</sub> do ponto de monitoramento BV037 .....	139
GRÁFICO 53 – Valores da série de sólidos do ponto de monitoramento BV013 .....	142
GRÁFICO 54 – Valores da série de sólidos do ponto de monitoramento BV035 .....	142
GRÁFICO 55 – Valores da série de sólidos do ponto de monitoramento BV037 .....	143
GRÁFICO 56 – Curvas de OD e OD <sub>sat</sub> do ponto de monitoramento BV062 .....	145
GRÁFICO 57 – Curvas de OD e OD <sub>sat</sub> do ponto de monitoramento BV063 .....	145
GRÁFICO 58 – Curvas de OD e OD <sub>sat</sub> do ponto de monitoramento BV139 .....	146
GRÁFICO 59 – Curvas de OD e OD <sub>sat</sub> do ponto de monitoramento 0600001101 .....	146
GRÁFICO 60 – Curvas de OD e OD <sub>sat</sub> do ponto de monitoramento 0600001104 .....	147
GRÁFICO 61 – Curvas de OD do ponto de monitoramento 0600001109.....	147
GRÁFICO 62 – Curvas de OD e OD <sub>sat</sub> na estação hidrometeorológica de Honório Bicalho Montante.....	148
GRÁFICO 63 – Curvas de OD e OD <sub>sat</sub> do ponto de monitoramento 0600000601 .....	150
GRÁFICO 64 – Curvas de OD e OD <sub>sat</sub> do ponto de monitoramento 0600000602 .....	150
GRÁFICO 65 – Curvas de OD e OD <sub>sat</sub> do ponto de monitoramento 0600000902 .....	151
GRÁFICO 66 – Curvas de OD e OD <sub>sat</sub> do ponto de monitoramento BP036 .....	151
GRÁFICO 67 – Curvas de OD e OD <sub>sat</sub> do ponto de monitoramento BP068. ....	152
GRÁFICO 68 – IQA do ponto de monitoramento BV013 no período de 1997 a 2003 .....	154
GRÁFICO 69 – IQA do ponto de monitoramento BV035 no período de 1997 a 2003 .....	154
GRÁFICO 70 – IQA do ponto de monitoramento BV037 no período de 1997 a 2003 .....	155
GRÁFICO 71 – IQA do ponto de monitoramento BV139 no período de 1997 a 2003 .....	155
GRÁFICO 72 – IQA do ponto de monitoramento BV062 no período de 1997 a 2003 .....	156
GRÁFICO 73 – IQA do ponto de monitoramento BV063 no período de 1997 a 2003 .....	156
GRÁFICO 74 – IQA do ponto de monitoramento BP036 no período de 1997 a 2003 .....	157
GRÁFICO 75 – IQA do ponto de monitoramento BP068 no período de 1997 a 2003 .....	157
GRÁFICO 76 – Percentagem da série histórica dos fosfatos totais em não-conformidade com o enquadramento, considerando os VMPs estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 20/86 (0,025 mg P/L) e pela proposta de reformulação desta resolução (0,1 mg P/L) .....	158

---

GRÁFICO 77 – Percentagem da série histórica de arsênio em não-conformidade com o enquadramento dos cursos d'água .....	160
GRÁFICO 78 – Percentagem das série histórica de ferro solúvel e manganês em não-conformidade com o enquadramento dos cursos d'água .....	161
GRÁFICO 79 – Percentagem das séries históricas de coliformes fecais e coliformes totais em não-conformidade com o enquadramento dos cursos d'água .....	161
GRÁFICO 80 – Percentagem da série histórica de cor e de turbidez em não-conformidade com o enquadramento dos cursos d'água .....	162
GRÁFICO 81 – Percentagem da série histórica de óleos e graxas e índice de fenóis em não-conformidade com o enquadramento dos cursos d'água .....	162

## SUMÁRIO

---

Agradecimentos .....	i
Resumo .....	ii
Lista de Quadros e Tabelas .....	iii
Lista de Figuras e Gráficos .....	iv
1. Introdução.....	1
2. Histórico da criação da APA Sul RMBH.....	2
3. Localização e extensão territorial da APA Sul RMBH .....	4
4. Considerações iniciais.....	6
5. Aplicação e importância do estudo de hidrologia para o ZEE da APA Sul RMBH.....	7
6. Caracterização Climática .....	8
6.1 – Parâmetros climatológicos .....	10
6.1.1 Pressão Atmosférica.....	11
6.1.2 Temperaturas médias .....	11
6.1.3 Temperaturas Máximas .....	13
6.1.4 Temperaturas Mínimas .....	13
6.1.5 Umidade Relativa.....	14
6.1.6 Evaporação Total.....	15
6.1.7 Evapotranspiração .....	15
6.1.8 Insolação.....	17
6.1.9 Nebulosidade .....	17
6.1.10 Balanço Hídrico.....	18
7. Caracterização pluviométrica.....	21
7.1 – Apresentação dos dados pluviométricos levantados .....	21
7.2 – Estudo de definição dos padrões pluviométricos .....	21
7.3 – Estimativa da probabilidade de ocorrência de precipitações anuais .....	35
7.4 – Regionalização das precipitações máximas diárias.....	42
7.5 – Relações Intensidade-Duração-Freqüência.....	48

8. Caracterização do regime fluviométrico.....	52
8.1 – Hidrografia .....	52
8.1.1 Características hidrográficas das sub-bacias .....	52
8.1.2 Características fisiográficas dos principais cursos d'água .....	53
8.2 – Apresentação dos dados fluviométricos levantados .....	56
8.3 – Apresentação da rede de monitoramento fluviométrico instalada .....	58
8.4 – Apresentação da rede de vertedores operada por mineradoras .....	59
8.5 – Estimativas das vazões características.....	61
8.5.1 Vazão média de longo termo.....	61
8.5.2 Estimativa das vazões médias mensais dos principais cursos d'água .....	63
8.5.3 Curva de permanência.....	78
8.5.4 Vazões Máximas.....	79
8.5.5 Vazões Mínimas.....	86
8.6 – Análise das vazões e precipitações anuais.....	93
8.7 – Coeficientes de escoamento superficial.....	96
9. Sedimentometria .....	97
9.1 – Caracterização sedimentológica .....	97
9.2 – Dados sedimentométricos .....	97
9.3 – Estimativa da produção de sedimentos.....	100
9.3.1 Cálculo da descarga sólida.....	100
9.3.2 Curvas-chave de sedimentos .....	100
9.3.3 Cálculo da produção anual de sedimentos.....	105
9.4 – Informações adicionais.....	110
9.5 – Proposta de uma rede sedimentométrica na região da APA Sul RMBH .....	116
10. Qualidade das águas superficiais da APA Sul RMBH .....	118
10.1 – Introdução.....	118
10.2 – Objetivo.....	118
10.3 – Metodologia .....	118
10.3.1 Pesquisa bibliográfica .....	119
10.3.2 Dados secundários de qualidade das águas superficiais.....	119
10.3.2.1 Consistência de dados de oxigênio dissolvido (OD) .....	120
10.3.2.2 “Amônia não-ionizável” .....	120
10.3.3 Índice de Qualidade da Água - IQA .....	125
10.3.4 Contaminação por tóxicos (CT) .....	127
10.3.5 Aspectos legais de qualidade das águas e enquadramento de cursos d'água .....	127
10.3.5.1 Mapa de enquadramento de qualidade das águas na APA Sul RMBH .....	129
10.3.6 Rede de monitoramento de qualidade das águas superficiais da APA Sul RMBH.....	131
10.4 – Análise de qualidade das águas superficiais da APA Sul RMBH .....	137
10.4.1 Sub-bacia do rio Itabirito e porção sul do trecho do rio das Velhas .....	137

---

10.4.2 Porção centro e norte do trecho do rio das Velhas na APA Sul RMBH .....	143
10.4.3 Sub-bacias dos ribeirões Macacos, Mutuca e Casa Branca .....	148
10.4.4 Sub-bacias do rio do Peixe .....	152
10.4.5 Sub-bacia do rio Conceição.....	152
10.5 – IQA e Contaminação por Tóxicos (CT) .....	153
10.6 – Qualidade das águas superficiais <i>versus</i> enquadramento.....	158
10.7 – Avaliação geral de qualidade das águas na APA Sul RMBH .....	163
10.8 – Recomendações.....	163
11. Considerações Finais.....	164
12. Referências bibliográficas .....	168
APÊNDICES.....	174
Apêndice A - Mapa de Localização das Estações Pluviométricas.....	175
Apêndice B - Mapa de Localização das Principais Sub-Bacias .....	176
Apêndice C - Mapa de Localização das Estações Fluviométricas.....	177
Apêndice D - Mapa de Enquadramento dos Pontos de Monitoramento da Qualidade de Águas.	178
Apêndice E - Disquete contendo Dados de Análise.....	179

## 1. INTRODUÇÃO

---

O Zoneamento Ecológico e Econômico da Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belo Horizonte - APA Sul RMBH, instituído pela Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD, do Governo de Minas Gerais, tem por meta constituir-se num instrumento de apoio e orientação à gestão ambiental da APA, criando e desenvolvendo mecanismos legais e técnicos que possibilitem a conservação e proteção do meio ambiente em todo seu território. Objetiva, ainda, tornar-se um instrumento capaz de fornecer orientações programáticas e respectivas normas gerais para disciplinamento e adequação da ocupação e uso do solo e dos recursos naturais, na sua área de abrangência, segundo o modelo de desenvolvimento sustentável.

Os objetivos básicos da APA Sul RMBH estão definidos no Art. 2º da Lei Estadual nº 13.960 de sua criação e correspondem à “proteção e conservação dos sistemas naturais essenciais à biodiversidade, especialmente os recursos hídricos necessários ao abastecimento da população da Região Metropolitana de Belo Horizonte e das áreas adjacentes, com vistas à qualidade de vida da população local, à proteção dos ecossistemas e ao desenvolvimento sustentável”, justificando a realização dos estudos.

As justificativas de ordem institucional estão contidas na mesma Lei em seu artigo 3º item I e artigo 4º, parágrafo 2º, a seguir transcritos:

“Art. 3º – Para implantação da APA Sul RMBH, serão adotadas as seguintes providências:

I – zoneamento ecológico e econômico, com o respectivo sistema de gestão colegiado, ...”

“Art. 4º, parágrafo 2º – o zoneamento ecológico e econômico indicará as atividades a serem encorajadas em cada zona e as que deverão ser limitadas, restringidas ou proibidas, de acordo com a legislação aplicável”.

Os relatórios das atividades relativas ao meio físico ora apresentados pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil, empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia, fazem parte do conjunto de dados e informações que comporão o banco de dados do Zoneamento Ecológico e Econômico da Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belo Horizonte - APA Sul RMBH, sob responsabilidade da Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAD, do Governo de Minas Gerais.

## 2. HISTÓRICO DA CRIAÇÃO DA APA SUL RMBH

---

A legislação ambiental brasileira possui dispositivos específicos que disciplinam o sistema de unidades de conservação, estabelecendo categorias de uso direto e indireto, conforme Decreto Federal nº 33.944 de 18 de setembro de 1992. A Lei 9.985 de 18 de julho de 2000, bem mais específica, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC e em seu Art. 14 enquadra as unidades que constituem o Grupo das Unidades de Uso Sustentável, do qual fazem parte as Áreas de Proteção Ambiental – APAs. O Art. 15 dessa mesma lei define APA como sendo *“uma área em geral extensa, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais”*.

Devido aos atributos dos meios físico e biótico, estéticos, culturais e econômicos significativos da região sul de Belo Horizonte, houve necessidade de se criar uma unidade de conservação que pudesse normatizar e disciplinar seu uso e ocupação. Desse modo, criou-se a APA Sul RMBH, cuja motivação deveu-se ao imenso potencial hídrico, à rica biodiversidade, aos aspectos sócio-culturais e econômicos profundamente ligados a uma tradição minerária, responsável pelo surgimento de núcleos populacionais desde o século XVIII, com o advento do ciclo do ouro e, posteriormente, com a mineração de ferro. É uma região que sofre uma forte pressão da expansão urbana de parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte, principalmente em direção aos municípios de Nova Lima e Brumadinho, com riscos de comprometimento do equilíbrio natural da região, podendo vir ocasionar consequências sérias para o meio ambiente.

Segundo informações da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD, a demanda pela criação de uma APA na região sul de Belo Horizonte surgiu, inicialmente, de uma associação de proprietários de “residências de fins de semana” da localidade de São Sebastião de Águas Claras, também denominada de Macacos. Posteriormente a idéia foi levada ao Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM, ampliando-se o debate em torno da viabilidade de sua criação.

As discussões e avaliações técnicas entre os vários setores atuantes na região, por meio de debates e seminários realizados com o aval do COPAM, redundaram no estabelecimento da APA Sul RMBH, através do Decreto Estadual nº 35.624, de 08 de junho de 1994, posteriormente alterado pelo Decreto Estadual nº 37.812, de 08 de maio de 1996. Em 26 de

julho de 2001, através da Lei Estadual nº 13.960, foi estabelecida a redação definitiva do texto de criação da APA Sul RMBH.

### 3. LOCALIZAÇÃO E EXTENSÃO TERRITORIAL DA APA SUL RMBH

A APA Sul RMBH, com uma extensão de 1625,32 km<sup>2</sup>, localizada ao sul da RMBH, engloba parte dos municípios de Barão de Cocais, Belo Horizonte, Brumadinho, Caeté, Catas Altas, Ibirité, Itabirito, Mário Campos, Nova Lima, Raposos, Santa Bárbara, Sarzedo e todo o município de Rio Acima (FIG. 1), com limites geográficos definidos em memorial descritivo anexo à Lei de criação. Os municípios de Nova Lima, Rio Acima, Itabirito e Santa Bárbara, compõem mais de 85% do território da APA (TAB. 1). A área é servida pelas rodovias federais BR-040 e BR-356 e por rodovias estaduais e municipais, em sua maioria de tráfego permanente.



FIGURA 1 - Mapa de localização da APA Sul RMBH.

TABELA 1  
Participação dos municípios na área total da APA Sul RMBH.

<b>Municípios</b>	<b>Área total do município (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Participação na APA (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Equivalente em %</b>
Barão de Cocais	342,00	4,39	0,27
Belo Horizonte	335,00	34,37	2,11
Brumadinho	634,00	176,43	10,86
Caeté	528,00	39,55	2,43
Catas Altas	240,30	75,59	4,65
Ibirité	145,00	17,71	1,09
Itabirito	553,00	259,26	15,95
Mário Campos	37,00	11,62	0,71
Nova Lima	410,00	378,16	23,27
Raposos	77,00	39,75	2,45
Rio Acima	228,06	228,06	14,03
Santa Bárbara	859,00	337,82	20,78
Sarzedo	62,17	22,61	1,39
<b>TOTAL</b>		<b>1625,32</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Enciclopédia dos Municípios Mineiros/Vol. 1, 1998; Rio Acima (Instituto de Geociência Aplicada - IGA/MG); Catas Altas (PRODEMGE)

## 4. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O presente trabalho tem por objetivo avaliar as características climáticas, pluviométricas, de disponibilidade hídrica, de qualidade das águas e de produção de sedimentos das sub-bacias que drenam a região da Apa-Sul RMBH.

Para a elaboração dos estudos, foram levantados trabalhos desenvolvidos anteriormente sobre a área de interesse. Além disso, foram obtidos dados climatológicos, hidrométricos, sedimentométricos e de qualidade das águas dos pontos de monitoramento da região em estudo, pertencentes a entidades públicas e privadas. Em locais onde não havia informações suficientes, foram instalados pontos de monitoramento complementar.

O relatório é apresentado em três volumes. O primeiro apresenta os estudos realizados, o segundo traz [anexos](#) aos estudos, e o terceiro contém o [relatório fotográfico](#) dos trabalhos em campo.

## 5. APLICAÇÃO E IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DE HIDROLOGIA PARA O ZEE DA APA SUL RMBH

---

A APA Sul RMBH é uma região de interesses conflitantes, principalmente devido a dois fatores: o primeiro deles é a questão ambiental, uma vez que a região constitui um dos mananciais mais importante para Belo Horizonte e para os municípios que fazem parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte. O outro fator é o econômico, que exerce significativa influência no ambiental, pois trata-se de uma região com expressiva concentração de atividades de mineração. O estudo da hidrologia da área em questão é importante para analisar estes dois aspectos.

Os estudos aqui descritos irão permitir o estabelecimento de critérios para o zoneamento do uso dos recursos hídricos complementando a legislação existente. Têm como objetivo identificar as sub-bacias, avaliar as disponibilidades hídricas e a qualidade das águas de superfície, bem como quantificar a produção de sedimentos. Com base nessas informações, será possível buscar uma compatibilização entre os recursos hídricos atualmente disponíveis e os usos atuais e potenciais das águas de superfície. Além disso, será possível analisar os conflitos de uso e estabelecer restrições relativas aos fatores de poluição. Outra possibilidade é a realização de análises de modo a verificar se existe alguma tendência de modificação do regime fluviométrico, e quais as suas causas.

## 6. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

---

O clima da Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belo Horizonte - APA Sul RMBH está diretamente relacionado aos componentes da circulação geral da atmosfera. Os sistemas que compõem a circulação geral podem ser de larga-escala, transientes e locais. Segundo [Nimer](#) (1979), os sistemas transientes, também chamados de circulação secundária, são perturbações atmosféricas relacionadas ao aparecimento de linhas de instabilidade, frentes, ciclones e anticiclones móveis que interferem nas condições de tempo meteorológico dos sistemas de grande escala.

Os principais sistemas que atuam diretamente sobre a área em estudo são o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), o Anticiclone Polar Atlântico, as linhas de instabilidade (LI), também chamadas calhas induzidas, os sistemas frontais, a zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e, com menor frequência, a Alta da Bolívia (AB) e a Baixa do Chaco (BC).

O Anticiclone do Atlântico Sul, também denominado Alta de Santa Helena ou de “Ascension” (STRANG, 1967 *apud* [MAIA](#), 1986), é um sistema estacionário, com temperaturas em seu interior bastante elevadas, principalmente no verão, devido à intensa radiação solar. Apresenta um elevado grau de umidade absoluta, e a sua circulação atua o ano inteiro na parte leste do continente sul-americano, gerando ventos de leste a nordeste, a exceção do oeste da Amazônia. Devido à subsidência (correntes verticais descendentes) não há formação de nuvens extensas e desenvolvidas, apesar de ser um anticiclone quente e úmido. Esse fato caracteriza a estabilidade de um sistema dessa natureza. Entretanto, pode ocorrer, devido a umidade evaporada pela superfície líquida, limitada à camada mais superficial, a formação de nuvens baixas do tipo estratiforme. Essas são características típicas desse anticiclone sobre o oceano. Sobre o continente ele sofre modificações, principalmente na região ocidental do Brasil, onde sofre influência da corrente oceânica do Brasil (águas quentes), o que favorece a instabilidade da borda oeste do ASAS. O ASAS é o responsável pelo transporte do vapor d’água proveniente do oceano Atlântico para o interior do Brasil ([MAIA](#), 1986). No outono e durante o inverno há uma atuação mais intensa do ASAS, gerando as condições de estabilidade atmosférica observadas na APA Sul RMBH nesses períodos.

Segundo [Assis](#) (2001), os Anticiclones Polares (AP) têm sua origem na zona subantártica, área de transição entre o ar tropical e polar. Na origem os AP são frios e secos. Ao chegarem à bacia do Alto São Francisco e Alto Rio Doce já sofreram um processo de tropicalização, com um aumento da temperatura e do teor de umidade relativa. Mesmo com

essas alterações esses sistemas são responsáveis pelas baixas temperaturas durante o inverno e pelas condições de bom tempo desse período. No verão, devido à maior intensidade do processo de tropicalização, os AP atingem a RMBH totalmente descaracterizados.

Os sistemas frontais, representados principalmente pelas frentes frias, caracterizam-se por serem superfícies de descontinuidade produzida pelo contato entre duas massas de ar com temperaturas diferentes. Os elementos meteorológicos variam de maneira repentina na zona de transição entre as massas de ar. De acordo com [Moreira \(2002\)](#), a intensidade das instabilidades decorrentes de uma frente fria serão proporcionais às diferenças de características das massas de ar que a originaram. Os sistemas frontais são responsáveis por grande parte das precipitações que ocorrem na APA Sul RMBH durante o verão.

De acordo com [Maia \(1986\)](#), atuando de forma esporádica e indireta, especialmente no verão, a Baixa do Chaco (BC) e Alta da Bolívia (AB) geram chuvas de caráter convectivo e fortes tempestades. As linhas de instabilidade LI são depressões barométricas, na forma de linhas alongadas, que são formadas sobre os estados do Amazonas e do Pará, como consequência do ciclo diurno de aquecimento, e, no seu processo de desenvolvimento, deslocam-se para sudeste. Elas formam um sistema dinâmico de convergência, causando ascensão do ar e, dependendo da força ascensional e do nível de umidade, originam chuvas e trovoadas, de curta duração, com ventos que podem alcançar de 60 a 90 km/h. Esse tipo de fenômeno ocorre preferencialmente no verão, pois o aquecimento do continente gera um decréscimo geral de pressão.

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), segundo [Moreira \(2002\)](#), é convencionalmente definida como sendo uma faixa de nebulosidade persistente, orientada no sentido noroeste-sudeste, associada a um escoamento convergente na baixa troposfera que se estende por milhares de quilômetros desde o sul da Amazônia até o Atlântico Sul-Central. Esse sistema é um eficiente produtor de chuvas intensas na região tropical durante o verão. [Quadro \(1994\)](#), mencionado por [Moreira \(2002\)](#), utiliza como critério de identificação de um episódio característico da ZCAS a persistência por pelo menos 4 dias consecutivos da banda de nebulosidade acompanhada de precipitações intensas. [Oliveira \(1986\)](#) citado por [Moreira \(2002\)](#), estabelece que os Sistemas frontais que atingem as latitudes entre 20° S e 25° S, quando interagem com a convecção tropical, estão na maioria das vezes interagindo com a convecção que se estabelece sobre a área da Amazônia. A [FIG. 2](#) ilustra a ocorrência da ZCAS.

Os principais fatores que interferem localmente no clima são o relevo, o tipo de solo, a cobertura vegetal, a existência de corpos d'água e a influência antrópica que altera o uso e a ocupação do solo. No caso da APA Sul RMBH todos esses fatores estão presentes e influenciam as características do clima local. Entretanto, o relevo parece ser preponderante sobre os outros fatores, pois a presença das serras dos Três Irmãos, do Curral, do Espinhaço e do Caraça, como anteparos físicos ao transporte de umidade, geram diferenças nas precipitações e temperaturas em função da altitude.

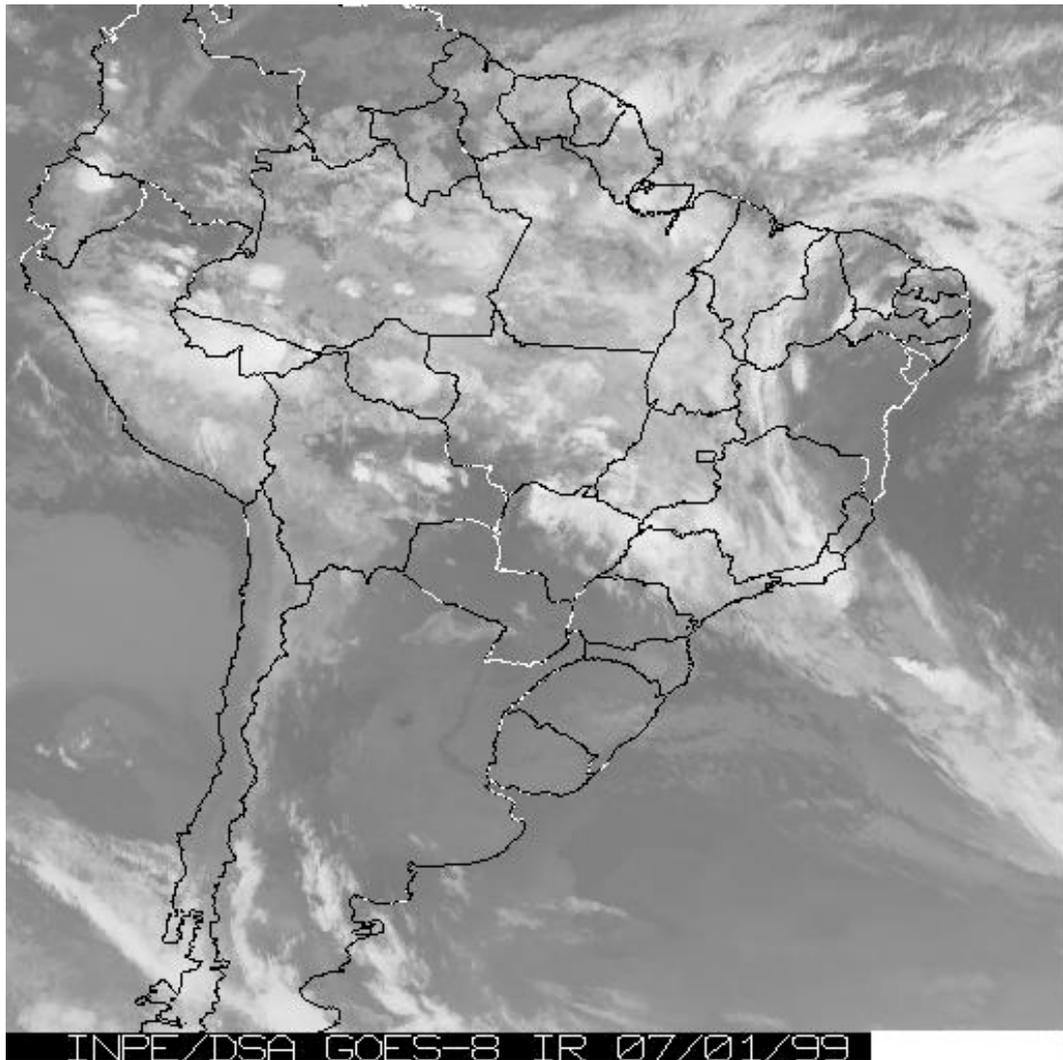


FIGURA 2 – Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS

### 6.1 Parâmetros Climatológicos

As variações sazonais e espaciais de algumas variáveis que definem o clima de uma região são obtidas a partir das informações coletadas pelas estações climatológicas. No caso da APA Sul RMBH as estações climatológicas com séries de dados mais longas pertencem ao INMET. Por causa do alto custo de aquisição desses dados não foi possível utilizar as séries de dados diários e mensais do INMET. Assim, optou-se por utilizar as informações das normais climatológicas publicadas pelo INMET que são as médias mensais de algumas variáveis referentes ao período de 1961 a 1990. As informações das estações climatológicas de Belo Horizonte e Ibirité foram utilizadas para analisar as variações sazonais e espaciais de algumas variáveis que caracterizam o clima da APA Sul RMBH. As duas estações climatológicas utilizadas para essa caracterização estão apresentadas na [TAB. 2](#). Os dados compilados de pressão atmosférica, temperatura média anual, temperatura máxima, temperatura mínima, evaporação total, umidade relativa, insolação e nebulosidade compõem o [ANEXO A](#). Cabe ressaltar que informações das duas estações não permitem uma caracterização dos microclimas da área em estudo.

TABELA 2  
Estações climatológicas

Estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Ano inicial	Ano final
Belo Horizonte	19°56'	43°56'	850,02	1961	1990
Ibirité	20°01'	44°03'	814,54	1961	1990

### 6.1.1 Pressão Atmosférica

Analisando o [GRAF. 1](#) observa-se um aumento da pressão atmosférica nos meses de abril a setembro. Esse período coincide com predomínio da atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) sobre o continente. Esse sistema em associação com as massas de ar frio que chegam à região nesse período tende a aumentar a pressão e gerar condições de estabilidade atmosférica. No verão ocorre uma atenuação da influência do ASAS sobre a região e um aumento das temperaturas fazendo com que as pressões médias mensais recuem. Também se percebe a influência da altitude nesse parâmetro; a estação de menor altitude apresenta maior pressão atmosférica que aquela em altitude mais elevada.

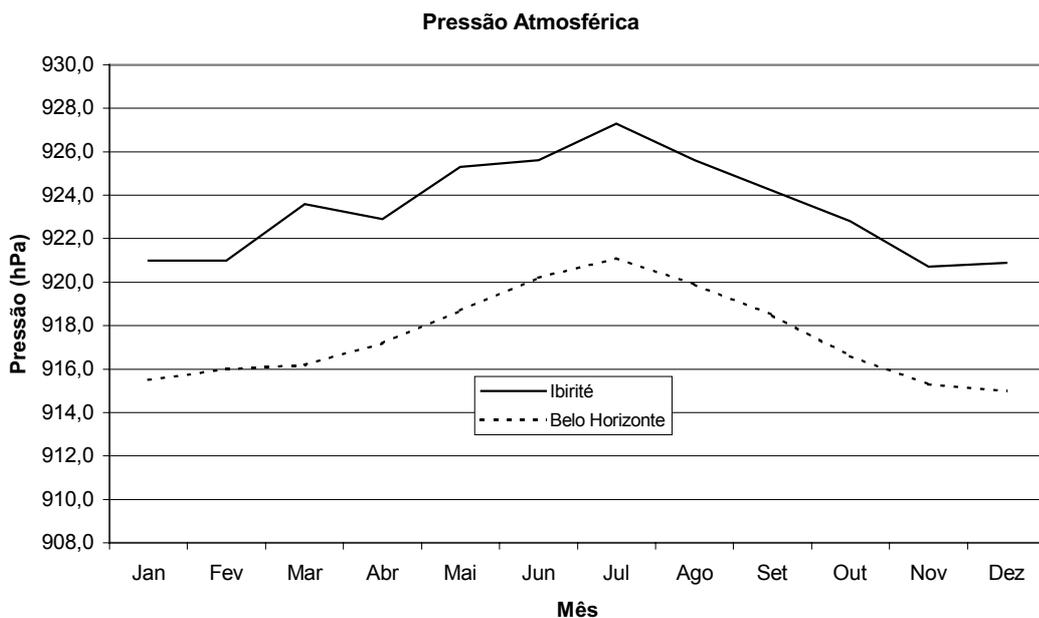


GRÁFICO 1 – Valores normais de pressão atmosférica

### 6.1.2 Temperaturas Médias

Os valores das temperaturas médias mensais apresentados no [ANEXO A](#) foram calculados utilizando-se as médias diárias obtidas através da seguinte equação:

$$T(^{\circ}C) = \frac{T_{12} + 2T_{00} + T_{Max} + T_{Min}}{5} \quad (6.1)$$

onde,

$T_{12}$  e  $T_{00}$  são as temperaturas observadas às 12:00 e 00:00 TMG (Tempo médio de Greenwich);

$T_{Max}$  e  $T_{Min}$  são as temperaturas máximas e mínimas observadas no dia.

De acordo com o que se observa no [GRAF. 2](#), a temperatura média anual de Belo Horizonte é, em geral, mais elevada que a de Ibirité, cuja curva apresenta um gradiente bem mais acentuado. A partir dos dados de temperatura média mensal das estações e do gráfico de variação temporal apresentado no [GRAF. 2](#) nota-se que a temperatura média mensal varia de 16,5° a 23,2° C. Esses valores indicam a predominância de temperaturas medianas a elevadas na região durante quase todo o ano, principalmente na primavera e no verão. As duas estações apresentam o mês de fevereiro com a maior temperatura média mensal, 22,9° em Ibirité e 23,2° C em Belo Horizonte. No período outono-inverno ocorre um decréscimo na temperatura, sendo que a média do mês mais frio, julho, varia entre 16,5° e 18,1° C. A amplitude térmica média anual, aqui definida como a diferença entre a temperatura média do mês mais quente e mais frio, é de 5,1° em Belo Horizonte e 6,4° C em Ibirité.

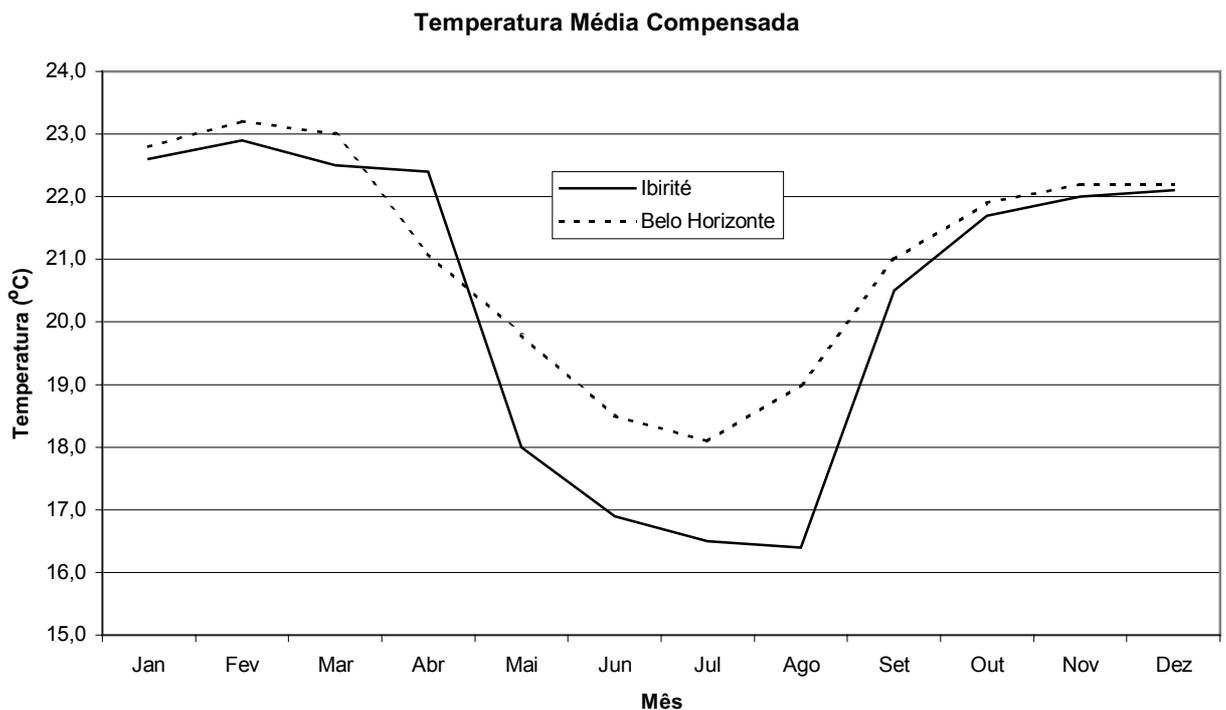


GRÁFICO 2 - Valores normais de temperatura média compensada

As quedas de temperatura observadas nos meses de maio a agosto podem ser atribuídas à redução da intensidade da energia solar que chega ao hemisfério Sul e a acentuação de outros dois fenômenos. O primeiro a ser destacado diz respeito à chegada mais ou menos freqüente de massas polares frias e secas. O outro fator refere-se à menor nebulosidade e à conseqüente elevação dos processos de transferência de energia através da atmosfera (janela atmosférica) durante a noite, uma vez que a nebulosidade contribui acentuadamente para a manutenção do calor junto à superfície (efeito estufa). Sendo que a menor nebulosidade desse período está associada à maior atuação do ASAS.

No verão, o aumento da temperatura média pode ser explicado pela maior intensidade de energia solar que chega ao hemisfério Sul e ao aumento do efeito estufa causado pelo aumento da nebulosidade.

### 6.1.3 Temperaturas Máximas

Considerando os dados de média das temperaturas máximas das estações, verifica-se que o mês de fevereiro é o mais quente do ano para as duas estações, com valores de 28,8° a 29,5° C. As temperaturas máximas absolutas nas duas estações no período de 1961 a 1990, foi de 36,9° no dia 19 de outubro de 1987. Analisando o [GRAF. 3](#) observa-se que há uma diminuição das temperaturas nos meses de novembro e dezembro após um período de elevação. Provavelmente esse comportamento esteja associado aos altos índices de nebulosidade no mesmo período. Também verifica-se o efeito da altitude sobre essa variável, com a estação mais elevada apresentando menor média.

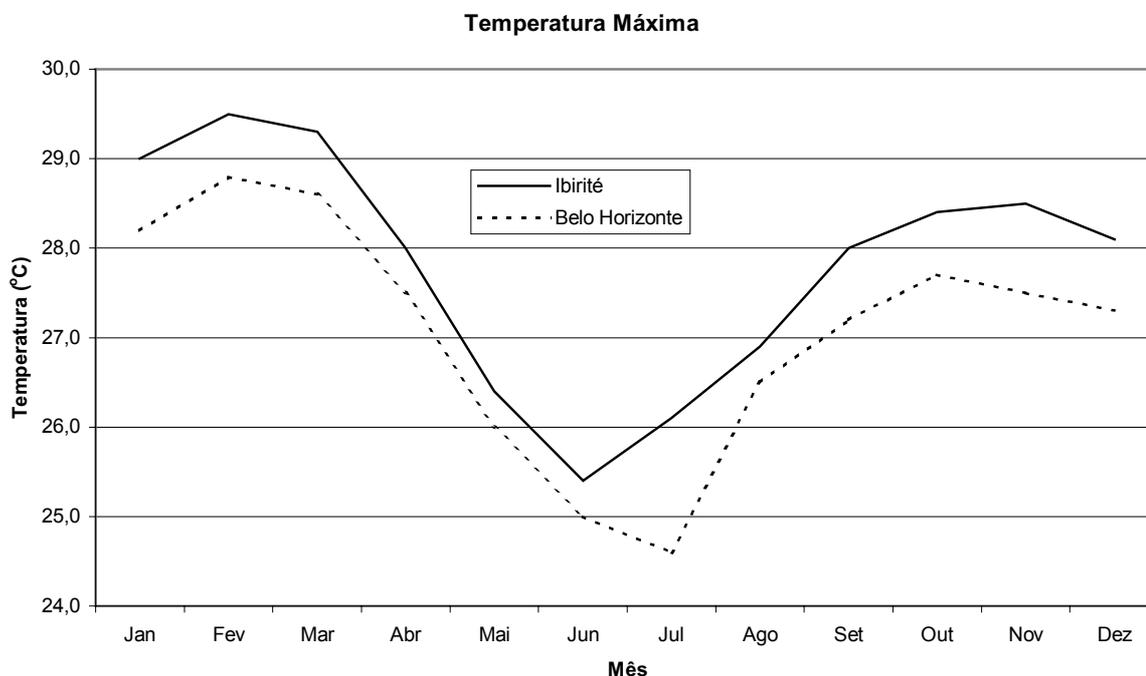


GRÁFICO 3 - Valores normais de temperatura máxima

### 6.1.4 Temperaturas Mínimas

Julho é o mês mais frio do ano nas duas estações, com a média das mínimas variando entre 8,7° e 13,1°C, como pode ser constatado no [ANEXO A](#). As temperaturas mínimas absolutas no período de 1961 a 1990 foram de 3,1° C em Belo Horizonte no dia 01 de junho de 1979, e -1,2° C em Ibirité no dia 22 de junho de 1963. Através do [GRAF. 4](#) observa-se um comportamento bastante semelhante entre as estações. O período mais frio está associado às massas polares frias e secas, a uma menor umidade relativa e à maior atuação do ASAS que contribui para uma menor nebulosidade, facilitando a transmissão de energia emitida pela terra durante a noite através do efeito de “janela atmosférica”.

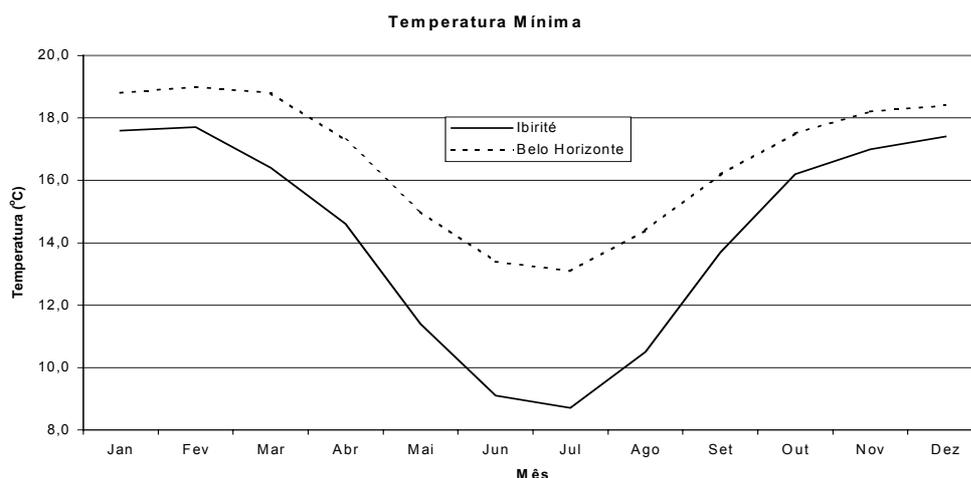


GRÁFICO 4 - Valores normais de temperatura mínima

### 6.1.5 Umidade Relativa

Os percentuais mensais médios de umidade relativa apresentados no [ANEXO A](#) foram calculados utilizando-se as médias diárias obtidas através da seguinte equação:

$$U(\%) = \frac{U_{12} + U_{18} + 2U_{00}}{4} \quad (6.2)$$

onde,

$U_{12}$ ,  $U_{18}$  e  $U_{00}$  são os valores de umidade relativa observados às 12:00, 18:00 e 00:00 TMG (Tempo médio de Greenwich).

A umidade relativa, apesar de permanecer mais ou menos constante nas estações, em boa parte do ano (janeiro a abril), decai rapidamente de maio até agosto. A partir de setembro passa a recuperar seus valores até atingir um patamar mais estável novamente em janeiro. As maiores médias mensais são registradas em janeiro na estação de Belo Horizonte, 79%, e dezembro em Ibirité, 79,9%. Em Belo Horizonte, os menores valores de umidade relativa são observados durante o inverno no mês de agosto, 64,5% e em Ibirité no mês de setembro, 67,8%, como pode ser observado no [GRAF. 5](#). O período mais seco coincide com a época de maior insolação, menor nebulosidade que são reflexos da atuação do ASAS sobre o continente.

**Umidade Relativa Média Mensal**

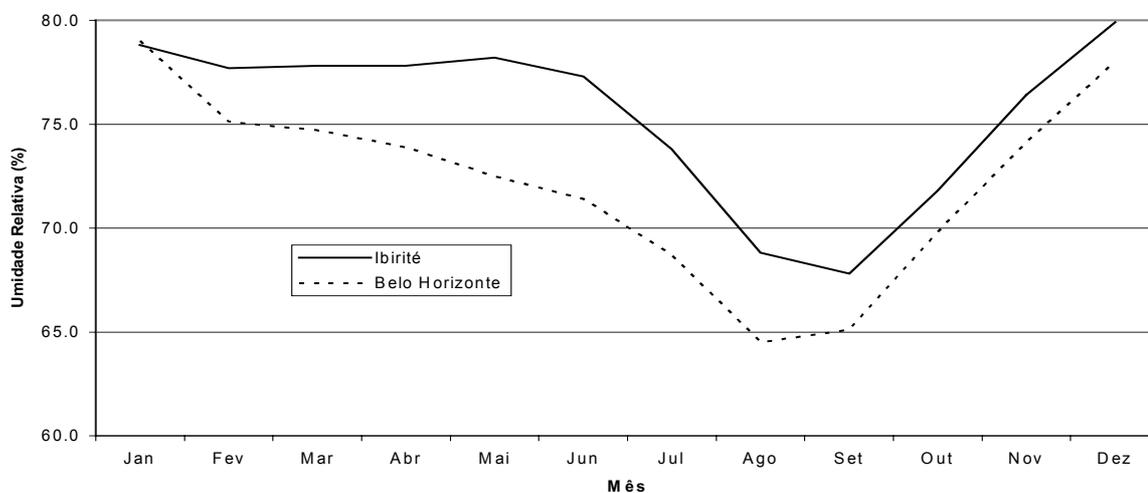


GRÁFICO 5 - Valores normais de umidade relativa

### 6.1.6 Evaporação Total

Os valores de evaporação total correspondem as leituras do evaporímetro de Piché que representam o poder evaporante do ar circundante ao instrumento. De uma maneira geral, esta variável climática está associada com a insolação, a nebulosidade e a umidade relativa. Assim a intensidade da evaporação será mais elevada nos períodos de maior insolação e menor umidade relativa (agosto a outubro, aproximadamente). Os valores máximos observados nas estações nesses meses variam de 115,0 a 137,2 mm. No verão, devido ao aumento da umidade do ar ocorre um decréscimo da evaporação até dezembro. A partir de março a evaporação mantém-se até junho e a partir deste mês passa a ter uma elevação considerável como pode ser visualizado no [GRAF. 6](#).

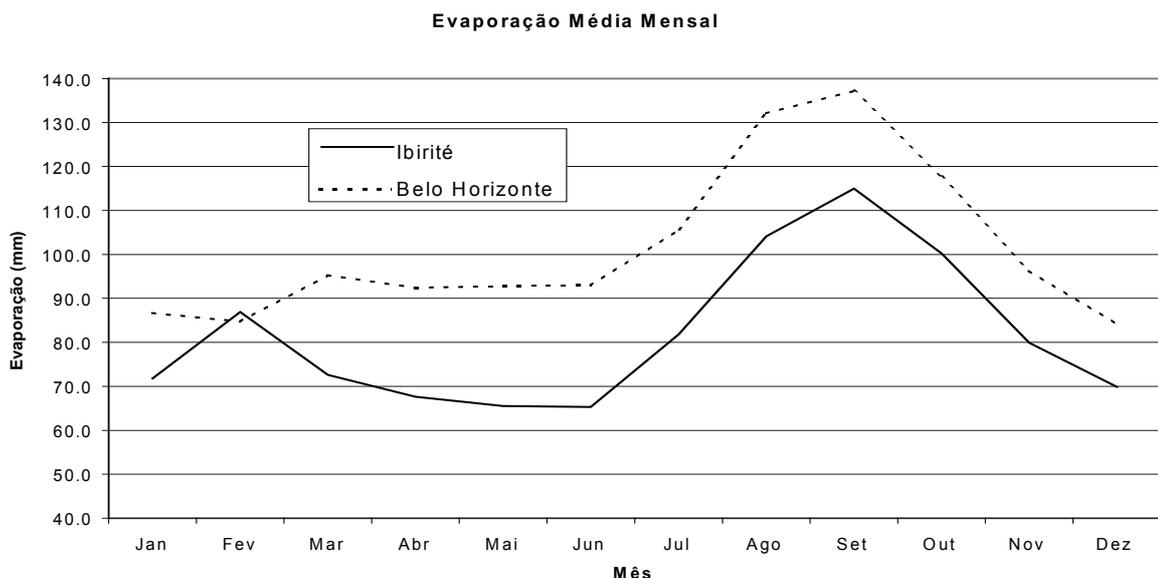


GRÁFICO 6 - Valores normais de evaporação total

### 6.1.7 Evapotranspiração

A evapotranspiração real pode ser avaliada a partir do balanço hídrico, que é a aplicação da equação da continuidade à parte terrestre do balanço hídrico de uma bacia hidrográfica.

$$P - ET = E_{sup} + E_{sub} + \Delta S \quad (6.3)$$

onde,

$P$ , precipitação;

$ET$ , evapotranspiração;

$E_{sup}$ , escoamento superficial na exutória;

$E_{sub}$ , escoamento subterrâneo para fora da bacia;

$\Delta S$ , variação do armazenamento da bacia (superficial e subterrâneo) entre o início e o final do período analisado.

Nessa equação, na maioria dos casos, o termo  $E_{sub}$  é bem inferior aos demais, de modo que pode ser desprezado. Acontece o mesmo em relação a  $\Delta S$ , desde que se considere um período suficientemente longo, pelo menos 5 anos. Assim temos:

$$ET = P - E_{sup} \quad (6.4)$$

Para avaliar a evapotranspiração média anual da APA Sul RMBH foi aplicada a metodologia acima às áreas de drenagem das estações fluviométricas de Honório Bicalho, código 41199998, Carrapato, código 5664000 e a área de drenagem entre as estações de Ponte Nova do Paraopeba e Belo Vale (Dif-Paraopeba), códigos 40800001 e 40740000, respectivamente. A localização das estações pluviométricas e fluviométricas, e os polígonos de Thiessen, utilizados no cálculo da precipitação média sobre as áreas de drenagem, estão apresentados na FIG. 3.

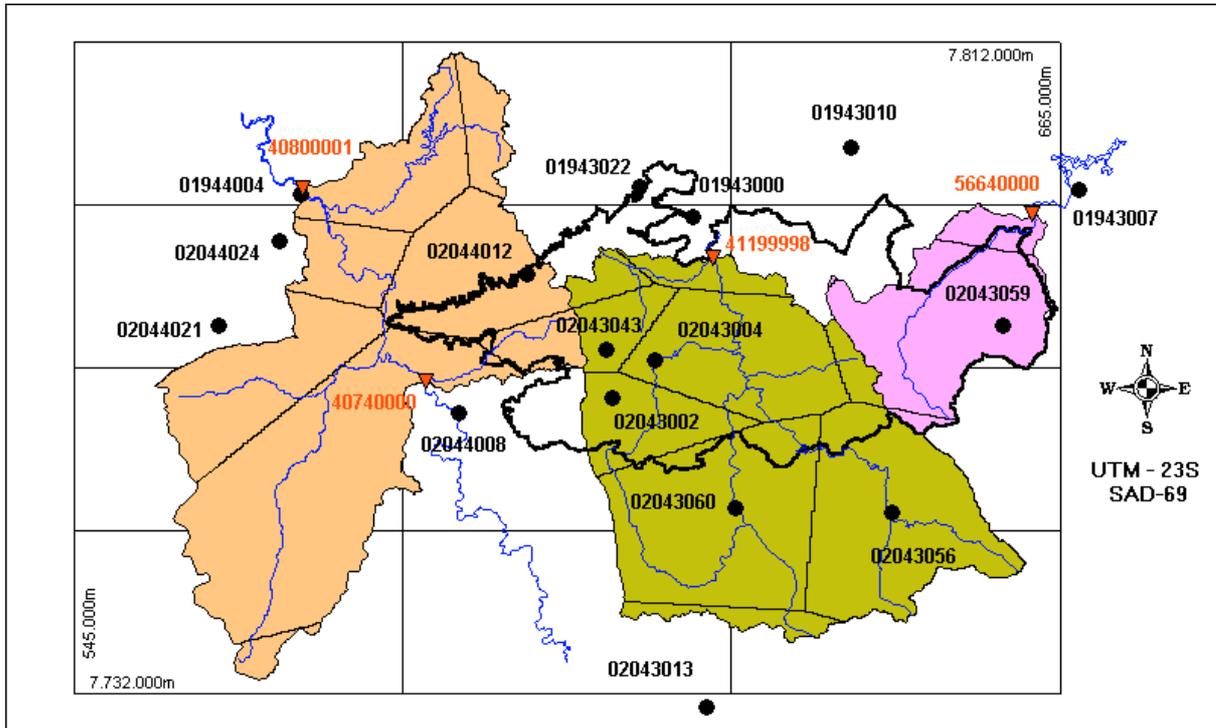


FIGURA 3 – Estações utilizadas na estimativa da evapotranspiração real média

A precipitação média anual foi estimada através do método de Thiessen, considerando o ano hidrológico, ou seja, de outubro a setembro. As estimativas de evapotranspiração média por ano hidrológico estão apresentadas na TAB. 3.

TABELA 3  
Evapotranspiração Real Média - Ano Hidrológico (mm)

Estação	Área (km <sup>2</sup> )	Período	Nº de anos	Pmédio (mm)	Deflúvio (mm)	Evapotranspiração (mm)
Dif-Paraopeba	1748	84/85 a 96/97	13	1536	477	1059
Honório Bicalho	1698	84/85 a 96/97	13	1543	587	956
Carrapato	426	94/95 a 99/00	6	1807	879	928

Também foi estimada a evapotranspiração potencial pelo método de Thornthwaite usando os dados das normais climatológicas de Ibirité e Belo Horizonte, referente ao período de 1961 a 1990. Os resultados estão na TAB. 4.

TABELA 4  
Evapotranspiração Potencial (mm)

Est.	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	AH
Ibirité	93,1	97,0	103,3	107,7	97,3	98,2	89,8	54,4	44,8	44,3	59,0	75,9	964,9
BH	93,6	97,5	102,9	108,5	99,1	102	77,1	65,8	53,2	52,8	61,6	78,6	992,6

### 6.1.8 Insolação

O GRAF. 7, de insolação, reflete aproximadamente a diminuição da nebulosidade que ocorre no período de maior atuação do ASAS (abril a setembro), que pelas suas características inibe a formação de nuvens. A relação entre a insolação e a nebulosidade é notória. A insolação média anual das estações é de 2181,9 a 2566,0 horas. O outono e o inverno registram os maiores períodos de insolação, sendo que julho apresenta as maiores médias, 216,7 e 256,5 horas. O mês com menor insolação é dezembro, 145,6 e 165,1 horas.

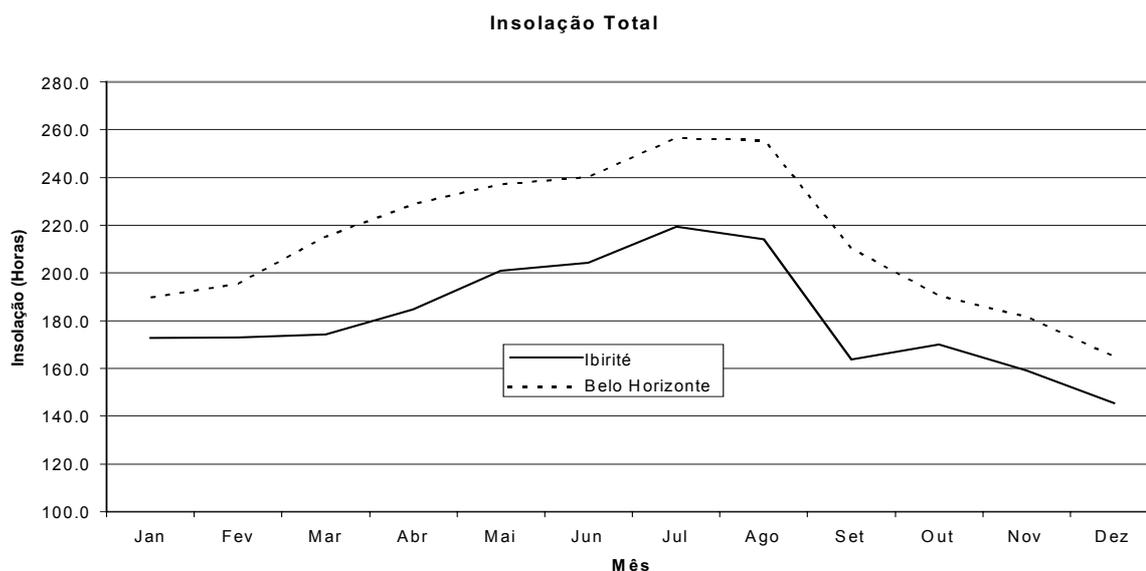


GRÁFICO 7 - Valores normais de insolação

### 6.1.9 Nebulosidade

Como já era esperado, as curvas de nebulosidade do GRAF. 8 acompanham as de precipitação e apresenta um comportamento inverso ao da insolação, tendo seu ápice no período da atuação dos sistemas frontais, das linhas de instabilidade e das ZCAS e sua menor intensidade juntamente com a época de maior acentuação do ASAS. O mês com maior nebulosidade é dezembro, 6,4 e 7,2 décimos. O período de menor nebulosidade ocorre no inverno, principalmente nos meses de agosto, com os valores de 3,0 e 3,3 décimos.

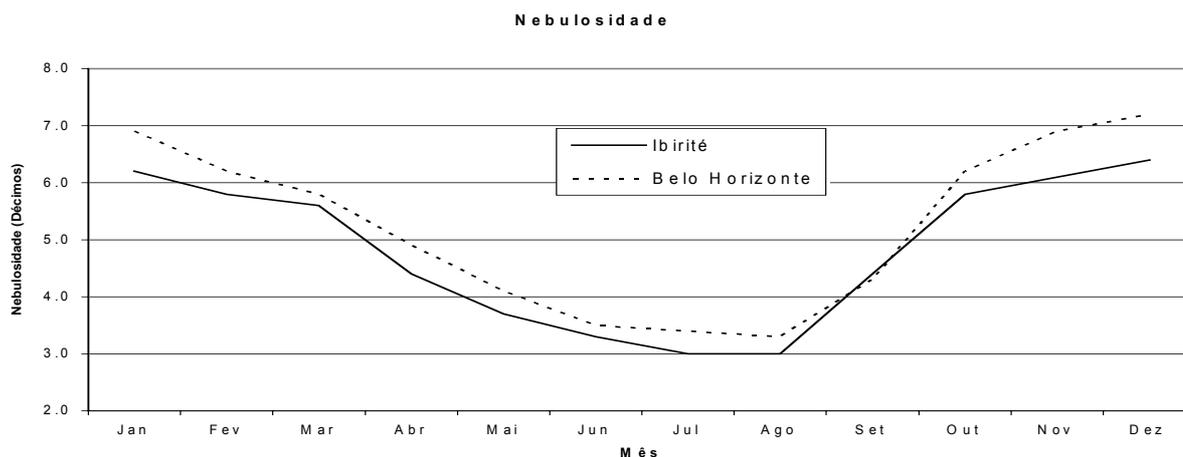


GRÁFICO 8 - Valores normais de nebulosidade

### 6.1.10 Balanço Hídrico

A estimativa do balanço hídrico normal da região em estudo foi realizada pelo método de [Thornthwaite-Matter](#) (1995) apresentado por [Tubelis e Nascimento](#) (1992) e utilizou os dados das normais climatológicas de Ibirité e Belo Horizonte. A evapotranspiração potencial foi calculada pelo método de Thornthwaite. A partir dos resultados apresentados nas [TAB. 5](#) e [6](#) verifica-se que o período de déficit hídrico inicia em abril e finaliza em setembro. A reposição de água no solo ocorre em outubro e o excedente hídrico de novembro a março. Como os períodos de déficit hídrico são comuns nas estações utilizadas, podemos inferir, com certo grau de confiança, que esses períodos serão os mesmos na APA Sul RMBH. A [TAB. 7](#) apresenta um resumo do balanço hídrico das duas estações e os [GRAF. 9](#) e [10](#) mostram a representação gráfica dos balanços.

TABELA 5  
Balanço hídrico de Ibirité (Capacidade de armazenamento, 100 mm)

Mês	P	ETP	P – ETP	Neg Acum	ARM		ETR	DEF	Exc
					VAL	Alt			
Jan	290,5	107,7	182,8	0,0	100,0	0,0	107,7	0,0	182,8
Fev	167,4	97,3	70,1	0,0	100,0	0,0	97,3	0,0	70,1
Mar	170,3	98,2	72,1	0,0	100,0	0,0	98,2	0,0	72,1
Abr	67,9	89,8	-21,9	-21,9	80,0	-20,0	87,9	1,9	0,0
Mai	32,3	54,4	-22,1	-44,1	64,0	-16,0	48,3	6,1	0,0
Jun	16,6	44,8	-28,2	-72,3	48,0	-16,0	32,6	12,2	0,0
Jul	14,7	44,3	-29,6	-101,9	35,0	-13,0	27,7	16,6	0,0
Ago	11,5	59,0	-47,5	-149,3	22,0	-13,0	24,5	34,5	0,0
Set	43,7	75,9	-32,2	-181,5	15,0	-7,0	50,7	25,2	0,0
Out	136,2	93,1	43,1	53,0	58,1	43,1	93,1	0,0	0,0
Nov	227,4	97,0	130,4	0,0	100,0	41,9	97,0	0,0	88,5
Dez	301,9	103,3	198,6	0,0	100,0	0,0	103,3	0,0	198,6
<b>Ano</b>	<b>1480,4</b>	<b>964,9</b>	<b>515,5</b>			<b>0,0</b>	<b>868,4</b>	<b>96,5</b>	<b>612,0</b>

TABELA 6  
Balanço hídrico de Belo Horizonte (Capacidade de armazenamento, 100 mm)

Mês	P	ETP	P – ETP	Neg Acum	ARM		ETR	DEF	Exc
					VAL	Alt			
Jan	296,3	108,5	187,8	0,0	100,0	0,0	108,5	0,0	187,8
Fev	188,4	99,1	89,3	0,0	100,0	0,0	99,1	0,0	89,3
Mar	163,5	102,0	61,5	0,0	100,0	0,0	102,0	0,0	61,5
Abr	61,2	77,1	-15,9	-15,9	86,0	-14,0	75,2	1,9	0,0
Mai	27,8	65,8	-38,0	-53,8	58,0	-28,0	55,8	10,0	0,0
Jun	14,1	53,2	-39,1	-92,9	38,0	-20,0	34,1	19,1	0,0
Jul	15,7	52,8	-37,1	-130,0	26,0	-12,0	27,7	25,1	0,0
Ago	13,7	61,6	-47,9	-177,9	16,0	-10,0	23,7	37,9	0,0
Set	40,5	78,6	-38,1	-216,0	11,0	-5,0	45,5	33,1	0,0
Out	123,1	93,6	29,5	-88,0	40,5	29,5	93,6	0,0	0,0
Nov	227,6	97,5	130,1	0,0	100,0	59,5	97,5	0,0	70,6
Dez	319,4	102,9	216,5	0,0	100,0	0,0	102,9	0,0	216,5
<b>Ano</b>	<b>1491,3</b>	<b>992,6</b>	<b>498,7</b>			<b>0,0</b>	<b>865,6</b>	<b>127,0</b>	<b>625,7</b>

TABELA 7  
Resumo dos resultados do balanço hídrico

	BH	Ibirité
Precipitação (mm)	1491,3	1480,4
Evapotranspiração Potencial (mm)	992,6	964,9
Evapotranspiração Real (mm)	865,6	868,4
Deficiência Hídrica (mm)	127,0	96,5
Excedente Hídrico (mm)	625,7	612,0

### Balanço Hídrico de Ibirité (CA = 100mm)

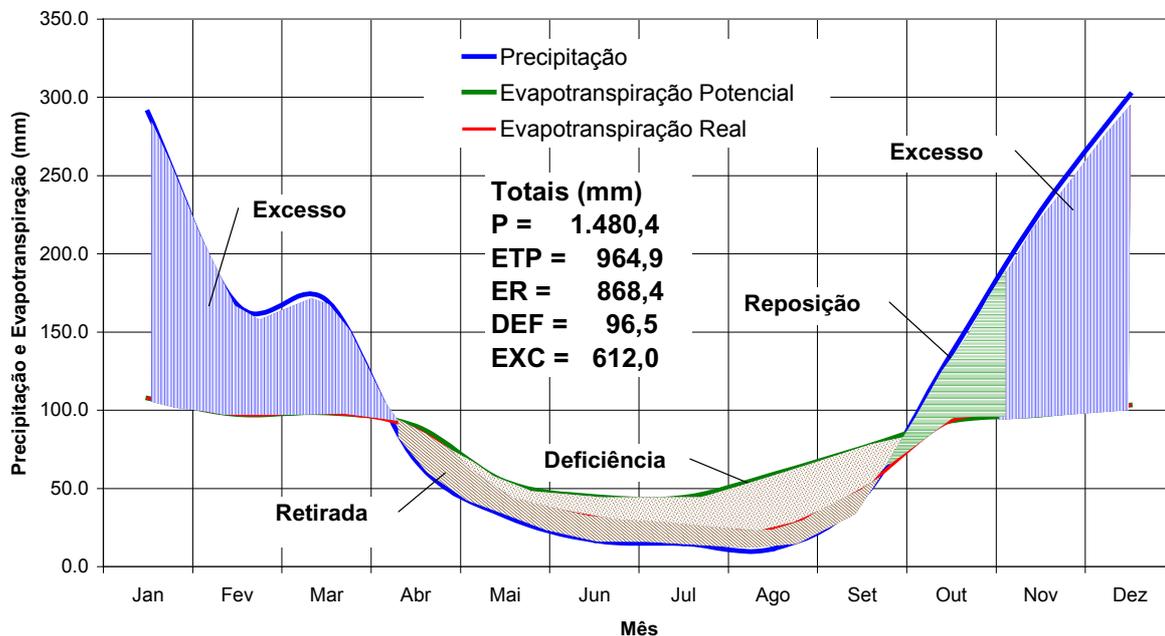


GRÁFICO 9 – Balanço hídrico de Ibirité

### Balanço Hídrico de Belo Horizonte (CA = 100mm)

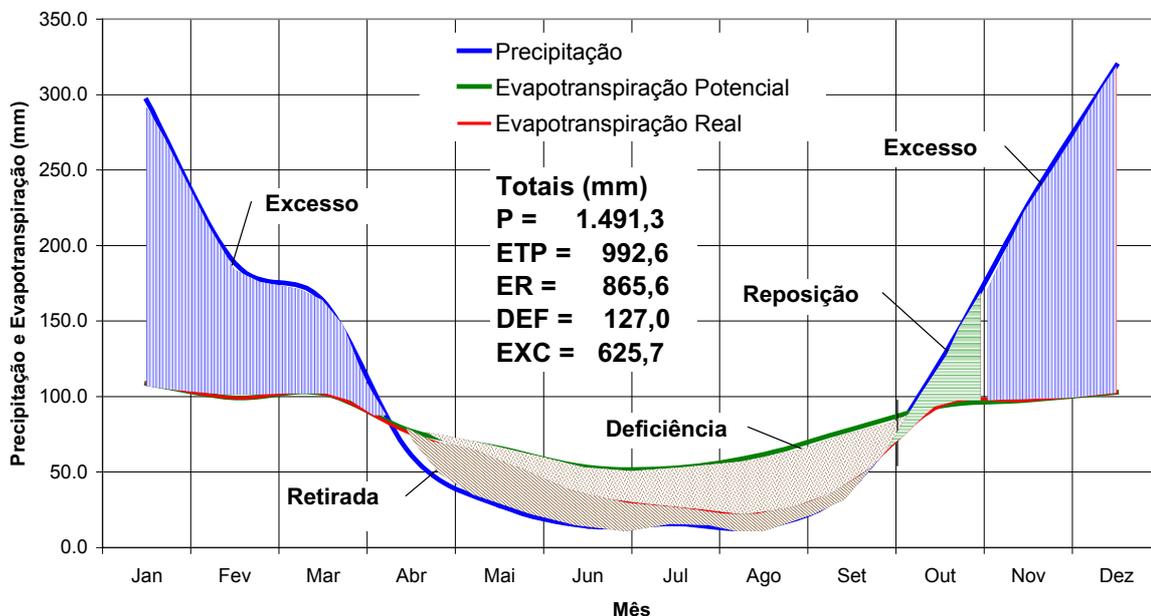


GRÁFICO 10 – Balanço hídrico de Belo Horizonte

## 7. CARACTERIZAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

---

### 7.1 Apresentação dos Dados Pluviométricos Levantados

Para o desenvolvimento dos estudos de caracterização pluviométrica da APA Sul RMBH foram reunidas as séries das estações pluviométricas apresentadas na [TAB. 8](#). Foram selecionadas séries recentemente consistidas pela CPRM que possuíam pelo menos dez anos de observações e localizadas dentro da área em estudo e nas regiões vizinhas. O mapa com a localização das estações está no [APÊNDICE A](#) e as fichas descritivas constam no [ANEXO B](#). Analisando a [TAB. 8](#) podemos verificar que foram escolhidas séries pertencentes à Agência Nacional de Águas - ANA, à CEMIG e à MBR, sendo que algumas séries são longas, contando com mais de 60 anos de observações.

### 7.2 Estudo de Definição dos Padrões Pluviométricos

A identificação dos padrões pluviométricos foi feita com o cálculo das precipitações médias mensais e a elaboração dos hietogramas anuais das estações selecionadas para este estudo e que estão inseridas na APA Sul RMBH ou próximas ao seu limite. Ressalte-se que os totais anuais foram calculados considerando o ano hidrológico da região, ou seja, inicia em outubro e termina em setembro. Os Hietogramas anuais estão apresentados nos [GRAF. 11 a 19](#) e as precipitações médias mensais na [TAB. 9](#) e [GRAF. 20](#). Os dados utilizados para realização desses cálculos estão apresentados no [ANEXO C](#).

Analisando a [TAB. 9](#), observa-se que o trimestre mais chuvoso na APA Sul RMBH corresponde aos meses de novembro, dezembro e janeiro; e o trimestre mais seco aos meses de junho, julho e agosto. Verifica-se também, que o trimestre mais chuvoso representa de 55% a 59% da precipitação média anual e o trimestre mais seco aproximadamente de 2% a 3%. Essa variação temporal das chuvas pode ser visualizado no [GRAF. 20](#), onde percebe-se que essa variável climática é a que apresenta comportamento mais homogêneo. Como pode ser observado, tem-se 6 meses de pronunciada seca (abril a setembro) e 6 meses nos quais a precipitação assume valores relativamente mais elevados (outubro a março). Provavelmente o melhor elemento que pode explicar essa semelhança entre as estações é a ocorrência de processos de larga escala controlando o regime de precipitação nessa região. No inverno, com a potencialização do ASAS e a chegada de massas de ar frio e seco, impedindo processos convectivos de ascendência, há um decréscimo pronunciado da precipitação. No verão, por outro lado, a menor intensidade de atuação do ASAS e o aumento do aquecimento do continente cria condições para a instabilidade atmosférica e favorece a ascendência das parcelas de ar. A chegada de frentes frias das latitudes médias (sul) associadas às linhas de instabilidade tropical irão formar em larga escala o que convencionalmente é chamado de Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS. Este sistema gera precipitações de longa duração com grandes volumes.

TABELA 8  
Relação das séries pluviométricas reunidas para o estudo

Cod	Nome	SB	Tipo	Entidade	Lat	Long	Início	Fim	Altitude
01944004	PONTE NOVA DO PARAÓPEBA	40	Pr	ANA	19°57'20" S	44°18'24" WG	23.03.41	31.12.01	721 m
01944007	FAZENDA ESCOLA FLORESTAL	40	P	ANA	19°52'47" S	44°25'18" WG	23.03.41	31.12.01	748 m
01944027	JUATUBA	40	Pr	ANA	19°57'20" S	44°20'04" WG	17.06.70	31.12.01	728 m
01944048	MATEU LEME	40	Pr	ANA	19°59'30" S	44°25'26" WG	01.01.73	30.04.01	869 m
01944055	BETIM (COPASA)	40	P	ANA	19°58'24" S	44°11'17" WG	01.02.76	31.12.01	822 m
02043013	CONGONHAS	40	Pr	ANA	20°31'19" S	43°49'48" WG	16.05.41	31.12.01	871 m
02044008	MELO FRANCO	40	P	ANA	20°11'52" S	44°07'15" WG	12.07.41	31.12.01	761 m
02044012	IBIRITÉ	40	P	ANA	20°02'34" S	44°02'36" WG	01.01.45	31.12.01	1073 m
02044021	ALTO BOA VISTA	40	Pr	ANA	20°06'07" S	44°24'04" WG	01.10.72	31.12.01	905 m
02044024	FAZENDA CURRALINHO	40	Pr	ANA	20°00'27" S	44°19'52" WG	01.10.73	31.12.01	754 m
02044052	JARDIM	40	Pr	ANA	20°02'42" S	44°24'28" WG	27.12.82	31.12.01	806 m
02044053	ESCOLA DE VETERINÁRIA	40	P	ANA	20°04'07" S	44°20'42" WG	01.02.86	31.12.01	812 m
01943000	MIN. MORRO VELHO	41	P	ANA	19°58'45" S	43°51'00" WG	01.10.41	31.12.01	770 m
01943006	SABARÁ	41	P	ANA	19°53'35" S	43°48'54" WG	11.06.41	31.12.01	720 m
01943010	CAETÉ	41	Pr	ANA	19°54'00" S	43°40'03" WG	15.06.41	31.12.01	950 m
01943011	INSTITUTO AGRÔNOMICO	41	P	ANA	19°55'00" S	43°54'00" WG	01.01.41	30.11.71	850 m
01943013	CARLOS PRATES	41	P	ANA	19°54'43" S	43°57'28" WG	21.05.41	30.11.58	915 m
01943022	CAIXA DE AREIA	41	Pr	ANA	19°56'42" S	43°54'45" WG	01.12.40	31.12.01	1.034 m
01943053	Av. CONTORNO	41	P	ANA	19°56'04" S	43°57'07" WG	01.01.39	31.03.68	
02043002	LAGOA GRANDE	41	Pr	ANA	20°10'45" S	43°56'34" WG	01.01.42	31.12.01	1.350 m
02043004	RIO DO PEIXE	41	P	ANA	20°08'16" S	43°53'33" WG	01.10.41	31.12.01	1097 m
02043042	REPRESA DAS CODORNAS	41	P	ANA	20°09'53" S	43°53'31" WG	13.09.76	31.12.01	1.200 m
02043043	REPRESA DO MIGUELÃO	41	P	ANA	20°07'34" S	43°57'01" WG	11.09.76	31.12.01	1152 m
02043056	FAZENDA ÁGUA LIMPA	41	P	ANA	20°18'19" S	43°36'59" WG	16.01.84	31.12.01	965 m
02043060	ITABIRITO	41	P	ANA	20°18'04" S	43°47'53" WG	25.01.84	31.12.01	877 m
02043065	UHE RIO DE PEDRAS	41	P	CEMIG	20°23' S	43°49' WG	01.07.85	30.04.98	
	MINA DO PICO	41	P	MBR	20°13'43" S	43°51'47" WG	21.03.90	09.09.02	1500 m
01943001	RIO PIRACICABA	56	P	ANA	19°55'22" S	43°10'40" WG	01.11.40	31.12.01	750 m
01943007	SANTA BÁRBARA	56	P	ANA	19°56'43" S	43°24'04" WG	01.11.41	31.12.01	748 m
01943027	USINA PETI	56	P	ANA	19°52'51" S	43°22'03" WG	01.10.46	31.12.01	1.110 m
02043009	ACAIACA	56	Pr	ANA	20°21'45" S	43°08'38" WG	26.03.41	31.12.01	423 m
02043011	FAZENDA PARAISO	56	P	ANA	20°23'24" S	43°10'49" WG	23.04.41	31.12.01	477 m
02043027	FAZENDA OCIDENTE	56	P	ANA	20°17'08" S	43°05'56" WG	06.03.67	31.12.01	462 m
02043059	COLÉGIO CARAÇA	56	P	ANA	20°05'49" S	43°29'17" WG	01.01.83	31.12.01	1297 m

**Totais Anuais**  
**Ano Hidrológico (out/set)**  
**01943000 Mineração Morro Velho**

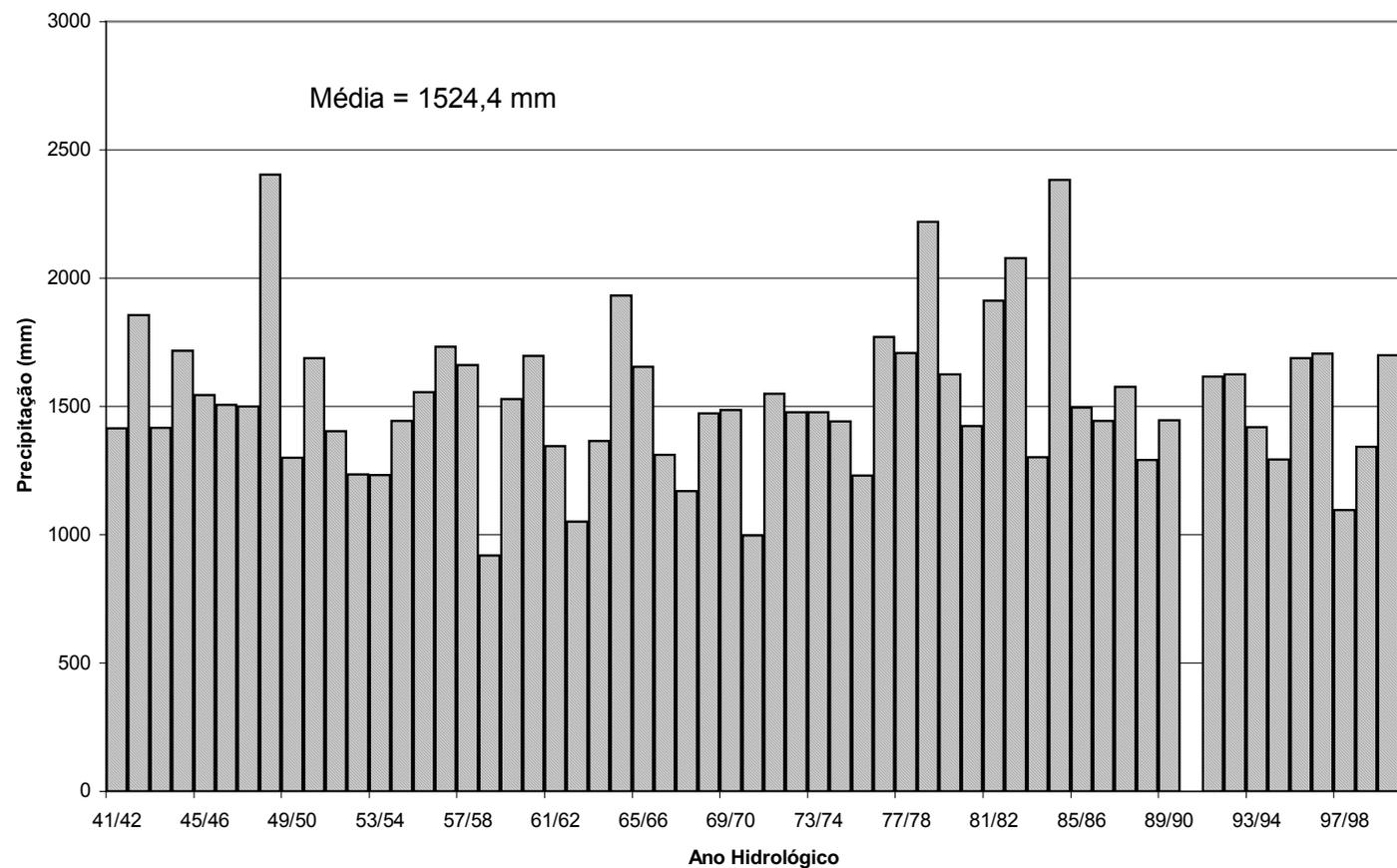


GRÁFICO 11 – Hietograma anual da estação pluviométrica da Mineração Morro Velho, código 01943000

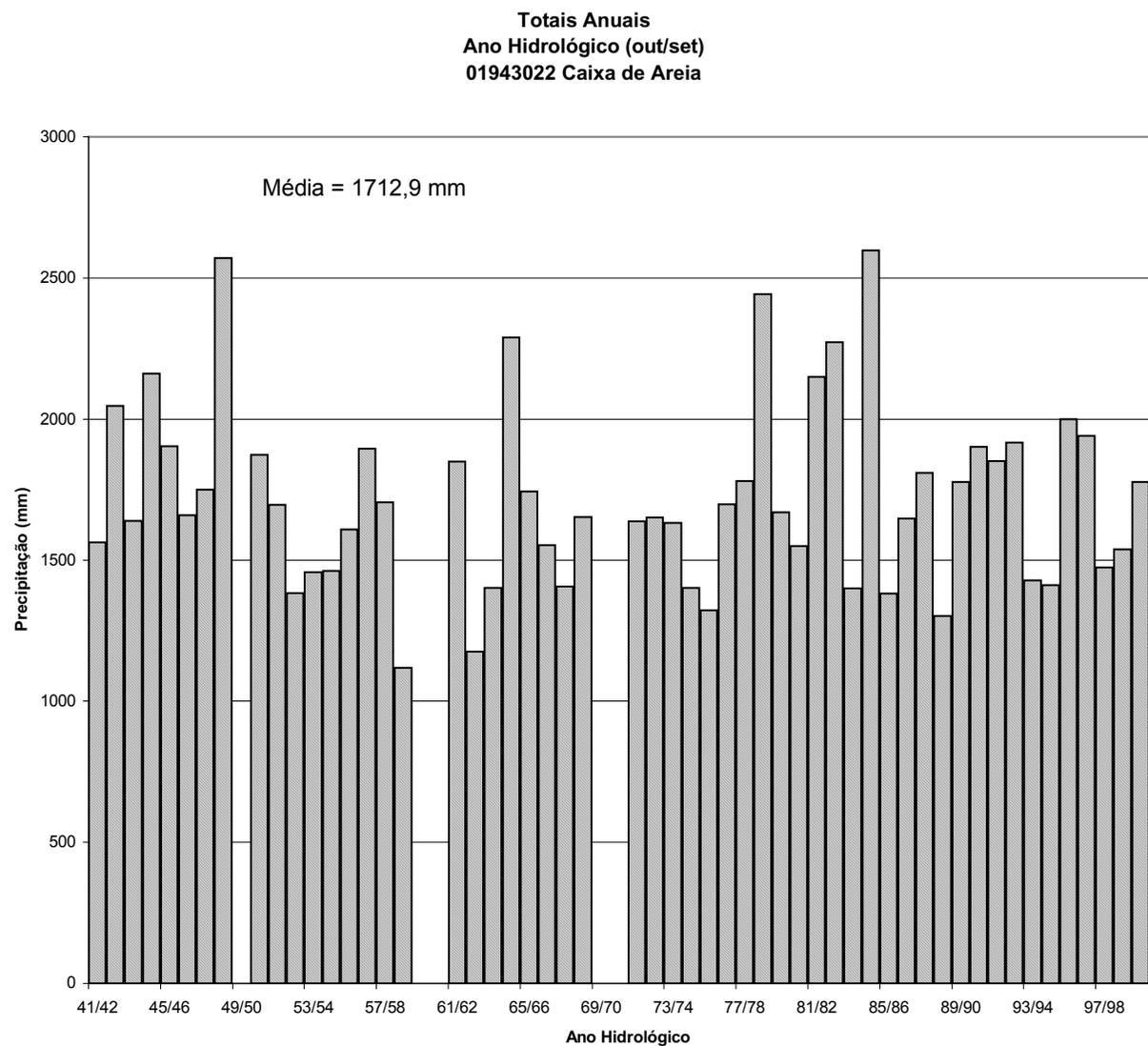


GRÁFICO 12 – Hietograma anual da estação pluviométrica de Caixa de Areia, código 01943022

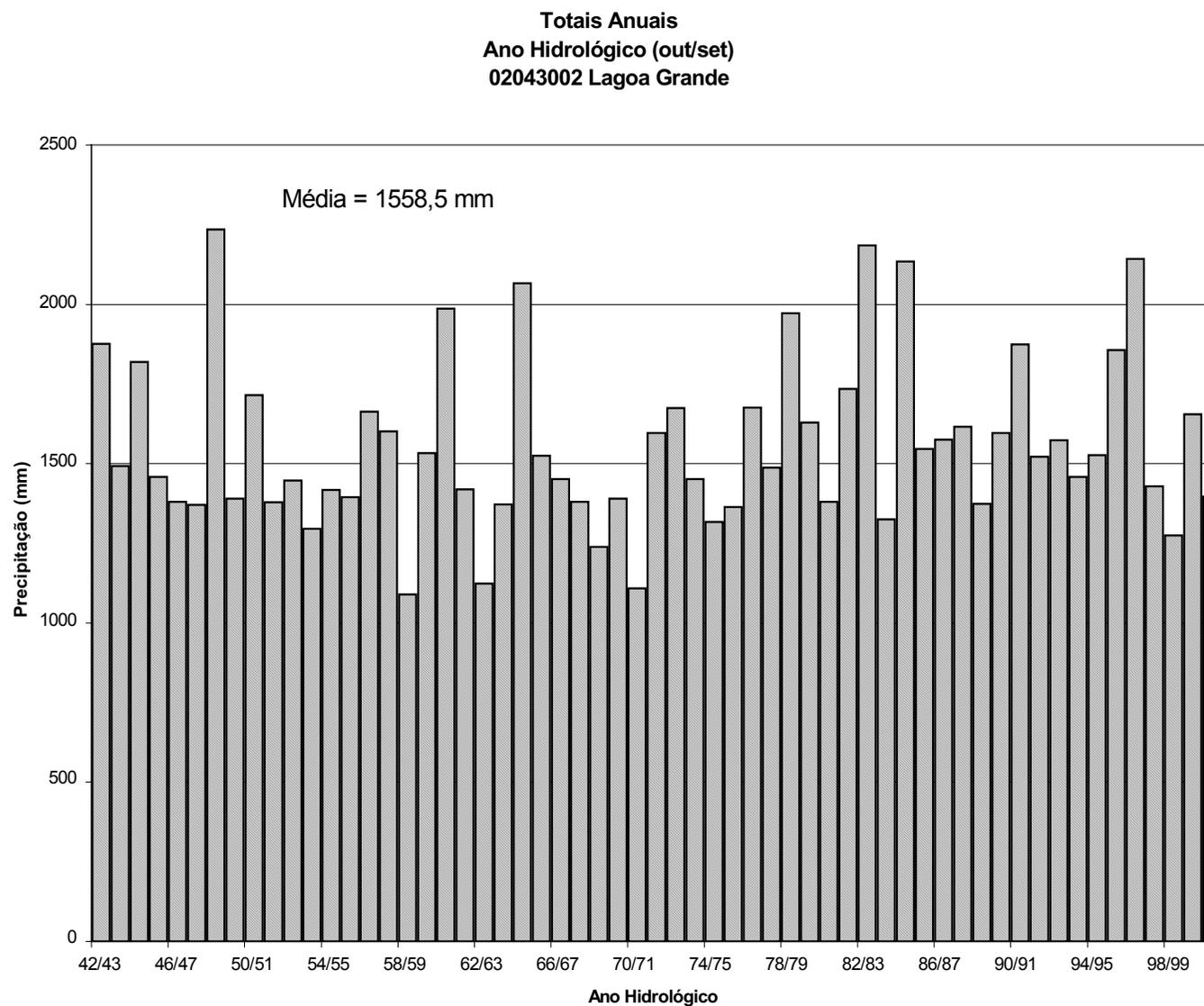


GRÁFICO 13 – Hietograma anual da estação pluviométrica da Lagoa Grande, código 02043002

**Totais Anuais**  
**Ano Hidrológico (out/set)**  
**02043004 Rio do Peixe**

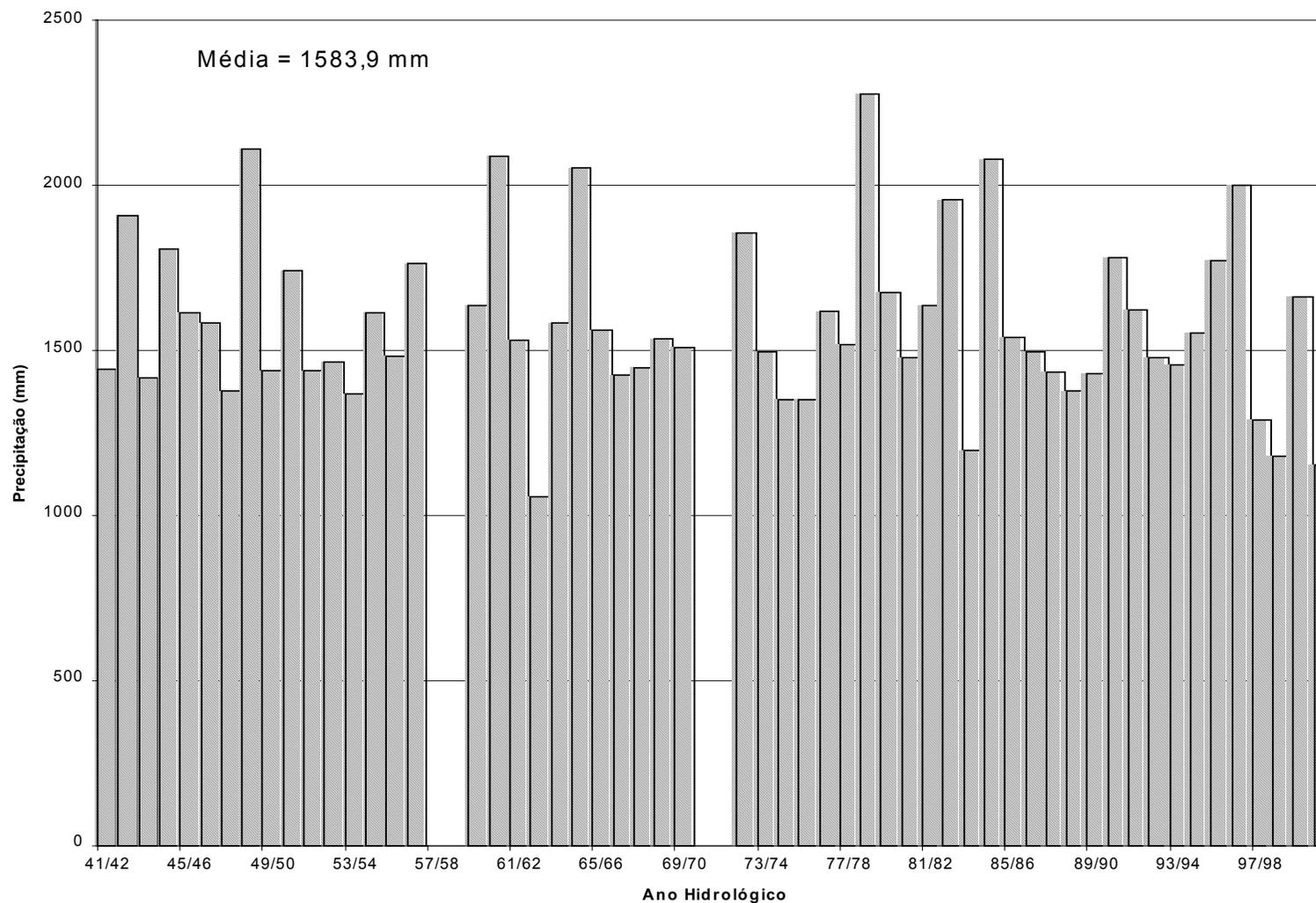


GRÁFICO 14 – Hietograma anual da estação pluviométrica do Rio do Peixe, código 02043004

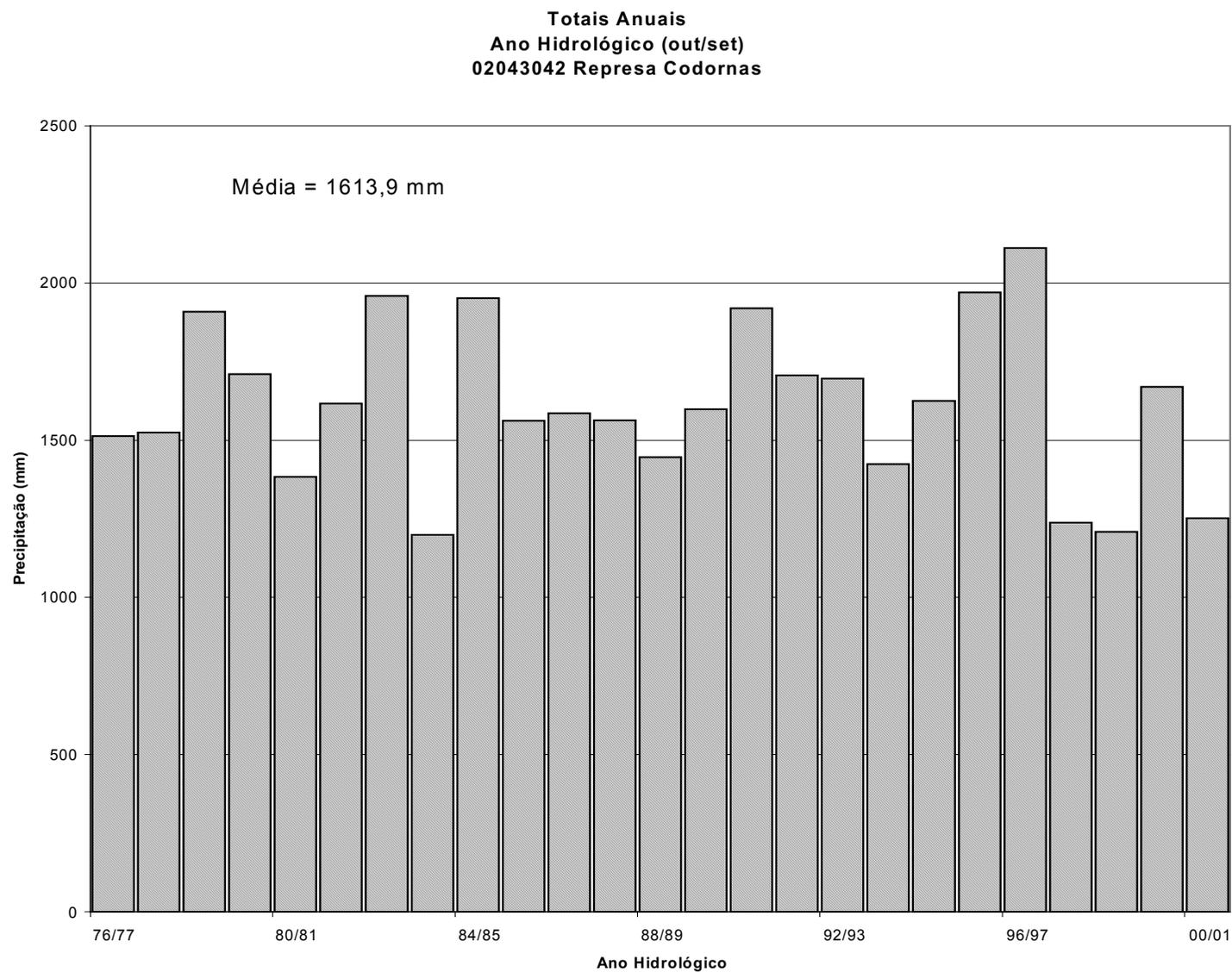


GRÁFICO 15 – Hietograma anual da estação pluviométrica da Represa das Codornas, código 02043042

**Totais Anuais**  
**Ano Hidrológico (out/set)**  
**02043043 Represa do Miguelão**

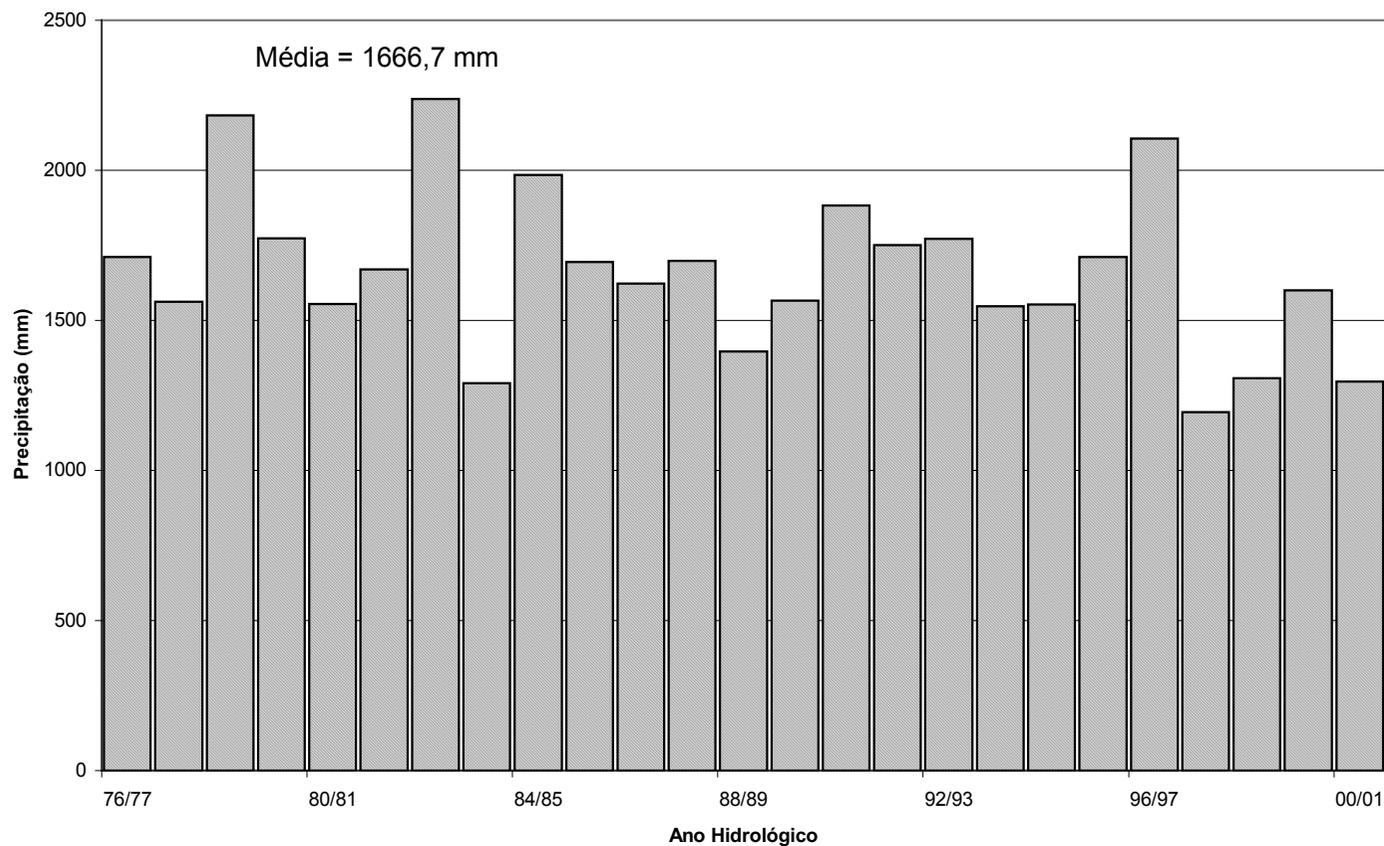


GRÁFICO 16 – Hietograma anual da estação pluviométrica da Represa do Miguelão, código 02043043

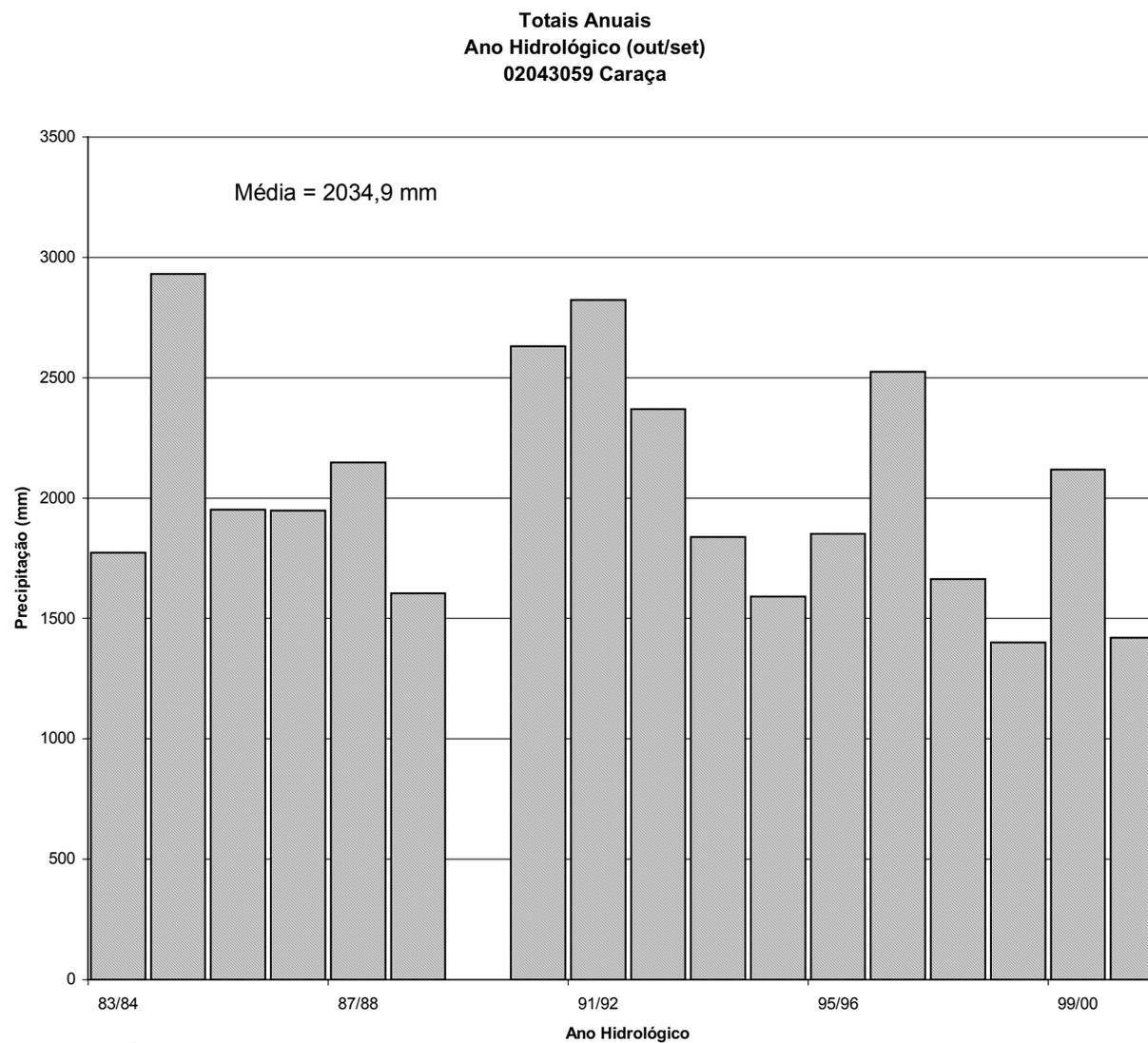


GRÁFICO 17 – Hietograma anual da estação pluviométrica do Caraça, código 02043059

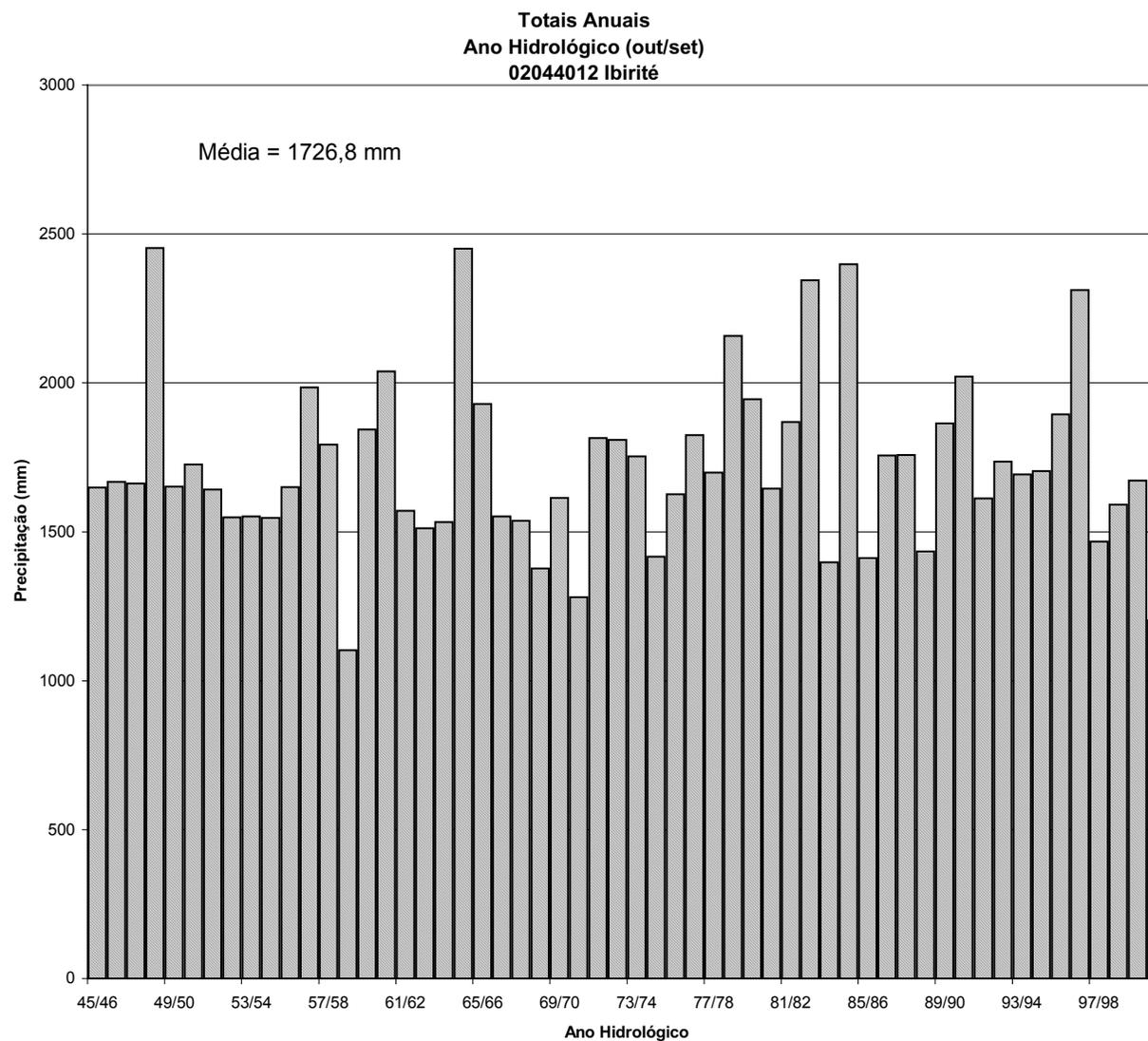


GRÁFICO 18 – Hietograma anual da estação pluviométrica de Ibirité, código 02044012

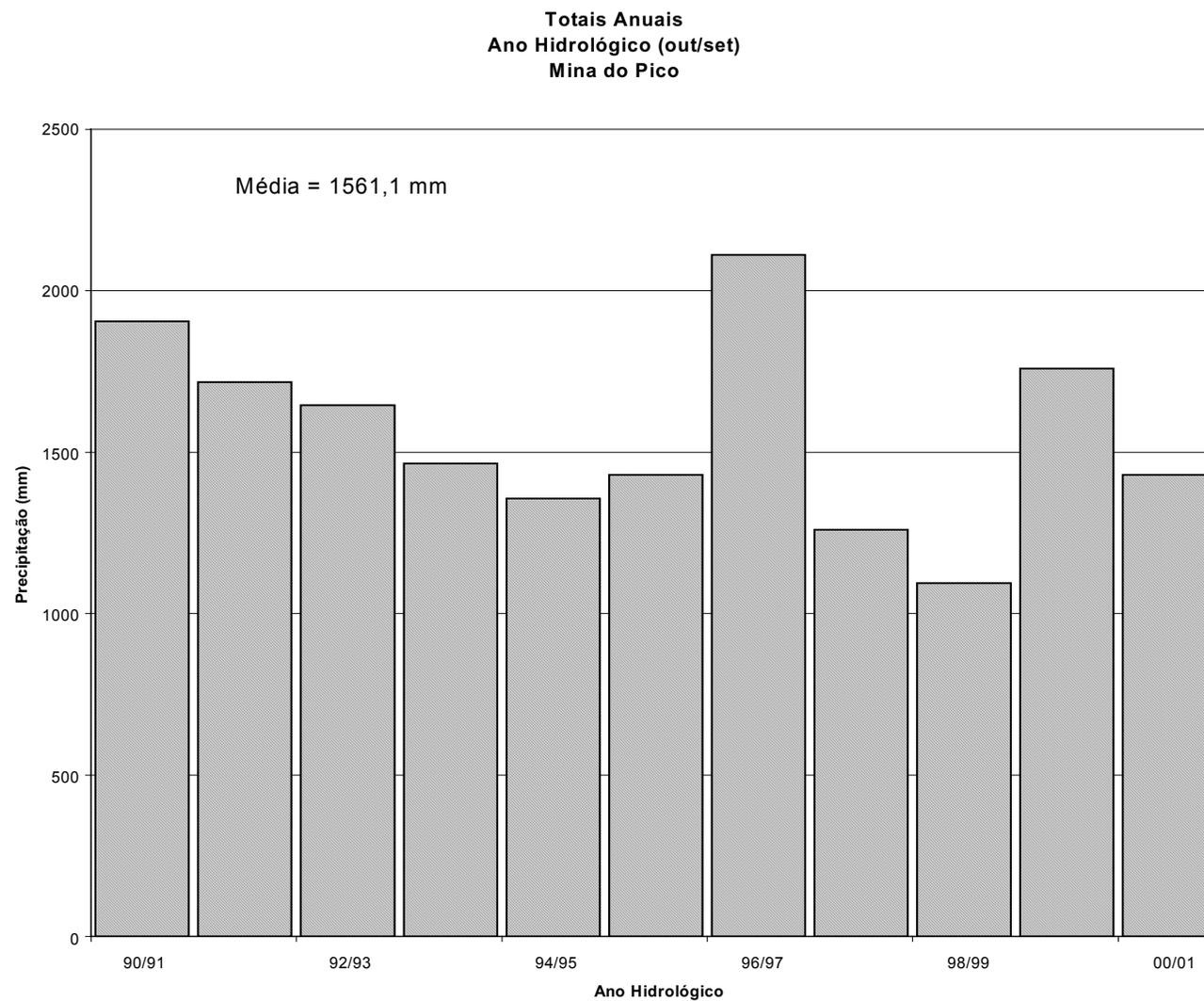


GRÁFICO 19 – Hietograma anual da estação pluviométrica da Mina do Pico

TABELA 9  
Precipitações mensais (mm)

		Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Período
M. do Pico	Media	112,1	256,8	325,5	343,5	167,4	181,7	58,6	37,3	8,2	5,6	17,3	64,5	out/90 a ago/02
	Max.	236,2	449,2	505,1	756,6	347,4	324,7	164,6	89,2	52,2	14,4	61,6	119,4	
	Min.	45	110,5	146,6	110,8	16,2	50	1	0	0	0	0	0	
	CV(%)	51,6	38,2	32,6	56,2	61,8	42,6	79,8	70,9	178,9	112,3	115,1	52,9	
01943000	Media	129,9	237,9	340,1	287,3	189,0	165,4	66,2	30,7	13,1	12,2	12,8	42,9	out/41 a dez/01
	Max.	415,3	555,2	748,2	881,4	581,3	348,3	228,8	117,8	89,5	97,3	89,6	138	
	Min.	0,3	75,7	104,8	31,1	27,3	13,8	0	0	0	0	0	0	
	CV(%)	34,1	43,2	36,0	53,3	45,3	56,1	81,6	79,9	95,7	36,9	108,8	72,4	
01943022	Media	123,5	263,1	390,5	337,9	209,8	193,9	76,0	31,1	13,8	12,6	12,0	47,4	dez/40 a dez/02
	Max.	282	625,2	659,3	910,5	696	440,6	298	101	115,6	81,5	69,8	180,8	
	Min.	0,2	24,4	95	27	6,1	2	0	0	0	0	0	0	
	CV(%)	50,5	41,8	33,2	64,6	40,4	47,5	72,0	82,1	79,0	32,5	147,6	56,2	
02043002	Media	127,0	229,7	327,3	309,9	197,5	182,5	68,7	31,9	15,1	12,7	13,8	46,3	out/42 a dez/01
	Max.	323	435,5	737,4	709,9	475,1	403,5	188,9	112,7	89	77,5	115,8	167,1	
	Min.	11,5	77,5	94,1	28,8	19,7	26,6	0,5	0	0	0	0	0	
	CV(%)	34,5	30,0	38,0	54,8	36,9	50,7	58,5	63,9	86,2	32,6	134,8	79,3	
02043004	Media	132,1	232,0	339,4	306,6	200,1	186,9	71,5	29,5	12,7	11,1	13,5	48,4	out/41 a dez/01
	Max.	362,6	471,9	650,7	735,2	626,4	405,9	178,2	122,6	78,1	66,4	86,3	209,5	
	Min.	2,6	60,8	116,9	29,5	21,3	28,3	0,5	0	0	0	0	0	
	CV(%)	34,8	42,2	41,2	63,1	44,5	48,6	66,4	77,0	90,9	50,0	125,9	71,4	
02043042	Media	116,3	245,5	334,4	342,0	179,8	187,7	72,8	38,3	12,9	13,6	19,4	60,6	out/76 a dez/01
	Max.	218,4	452,8	661	675,9	466,3	351,5	180,9	100,2	70,8	58,9	86,6	150,9	
	Min.	8,7	137,3	131,1	92,3	17,4	27,5	5,2	1,4	0	0	0	0,3	
	CV(%)	48,2	35,3	44,9	54,2	54,1	42,8	61,5	54,6	69,6	31,1	83,6	69,4	
02043043	Media	110,0	241,9	335,4	357,2	196,0	192,1	82,7	46,6	17,1	13,8	21,1	62,2	out/76 a dez/01
	Max.	228,9	411	538,4	669,8	567,3	366,3	215,6	109,2	78,3	65,2	78,2	142,7	
	Min.	20,2	84	151,1	110,6	50	47,4	3,3	4,6	0	0	0	4,5	
	CV(%)	41,4	38,1	35,4	57,4	36,0	47,3	57,4	46,1	77,8	43,0	63,6	60,2	
02043059	Media	135,8	305,5	491,7	367,8	243,7	220,7	87,0	47,1	12,1	11,0	24,7	67,8	out/83 a dez/01
	Max.	314,8	537	939,7	980	484	459,9	187,5	130,2	82	48	108,4	143,3	
	Min.	1	111,5	187,9	59	57	76	14,6	0	0	0	0	0	
	CV(%)	40,2	31,7	31,3	74,2	46,9	43,6	54,8	87,3	56,2	66,6	99,4	62,0	
02044012	Media	133,1	255,6	370,8	353,7	217,6	198,9	69,8	36,1	18,6	12,4	13,3	50,0	out/45 a dez/01
	Max.	311,2	554,5	679,7	827,3	504,1	550,9	190,8	134,4	91,9	78,7	69,3	194	
	Min.	12	74	101,6	59,4	45,9	45,6	0	0	0	0	0	0	
	CV(%)	51,2	43,5	35,3	55,2	41,8	57,6	53,0	75,9	62,1	22,2	141,7	71,8	

## Precipitações Médias Mensais

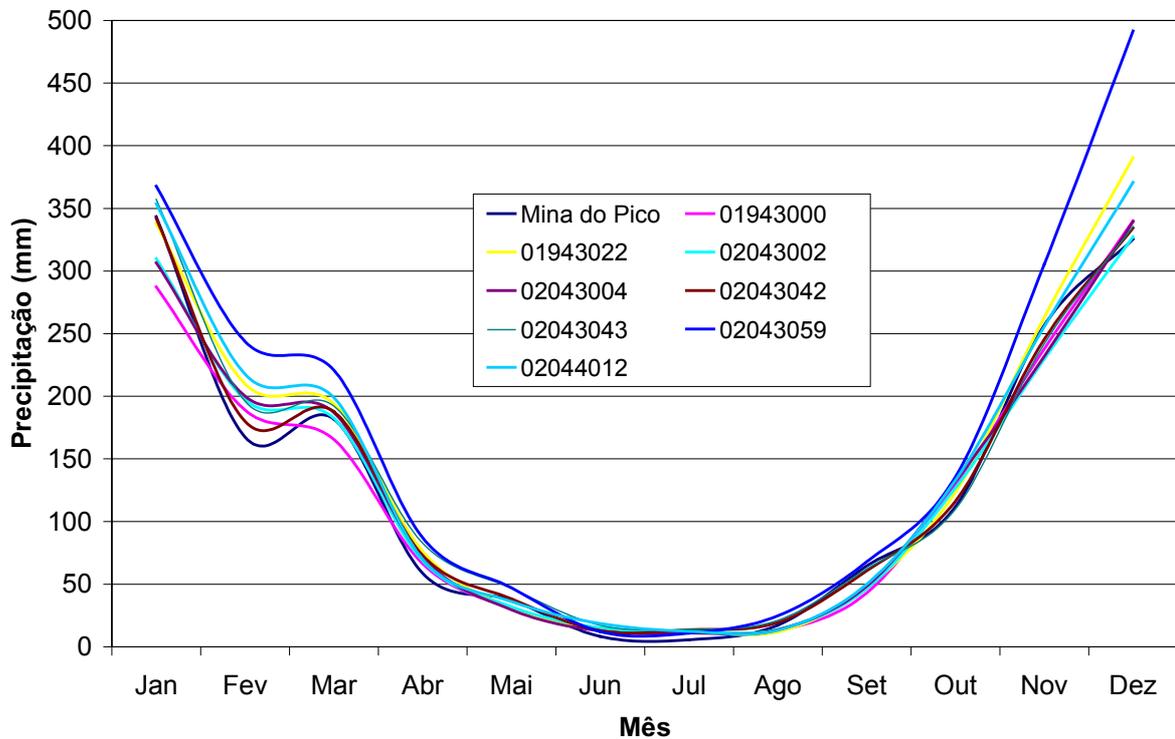


GRÁFICO 20 – Precipitações médias mensais

As isoietas de precipitação média anual apresentadas na [FIG. 4](#) foram definidas utilizando as 18 estações da [TAB. 10](#). As precipitações médias foram calculadas considerando o ano hidrológico (outubro a setembro) do período de outubro de 1970 a setembro de 2000. Devido à baixa densidade de estações com séries longas nos limites leste e sudeste da APA, foi necessária a utilização de três estações com menos de 24 anos de dados, ou seja, Fazenda Água Limpa, Colégio Caraça e Itabirito. As isoietas foram elaboradas a partir do ajuste de uma superfície de mínima curvatura aos dados pontuais através de um método similar aos descritos por [Swain](#) (1976) e [Briggs](#) (1974), mas com as alterações propostas por [Smith e Wessel](#) (1990). Analisando a [FIG. 4](#) verifica-se que os valores máximos de precipitação anual estão distribuídos na parte noroeste da área em estudo e na serra do Caraça, refletindo a influência da topografia dessa região. A orografia da serra do Caraça, que representa o ponto mais elevado da área em estudo, com altitudes da ordem de 2018 m, tem influência significativa na ocorrência de totais anuais de precipitação.

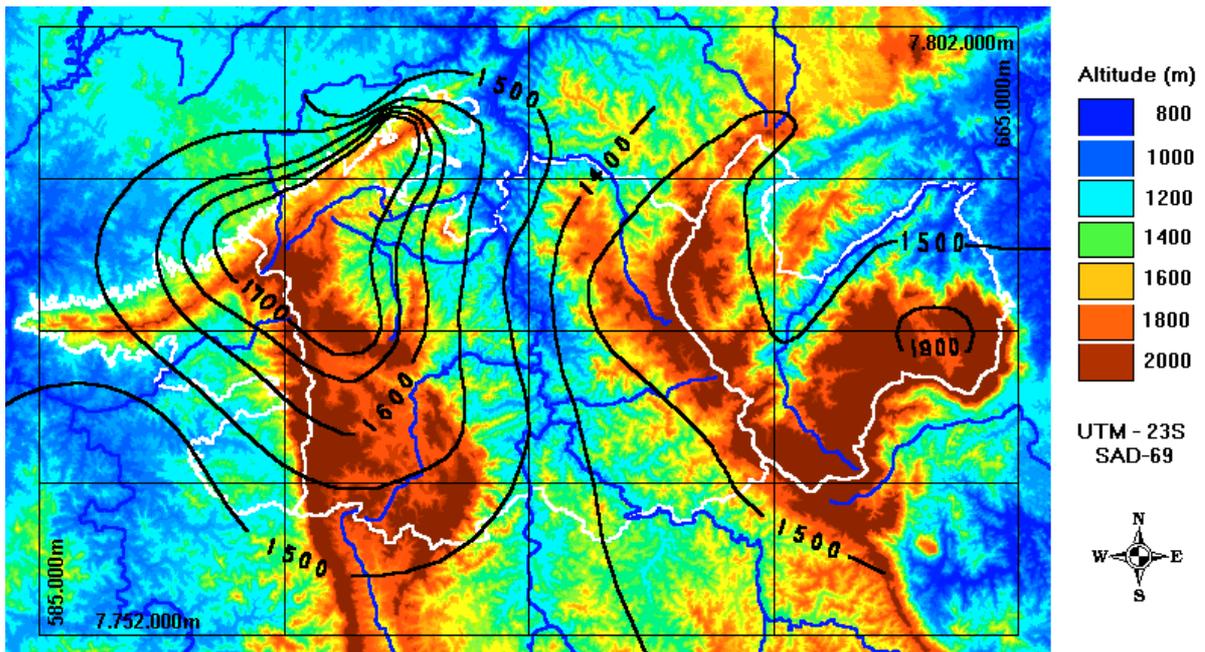
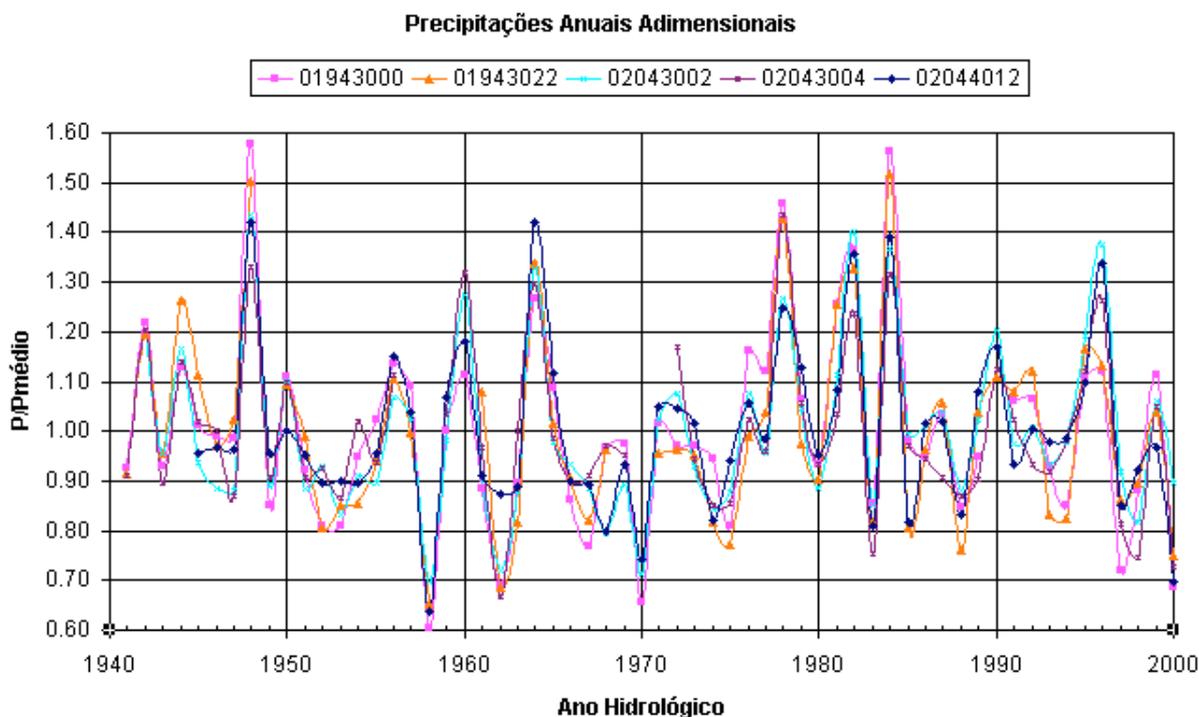


FIGURA 4 – Isoietas de Precipitação Média Anual – Ano Hidrológico (mm)

TABELA 10  
Estações utilizadas no traçado das isoietas médias anuais

Código	Estação	Latitude	Longitude	Alt.	N	P (mm)
01943000	Min. Morro Velho	19°58'45" S	43°51'00" WG	770 m	29	1563
01943001	Rio Piracicaba	19°55'22" S	43°10'40" WG	750 m	28	1439
01943006	Sabará	19°53'35" S	43°48'54" WG	720 m	26	1484
01943007	Santa Bárbara	19°56'43" S	43°24'04" WG	748 m	30	1410
01943010	Caeté	19°54'00" S	43°40'03" WG	950 m	30	1441
01943022	Caixa de Areia	19°56'42" S	43°54'45" WG	1.034 m	29	1736
01944004	Ponte Nova do Paraopeba	19°57'20" S	44°18'24" WG	721 m	30	1483
02043002	Lagoa Grande	20°10'45" S	43°56'34" WG	1.350 m	30	1602
02043004	Rio do Peixe	20°08'16" S	43°53'33" WG	1097 m	28	1591
02043013	Congonhas	20°31'19" S	43°49'48" WG	871 m	27	1405
02043043	Represa do Miguelão	20°07'34" S	43°57'01" WG	1152 m	24	1682
02043056	Fazenda Água Limpa	20°18'19" S	43°36'59" WG	965 m	16	1379
02043059	Colégio Caraça	20°05'49" S	43°29'17" WG	1297 m	17	1981
02043060	Itabirito	20°18'04" S	43°47'53" WG	877 m	16	1458
02044008	Melo Franco	20°11'52" S	44°07'15" WG	761 m	30	1391
02044012	Ibirité	20°02'34" S	44°02'36" WG	1073 m	30	1764
02044021	Alto Boa Vista	20°06'07" S	44°24'04" WG	905 m	28	1589
02044024	Fazenda Curralinho	20°00'27" S	44°19'52" WG	754 m	27	1571

O **GRAF. 21** mostra as variações temporais das precipitações anuais adimensionais das estações instaladas na área da APA Sul RMBH que possuem as séries mais longas. O valor da precipitação adimensional foi obtido através da relação entre o total do ano hidrológico e a média da série. Observa-se no **GRAF. 21** que, de uma maneira geral, os anos hidrológicos mais secos registrados foram os de 1958/1959, 1962/1963, 1970/1971, e 2000/2001 e os mais úmidos foram os anos hidrológicos de 1948/1949, 1978/1979 e 1984/1985. Um fato interessante é que a maior seqüência de precipitações abaixo da média, registradas nas estações, durou cinco anos e ocorreu entre os anos hidrológicos de 1966/1967 a 1970/1971. Também foram calculadas as médias móveis de 5 anos das séries e verificou-se que o período de maior média se refere aos anos hidrológicos de 1978/1979 a 1982/1983.



### 7.3 Estimativa da Probabilidade de Ocorrência de Precipitações Anuais

Outro estudo desenvolvido na caracterização pluviométrica foi o cálculo das probabilidades das precipitações anuais ocorrerem em determinadas classes. Os resultados dessa estimativa podem ser encarados como padrões climatológicos das estações analisadas. A estimativa da probabilidade de ocorrência de precipitações anuais pode ser local, ou seja, utilizando-se a série de dados de uma única estação, ou regional, fazendo uso dos dados de várias estações de uma região. Uma alternativa para melhorar a estimativa local é aplicar a análise de frequência regional, porque além de transferir informações espacialmente, melhora a confiabilidade das estimativas dos parâmetros de uma distribuição de probabilidades teórica.

Nesse estudo optou-se pela utilização da metodologia de regionalização *index flood* com utilização dos momentos-L e as estatísticas-L propostas por **Hosking e Wallis (1993)**, para conhecer a probabilidade de ocorrência da precipitação anual em limites ou classes pré-estabelecidos. As justificativas para tal opção foram: (1) usar o máximo de informações disponíveis para a análise, e (2) empregar a análise de frequência regional para otimizar a estimativa dos parâmetros de uma distribuição de probabilidades teórica. Maiores

informações sobre essa metodologia pode ser encontrada em [Pinto e Naghettini \(1999\)](#) e [Davis e Naghettini \(2000\)](#) ou [Hosking e Wallis \(1997\)](#).

Para realização desse estudo foram utilizadas as séries de totais pluviométricos por ano hidrológico (outubro a setembro) das 19 estações apresentadas na TAB. 11. A distribuição geográfica das estações pluviométricas utilizadas no estudo pode ser visualizada na [FIG. 5](#).

TABELA 11  
Estações pluviométricas utilizadas no estudo

Código	Nome	SB	Tipo	Entidade	Latitude	Longitude	Altitude	N
01943000	MIN. MORRO VELHO	41	P	ANA	19°58'45" S	43°51'00" WG	770 m	59
01943001	RIO PIRACICABA	56	P	ANA	19°55'22" S	43°10'40" WG	750 m	58
01943006	SABARÁ	41	P	ANA	19°53'35" S	43°48'54" WG	720 m	56
01943007	SANTA BÁRBARA	56	P	ANA	19°56'43" S	43°24'04" WG	748 m	59
01943010	CAETÉ	41	Pr	ANA	19°54'00" S	43°40'03" WG	950 m	60
01943022	CAIXA DE AREIA	41	Pr	ANA	19°56'42" S	43°54'45" WG	1.034 m	55
01944004	Pte. NOVA DO PARAOPEBA	40	Pr	ANA	19°57'20" S	44°18'24" WG	721 m	60
02043002	LAGOA GRANDE	41	Pr	ANA	20°10'45" S	43°56'34" WG	1.350 m	59
02043004	RIO DO PEIXE	41	P	ANA	20°08'16" S	43°53'33" WG	1097 m	56
02043013	CONGONHAS	40	Pr	ANA	20°31'19" S	43°49'48" WG	871 m	57
02043043	REPRESA DO MIGUELÃO	41	P	ANA	20°07'34" S	43°57'01" WG	1152 m	25
02043056	FAZENDA ÁGUA LIMPA	41	P	ANA	20°18'19" S	43°36'59" WG	965 m	17
02043059	COLÉGIO CARAÇA	56	P	ANA	20°05'49" S	43°29'17" WG	1297 m	41
02043060	ITABIRITO	41	P	ANA	20°18'04" S	43°47'53" WG	877 m	17
02043065	UHE RIO DE PEDRAS	41	P	CEMIG	20°12'55" S	43°44'05" WG		10
	MINA DO PICO	41	P	MBR	20°13'43" S	43°51'47" WG	1500 m	11
02044008	MELO FRANCO	40	P	ANA	20°11'52" S	44°07'15" WG	761 m	60
02044012	IBIRITÉ	40	P	ANA	20°02'34" S	44°02'36" WG	1073 m	56
02044021	ALTO BOA VISTA	40	Pr	ANA	20°06'07" S	44°24'04" WG	905 m	29

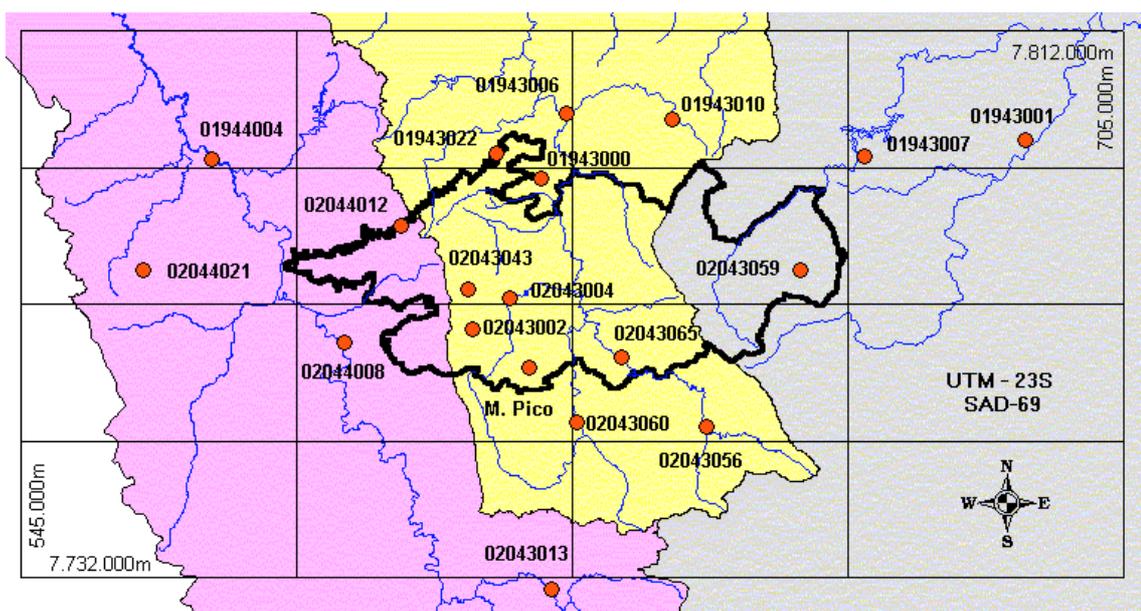


FIGURA 5 – Localização das estações pluviométricas

A primeira etapa consistiu na delimitação das regiões estatisticamente homogêneas, ou seja, aquelas contendo várias estações que tenham séries oriundas de populações regidas pela mesma distribuição de probabilidades. Como hipótese inicial, assumiu-se que a área em estudo formava uma região homogênea. A seguir foram plotadas as curvas empíricas adimensionais para verificação da região, conforme está apresentado no [GRAF. 23](#). O fator de adimensionalização utilizado foi a média das séries. A definição final das regiões foi realizada utilizando as sub-rotinas descritas por [Hosking](#) (1991), que permitiu o cálculo da medida de heterogeneidade da região. O resultado obtido comprova que a região pode ser considerada, segundo o critério de [Hosking e Wallis](#) (1993), aceitavelmente homogênea, pois a medida de heterogeneidade é igual a 0,11. Essa análise comprovou a hipótese inicial de uma única região homogênea, tal como definida preliminarmente.

A seleção da distribuição de frequência regional foi efetuada com as sub-rotinas descritas por [Hosking](#) (1991), implementadas em linguagem Fortran-77. Esse programa faz o ajuste das distribuições Logística Generalizada (LG), Generalizada de Valores Extremos (GEV), Log-Normal (LN-3P) ou Generalizada Normal, Pearson tipo III (P-III) e Generalizada de Pareto (GP), estimando os seus parâmetros a partir dos momentos-L regionais, além de aplicar o teste de aderência para verificar o ajuste entre a distribuição candidata e os dados regionais. A [TAB. 12](#) mostra os valores das razões-L obtidos das séries adimensionalizadas, além dos valores regionais. As estimativas dos valores adimensionais regionais são realizadas a partir da média ponderada dos momentos-L e razões-L amostrais das estações da região homogênea. O ponderador utilizado é o tamanho das séries:

$$\bar{l}_r = \frac{\sum_{j=1}^N n_j l_{r,j}}{\sum_{j=1}^N n_j} \quad \text{para } r = 1, 2, 3 \text{ e } 4 \quad (7.1)$$

$$\bar{t}_r = \frac{\sum_{j=1}^N n_j t_{r,j}}{\sum_{j=1}^N n_j} \quad \text{para } r = 2, 3 \text{ e } 4 \quad (7.2)$$

TABELA 12  
Razões-L calculadas

<b>Código</b>	<b>N</b>	<b><math>I_1</math></b>	<b>L-CV(<math>\tau_2</math>)</b>	<b>Assimetria-L(<math>\tau_3</math>)</b>	<b>Curtose-L(<math>\tau_4</math>)</b>
01943000	59	1524,44	0,1069	0,1101	0,2207
01943001	58	1418,26	0,1156	0,1137	0,1518
01943006	56	1455,92	0,1051	0,1633	0,1438
01943007	59	1433,88	0,1291	0,1339	0,1177
01943010	60	1401,12	0,1024	0,0802	0,1332
01943022	55	1712,86	0,1063	0,1513	0,1623
01944004	60	1408,87	0,0914	0,123	0,1599
02043002	59	1558,52	0,0933	0,2008	0,1707
02043004	56	1583,93	0,0884	0,1552	0,1887
02043013	57	1392,9	0,095	0,0963	0,1537
02043043	25	1666,7	0,0912	0,0801	0,1946
02043056	17	1359,24	0,1074	0,0634	0,0072
02043059	41	1929,73	0,1146	0,1649	0,0896
02043060	17	1440,74	0,0834	0,0766	0,0442
02043065	10	1385,83	0,0768	0,333	0,0345
M. PICO	11	1561,15	0,1126	0,0957	0,1402
02044008	60	1336,65	0,0892	0,1566	0,1505
02044012	56	1726,77	0,0921	0,1467	0,2178
02044021	29	1575,32	0,0961	0,06	0,1607
Momentos-L Regionais			0,101	0,132	0,1538

A definição da distribuição regional foi realizada a partir dos resultados do teste de aderência e pelo posicionamento dos valores regionais no diagrama Curtose-L x Assimetria-L, apresentado no [GRAF. 22](#).

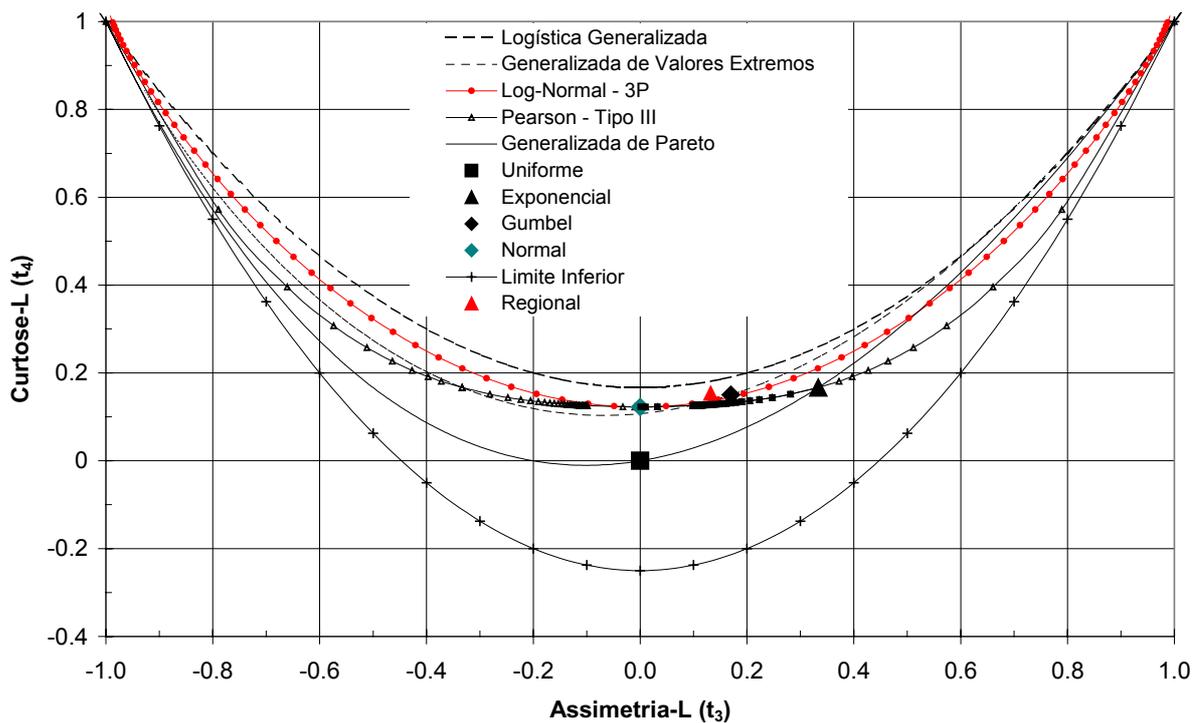


GRÁFICO 22 – Diagrama Assimetria-L Curtose-L

A distribuição que apresentou melhor ajuste foi Log-Normal de três parâmetros. O resultado do teste de aderência para distribuição Log-Normal foi  $Z = -1,37$ , que é menor que  $|1,64|$ , o limite segundo os critérios de Hosking e Wallis (1993). As funções densidade de probabilidade e de distribuição acumulada da Log-Normal (3P) e a sua inversa foram descritas por Hosking e Wallis (1997) como:

## LOG-NORMAL (3P)

$$f(x) = \frac{e^{ky-y^2/2}}{\alpha\sqrt{2\pi}} \quad y = \begin{cases} -k^{-1} \log\{1 - k(x - \xi)/\alpha\} & k \neq 0 \\ (x - \xi)/\alpha & k = 0 \end{cases} \quad (7.3)$$

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

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

Parâmetros :  $\xi$  (Posição),  $\alpha$  (Escala) e  $k$  (forma)

Os limites da função são:

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

Os parâmetros podem ser estimados pelas seguintes equações:

$$k \approx -\tau_3 \frac{E_0 + E_1\tau_3^2 + E_2\tau_3^4 + E_3\tau_3^6}{1 + F_1\tau_3^2 + F_2\tau_3^4 + F_3\tau_3^6} \quad \text{para } |\tau_3| \leq 0,94 \quad (7.4)$$

$E_0$	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$F_1$	$F_2$	$F_3$
2,0466534	-3,6544371	1,8396733	-0,20360244	-2,0182173	1,2420401	-0,21741801

$$\alpha = \frac{\lambda_2 k e^{-\frac{k^2}{2}}}{1 - 2\Phi(-k/\sqrt{2})} \tag{7.5}$$

$$\xi = \lambda_1 - \frac{\alpha}{k} \left( 1 - e^{-\frac{k^2}{2}} \right) \tag{7.6}$$

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

$$X = \begin{cases} \xi + \alpha(1 - e^{-kZ}) / k & k \neq 0 \\ \xi + \alpha Z & k = 0 \end{cases} \tag{7.7}$$

$$Z = \begin{cases} -\frac{1}{k} \cdot \ln \left[ 1 - \frac{k(X - \xi)}{\alpha} \right] & k \neq 0 \\ \frac{X - \xi}{\alpha} & k = 0 \end{cases} \tag{7.8}$$

Os parâmetros estimados da distribuição Generalizada Normal estão na TAB. 13.

TABELA 13  
Parâmetros estimados da distribuição Generalizada Normal

Posição ( $\xi$ )	Escala ( $\alpha$ )	Forma ( $k$ )
0,976	0,174	-0,271

O GRAF. 23 apresenta a distribuição adimensional regional e as empíricas plotadas em um papel de probabilidade normal. A posição de plotagem foi calculada com a fórmula de Blom:

$$\frac{i - 0,375}{n + 0,25} \tag{7.9}$$

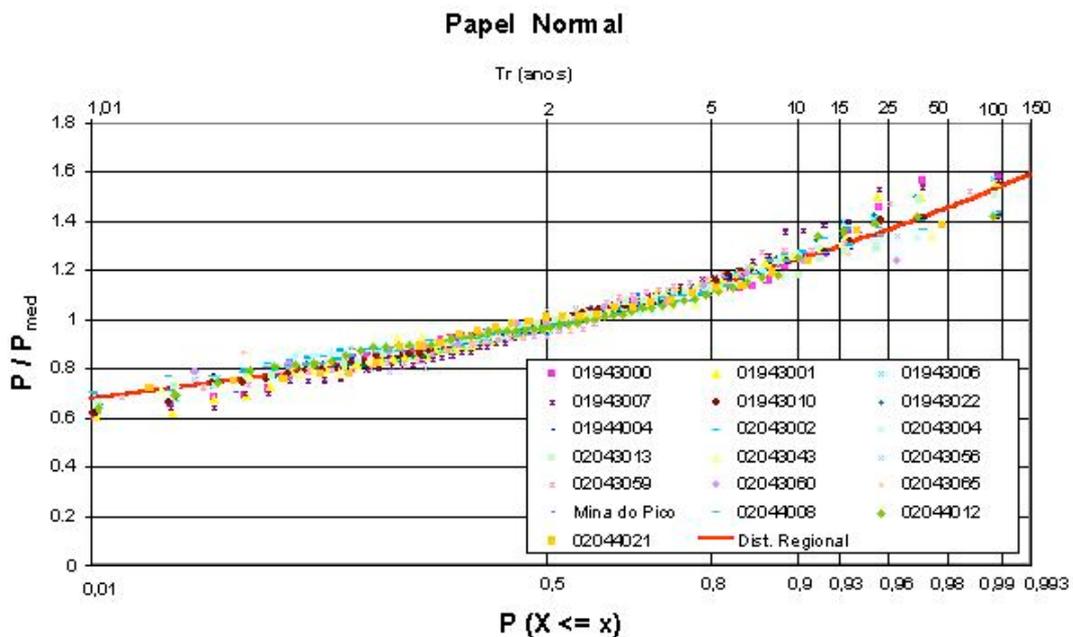


GRÁFICO 23 – Distribuições empíricas e regionais

O cálculo da probabilidade de ocorrência de um determinado valor de precipitação anual de uma estação foi realizado da seguinte maneira:

- Adimensionalizou-se o valor da precipitação anual com o fator de adimensionalização, que é a média da série:

$$X = \frac{P_{\text{anual}}}{\mu_j}, \text{ onde } \mu_j \text{ é média da estação } j$$

- Calculou-se o valor da variável central reduzida  $Z$  com a equação (7.8).
- Estimou-se a probabilidade da precipitação anual ser menor ou igual ao valor estipulado, utilizando-se o  $Z$  calculado e as tabelas da distribuição normal parametrizada com média 0 e variância 1.

As probabilidades das precipitações anuais ocorrerem em determinadas faixas estão apresentadas na TAB. 14.

TABELA 14  
Probabilidade de ocorrência da precipitação anual (%)

Código	Nome	N	Média	Classes de Precipitação (mm)				
				<1200	1200-1500	1500-1800	1800-2200	>2200
01943000	MIN. MORRO VELHO	59	1524,4	9,9	41,9	32,8	13,2	2,2
01943001	RIO PIRACICABA	58	1418,3	20,2	46,9	24,7	7,3	0,9
01943006	SABARÁ	56	1455,9	16,0	45,8	27,8	9,2	1,3
01943007	SANTA BÁRBARA	59	1433,9	18,4	46,5	26,0	8,1	1,0
01943010	CAETÉ	60	1401,1	22,4	47,0	23,2	6,6	0,8
01943022	CAIXA DE AREIA	55	1712,9	1,9	24,6	39,3	26,8	7,4
01944004	PONTE NOVA DO PARAOPEBA	60	1408,9	21,4	47,0	23,9	6,9	0,8
02043002	LAGOA GRANDE	59	1558,5	7,7	39,2	34,9	15,4	2,8
02043004	RIO DO PEIXE	56	1583,9	6,3	37,0	36,2	17,2	3,3
02043013	CONGONHAS	57	1392,9	23,4	47,1	22,5	6,2	0,7
02043043	REPRESA DO MIGUELÃO	25	1666,7	3,0	29,1	38,9	23,3	5,7
02043056	FAZENDA ÁGUA LIMPA	17	1359,2	28,1	46,7	19,7	5,0	0,5
02043059	COLÉGIO CARAÇA	41	1929,7	0,2	8,4	31,3	40,1	20,1
02043060	ITABIRITO	17	1440,7	17,6	46,3	26,5	8,4	1,1
02043065	UHE RIO DE PEDRAS	10	1385,8	24,4	47,0	21,9	6,0	0,7
	MINA DO PICO	11	1561,2	7,5	39,0	35,1	15,6	2,9
02044008	MELO FRANCO	60	1336,7	31,6	46,0	17,8	4,2	0,4
02044012	IBIRITÉ	56	1726,8	1,7	23,3	39,2	27,9	8,0
02044021	ALTO BOA VISTA	29	1575,3	6,7	37,7	35,8	16,6	3,2

A FIG. 6 ilustra a probabilidade da precipitação anual ocorrer dentro da faixa de 1200 mm a 1500 mm em cada estação.

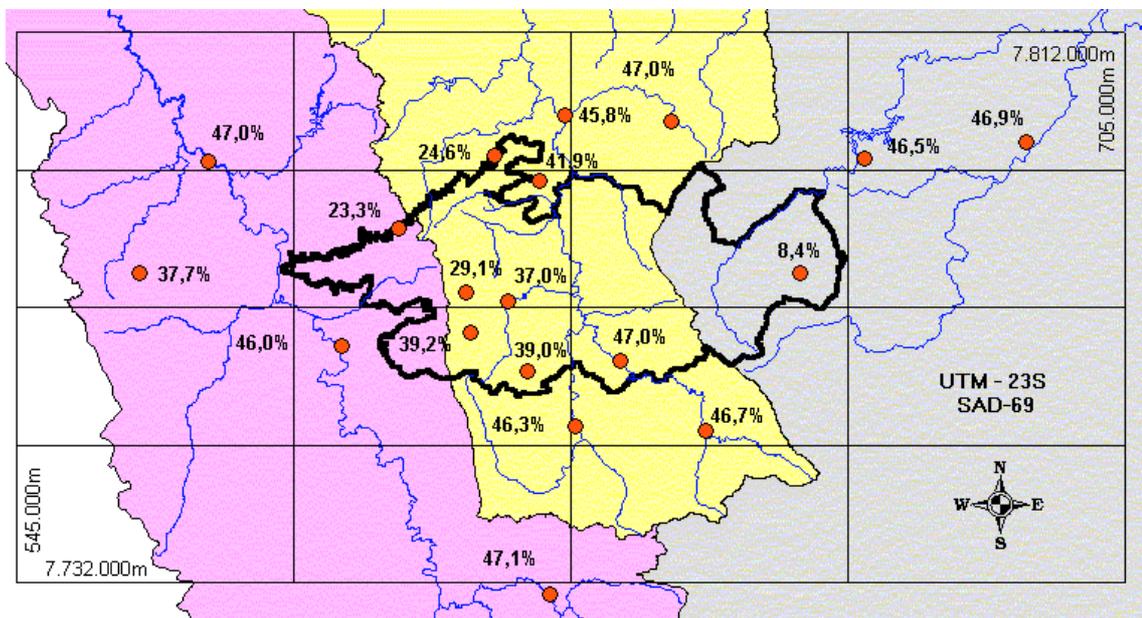


FIGURA 6 – Probabilidade de ocorrência da precipitação anual na faixa de 1200 a 1500 mm

Considerando as classes utilizadas, observa-se que a faixa de precipitações de 1200 a 1500 mm apresenta maior probabilidade de ocorrência em 15 das 19 estações, com os valores de probabilidade variando de 37 a 47%. As estações de Caixa de Areia, Represa do Miguelão e Ibitiré apresentam maior probabilidade de ocorrência de precipitações totais por ano hidrológico na faixa de 1500 a 1800 mm, com as probabilidades variando de 38,9 a 39,3%. A classe de maior probabilidade de ocorrência de precipitações anuais da estação do Colégio Caraça é a de 1800 a 2200 mm. Além disso, observa-se que a probabilidade de ocorrer precipitações totais por ano hidrológico superiores a 2200 mm, nessa estação, é maior que 20%, refletindo a influência da orografia nos totais anuais de precipitação. Esse comportamento é diferenciado das outras estações, onde as probabilidades são menores que 10%.

Verifica-se também que as classes com maior probabilidade de ocorrência contêm ou estão próximas à média da série.

#### 7.4 Regionalização das Precipitações Máximas Diárias

A regionalização das precipitações máximas diárias foi realizada aplicando a metodologia de regionalização *index flood* com utilização dos momentos-L e as estatísticas-L proposta por Hosking e Wallis (1993) apresentada no item anterior.

Para concretização desse estudo foram utilizadas as séries de totais pluviométricos diários máximos por ano hidrológico (outubro a setembro) das 23 estações apresentadas na TAB. 15. A localização das estações pluviométricas utilizadas no estudo pode ser visualizada na FIG. 7.

TABELA 15  
Estações pluviométricas utilizadas na regionalização de máximos diários

<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude</b>	<b>N</b>
01943000	Min. Morro Velho	19°58'45" S	43°51'00" WG	770 m	48
01943001	Rio Piracicaba	19°55'22" S	43°10'40" WG	750 m	42
01943006	Sabará	19°53'35" S	43°48'54" WG	720 m	34
01943007	Santa Bárbara	19°56'43" S	43°24'04" WG	748 m	52
01943010	Caeté	19°54'00" S	43°40'03" WG	950 m	49
01943011	Instituto Agrônômico	19°55' S	43°54' WG	850 m	25
01943022	Caixa de Areia	19°56'42" S	43°54'45" WG	1.034 m	22
01943053	Avenida do Contorno	19°56'04" S	43°57'07" WG	915 m	15
01944004	Ponte Nova do Paraopeba	19°57'20" S	44°18'24" WG	721 m	56
01944055	Betim	19°58'24" S	44°11'17" WG	822 m	19
02043002	Lagoa Grande	20°10'45" S	43°56'34" WG	1.350 m	34
02043004	Rio do Peixe	20°08'16" S	43°53'33" WG	1097 m	40
02043013	Congonhas	20°31'19" S	43°49'48" WG	871 m	36
02043043	Represa do Miguelão	20°07'34" S	43°57'01" WG	1152 m	20
02043056	Fazenda Água Limpa	20°18'19" S	43°36'59" WG	965 m	11
02043059	Colégio Caraça	20°05'49" S	43°29'17" WG	1297 m	15
02043060	Itabirito	20°18'04" S	43°47'53" WG	877 m	14
02043065	UHE Rio de Pedras	20°12'55" S	43°44'05" WG		10
	Mina do Pico	20°13'43" S	43°51'47" WG	1500 m	12
02044008	Melo Franco	20°11'52" S	44°07'15" WG	761 m	35
02044012	Ibirité	20°02'34" S	44°02'36" WG	1073 m	46
02044021	Alto Boa Vista	20°06'07" S	44°24'04" WG	905 m	29
02044024	Fazenda Curralinho	20°00'27" S	44°19'52" WG	754 m	24

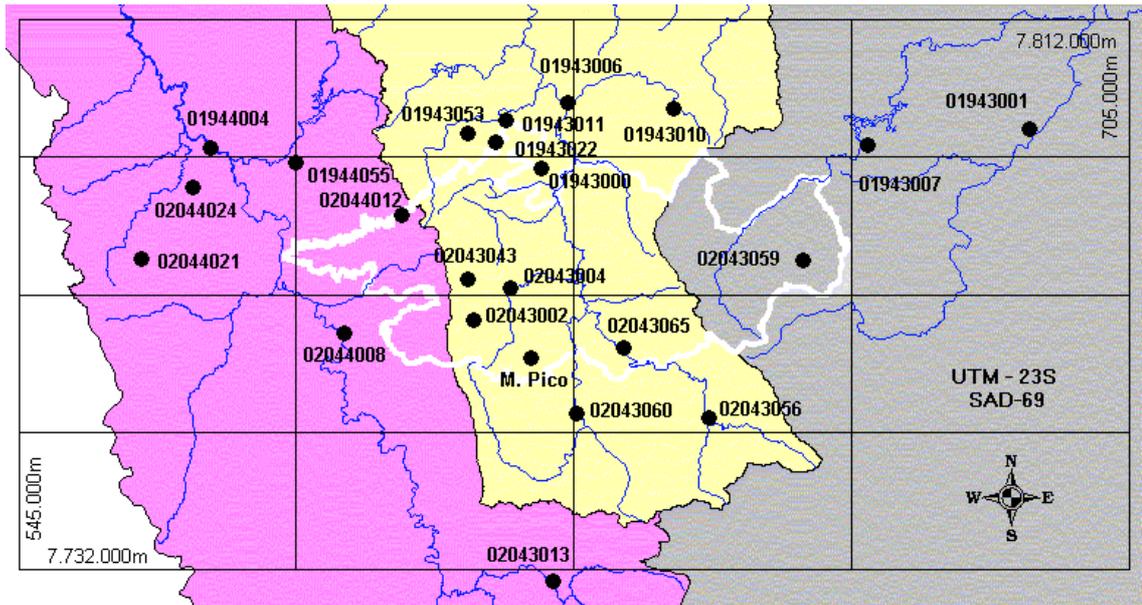


FIGURA 7 – Localização das estações utilizadas na regionalização de máximos diários.

Na delimitação das regiões estatisticamente homogêneas adotou-se a mesma hipótese inicial da regionalização de totais anuais, ou seja, assumiu-se que a área em estudo formava uma região homogênea. A seguir foram plotadas as curvas empíricas adimensionais para verificação da região conforme está apresentado no [GRAF. 25](#). O fator de adimensionalização utilizado foi a média das séries. A definição final das regiões foi realizada utilizando as sub-rotinas descritas por [Hosking](#) (1991), que permitiu o cálculo da medida de heterogeneidade da região. O resultado obtido comprova que a região pode ser considerada, segundo o critério de [Hosking e Wallis](#) (1993), aceitavelmente homogênea, pois a medida de heterogeneidade é igual a 0,78.

A [TAB. 16](#) mostra os valores das razões-L obtidos das séries adimensionalizadas, além dos valores regionais. As estimativas dos valores adimensionais regionais são realizadas a partir da média ponderada dos momentos-L e razões-L amostrais das estações da região homogênea através das equações [7.1](#) e [7.2](#).

TABELA 16  
Razões-L calculadas para a regionalização de máximos diários

<b>Código</b>	<b>N</b>	<b><math>I_1</math></b>	<b>L-CV(<math>\tau_2</math>)</b>	<b>Assimetria-L(<math>\tau_3</math>)</b>	<b>Curtose-L(<math>\tau_4</math>)</b>
01943000	48	87,45	0,1601	0,1403	0,1001
01943001	42	84,04	0,1498	0,3112	0,1803
01943006	34	83,71	0,1530	0,2616	0,1527
01943007	52	85,24	0,1523	0,1544	0,1155
01943010	49	90,17	0,1600	0,1984	0,2025
01943011	25	83,62	0,1287	0,1834	0,1420
01943022	22	90,44	0,1514	0,2465	0,1267
01943053	15	92,65	0,1476	0,3880	0,1660
01944004	56	82,66	0,1526	0,1080	0,1301
01944055	19	89,56	0,1678	0,1991	0,2232
02043002	34	85,93	0,1831	0,3090	0,1895
02043004	40	93,93	0,1813	0,2792	0,2654
02043013	36	73,27	0,1543	0,1482	0,0240
02043043	20	100,92	0,1846	0,1273	0,0668
02043056	11	79,75	0,1222	-0,0506	0,1449
02043059	15	113,42	0,1930	0,1408	-0,0085
02043060	14	77,56	0,1267	0,2923	0,1091
02043065	10	81,62	0,1607	0,2916	0,5484
M. Pico	12	104,03	0,1977	0,0594	0,2272
02044008	35	76,77	0,1046	-0,0279	0,0614
02044012	46	91,28	0,1838	0,2562	0,1154
02044021	29	88,45	0,1145	0,0171	0,0808
02044024	24	87,84	0,1370	0,0531	-0,0275
Regionais			0,1553	0,1795	0,1358

A seleção da distribuição de frequência regional foi efetuada com as sub-rotinas descritas por Hosking (1991), implementadas em linguagem Fortran-77. Esse programa faz o ajuste das distribuições Logística Generalizada (LG), Generalizada de Valores Extremos (GEV), Log-Normal (LN-3P) ou Generalizada Normal, Pearson tipo III (P-III) e Generalizada de Pareto (GP), estimando os seus parâmetros a partir dos momentos-L regionais, além de aplicar o teste de aderência para verificar o ajuste entre a distribuição candidata e os dados regionais. A definição da distribuição regional foi realizada a partir dos resultados do teste de aderência, pelo posicionamento dos valores regionais no diagrama Curtose-L x Assimetria-L apresentado no GRAF. 24 e a análise da cauda superior da distribuição.

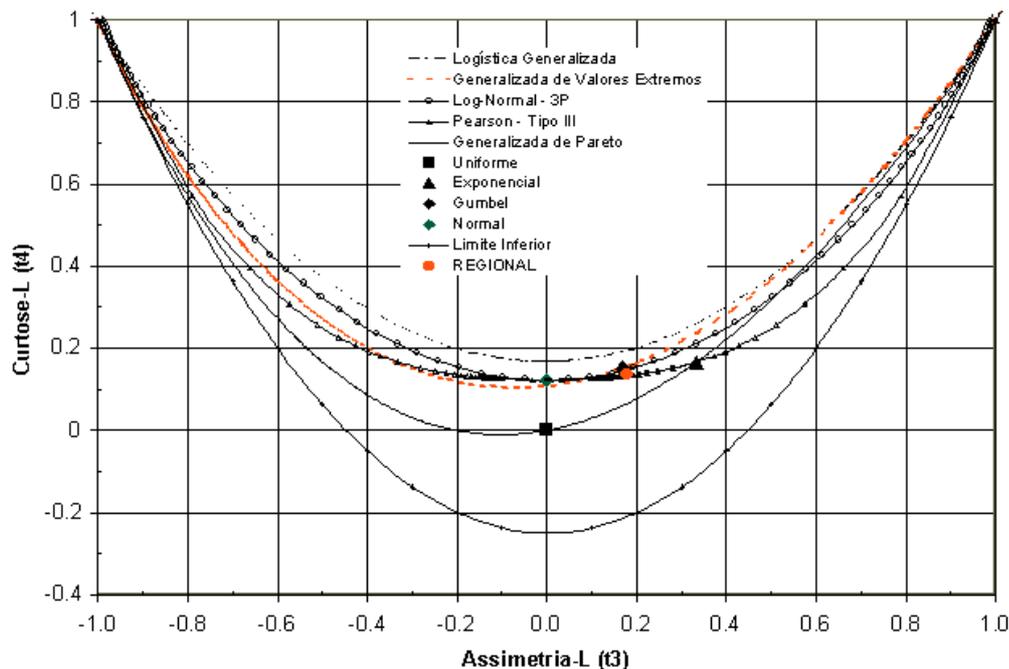


GRÁFICO 24 – Diagrama Assimetria-L x Curtose-L

A distribuição escolhida foi a Generalizada de eventos extremos (GEV). O resultado do teste de aderência para distribuição GEV foi  $Z = 1,18$ , que é menor que 1,64, o limite segundo os critérios de Hosking e Wallis (1993). Além disso, apresentou resultados mais conservadores para os quantis da cauda superior. As funções densidade de probabilidade e de distribuição acumulada da GEV e a sua inversa foram descritas por Hosking e Wallis (1997) como:

GEV

$$f_x(x) = \frac{1}{\alpha} \exp[-(1-k)y - \exp(-y)] \quad (7.10)$$

$$\text{Para } k = 0, \quad y = \frac{x - \xi}{\alpha} \quad \text{e para } k \neq 0 \quad y = -\frac{1}{k} \ln \left[ 1 - \frac{(x - \xi)k}{\alpha} \right].$$

Os limites da função são:

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

$$F_x(x) = \exp[-\exp(-y)] \quad (7.11)$$

$$x(F) = \xi - \alpha \ln[-\ln(F)] \quad , k = 0 \quad (7.12)$$

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - [-\ln(F)]^k \right\} \quad , k \neq 0 \quad (7.13)$$

Onde  $k$ ,  $\alpha$  e  $\xi$  são os parâmetros de forma, escala e posição, respectivamente.

Os parâmetros estimados da distribuição GEV estão na TAB. 17.

TABELA 17  
Parâmetros estimados da distribuição GEV

Posição ( $\xi$ )	Escala ( $\alpha$ )	Forma ( $k$ )
0,869	0,221	-0,015

Os quantis adimensionais para precipitações máximas diárias da APA Sul RMBH foram calculados com a Equação (7.13) e estão apresentados na TAB. 18.

TABELA 18  
Quantis adimensionais da GEV para precipitações máximas diárias

Tr (anos)	1,01	2	5	10	20	25	50	75	100
$F(x) = P(X \leq x)$	0,0099	0,5	0,8	0,9	0,95	0,96	0,98	0,987	0,99
$x(F)$	0,535	0,950	1,204	1,375	1,540	1,593	1,757	1,853	1,922

A distribuição regional adimensional ajustada e as empíricas adimensionais estão apresentadas no GRAF. 25. A fórmula de posição de plotagem utilizada foi a de Gringorten:

$$\frac{i - 0,44}{n + 0,12} \quad (7.14)$$

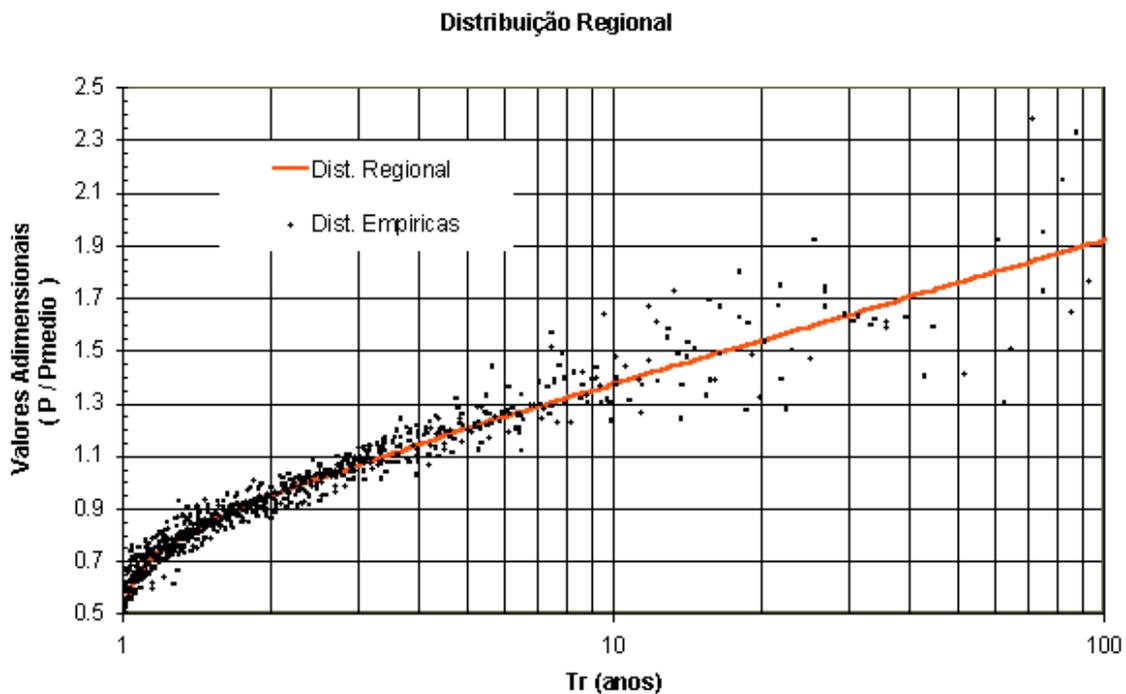


GRÁFICO 25 – Distribuição regional adimensional e empíricas

Os valores absolutos das precipitações diárias associadas a um determinado período de retorno foram obtidos multiplicando o quantil adimensional, calculado através da Equação (7.13) ou extraído da TAB. 18, pelo fator de adimensionalização, ou seja, a média da série. Os resultados estão na TAB. 19.

TABELA 19  
Quantis de precipitações máximas diárias (mm)

Código	Nome	Média	Tempo de Retorno (anos)								
			1,01	2	5	10	20	25	50	75	100
01943000	Min. Morro Velho	87,5	46,8	83,1	105,3	120,2	134,7	139,3	153,7	162,1	168,0
01943001	Rio Piracicaba	84,0	44,9	79,9	101,2	115,5	129,4	133,9	147,7	155,7	161,5
01943006	Sabará	83,7	44,8	79,5	100,8	115,1	128,9	133,4	147,1	155,1	160,9
01943007	Santa Bárbara	85,2	45,6	81,0	102,6	117,2	131,3	135,8	149,8	158,0	163,8
01943010	Caeté	90,2	48,2	85,7	108,6	124,0	138,9	143,7	158,4	167,1	173,3
01943011	Instituto Agrônômico	83,6	44,7	79,5	100,7	115,0	128,8	133,2	146,9	155,0	160,7
01943022	Caixa de Areia	90,4	48,4	85,9	108,9	124,3	139,3	144,1	158,9	167,6	173,8
01943053	Avenida do Contorno	92,6	49,6	88,0	111,6	127,4	142,7	147,6	162,8	171,7	178,0
01944004	Ponte Nova do Paraopeba	82,7	44,2	78,5	99,5	113,6	127,3	131,7	145,2	153,2	158,8
01944055	Betim	89,6	47,9	85,1	107,9	123,1	137,9	142,7	157,4	166,0	172,1
02043002	Lagoa Grande	85,9	46,0	81,7	103,5	118,1	132,4	136,9	151,0	159,2	165,1
02043004	Rio do Peixe	93,9	50,2	89,3	113,1	129,1	144,7	149,6	165,0	174,1	180,5
02043013	Congonhas	73,3	39,2	69,6	88,2	100,7	112,9	116,7	128,7	135,8	140,8
02043043	Represa do Miguelão	100,9	54,0	95,9	121,5	138,7	155,4	160,8	177,3	187,0	193,9
02043056	Fazenda Água Limpa	79,7	42,7	75,8	96,0	109,6	122,8	127,1	140,1	147,8	153,2
02043059	Colégio Caraça	113,4	60,7	107,8	136,6	155,9	174,7	180,7	199,3	210,2	217,9
02043060	Itabirito	77,6	41,5	73,7	93,4	106,6	119,5	123,6	136,3	143,7	149,0
02043065	UHE Rio de Pedra	81,6	43,7	77,6	98,3	112,2	125,7	130,0	143,4	151,3	156,8
	Mina do Pico	104,0	55,6	98,9	125,3	143,0	160,2	165,7	182,8	192,8	199,9
02044008	Melo Franco	76,8	41,1	72,9	92,4	105,5	118,2	122,3	134,9	142,3	147,5
02044012	Ibirité	91,3	48,8	86,7	109,9	125,5	140,6	145,4	160,4	169,2	175,4
02044021	Alto Boa Vista	88,5	47,3	84,0	106,5	121,6	136,2	140,9	155,4	163,9	170,0
02044024	Fazenda Curralinho	87,8	47,0	83,5	105,8	120,8	135,3	139,9	154,3	162,8	168,8

A espacialização da análise de frequência poderia ser feita através de uma equação de regressão entre os fatores de adimensionalização e as características físicas da bacia. Entretanto, neste caso, decidiu-se pela construção de isolinhas relativas à variação espacial do quantis associados a vários períodos de retorno, ao invés de se definir uma equação de regressão, permitindo, dessa maneira, a elaboração de mapas com a variação espacial dos quantis para os períodos de retorno apresentados na TAB. 19. A regionalização dos quantis foi executada a partir do ajuste de uma superfície de mínima curvatura aos dados pontuais através de um método similar aos descritos por Swain (1976) e Briggs (1974), mas com as alterações propostas por Smith e Wessel (1990). O ANEXO D apresenta as isolinhas com a variação espacial das precipitações máximas diárias para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 75 e 100 anos.

### 7.5 Relações Intensidade-Duração-Frequência

Observa-se, ao se correlacionar as durações e as intensidades das chuvas, que quanto maior for a duração, menos intensa será a precipitação; e que quanto menor o risco de ocorrência, ou seja, menor frequência, maior será a intensidade da chuva conforme apresentado no GRAF. 26.

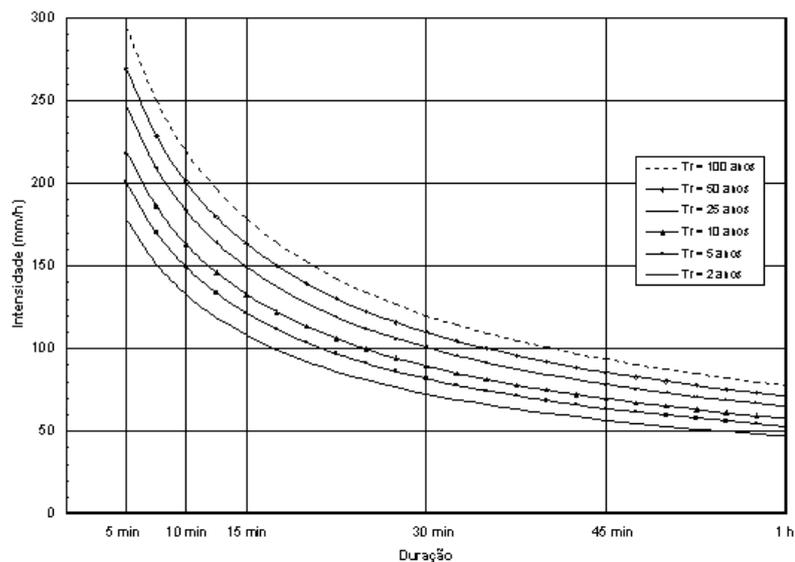


GRÁFICO 26 - Relações IDF

As características intensidade, duração e freqüência podem ser sintetizadas através das curvas IDF (Intensidade-Duração-Freqüência) ou equações que refletem essas relações. As relações IDF podem ser locais, ou seja, utilizam as informações de uma estação pluviográfica na sua definição, ou regional, onde os dados de todas as estações pluviográficas de uma região considerada homogênea são utilizadas no estabelecimento das relações IDF da região.

No caso da região metropolitana de Belo Horizonte, foram realizados alguns estudos que procuraram estabelecer relações IDF local, geralmente para a estação do INMET de Belo Horizonte, e apenas um trabalho de análise regional. Dentre os estudos de análise local podemos destacar: Pfafstetter (1957), Freitas (1981), SUDECAP (1982), Pinto (1995) e Versiani *et al.* (1995).

O estudo regional foi desenvolvido por Pinheiro (1997) e abrange grande parte da APA Sul RMBH conforme pode ser visualizado na FIG. 8. A equação IDF para a Região Metropolitana de Belo Horizonte foi definida a partir de uma metodologia de análise regional de precipitações intensas com o uso de momentos-L. A equação estabelecida foi a seguinte:

$$I_{T,i} = 0,76542D^{-0,7059} PA^{0,5360} \mu_{T,d} \quad (7.15)$$

para

$T \leq 200$  anos; e

$10$  minutos  $\leq D \leq 24$  horas

sendo

$I_{T,i}$ , (mm/h), a estimativa da intensidade média do local  $i$ , associada ao período de retorno  $T$ ;

$D$ , (horas), a duração da precipitação;

$PA$ , (mm), precipitação total anual média, a FIG. 8 apresenta a configuração isoietal das precipitações totais anuais médias na APA Sul RMBH;

$\mu_{T,d}$ , quantil regional adimensionalizado associado ao período de retorno  $T$  e à duração da precipitação  $D$ , conforme a TAB. 20.

TABELA 20  
Quantis regionais adimensionalizados

Durarações	Período de Retorno (anos)							
	1,05	1,25	2	10	20	50	100	200
10 min	0,691	0,828	1,013	1,428	1,586	1,791	1,945	2,098
15 min	0,695	0,830	1,013	1,422	1,578	1,780	1,932	2,083
30 min	0,707	0,836	1,013	1,406	1,557	1,751	1,897	2,043
45 min	0,690	0,827	1,013	1,430	1,589	1,795	1,949	2,103
1 hora	0,679	0,821	1,014	1,445	1,610	1,823	1,983	2,143
2 horas	0,683	0,823	1,014	1,439	1,602	1,813	1,970	2,128
3 horas	0,679	0,821	1,014	1,445	1,610	1,823	1,983	2,143
4 horas	0,688	0,826	1,013	1,432	1,591	1,798	1,953	2,108
8 horas	0,674	0,818	1,014	1,451	1,618	1,834	1,996	2,157
14 horas	0,636	0,797	1,016	1,503	1,690	1,931	2,112	2,292
24 horas	0,603	0,779	1,017	1,550	1,754	2,017	2,215	2,412

Fonte: PINHEIRO, 1997

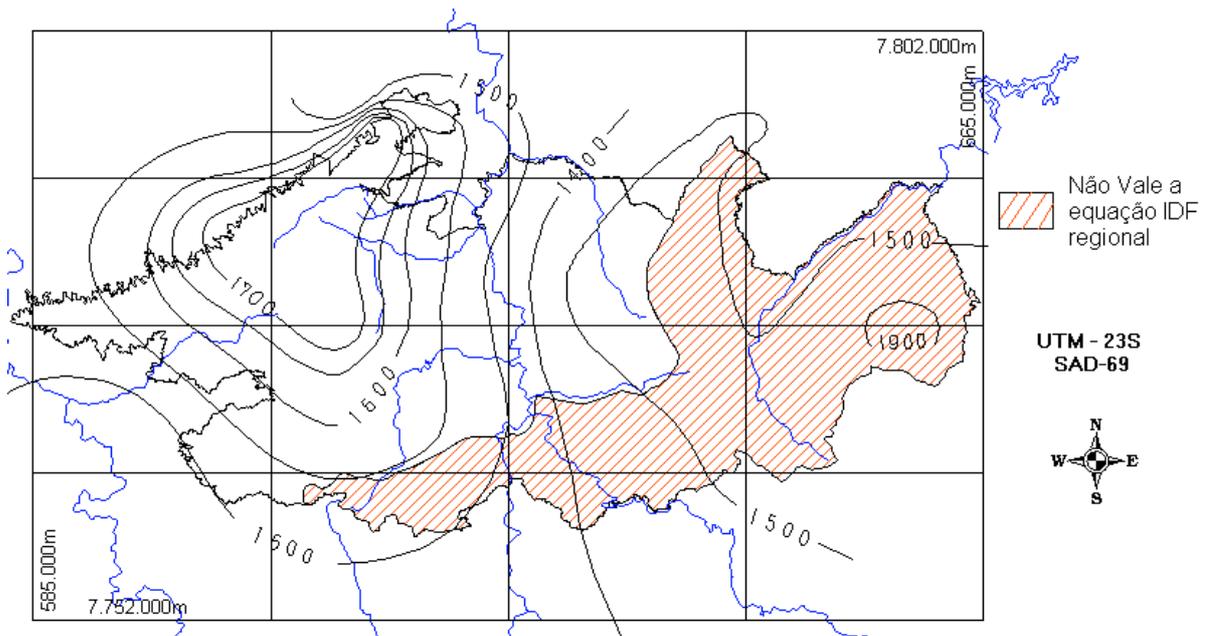


FIGURA 8 - Configuração isoietal

Para ilustrar o uso da equação acima em um ponto da APA Sul RMBH, vamos adotar dois valores de precipitação média anual, 1500 mm e 1800 mm. As precipitações médias anuais podem ser obtidas na FIG. 8.

Substituindo a precipitação média anual de 1500 mm na Equação (7.15), temos:

$$I_{T,i} = 0,76542 \cdot D^{-0,7059} (1500)^{0,5360} \mu_{T,d} \quad (7.16)$$

$$I_{T,i} = 38,5731 \cdot D^{-0,7059} \cdot \mu_{T,d} \quad (7.17)$$

Os resultados da aplicação da equação (7.17) estão apresentados na TAB. 21.

TABELA 21  
Intensidade média (mm/h) – (PA = 1500 mm)

Duração		Intensidade Média (mm/h)					
		Tempo de Retorno (anos)					
Min.	Hora	2	10	20	50	100	200
10	0,166666667	138,4	195,1	216,7	244,7	265,8	286,7
15	0,25	104,0	145,9	162,0	182,7	198,3	213,8
30	0,5	63,7	88,5	98,0	110,2	119,4	128,5
45	0,75	47,9	67,6	75,1	84,8	92,1	99,4
	1	39,1	55,7	62,1	70,3	76,5	82,7
	2	24,0	34,0	37,9	42,9	46,6	50,3
	3	18,0	25,7	28,6	32,4	35,2	38,1
	4	14,7	20,8	23,1	26,1	28,3	30,6
	8	9,0	12,9	14,4	16,3	17,7	19,2
	14	6,1	9,0	10,1	11,6	12,6	13,7
	24	4,2	6,3	7,2	8,3	9,1	9,9

Caso a precipitação média anual em um determinado local da APA Sul RMBH seja de 1800 mm obteremos:

$$I_{T,i} = 0,76542.D^{-0,7059} (1800)^{0,5360} \mu_{T,d} \quad (7.18)$$

$$I_{T,i} = 42,5330.D^{-0,7059} \cdot \mu_{T,d} \quad (7.19)$$

A TAB. 22 apresenta os resultados da aplicação da equação (7.19).

TABELA 22  
Intensidade média (mm/h) – (PA = 1800 mm)

Duração		Intensidade Média (mm/h)					
		Tempo de Retorno (anos)					
Min.	Hora	2	10	20	50	100	200
10	0,166666667	152,6	215,2	239,0	269,8	293,1	316,1
15	0,25	114,6	160,9	178,6	201,4	218,6	235,7
30	0,5	70,3	97,5	108,0	121,5	131,6	141,7
45	0,75	52,8	74,5	82,8	93,5	101,6	109,6
	1	43,1	61,5	68,5	77,5	84,3	91,1
	2	26,4	37,5	41,8	47,3	51,4	55,5
	3	19,9	28,3	31,5	35,7	38,8	42,0
	4	16,2	22,9	25,4	28,7	31,2	33,7
	8	9,9	14,2	15,9	18,0	19,6	21,1
	14	6,7	9,9	11,2	12,7	13,9	15,1
	24	4,6	7,0	7,9	9,1	10,0	10,9

## 8. CARACTERIZAÇÃO DO REGIME FLUVIOMÉTRICO

---

### 8.1 Hidrografia

A região da APA Sul RMBH está inserida nas bacias federais dos rios São Francisco e Doce. A bacia do rio São Francisco é representada, na área, pelas bacias estaduais do rio das Velhas e do rio Paraopeba, e a bacia do rio Doce pela bacia estadual do rio Piracicaba. As subdivisões de cada bacia na área em estudo são denominadas de Alto Rio das Velhas, Médio Paraopeba e Alto Piracicaba.

Os divisores hidrográficos mais importantes são a Serra da Moeda e a Serra do Espinhaço. A primeira divide as bacias do Alto Rio das Velhas e do Médio Paraopeba, e a segunda, as bacias do Alto Rio das Velhas e do Alto Piracicaba.

O trecho do Alto Rio das Velhas ocupa 60% da região em estudo e corresponde a uma área de 982 km<sup>2</sup>. Esse trecho drena os municípios de Belo Horizonte, Itabirito, Nova Lima, Rio Acima e Raposos.

O trecho do Médio Paraopeba ocupa 14% da região, em uma área de 230 km<sup>2</sup>. Ele drena os municípios de Brumadinho, Mário Campos, Sarzedo e Ibirité.

O trecho do Alto Piracicaba ocupa 26% da região, equivalendo em área a 418 km<sup>2</sup>, drenando os municípios de Catas Altas, Santa Bárbara, Caeté e Barão de Cocais.

A [FIG. 9](#) ilustra a rede de drenagem, o contorno da APA e as bacias dos rios Paraopeba, das Velhas e Piracicaba.

#### 8.1.1 Características Hidrográficas das Sub-bacias

Neste estudo, a drenagem superficial da região da APA Sul RMBH foi dividida em 44 sub-bacias. A rede de drenagem, as bacias hidrográficas dos rios das Velhas, Paraopeba e Piracicaba e as sub-bacias estão apresentadas no [APÊNDICE B](#).

Dentro do limite da APA encontram-se alguns afluentes da margem direita do rio Paraopeba que nascem na Serra da Moeda. Os principais afluentes pertencem às sub-bacias dos ribeirões Piedade e Casa Branca. Ainda dentro desta bacia, partindo da Serra Três Irmãos,

estão as nascentes do ribeirão Ferro-Carvão, do córrego do Barro e os afluentes do ribeirão Sarzedo, este também um afluente da margem direita do rio Paraopeba. Dentre os afluentes do ribeirão Sarzedo estão as sub-bacias dos córregos Fecho do Funil, Capão Grande, Campo Belo, das Pedras, Corredor, Capão da Serra, Sumidouro, Taboão, Urubu, Fubá, Rola Moça e Barreirinha.

A bacia do rio das Velhas é a mais importante rede fluvial da APA. Dentro do limite da APA, as sub-bacias drenam em direção ao rio das Velhas pela margem esquerda e direita. As principais sub-bacias afluentes pela margem direita, que nascem na Serra do Espinhaço, são os córregos Manso, Cortesia e Prata. Ainda pela margem direita, estão as sub-bacias dos córregos Vilela e Mingu e do ribeirão Cambimba. As principais sub-bacias afluentes pela margem esquerda, que nascem na Serra da Moeda, são o ribeirão Macacos e rio do Peixe. Na mesma bacia, partindo da Serra do Curral, estão as nascentes das sub-bacias que são afluentes do rio das Velhas pela margem esquerda e os afluentes do ribeirão Arrudas, este também afluente da margem esquerda do rio das Velhas. Os afluentes da margem esquerda, cujas nascentes estão na Serra do Curral, são as sub-bacias dos córregos da Fazenda, Jambreiro, Carrapato e Mutuca (afluente da sub-bacia do ribeirão dos Cristais). Dentre os afluentes do ribeirão Arrudas estão as nascentes dos córregos Barreiro, Bom Sucesso, Cercadinho, Acaba Mundo, da Serra, São Lucas, Baleia, Taquaril e da Olaria.

No trecho do Alto Piracicaba, encontram-se as sub-bacias dos ribeirão Caraça, rio Conceição e parte do rio Barão de Cocais. Suas nascentes estão localizadas na Serra do Espinhaço. O encontro dessas sub-bacias, fora do limite da APA, forma o rio Santa Bárbara, um afluente da margem esquerda do rio Piracicaba.

### *8.1.2 Características Fisiográficas dos Principais Cursos d'Água*

Neste estudo foram levantadas algumas características fisiográficas dos principais cursos d'água que drenam a APA Sul RMBH, com o objetivo de auxiliar na descrição do comportamento hidrológico das sub-bacias que pertencem à região.

Para a realização deste trabalho utilizou-se a base hidrográfica do Banco de Dados do Projeto GeoMinas disponível no web site da Companhia de Processamento de Dados do Estado de Minas Gerais – PRODEMGE -, parcialmente atualizada com imagens LANDSAT 7 (março, 2001). As cartas planialtimétricas do IBGE na escala 1:50.000 foram também utilizadas para identificar e nomear os principais segmentos da hidrografia. As cartas utilizadas foram: Brumadinho (IBGE, 1986), Rio Acima (IBGE, 1986), Acuruí (IBGE, 1986), Catas Altas (IBGE, 1976), Itabirito (IBGE, 1977), Caeté (IBGE, 1977) e Belo Horizonte (IBGE, 1988). Além destas, foi utilizada a carta planialtimétrica de Itabira na escala 1:100.000 (IBGE, 1977).

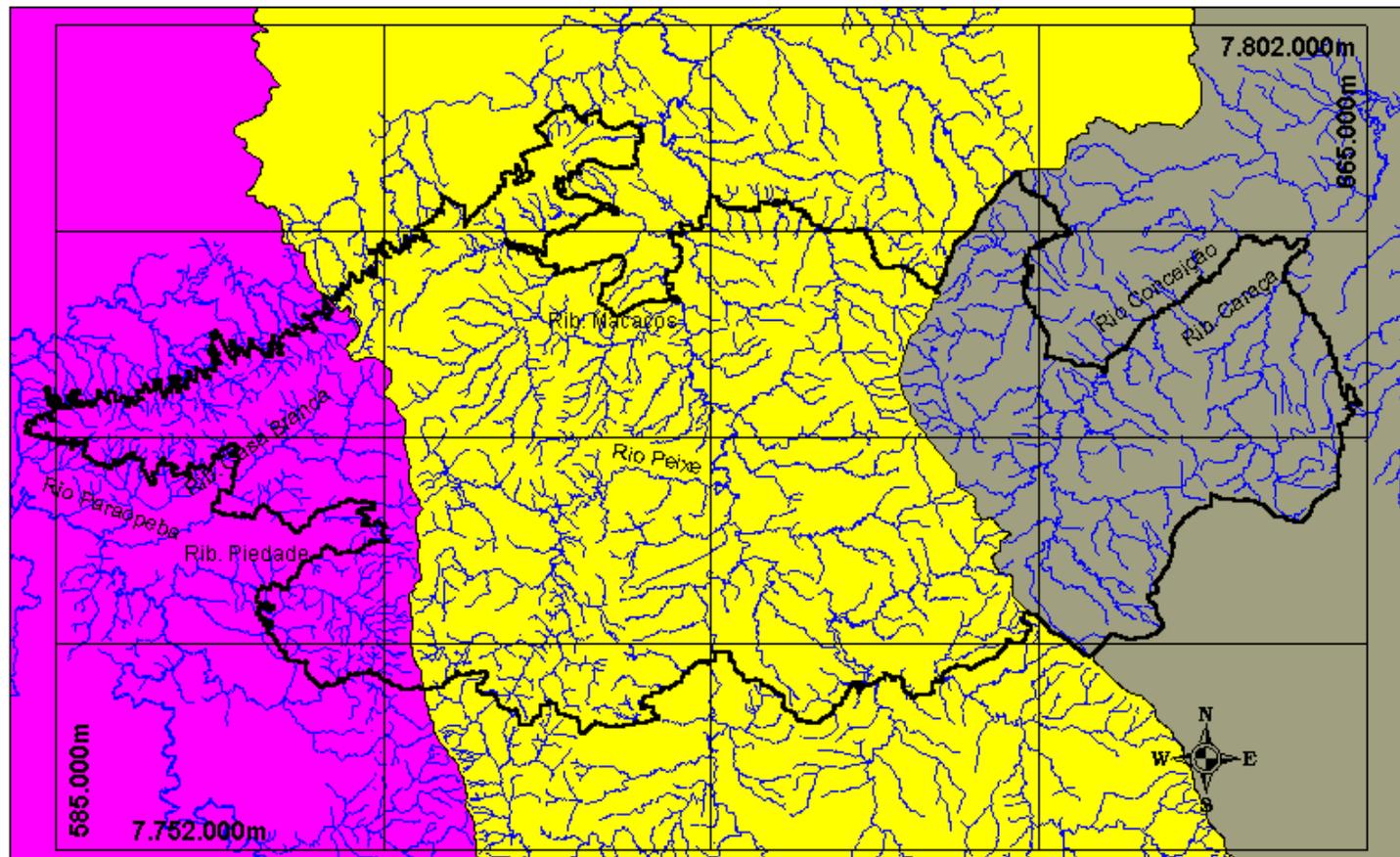
As características fisiográficas levantadas foram:

**Áreas de drenagem (Ad) e perímetro (P):** foram delimitadas em mapas do IBGE em escala 1:50.000. A [TAB. 23](#) apresenta as áreas calculadas.

**Perfis longitudinais:** foram levantados os perfis longitudinais dos principais cursos d'água. Os perfis foram obtidos a partir de mapas do IBGE em escala 1:50.000, utilizando-se o software MapInfo, de acordo com a disponibilidade de cartas na região.

Ao se levantar os perfis longitudinais dos cursos d'água foram indicados os principais afluentes e os pontos de monitoramento. As cotas de chegada dos afluentes foram estimadas através de interpolação linear.

Os perfis longitudinais encontram-se representados no [ANEXO E](#).



## LEGENDA

- Bacia do rio Paraopeba
- Bacia do rio das Velhas
- Bacia do rio Piracicaba

FIGURA 9 - Rede de drenagem da APA Sul RMBH

**Comprimentos dos cursos d'água (L):** através do perfil longitudinal dos cursos d'água foram calculados o comprimento do rio desde sua nascente até a foz, como a distância, ao longo do rio, entre a nascente e o ponto monitorado. Os resultados estão apresentados na TAB. 23.

**Declividades dos cursos d'água ( $I_{eq}$ ):** o cálculo das declividades foi realizado através do método da declividade equivalente. As declividades foram calculadas para 0,25L, 0,50L, 0,75L, sendo L o comprimento total. A fórmula utilizada foi:

$$I_{eq} = \left[ \frac{L}{\sum \left( \frac{l_j}{\sqrt{I_j}} \right)} \right]^2 \quad (1)$$

onde L é o comprimento total do trecho

$l_j$  e  $I_j$  são o comprimento e a declividade de cada sub-trecho

$j$  - nº de ordem de sub-trechos,

Na TAB. 23 estão apresentadas as declividades calculadas.

TABELA 23  
Características fisiográficas dos principais cursos d'água da APA Sul RMBH

Curso d'água	Bacia	Área (Km <sup>2</sup> ) (1)	Perímetro (km) (1)	L (km) (1)	$I_{eq}$ 0,25L (m/km) (1)	$I_{eq}$ 0,50L (m/km) (1)	$I_{eq}$ 0,75L (m/km) (1)	$I_{eq}$ (m/km) (1)
Cór. Capão da Serra	Paraopeba	38,6(2)	32,2(2)	15,69	58,37	34,01	16,241	11,19
Córrego Taboão	Paraopeba	9,9(2)	17,8(2)	7,06	90,56	52,46	40,58	31,218
Córrego Fubá	Paraopeba	3,8(3)	12,7(3)	5,49	115,08	88,28	60,27	36,28
Córrego Rola Moça	Paraopeba	5,3(3)	12,7(3)	6,67	142,86	98,62	65,51	35,11
Córrego Barreirinho	Paraopeba	5,6(4)	11,3(4)	6,9	136,23	96,10	55,14	30,81
Ribeirão Casa Branca	Paraopeba	125,1(5)	62,6(5)	24,95	28,69	16,07	15,18	1,51
Córrego Areia	Paraopeba	12,0(6)	35,5(6)	8,3	32,66	11,58	10,57	12,20
Córrego Fundo	Paraopeba	17,9(7)	26,2(7)	12,45	69,33	38,61	23,15	20,25
Ribeirão Catarina	Paraopeba	39,8(8)	34,3(8)	12,31	61,13	37,02	28,97	21,21
Ribeirão Piedade	Paraopeba	103,2(5)	53,6(5)	25,63	56,75	17,38	9,38	5,03
Córrego dos Vieiras	Paraopeba	31,4(9)	26,3(9)	10,99	66,01	22,44	16,36	12,59
Ribeirão Aranha	Paraopeba	18,7(9)	29,3(9)	13,01	26,06	15,95	12,23	13,13
Ribeirão Ferro-Carvão	Paraopeba	32,6(5)	25,2(5)	11,17	91,58	45,73	20,56	11,29
Ribeirão Mutuca	das Velhas	31,7	38,1	20,48	26,12	21,40	15,28	12,45
Ribeirão dos Macacos	das Velhas	131,4	60,5	25,12	49,78	14,72	12,80	11,68
Cór. dos Boiaderos	das Velhas	25,8(10)	25,7(10)	11,69	53,28	40,64	24,70	23,68
Córrego Taquar	das Velhas	4,1(11)	10,7(11)	5,14	108,10	64,37	45,88	36,79
Córrego Fechos	das Velhas	27,4(10)	27,8(10)	11,49	52,25	53,02	38,02	21,43

TABELA 23  
Características fisiográficas dos principais cursos d'água da APA SUL RMBH (continuação)

Curso d'água	Bacia	Área (Km <sup>2</sup> ) (1)	Perímetro (km) (1)	L (km) (1)	I eq 0,25L (m/km) (1)	I eq 0,50L (m/km) (1)	I eq 0,75L (m/km) (1)	I eq (m/km) (1)
Córrego Marumbé	das Velhas	24,3(10)	25,9(10)	10,49	73,26	28,85	18,75	10,07
Rio Peixe	das Velhas	214,2	85,0	16,12	43,95	8,85	5,04	4,83
Capitão do Mato	das Velhas	53,3	36,3	8,25	15,17	14,22	14,57	15,45
Ribeirão Congonhas	das Velhas	59,8(12)	43,3(12)	13,14	25,91	10,23	7,54	6,30
Córrego Fazenda Velha	das Velhas	27,0	24,2	10,34	49,82	32,13	15,89	15,11
Córrego dos Andaime	das Velhas	6,5	16,7	8,19	70,66	34,31	30,82	29,05
Córrego Manso	das Velhas	58,1	45,7	12,87	33,90	17,13	16,53	11,09
Córrego Palmital	das Velhas	33,7	30,1	15,17	25,37	29,20	29,38	18,95
Córrego Cortesia	das Velhas	30,7	34,7	18,32	51,13	36,53	28,89	13,15
Córrego Mingu	das Velhas	39,5	30,9	8,94	44,51	34,06	34,96	23,34
Córrego dos Viana	das Velhas	20,3	23,9	8,45	61,53	36,54	22,08	14,63
Córrego do Vilela	das Velhas	12,7	14,6	7,31	113,48	58,81	33,35	10,79
Rio Conceição(1)	Piracicaba	303,9	105,1	53,47	21,54	12,55	5,89	3,58
Ribeirão Caraça	Piracicaba	120,8	52,1	39,52	5,27	6,45	1,46	0,62
Rio Barão de Cocais(1)	Piracicaba	86,4	43,7	35,21	36,12	16,45	7,11	4,68

(1) O comprimento (L) e as declividades (Ieq) foram calculados conforme os perfis longitudinais do ANEXO E

(2) Calculado até a confluência com o rib. Sarzedo

(3) Calculado até a confluência com o cór. Barreirinho

(4) Calculado até a confluência com o cór. Rola Moça

(5) Calculado até a confluência com o rio Paraopeba

(6) Calculado sem incluir o cór. Fundo até a confluência com o rib. Casa Branca

(7) Calculado até a confluência com o cór. Areia

(8) Calculado até a confluência com o rib. Casa Branca

(9) Calculado até a confluência com o rib. Piedade

(10) Calculado até a confluência com o rib. Macacos

(11) Calculado até a confluência com o cór. Fechos

(12) Calculado até o encontro com a represa da Codorna

## 8.2 Apresentação dos Dados Fluviométricos Levantados

Nos estudos de caracterização fluviométrica da APA Sul RMBH foram utilizadas as séries de vazões disponíveis na região. Essas séries são oriundas de estações fluviométricas pertencentes tanto a empresas privadas quanto a instituições públicas.

De acordo com o Inventário das Estações Fluviométricas (ANEEL, 1996), a rede fluviométrica pertencente à ANA e à ANEEL, que atende a região em estudo, é composta de seis estações, havendo ainda cinco estações desativadas. A TAB. 24 apresenta a relação das estações levantadas neste estudo, suas respectivas áreas de drenagem e o período de operação.

TABELA 24  
Estações fluviométricas pertencente à rede ANA/ANEEL

## Bacia do rio Paraopeba

Código	Estação	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	Rio	Período de Observação
40710000	Belo Vale	2760	Paraopeba	08/65 até o presente
40720002	Melo Franco	3810	Paraopeba	11/35 a 12/65
40740000	Alberto Flores	3931	Paraopeba	11/63 até o presente
40770000	Conceição do Itaguá	675	Manso	10/65 a 12/91
40800001	Pte Nova do Paraopeba	5679	Paraopeba	11/37 até o presente

## Bacia do rio das Velhas

Código	Estação	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	Rio	Período de Observação
41160000	Gulpiara	284	das Velhas	05/30 a 12/65
41151000	Faz. Água Limpa (jusante)	175	das Velhas	05/94 até o presente
41180000	Itabirito Linígrafo	330	Itabira	06/56 até o presente
41190000	Aguiar Moreira	539	Itabira	12/25 a 12/58
41195000	Rio Acima	1472	das Velhas	01/26 a 10/56
41199998	Honório Bicalho (montante)	1698	das Velhas	04/71 até o presente

## Bacia do rio Piracicaba

Código	Estação	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	Rio	Período de Observação
56640000	Carrapato	426	Santa Bárbara	07/54 até o presente

As séries disponíveis foram obtidas, em sua maioria, do relatório final do convênio ANEEL/CPRM para regionalização de vazões das sub-bacias 40 e 41 (Alto São Francisco), publicado em dezembro de 2001 (PINTO e ALVES, 2001) e que descreve detalhadamente a análise de consistência dos dados realizada.

No trabalho citado, as áreas de drenagem foram revisadas com a plotagem das estações e a respectiva delimitação das bacias em mapas na escala 1:250.000. As estações com áreas inferiores a 300 km<sup>2</sup> foram delimitadas em cartas na escala 1:100.000 ou 1:50.000.

Também foram levantados os registros de dados fluviométricos disponíveis em outras entidades. A TAB. 25 apresenta os pontos de monitoramento levantados.

TABELA 25  
Estações fluviométricas pertencente a outras entidades

Estação	Rio	Entidade	Período de observação
Sensor-Carpintaria	Rio Cardoso	Anglogold	24/04/02 até o presente
Galeria-Jusante (p2)	Rio Cardoso	Anglogold	24/04/02 até o presente
Galo Passarela (p3)	Rio Cardoso	Anglogold	23/04/02 até o presente
Cambimbe – Montante	Rio das Velhas	Anglogold	30/04/02 até o presente
Cambimbe – Jusante	Rio das Velhas	Anglogold	30/04/02 até o presente
Montante captação	Córrego Cercadinho	COPASA	1994 até o presente
Captação	Ribeirão dos Fechos	COPASA	1997 até o presente
Fazenda Maracujá	Rio Maracujá	CEMIG	17/03/00 até o presente
Fazenda Vertentes	Rio das Velhas	CEMIG	17/03/00 até o presente

O mapa com a rede de monitoramento fluviométrico levantada encontra-se no [APÊNDICE C](#).

### 8.3 Apresentação da Rede de Monitoramento Fluviométrico Instalada

Para complementar as informações obtidas nas estações listadas na seção anterior, e avaliar as contribuições das principais sub-bacias dentro da região em estudo, foi instalada a rede de monitoramento fluviométrico na APA Sul RMBH.

Para definir a rede foram realizadas diversas viagens de reconhecimento da região. O objetivo das viagens foi demarcar os pontos de monitoramento preestabelecidos. Foram verificados diversos acessos, selecionadas seções transversais onde a velocidade do fluxo era estável, e contatados possíveis observadores nas proximidades, entre outras ações.

Inicialmente, a rede foi definida com seis estações fluviométricas e catorze pontos de medição. Duas das seis estações estavam previstas para serem instaladas no rio do Peixe e no córrego Casa Branca. No entanto, não foi possível instalar as estações porque não havia observadores nos locais onde a seção era estável.

Assim, a rede ficou com quatro estações fluviométricas e dezesseis pontos de medição. As estações fluviométricas foram instaladas nos cursos d'água que possuem áreas de drenagem maiores. Dos pontos de medição, onze foram selecionados pela equipe de hidrologia com o objetivo de avaliar a vazão dos cursos d'água mais representativos no período seco. Outros cinco tiveram sua localização escolhida pela equipe de hidrogeologia, visando avaliar a contribuição das unidades aquíferas.

As estações fluviométricas e os pontos de medição foram assim distribuídos entre as bacias:

- Rio Paraopeba:
  - uma estação fluviométrica (ribeirão Piedade);
  - quatro pontos de medição hidrológica (córregos Capão da Serra, Taboão, Fubá, Rola Moça e ribeirão Casa Branca);
- Rio das Velhas:
  - uma estação (ribeirão Macacos);
  - cinco pontos de medição hidrológica (córregos do Vilela, Mingu, Cortesia, Manso, Fazenda Velha e rio do Peixe);

três pontos de medição hidrogeológica (córregos do Viana, da Prata e ribeirão Silva);

- Rio Piracicaba:

duas estações (rio Conceição e ribeirão Caraça);

dois pontos de medição hidrogeológica (rio Barão de Cocais e ribeirão Caraça),

As estações fluviométricas foram constituídas por uma seção de réguas linimétricas e uma seção de medição. Nas estações, o observador efetuou as leituras das réguas diariamente às 7 e 17 horas. O período de operação foi iniciado em junho de 2002 e concluído em novembro de 2003. Nesse período, foram realizadas diversas campanhas de medição de vazão. A partir das medições de descarga foram traçadas as curvas-chave das estações e em seguida calculadas as vazões médias diárias. No [ANEXO F](#) estão apresentadas as fichas descritivas, as seções transversais e a série de vazões médias mensais do período observado.

Os pontos de medição tiveram apenas a seção de medição. Nesses pontos foram instalados as referências de nível (RN) em uma das margens. As campanhas de medição foram quinzenais e os pontos operados apenas entre junho e setembro de 2002. Em 2003 foi realizada apenas uma campanha de medição, entre os meses de junho e julho. Também no [ANEXO F](#) estão apresentadas as fichas descritivas dos pontos de medição.

A rede de monitoramento estabelecida para o projeto da APA SUL RMBH consta no [APÊNDICE C](#).

A [TAB. 26](#) apresenta as vazões médias obtidas nas campanhas realizadas durante a operação da rede.

#### **8.4 Apresentação da Rede de Vertedores Operada por Mineradoras**

Foram levantadas a rede de monitoramento de vertedores das empresas MBR, COPASA/MBR, Manesmann e Ferteco.

Na bacia do rio das Velhas foram levantados 55 vertedores. Eles encontram-se distribuídos na margem esquerda do rio das Velhas nas sub-bacias do rio Peixe, ribeirão dos Macacos, córrego Fazenda Velha e rio Itabirito. Além desses, foram levantados os vertedores das sub-bacias que drenam em direção ao córrego Água Suja e ao ribeirão Arrudas.

Na bacia do rio Paraopeba foram levantados 51 vertedores. Eles se encontram distribuídos nas sub-bacias dos ribeirões Piedade, Casa Branca e Ferro Carvão. Além desses, foram levantados também, os vertedores que drenam em direção ao ribeirão Sarzedo.

No [ANEXO G](#) estão apresentados os diagramas unifilares com a localização dos vertedores dentro de cada sub-bacia e as séries de vazões coletadas pelas empresas operadoras das redes.

No [ANEXO H](#) estão apresentados os relatórios de viagem realizados durante o projeto, contendo a descrição de algumas peculiaridades que interferem nas vazões dos vertedores.

O mapa de localização da rede de vertedores levantada faz parte do [APÊNDICE C](#). Cabe ressaltar que não foram utilizados os dados da rede pertencente ao grupo Itaminas, pois estes dados não foram tornados disponíveis durante a realização do trabalho.

TABELA 26  
Vazões médias obtidas durante as campanhas de campo

## Bacia: Rio Paraopeba

Estação	Tipo	Curso d'água	Área (km²)	Vazões (m³/s)											
				Jun/02	Jul/02	Ago/02	Set/02	Out/02	Nov/02	Dez/02	Jan/03	Fev/03	Mar/03	Abr/03	Jun/03
Fazenda do Juquinha	Pto de medição	Córr. Capão da Serra	29,3	0,160	0,170	0,080	0,220								0,170
Captação COPASA	Pto de medição	Córr. Rola Moça	2,4	0,030	0,040	0,040	0,040								0,110
Captação COPASA	Pto de medição	Córr. Fubá	1,2	0,090	0,110	0,090	0,090								0,040
Captação COPASA	Pto de medição	Córr. Tabões	0,5	0,210	0,270	0,170	0,170								0,130
Córrego do Feijão	Pto de medição	Rib. Casa Branca	111,8	1,16	0,980	0,750	0,820								0,430
Marques	Est. Fluviométrica	Rib. Piedade	58,7	0,400	0,290	-	0,300	0,170	0,230	1,90	1,52	0,850	1,00	0,620	0,830

## Bacia: Rio das Velhas

Estação	Tipo	Curso d'água	Área (km²)	Vazões (m³/s)											
				Jun/02	Jul/02	Ago/02	Set/02	Out/02	Nov/02	Dez/02	Jan/03	Fev/03	Mar/03	Abr/03	Jun/03
Canal de Fuga-UsinaE	Pto de medição	Rio Peixe	173,5			3,80									
Sítio Boa Idéia	Pto de medição	Córr. Fazenda Velha	27,1	0,250	0,250	0,200	0,180								0,220
Ponte do Rio Manso	Pto de medição	Córr. Manso	50,5	0,340	0,370	0,310	0,290								0,340
Ribeiro Machado	Pto de medição	Córr. Cortesia	20,2	0,100	0,130	0,080	0,090								0,120
Canto das Águas	Pto de medição	Córr. Mingu	19,1	0,100	0,140	0,080	0,090								0,090
Ponte do Vilela	Pto de medição	Córr. Vilela	12,4	0,060	0,070	0,050	0,050								0,060
Cachoeira dos Viana	Pto de medição	Córr. dos Viana	11,2	0,130	0,110	0,070	0,060								0,090
Amarantina	Pto de medição	Córr. da Prata	11,4	0,080	0,070	0,060	0,100								0,080
Ribeirão do Eixo	Pto de medição	Rib. do Silva	75,9	1,50	1,37	1,23	1,26								0,610
Ponte MG-030	Est. Fluviométrica	Rib. dos Macacos	130,7	1,06	-	0,750	0,520	0,210	0,820	5,71	5,86	2,50	2,44	1,74	1,23

## Bacia: Piracicaba

Estação	Tipo	Curso d'água	Área (km²)	Vazões (m³/s)											
				Jun/02	Jul/02	Ago/02	Set/02	Out/02	Nov/02	Dez/02	Jan/03	Fev/03	Mar/03	Abr/03	Jun/03
Hotel Caraça	Pto de medição	Rib. Caraça	32,7	0,270	0,250	0,170	0,160								0,270
Barão de Cocais	Pto de medição	Rio Barão de Cocais	149,8	2,00	1,77	1,51	1,40								0,740
ETA- S. Bento Miner.	Est. Fluviométrica	Rio Conceição	300,5	3,54	3,61	-	3,84	3,08	3,94	16,8	17,0	9,3	28,0	5,54	4,18
Captação SAAE	Est. Fluviométrica	Rib. Caraça	84,81	0,890	0,590	-	0,450	0,380	2,86	13,8	10,9	3,13	35,5	1,67	0,750

## 8.5 Estimativas das Vazões Características

A estimativa das vazões das bacias hidrográficas que possuem uma rede de monitoramento de baixa densidade ou mesmo com ausência de dados fluviométricos é realizada através das informações hidrológicas das bacias vizinhas. O método utilizado para esta transferência de informações é a regionalização hidrológica. Segundo [Tucci \(2000\)](#) a regionalização é uma técnica que permite explorar as informações existentes e apresentará resultados mais confiáveis quanto maior for a disponibilidade de dados hidrológicos.

De uma maneira geral, as redes hidrometeorológicas no Brasil apresentam grande carência de informações para pequenas bacias, ou seja, com área de drenagem inferior a 100 km<sup>2</sup>. Isto faz com que os estudos de regionalização possam ser utilizados em determinados limites de área de drenagem. Uma das maneiras de se fazer a estimativa de vazões para áreas de drenagem inferiores ao limite estabelecido na regionalização é a utilização das relações de proporcionalidade de áreas. Entretanto, tem que se ter em mente que os resultados obtidos através desse tipo de extrapolação apresentam incertezas.

No presente trabalho, as estimativas das vazões médias de longo termo, vazões máximas e vazões mínimas das sub-bacias que formam a APA Sul RMBH foram efetuadas de duas maneiras distintas. No caso da parcela que está inserida nas bacias dos rios das Velhas e Paraopeba foi utilizado o estudo de regionalização descrito em [Pinto e Alves \(2001\)](#), enquanto na região que faz parte da bacia do rio Piracicaba, as estimativas foram feitas através de uma relação de proporcionalidade de áreas de drenagem tendo como referência a estação fluviométrica de Carrapato, código 56640000, que está localizada no ribeirão Santa Bárbara e possui uma área de drenagem de 426 km<sup>2</sup>.

### 8.5.1 Vazão Média de Longo Termo

No estudo descrito por [Pinto e Alves \(2001\)](#), a regionalização da vazão média de longo termo foi realizada inicialmente com a delimitação de regiões homogêneas e, em seguida, foram definidas as equações de regressão entre a  $Q_{mlt}$  e as características físicas e climáticas da região. Cabe ressaltar que a vazão média de longo termo foi calculada utilizando as vazões médias diárias das estações existentes. A definição das regiões homogêneas foi feita utilizando os indicadores hidrológicos regionais apresentados por [Tucci \(2000\)](#) e considerando as características físicas e climáticas da área em estudo. O modelo de regressão adotado é do tipo potencial, como apresentado a seguir:

$$Q = Cx_1^{a_1} \cdot x_2^{a_2} \dots x_n^{a_n} \quad (8.5.1)$$

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

As variáveis explicativas testadas no modelo foram:

- A, a área de drenagem da bacia, em km<sup>2</sup>
- L, o comprimento do talvegue principal, em km
- I, a declividade do curso d' água em m/km
- P, a precipitação média anual da bacia, em m.

A área da APA Sul RMBH localizada na bacia do rio das Velhas pertence à região homogênea denominada REGIÃO C - Alto Paraopeba, Alto Velhas e Cipó. O modelo de regressão adotado é o seguinte:

$$Q_{mlt} = 0,0212A^{0,9733} \quad (A > 85 \text{ km}^2) \quad (8.5.2)$$

onde,

$Q_{mt}$  é vazão média de longo termo, em  $m^3/s$

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

A estimativa da vazão média de longo termo para áreas de drenagem inferiores à  $85 km^2$  pode ser realizada, de maneira aproximada, multiplicando a vazão específica referente a  $85 km^2$  pela área de drenagem de interesse, ou seja,

$$Q_{mt} = 0,0212(85)^{0,9733} = 1,6 m^3/s$$

$$Q_{esp} = \frac{1,6(m^3 / s)}{85(km^2)} = 0,01882(m^3 / s.km^2)$$

$$Q_{mt} (m^3 / s) = 0,01882(m^3 / s.km^2).A(km^2) \quad (A \leq 85 km^2) \quad (8.5.3)$$

As estimativas das vazões médias de longo termo das sub-bacias da APA Sul RMBH inseridas na bacia do rio das Velhas estão apresentadas na TAB. 27.

TABELA 27  
Vazões médias de longo termo das sub-bacias do rio das Velhas

Sub- Bacia	Área ( $km^2$ )	$Q_{mt}$ ( $m^3/s$ )
Rib. dos Macacos	131,43	2,446
Rio do Peixe	214,18	3,934
Cór. Fazenda Velha	27,03	0,509
Cór. Manso	58,02	1,092
Cór. Cortesia	30,69	0,578
Cór. do Mingu	39,54	0,744
Cór. do Vilela	12,66	0,238

Na bacia do rio Paraopeba, a bacia do ribeirão Piedade está localizada na região homogênea denominada REGIÃO C, a mesma do alto rio das Velhas. Assim, o modelo de regressão para estimativa da vazão média de longo termo da bacia do rib. Piedade é dado pela equação (8.5.2) e quando a área de drenagem é inferior a  $85 km^2$  é utilizada a equação (8.5.3). As outras sub-bacias do rio Paraopeba pertencentes à APA Sul RMBH estão na REGIÃO E, onde o modelo de regressão é o seguinte:

$$Q_{mt} = 0,0040A^{1,0141}P^{3,2943} \quad (A > 84 km^2) \quad (8.5.4)$$

onde,

$Q_{mt}$  é vazão média de longo termo, em  $m^3/s$

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

$P$ , a precipitação média anual da bacia, em m

Para áreas inferiores a  $84 km^2$  a vazão média de longo termo pode ser estimada a partir da seguinte relação:

$$Q_{mt} = \left(0,35766.P^{3,2943}\right)\left(\frac{A(km^2)}{84(km^2)}\right) \quad (A \leq 84 km^2) \quad (8.5.5)$$

A TAB. 28 apresenta as vazões médias de longo termo calculadas para as sub-bacias do rio Paraopeba.

TABELA 28  
Vazões médias de longo termo das sub-bacias do rio Paraopeba

Sub- Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	P(m)	Q <sub>mlt</sub> (m <sup>3</sup> /s)
Rib. Piedade	103,2		1,933
Rib. Casa Branca	125,1	1,6181	2,615
Cór. Corredor	13,58	1,6801	0,319
Cór. Capão da Serra	38,63	1,7528	1,045

As vazões médias de longo termo das sub-bacias pertencentes à bacia do rio Piracicaba foram estimadas por proporcionalidade de áreas de drenagem utilizando os dados de vazão da estação de Carrapato, código 56640000, que está localizada no ribeirão Santa Bárbara e possui uma área de drenagem de 426 km<sup>2</sup> como está apresentado no APÊNDICE C. No cálculo das vazões médias de longo termo (Q<sub>mlt</sub>) foram utilizados 38 anos hidrológicos completos do período de 1954/1955 a 2001/2002. Como o tamanho da série disponível é razoável, adotou-se a Q<sub>mlt</sub> como sendo igual a média das vazões anuais conforme está apresentado no ANEXO I. As estimativas da Q<sub>mlt</sub> foram obtidas com a equação (8.5.6) e constam da TAB. 29.

$$Q_{mlt} (m^3 / s) = Q_{mlt-Carrapato} (m^3 / s) \cdot \frac{A(km^2)}{426km^2} \quad (8.5.6)$$

TABELA 29  
Q<sub>mlt</sub> das sub-bacias do rio Piracicaba

Sub- Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Q <sub>mlt</sub> (m <sup>3</sup> /s)
Carrapato – 56640000	426,0	11,909
Rio Barão de Cocais*	86,41	2,416
Rio Conceição	303,9	8,496
Ribeirão Caraça	120,8	3,377

\* Área de drenagem inserida na APA Sul RMBH

### 8.5.2 Estimativa das Vazões Médias Mensais dos Principais Cursos d'Água

A estimativa das vazões médias mensais foi realizada a partir de um balanço das vazões de entrada e saída da APA Sul RMBH. As etapas necessárias à realização dessas estimativas foram as seguintes:

- A primeira etapa consistiu em reunir as séries de vazões médias mensais que controlam as áreas a montante e a jusante da APA Sul RMBH nas bacias do rio das Velhas, do rio Paraopeba e do rio Piracicaba.
- Calcular a diferença entre as vazões de entrada e saída de um determinado mês para cada um dos anos disponíveis. Cabe ressaltar que foram utilizados apenas os períodos comuns das séries.

$$Q_{mês, jusante} - Q_{mês, montante} = Q_{mês, Área de interesse} \quad (8.5.7)$$

- Calcular vazão média mensal da área de interesse.

Ano	Janeiro	...	Dezembro
1970	$Q_{Jan/70, \text{Área de interesse}}$	...	$Q_{Dez/70, \text{Área de interesse}}$
⋮	⋮	⋮	⋮
1999	$Q_{Jan/99, \text{Área de interesse}}$	...	$Q_{Dez/99, \text{Área de interesse}}$
Média	$\bar{Q}_{Jan, \text{Área de interesse}}$	...	$\bar{Q}_{Dez, \text{Área de interesse}}$

- Calcular a vazão média mensal específica da área de interesse.

$$Q_{esp, mês} (l/s.km^2) = \frac{\bar{Q}_{mês, \text{Área de interesse}} (l/s)}{A_{\text{Área de interesse}} (km^2)} \quad (8.5.8)$$

- Calcular a relação entre as contribuições específicas mensais médias e a contribuição específica anual média da área de interesse.

Outubro	...	Setembro	Ano Hidrológico
$\bar{Q}_{esp-out, \text{Área de interesse}}$	...	$\bar{Q}_{esp-set, \text{Área de interesse}}$	$\bar{Q}_{esp-AH, \text{Área de interesse}}$
$\frac{\bar{Q}_{esp-Mensal}}{\bar{Q}_{esp-AH}}$	...	$\frac{\bar{Q}_{esp-Mensal}}{\bar{Q}_{esp-AH}}$	

- Estimar as vazões médias mensais das sub-bacias da APA Sul RMBH utilizando a vazão média de longo termo,  $Q_{mlt}$ , através da equação:

$$\bar{Q}_{mês} (m^3/s) = Q_{mlt} (m^3/s) \cdot \frac{\bar{Q}_{esp-mês, AI}}{\bar{Q}_{esp-AH, AI}} \quad (8.5.9)$$

Na bacia do rio das Velhas foram utilizadas as séries de vazões médias mensais da estação de Itabirito Linígrafo, código 41180000, e da estação de Fazenda Água Limpa, código 41151000 como controle de montante. Os dados da estação de Honório Bicalho foram utilizados como controle de jusante. A FIG. 10 apresenta de forma esquemática a localização das estações em relação à APA Sul RMBH. O período comum de dados entre as três estações se refere aos anos hidrológicos de 1972/1973 a 2001/2002 com 28 anos completos. A diferença entre as vazões médias mensais de jusante e montante para cada ano foi realizada da seguinte maneira:

$$Q_{mês, \text{Área de interesse}} = Q_{mês, Honório Bicalho} - Q_{mês, Itabirito} - Q_{mês, Faz. Água Limpa} \quad (8.5.10)$$

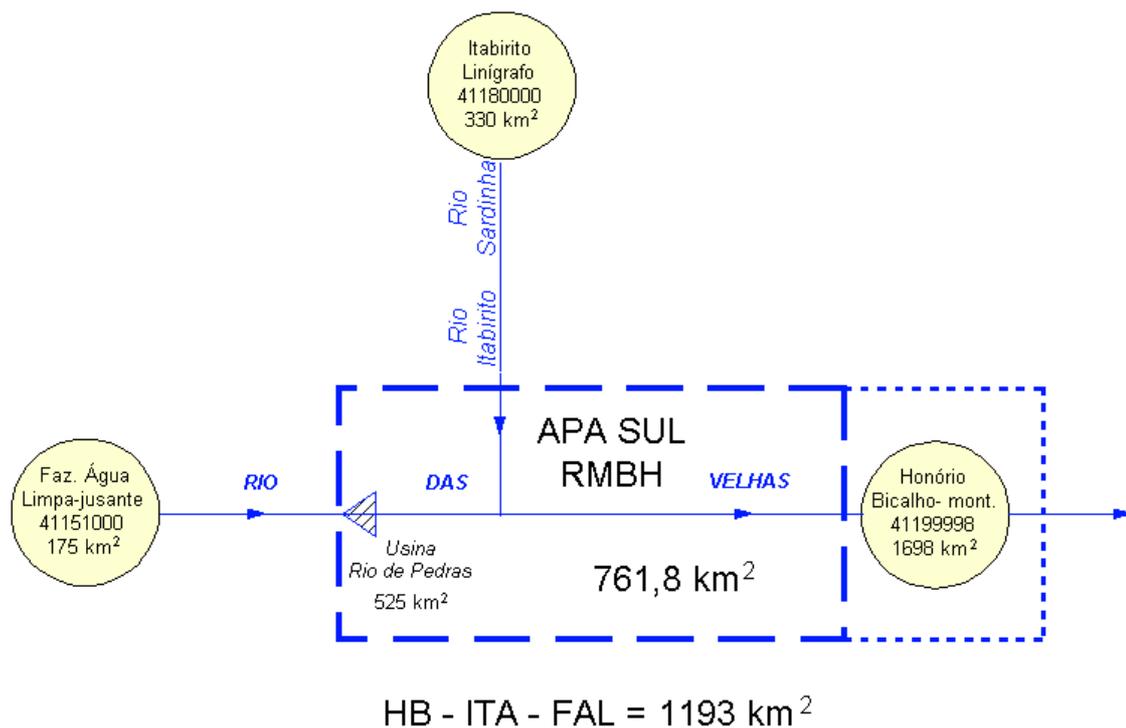


FIGURA 10 – Área de interesse – Bacia do rio das Velhas

Depois de calcular as vazões médias mensais da área de interesse,  $1193 \text{ km}^2$ , através da equação (8.5.10), as estimativas para as sub-bacias do rio das Velhas que fazem parte da APA Sul RMBH foram efetuadas através das equações (8.5.8) e (8.5.9). Os dados e os cálculos realizados para essas estimativas constam do ANEXO J. O GRAF. 27 apresenta as contribuições específicas mensais e a TAB. 30 a relação entre as contribuições específicas mensais médias e a contribuição específica anual média da área de interesse do rio das Velhas.

TABELA 30  
Relações entre as contribuições mensais e anuais médias - rio das Velhas

<b>Contribuições Específicas Médias (l/s.km<sup>2</sup>) HB – ITA – FAL (1193 km<sup>2</sup>)</b>													
	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	Set	Anual
Média	10,04	14,91	26,16	31,27	21,79	20,95	14,16	10,67	9,36	8,62	8,41	8,45	15,40
$\frac{\bar{Q}_{Mensal}}{\bar{Q}_{Anual}}$	0,652	0,968	1,699	2,031	1,415	1,361	0,919	0,693	0,608	0,560	0,546	0,549	

**Contribuições Específicas**  
**Vazões Médias Mensais (72/73 a 01/02)**  
**Diferença entre HB, ITA e FAL (1193 km<sup>2</sup>)**

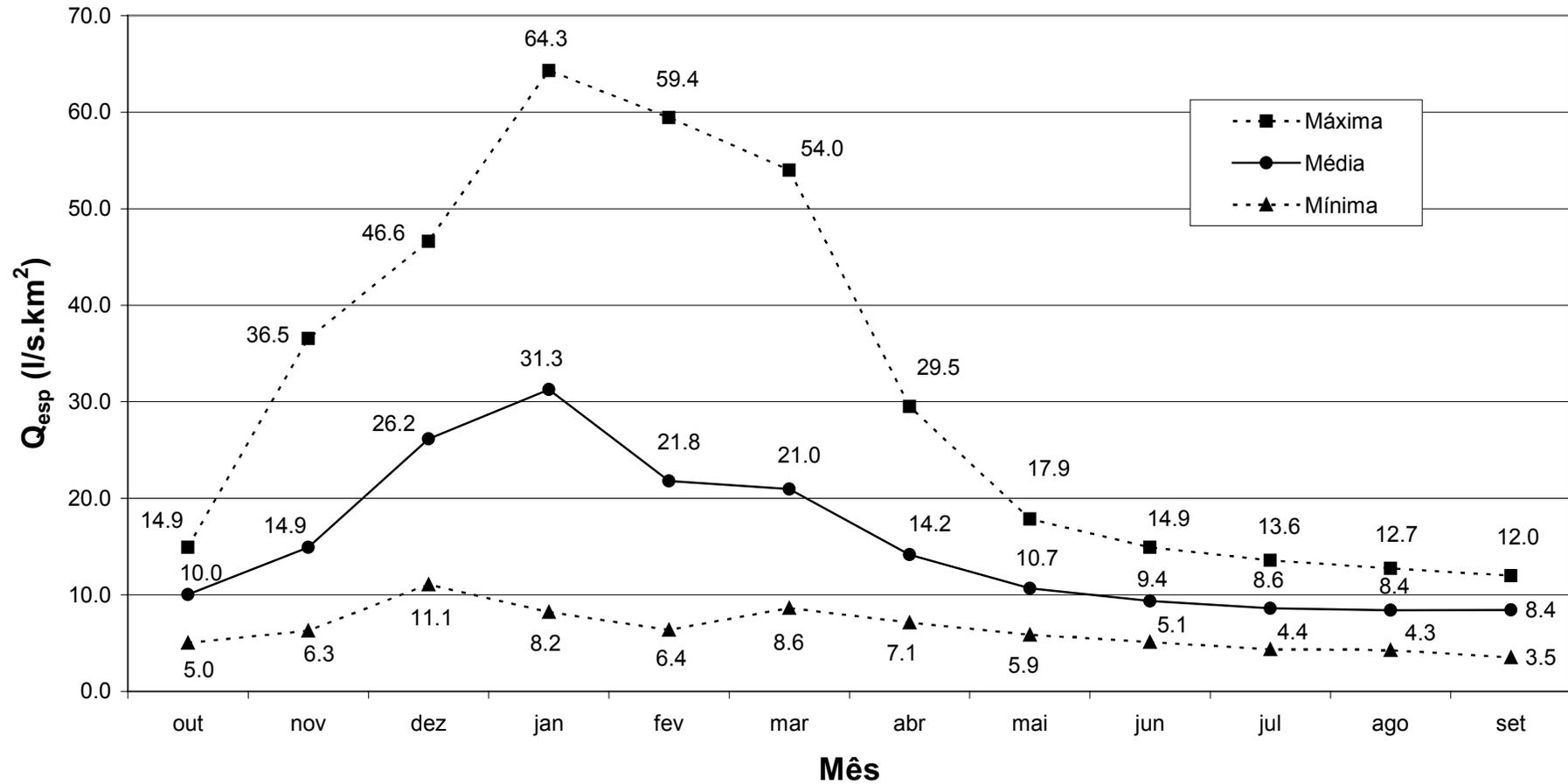


GRÁFICO 27 – Contribuições específicas mensais na bacia do rio das Velhas

A TAB. 31 apresenta as vazões médias mensais estimadas para as sub-bacias do rio das Velhas.

TABELA 31  
Vazões médias mensais das sub-bacias do rio das Velhas (m<sup>3</sup>/s)

	Rib. dos Macacos	Rio do Peixe	Cór. Fazenda Velha	Cór. Manso	Cór. Cortesia	Cór. do Mingü	Cór. do Vilela
Área (km <sup>2</sup> )	131,43	214,18	27,03	58,02	30,69	39,54	12,66
Q <sub>mit</sub> (m <sup>3</sup> /s)	2,446	3,934	0,509	1,092	0,578	0,744	0,238
<b>Out</b>	1,595	2,565	0,332	0,712	0,377	0,485	0,155
<b>Nov</b>	2,368	3,809	0,493	1,057	0,560	0,720	0,230
<b>Dez</b>	4,155	6,683	0,865	1,855	0,982	1,264	0,404
<b>Jan</b>	4,967	7,989	1,034	2,218	1,174	1,511	0,483
<b>Fev</b>	3,461	5,567	0,720	1,545	0,818	1,053	0,337
<b>Mar</b>	3,328	5,353	0,693	1,486	0,786	1,012	0,324
<b>Abr</b>	2,249	3,617	0,468	1,004	0,531	0,684	0,219
<b>Mai</b>	1,695	2,726	0,353	0,757	0,401	0,516	0,165
<b>Jun</b>	1,487	2,392	0,309	0,664	0,351	0,452	0,145
<b>Jul</b>	1,369	2,202	0,285	0,611	0,323	0,416	0,133
<b>Ago</b>	1,335	2,147	0,278	0,596	0,316	0,406	0,130
<b>Set</b>	1,342	2,159	0,279	0,599	0,317	0,408	0,131

Com as séries de vazões médias mensais estimadas para a área de interesse através da equação (8.5.10) foi realizada, também, uma análise de freqüência com o objetivo de permitir a estimativa da probabilidade de que um determinado valor de vazão média mensal seja igualado ou superado em um ano qualquer. A probabilidade de excedência de um determinado evento,  $P(Q \geq q)$ , e o tempo de retorno,  $T_r$  (anos), são relacionados pela seguinte equação:

$$T_r = \frac{1}{P(Q \geq q)} \quad (8.5.11)$$

Essa análise consistiu na escolha de uma distribuição de freqüência que melhor se ajustasse aos dados observados. Foram testadas as distribuições de freqüência Normal e Log-Normal, sendo que seus parâmetros foram estimados utilizando os momentos-L. A definição da distribuição foi efetuada através da aplicação do teste de Filliben, descrito por Maidment (1992) e a verificação visual do ajuste. As funções densidade de probabilidade e de distribuição acumulada da Normal são as seguintes:

$$f(x) = \frac{\phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)}{\sigma}, \text{ onde } \phi(x) = \frac{\exp\left(-\frac{x^2}{2}\right)}{\sqrt{2\pi}} \quad (8.5.12)$$

$$F(x) = \Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right), \text{ onde } \Phi(x) = \int_{-\infty}^x \phi(t) dt \quad (8.5.13)$$

$x(F)$  não tem forma analítica explícita

$\mu$  e  $\sigma$  são respectivamente os parâmetros de posição e escala. Estes parâmetros são estimados pelas seguintes equações:

$$\mu = \lambda_1 \quad (8.5.14)$$

$$\sigma = \sqrt{\pi \lambda_2} \quad (8.5.15)$$

onde,  $\lambda_i$  é o momento-L de ordem  $i$ .

Como na distribuição Log-Normal os logaritmos dos valores de uma variável aleatória são normalmente distribuídos, as funções densidade de probabilidade e de distribuição acumulada são as mesmas apresentadas anteriormente. Na análise de freqüência com a distribuição Log-Normal os dados devem sofrer uma transformação logarítmica ( $\ln(x)$ ).

Os resultados dessa análise de freqüência para a área de interesse do rio das velhas estão apresentados na TAB. 32

TABELA 32  
Parâmetros das distribuições de freqüência - Área de interesse do rio das Velhas

	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Anual
Param.	Normal	Log-Normal	Normal	Normal	Normal	Normal							
Posição	11,98	2,8	3,3595	3,4999	3,1228	3,1238	2,7477	2,4946	2,3714	10,2812	10,0289	10,0804	18,3821
Escala	3,1859	0,3879	0,4331	0,5231	0,5409	0,4327	0,4144	0,3339	0,3032	2,83	2,8344	2,6633	4,9073

Com os parâmetros estimados é possível calcular as vazões médias mensais da área de interesse associadas a diversos tempos de retorno através das seguintes equações:

- Estimativa dos quantis da distribuição Normal

$$Q_{Tr} = \mu + K\sigma \quad (8.5.16)$$

$\mu$  e  $\sigma$  são respectivamente os parâmetros de posição e escala calculados pelas equações (8.5.14) e (8.5.15)

$K$  = fator de freqüência

O fator de freqüência,  $K$ , pode ser obtido em tabelas ou pela equação:

$$K \approx t + (t^2 - 1) \frac{\gamma}{6} + \frac{1}{3} (t^3 - 6t) \left( \frac{\gamma}{6} \right)^2 - (t^2 - 1) \left( \frac{\gamma}{6} \right)^3 + t \left( \frac{\gamma}{6} \right)^4 + \frac{1}{3} \left( \frac{\gamma}{6} \right)^5 \quad (8.5.17)$$

$$\text{para } \begin{cases} 0,01 \leq \frac{1}{T_r} \leq 0,99 \\ |\gamma| < 2 \end{cases}$$

onde,  $\gamma$  é a assimetria e  $t$  é a variável normal central reduzida

A variável normal central reduzida para um nível de probabilidade pode ser obtida no ANEXO K.

- Estimativa dos Quantis da distribuição Log-Normal

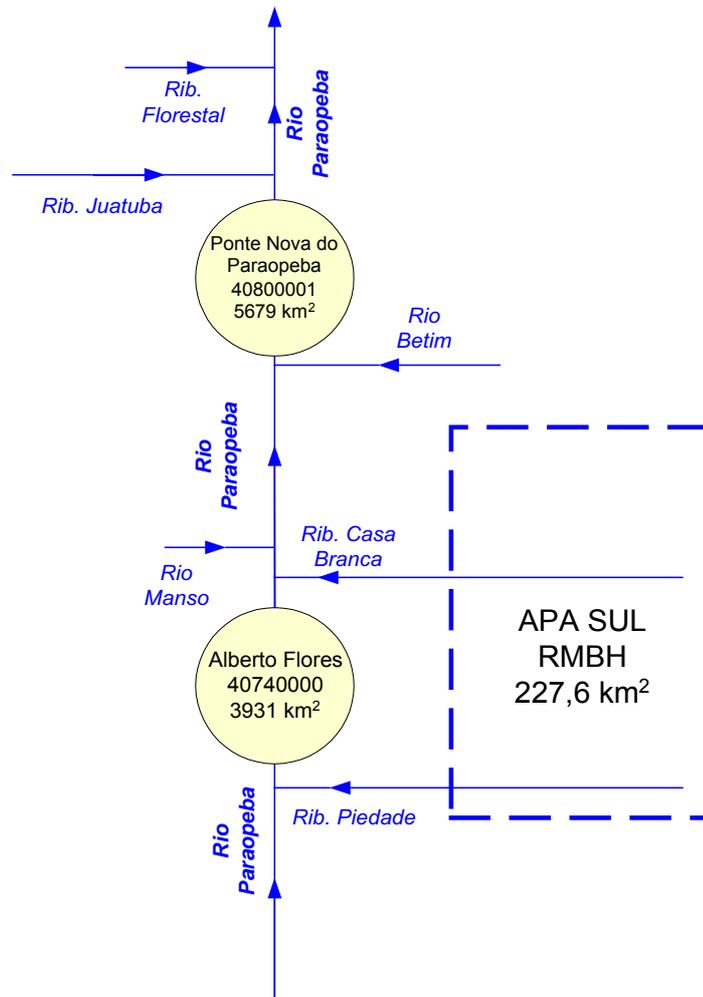
$$Q_{Tr} = \text{Exp}(\mu + K\sigma) \quad (8.5.18)$$

$\mu$  e  $\sigma$  são, respectivamente, os parâmetros de posição e escala calculados pelas equações (8.5.14) e (8.5.15), utilizando os dados que sofreram transformação logarítmica ( $\text{Ln}(x)$ ). O fator de frequência,  $K$ , pode ser obtido em tabelas ou pelas equações apresentadas anteriormente.

O GRAF. 28 apresenta as contribuições específicas da área de interesse da bacia do rio das Velhas associadas a diferentes tempos de retorno.

A estimativa das vazões médias mensais da bacia do rio Paraopeba foi feita com as estações apresentadas na FIG. 11 e a diferença entre as vazões médias mensais de montante e jusante para cada ano foi calculada da seguinte maneira:

$$Q_{\text{mês,Área de interesse}} = Q_{\text{mês,Ponte Nova do Paraopeba}} - Q_{\text{mês,Alberto Flores}} \quad (8.5.19)$$



$$\text{PNP} - \text{AF} = 1748 \text{ km}^2$$

FIGURA 11 – Área de interesse – Bacia do rio Paraopeba

**Análise de Frequência**  
**Contribuições Específicas Mensais**  
**Diferença entre HB, ITA e FAL (1193 km<sup>2</sup>)**

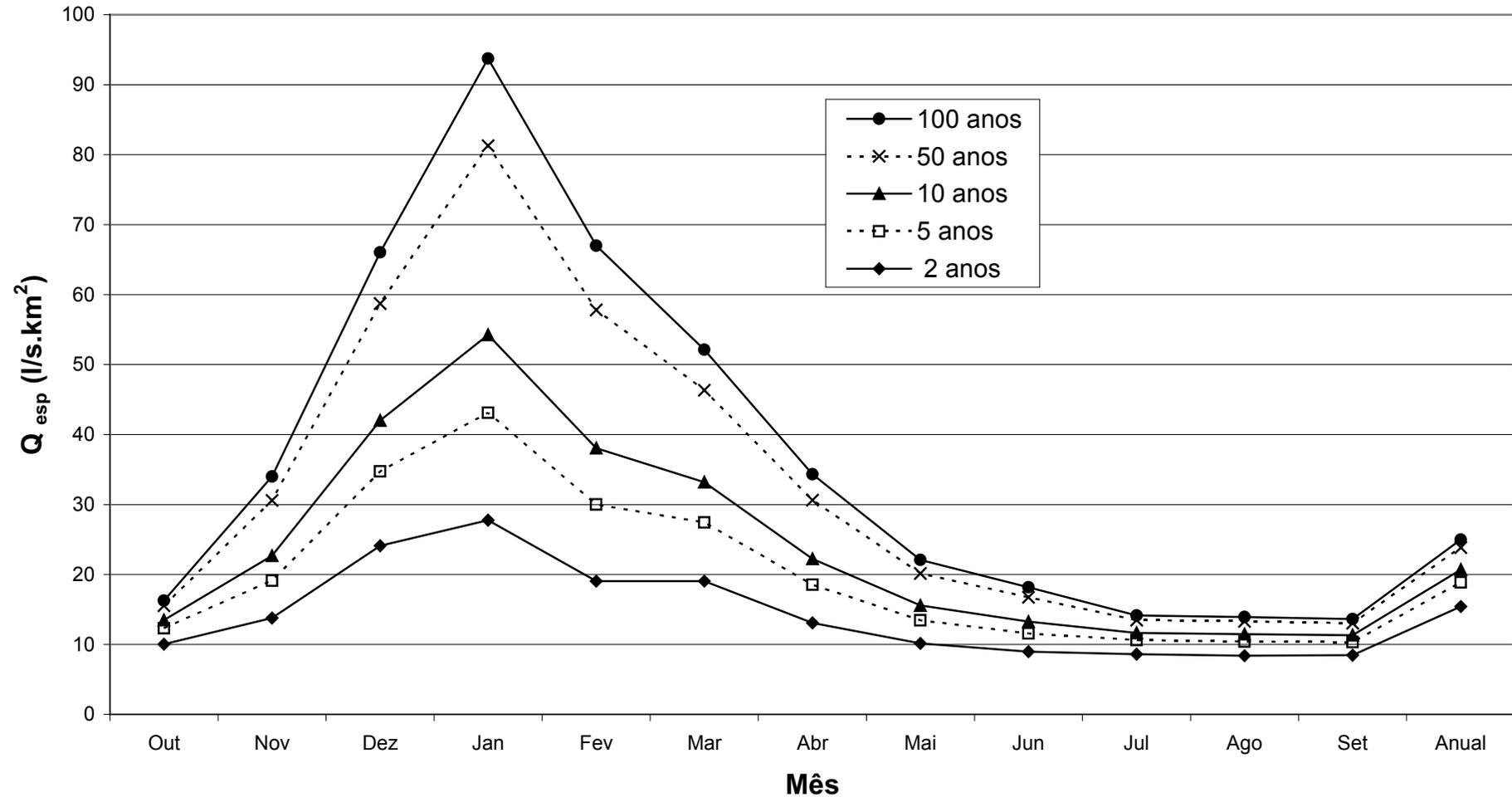


GRÁFICO 28 – Contribuições específicas associadas a diferentes tempos de retorno – Bacia do rio das Velhas

Ao se analisar a [FIG. 11](#) observa-se que o ribeirão Piedade está a montante da estação de Alberto Flores, código 40740000, que poderia inviabilizar as estimativas das vazões médias mensais deste ribeirão. Mas, como a bacia desse ribeirão tem limite com a bacia do ribeirão Casa Branca e apresenta características fisiográficas semelhantes; optou-se por fazer as estimativas das vazões médias da bacia do ribeirão Piedade utilizando as informações da área de interesse.

O período comum de dados entre as duas estações se refere aos anos hidrológicos de 1967/1968 a 2001/2002 com 29 anos completos. Os dados e os cálculos realizados para estimativa das contribuições específicas mensais da área de interesse, 1.748 km<sup>2</sup>, constam do [ANEXO J](#). As contribuições específicas mensais estão apresentadas no [GRAF. 29](#).

As relações entre as contribuições específicas mensais médias e a contribuição específica anual média da área de interesse, 1.748 km<sup>2</sup>, estão apresentadas na TAB. 33.

TABELA 33  
Relações entre as contribuições mensais e anuais médias – Rio Paraopeba

Contribuições Específicas Médias (l/s.km <sup>2</sup> ) - Diferença entre PNP e AF (1.748 km <sup>2</sup> )													
	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	Anual
Média	6,4	11,9	21,8	30,8	22,8	20,2	14,5	10,0	8,4	6,9	5,5	5,4	13,7
$\frac{\bar{Q}_{Mensal}}{\bar{Q}_{Anual}}$	0,47	0,86	1,59	2,25	1,66	1,47	1,06	0,73	0,62	0,50	0,40	0,39	

As médias mensais das sub-bacias do rio Paraopeba foram estimadas utilizando as relações apresentadas na TAB. 33 e as vazões médias de longo termo através da equação (8.5.9). As vazões médias mensais estimadas para as sub-bacias do rio Paraopeba estão apresentadas na TAB. 34.

TABELA 34  
Vazões Médias Mensais das sub-bacias do rio Paraopeba (m<sup>3</sup>/s)

	Rib. Piedade	Rib. Casa Branca	Cór. Corredor	Cór. Capão da Serra
Área (km <sup>2</sup> )	103,2	125,1	13,58	38,63
Q <sub>mt</sub> (m <sup>3</sup> /s)	1,933	2,615	0,319	1,045
Out	0,901	1,219	0,149	0,487
Nov	1,671	2,261	0,276	0,904
Dez	3,079	4,165	0,508	1,664
Jan	4,342	5,874	0,717	2,347
Fev	3,207	4,339	0,529	1,734
Mar	2,851	3,857	0,470	1,541
Abr	2,050	2,773	0,338	1,108
Mai	1,409	1,905	0,232	0,761
Jun	1,189	1,608	0,196	0,643
Jul	0,966	1,307	0,159	0,522
Ago	0,773	1,046	0,128	0,418
Set	0,758	1,026	0,125	0,410

**Contribuições Específicas**  
**Vazões Médias Mensais (68/69 a 01/02)**  
**Diferença entre PNP e AF (1748 km<sup>2</sup>)**

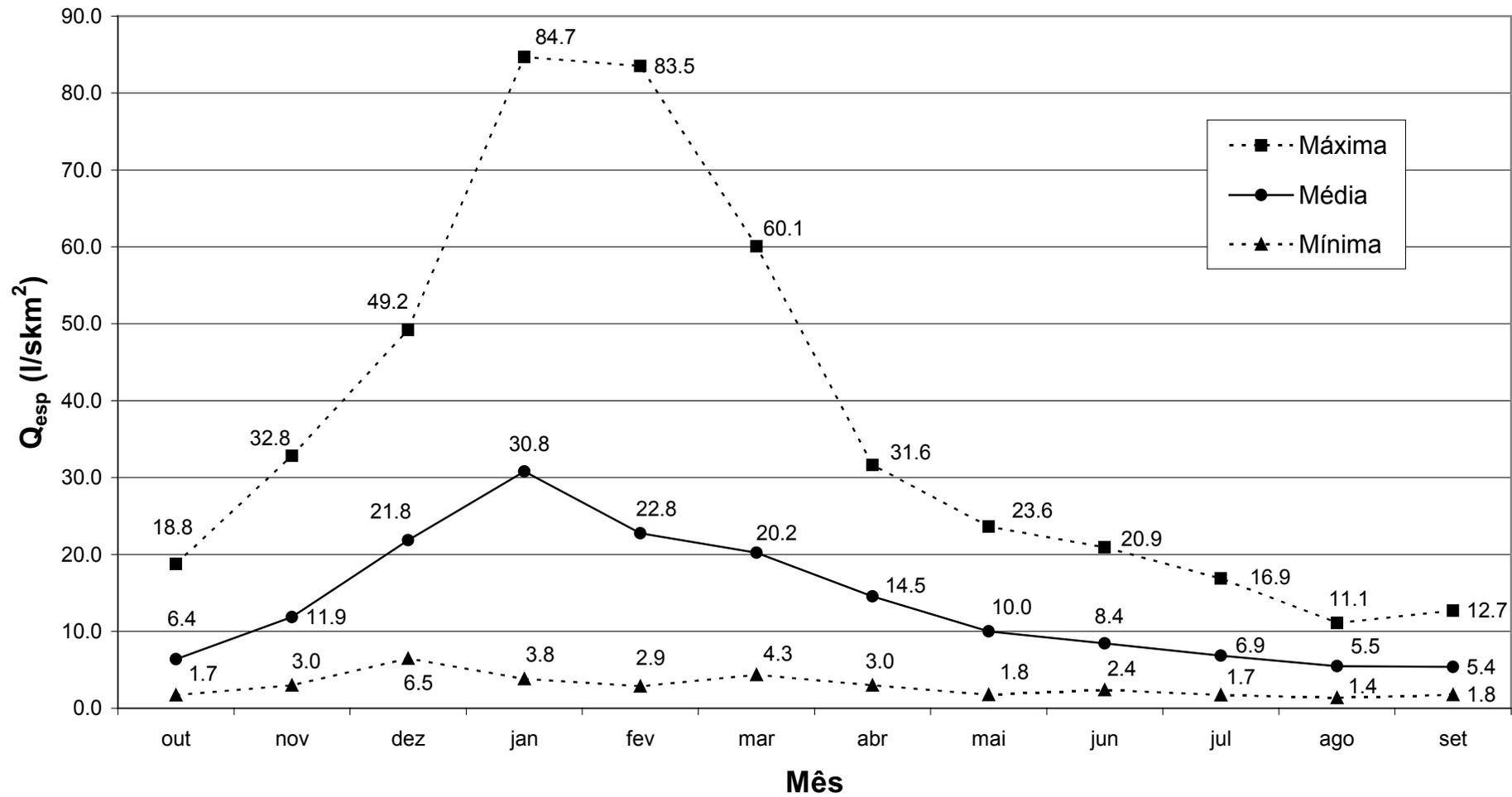


GRÁFICO 29 – Contribuições específicas mensais na bacia do rio Paraopeba

Também foi realizada uma análise de frequência com as séries de vazões médias mensais estimadas para a área de interesse, através da equação (8.5.19), utilizando-se a metodologia descrita anteriormente. Os parâmetros das distribuições escolhidas estão apresentados na TAB. 35.

TABELA 35  
Parâmetros das distribuições de frequência - Área de interesse do rio Paraopeba

	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Anual
Param.	Log-Normal	Log-Normal	Normal	Log-Normal	Log-Normal	Log-Normal	Normal	Normal	Log-Normal	Normal	Normal	Log-Normal	Log-Normal
Posição	2,3106	2,871	38,1868	3,8266	3,4828	3,4251	25,4282	17,47	2,5813	11,9809	9,5886	2,1585	3,1034
Escala	0,4463	0,6003	16,8595	0,588	0,6389	0,5378	12,7571	9,1152	0,48	5,4177	3,6694	0,4055	0,3991

As contribuições específicas da área de interesse da bacia do rio Paraopeba associadas a diferentes tempos de retorno estão apresentadas no GRAF. 30.

As estimativas das vazões médias mensais das sub-bacias do rio Piracicaba foram realizadas utilizando a relação entre as vazões mensais médias e a vazão anual média da estação de Carrapato, cód. 56640000, conforme está apresentado na TAB. 36 e na FIG. 12. As contribuições específicas mensais estão apresentadas no GRAF. 31.

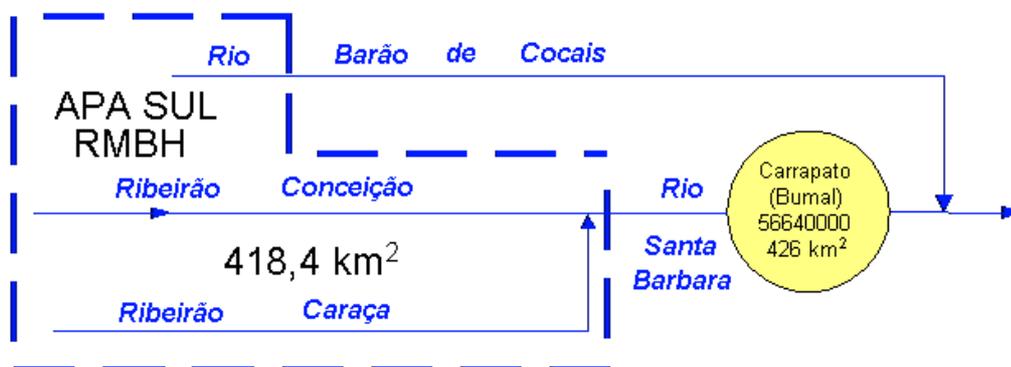


FIGURA 12 – Área de interesse – Bacia do rio Piracicaba

**Análise de Frequência**  
**Contribuições Específicas Mensais**  
**Diferença entre PNP e AF (1748 km<sup>2</sup>)**

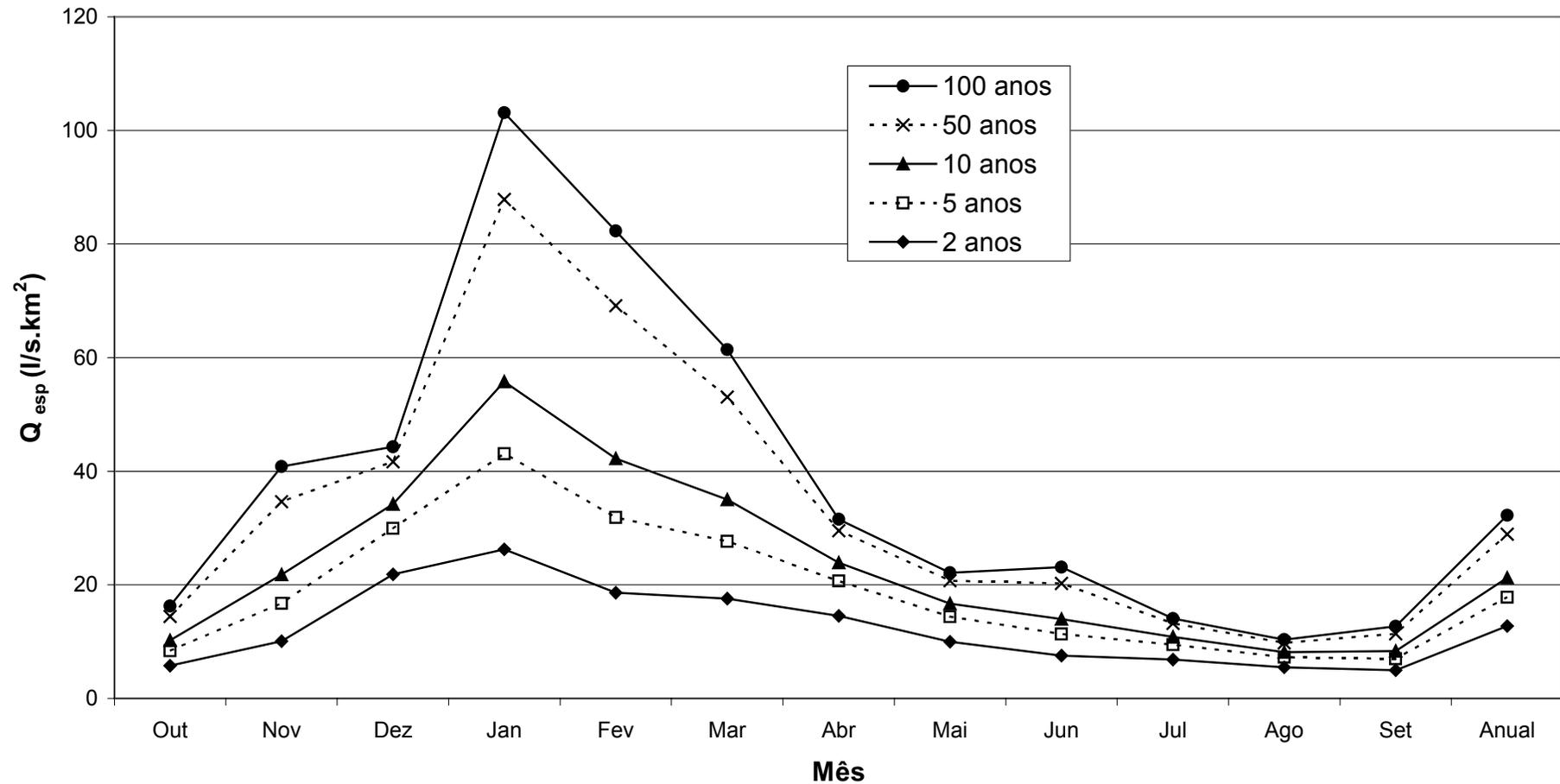


GRÁFICO 30 – Contribuições específicas associadas a diferentes tempos de retorno – Bacia do rio Paraopeba

TABELA 36  
Relações entre as contribuições mensais e anuais médias – Carrapato

Vazões médias mensais (l/s.km <sup>2</sup> ) – Carrapato – Cód. 56640000													
	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	Anual
Média	18,7	35,3	55,3	54,4	42,2	37,3	23,7	17,4	14,6	12,8	11,8	12,0	28,0
$\bar{Q}_{Mensal} / \bar{Q}_{Anual}$	0,67	1,26	1,98	1,95	1,51	1,33	0,85	0,62	0,52	0,46	0,42	0,43	

As médias mensais das sub-bacias do rio Piracicaba foram estimadas utilizando-se as relações apresentadas na TAB. 36 e as vazões médias de longo termo através da equação (8.5.9). As vazões médias mensais estimadas para as sub-bacias do rio Piracicaba estão apresentadas na TAB. 37.

Também foi realizada uma análise de frequência com as séries de vazões médias mensais de Carrapato, cód. 56640000, utilizando a metodologia descrita anteriormente. Os parâmetros das distribuições escolhidas estão apresentados na TAB. 38 e as contribuições específicas associadas a diferentes tempos de retorno estão apresentadas no GRAF. 32.

TABELA 37  
Vazões Médias Mensais das sub-bacias do rio Piracicaba (m<sup>3</sup>/s)

	Rio Barão de Cocais*	Ribeirão Conceição	Ribeirão Caraça
Área (km <sup>2</sup> )	86,41	303,9	120,8
Q <sub>mit</sub> (m <sup>3</sup> /s)	2,416	8,496	3,377
Out	1,612	5,671	2,254
Nov	3,053	10,737	4,268
Dez	4,778	16,802	6,679
Jan	4,705	16,547	6,578
Fev	3,643	12,811	5,092
Mar	3,224	11,338	4,507
Abr	2,051	7,212	2,867
Mai	1,506	5,296	2,105
Jun	1,261	4,433	1,762
Jul	1,106	3,890	1,546
Ago	1,017	3,576	1,422
Set	1,035	3,639	1,446

\* Área de drenagem inserida na APA Sul RMBH

TABELA 38  
Parâmetros das distribuições de frequência – Carrapato, cód. 56640000

	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Anual
Param.	Log-Normal	Normal	Log-Normal										
Posição	1,9613	2,6331	3,0388	2,9855	2,6803	2,6769	2,2258	1,9468	1,798	1,6655	1,5773	5,1006	2,4389
Escala	0,4547	0,4077	0,5101	0,5838	0,4854	0,4339	0,2836	0,2449	0,2422	0,25	0,2596	1,3297	0,2843

**Contribuições Específicas  
Vazões Médias Mensais (54/55 a 01/02)  
Carrapato, cód. 56640000 (426 km<sup>2</sup>)**

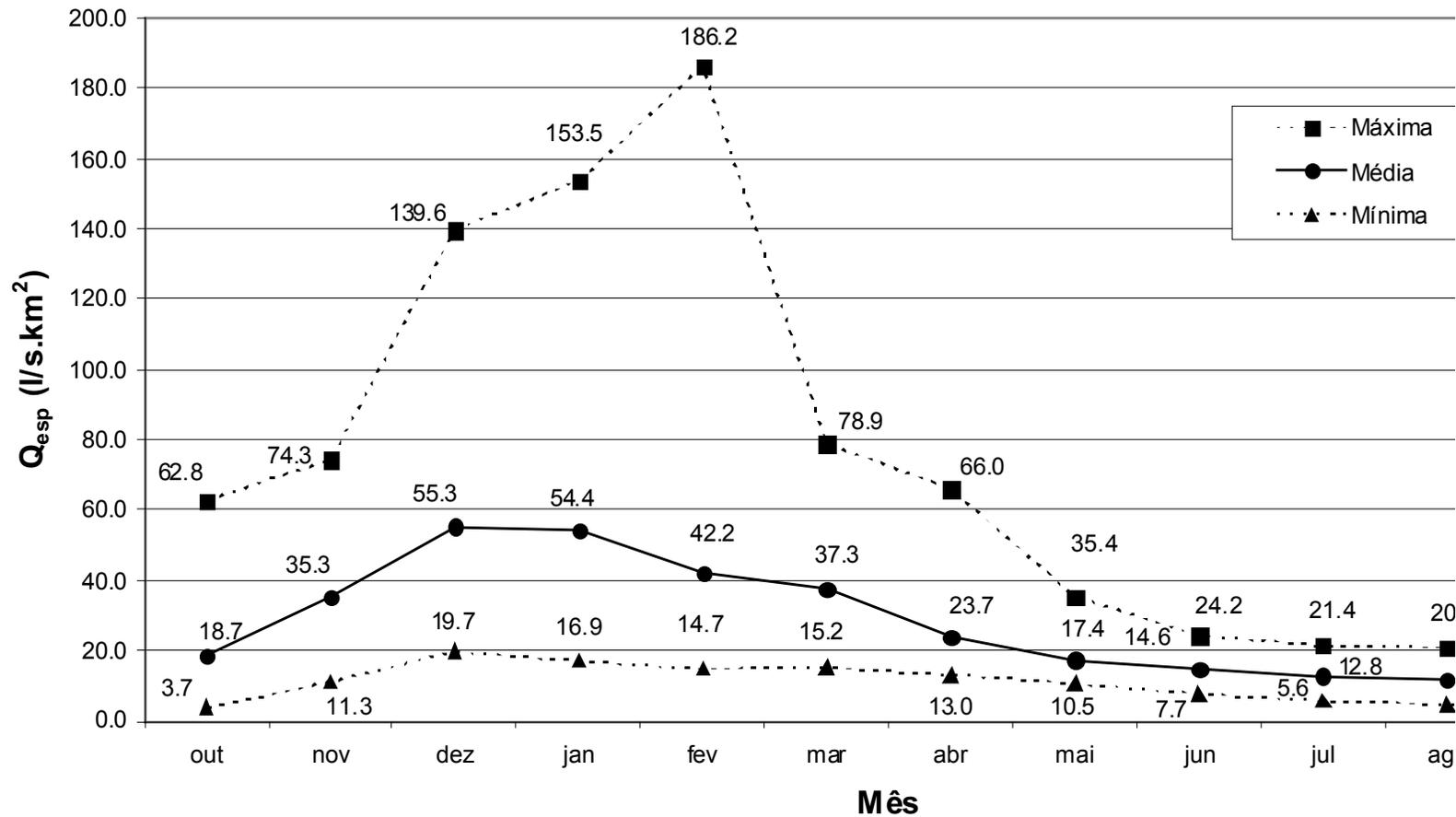


GRÁFICO 31 – Contribuições específicas mensais na estação de Carrapato, cód. 56640000

**Análise de Frequência**  
**Contribuições Específicas Mensais**  
**Carrapato, cód. 56640000 (426 km<sup>2</sup>)**

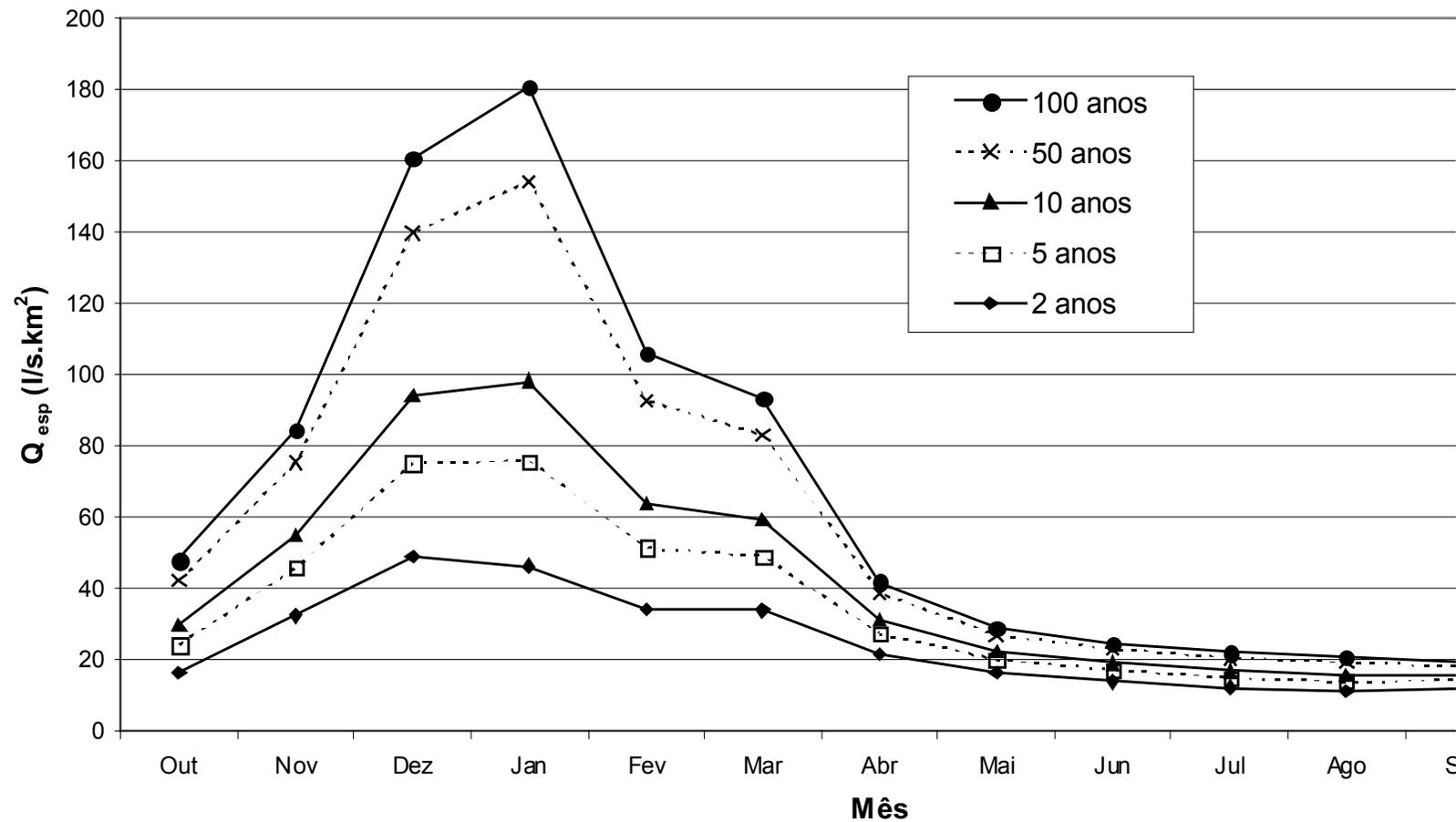


GRÁFICO 32 – Contribuições específicas associadas a diferentes tempos de retorno – Carrapato, cód. 56640000

### 8.5.3 Curva de Permanência

As curvas de permanência das vazões específicas mensais das áreas de interesse das bacias dos rios das Velhas e Paraopeba, usando os dados calculados no item anterior, e das estações de Honório Bicalho, cód. 41199998, Itabirito Linígrafo, cód. 41180000, Fazenda Água Limpa, cód. 41151000 e Carrapato, cód. 56640000, estão apresentadas na TAB. 39 e nos GRAF. 33 e 34.

TABELA 39  
Permanência das contribuições específicas mensais (L/s.km<sup>2</sup>)

	Área (km <sup>2</sup> )	Permanência (%)									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
<b>Faz. Água Limpa - 41151000</b>	<b>175</b>	33,1	24,6	19,4	16,6	14,9	13,1	11,4	10,3	8,6	8,0
<b>Itabirito Linígrafo – 41180000</b>	<b>330</b>	43,0	30,0	25,8	22,4	19,7	17,6	15,8	14,2	12,7	12,1
<b>Honório Bicalho – 41199998</b>	<b>1698</b>	33,1	23,6	18,2	15,6	13,6	12,3	11,0	9,7	8,7	7,7
<b>Carrapato - 56640000</b>	<b>426</b>	57,5	39,2	30,3	23,7	19,5	16,4	14,3	12,4	10,6	9,6
<b>Velhas HB – ITA - FAL</b>	<b>1193</b>	30,4	20,5	16,3	13,6	11,7	10,4	9,3	7,9	6,7	6,1
<b>Paraopeba PNP - AF</b>	<b>1748</b>	26,9	21,7	16,6	12,7	9,5	7,6	6,3	5,1	4,1	3,0

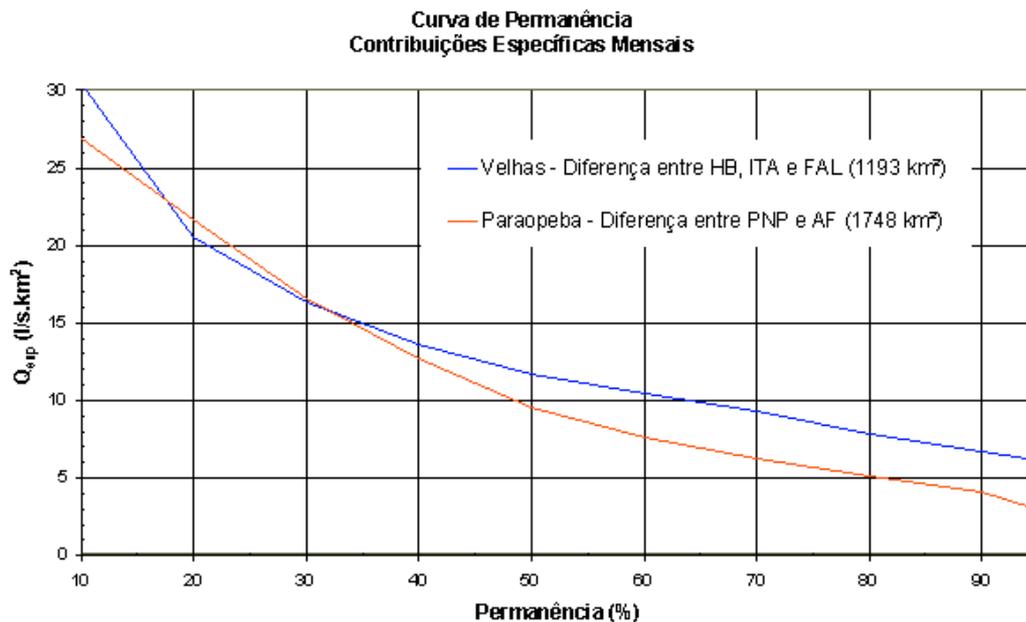


GRÁFICO 33 – Curvas de permanência

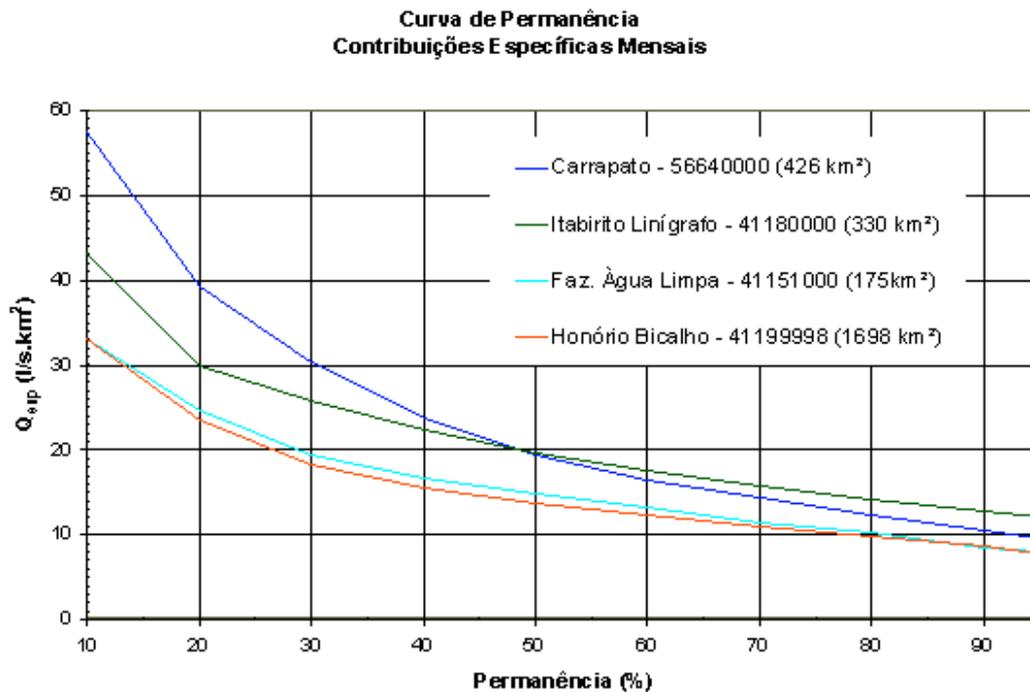


GRÁFICO 34 – Curvas de Permanência das estações

#### 8.5.4 Vazões Máximas

A regionalização de vazões máximas anuais apresentada por [Pinto e Alves \(2001\)](#) foi realizada com a aplicação do método “index-flood”, utilizando momentos-L e empregando as estatísticas-L.

O método “index-flood” foi apresentado por [Dalrymple \(1960\)](#) e aperfeiçoado por outros autores. A técnica consiste em definir uma curva adimensional regional a partir de curvas de freqüências empíricas traçadas com base nos dados das séries locais padronizados por um fator de adimensionalização, representado por uma medida de tendência central das séries de cada estação hidrometeorológica. A curva de freqüência regional é estabelecida para uma região hidrológica homogênea, onde as curvas adimensionalizadas de cada estação são agrupadas de acordo com a similaridade das características geográficas da região e pela tendência apresentada. A variabilidade espacial é definida a partir de uma análise de regressão entre o fator de adimensionalização de cada estação hidrometeorológica e as características meteorológicas e fisiográficas da região homogênea. De maneira esquemática, as etapas necessárias para aplicação do método “index-flood” foram descritas por [Pinto e Naghettini \(1999\)](#), como sendo:

##### a) Organização e adimensionalização das séries

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

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

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

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

As regiões hidrológicas homogêneas são definidas a partir das características meteorológicas, geográficas e da similaridade da "tendência" das curvas de freqüência individuais. Dessa forma, um grupo de curvas com a mesma "tendência" dentro de uma região com características geográficas e meteorológicas semelhantes formam uma região homogênea. A partir das curvas empíricas das estações da mesma região homogênea grafadas no papel de probabilidade é possível definir a curva regional. Esta é traçada a sentimento, de maneira que a curva regional seja a mediana das curvas empíricas individuais da região homogênea. Entretanto, como o traçado da curva regional tem caráter subjetivo, a sua extrapolação para tempos de retorno maiores é problemática. Procurando apresentar uma solução para este problema, [NERC](#) (1975), desenvolveu uma metodologia para efetuar as extrapolações.

d) Análise de regressão

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

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

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

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

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

$$X_T = (X/\mu)_T \hat{\mu}_j \quad (8.5.20)$$

Procurando minimizar as incertezas e subjetividades em algumas etapas da aplicação do método "index-flood", [Pinto e Alves](#) (2001) aplicaram as técnicas de regionalização "index-flood" utilizando momentos-L apresentadas por [Wallis](#) (1989) e as três estatísticas-L desenvolvidas por [Hosking e Wallis](#) (1993, 1995 e 1997). As estatísticas-L são: a Medida de Discordância (DI) utilizada na etapa de consistência de dados; a Medida de Heterogeneidade (H) aplicada na delimitação de regiões homogêneas; e o Teste de Aderência (Z) utilizado quando se faz a opção por ajustar uma distribuição teórica de probabilidades à curva de freqüência regional.

Na regionalização de vazões máximas anuais desenvolvida por [Pinto e Alves](#) (2001) foram utilizadas séries de vazões referentes ao ano hidrológico da região em estudo, que inicia em outubro e finaliza em setembro. As regiões homogêneas foram definidas em três etapas. A primeira consistiu na análise das informações fisiográficas e climatológicas da bacia, através

de uma análise de agrupamento (*cluster analysis*) das seguintes variáveis: coordenadas de localização das estações (Lat/Long); área; declividade equivalente e precipitação média. A seguir foram traçadas as curvas empíricas adimensionais para verificação das regiões formadas na análise de agrupamento, sendo que o fator de adimensionalização utilizado foi a média da série. Na terceira etapa utilizou-se a medida de heterogeneidade proposta por Hosking e Wallis (1993, 1995 e 1997).

A seleção das distribuições de frequências regionais foi efetuada com as sub-rotinas descritas por Hosking (1991), implementadas em linguagem Fortran-77. Esse programa faz o ajuste das distribuições Logística Generalizada (LG), Generalizada de Valores Extremos (GEV), Log-Normal (LN-3P) ou Generalizada Normal, Pearson tipo III (P-III) e Generalizada de Pareto (GP), estimando os seus parâmetros a partir dos momentos-L regionais, além de aplicar o teste de aderência para verificar o ajuste entre a distribuição candidata e os dados regionais (PINTO e ALVES, 2001).

Para cada uma das regiões homogêneas foram realizadas regressões múltiplas entre a média das séries das vazões máximas, também chamadas de média das vazões de cheia, utilizadas como fator de adimensionalização, com as características físicas e climáticas, ou seja, área de drenagem, comprimento do talvegue principal, declividade equivalente e precipitação média anual. O modelo de regressão adotado foi o potencial (PINTO e ALVES, 2001).

A área da APA Sul RMBH que faz parte da bacia do rio das Velhas está inserida na região homogênea denominada REGIÃO MAX- I (Alto rio das Velhas) e as sub-bacias pertencentes ao rio Paraopeba estão na REGIÃO MAX-VII (Alto e Médio rio Paraopeba). As distribuições de probabilidade regionais adotadas foram a Log-Normal (3P) para a região MAX-I e a Logística Generalizada (LG) para a região MAX-VII. As funções densidade de probabilidade e de distribuição acumulada, além das inversas das distribuições são apresentadas por Hosking e Wallis (1997) como:

#### LOG-NORMAL (3P)

$$f(x) = \frac{e^{ky-y^2/2}}{\alpha\sqrt{2\pi}} \quad y = \begin{cases} -k^{-1} \log\{1 - k(x - \xi)/\alpha\} & k \neq 0 \\ (x - \xi)/\alpha & k = 0 \end{cases} \quad (8.5.21)$$

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

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

$\Phi$ , é a função de distribuição acumulada da Normal parametrizada.

Parâmetros :  $\xi$  (Posição),  $\alpha$  (Escala) e  $k$  (forma)

Os limites da função são:

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

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

$$X = \begin{cases} \xi + \alpha(1 - e^{-kZ})/k & k \neq 0 \\ \xi + \alpha Z & k = 0 \end{cases} \quad (8.5.22)$$

A Tabela da Distribuição Normal Parametrizada está apresentada no ANEXO K; a TAB. 40 apresenta alguns valores.

TABELA 40  
Distribuição Normal Parametrizada

	Tr ( anos)									
	1,01	2	5	10	20	25	50	100	150	200
Z	-2,3301	0,0000	0,8416	1,2816	1,6449	1,7507	2,0537	2,3263	2,4747	2,5758

LOGÍSTICA GENERALIZADA:

$$f_x(x) = \frac{\alpha^{-1} e^{-(1-k)y}}{(1 + e^{-y})^2}, \quad y = \begin{cases} -k^{-1} \ln[1 - k(x - \xi)/\alpha] & k \neq 0 \\ (x - \xi)/\alpha & k = 0 \end{cases} \quad (8.5.23)$$

Os limites da função são:

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

$$F_x(x) = 1/(1 + e^{-y}) \quad (8.5.24)$$

$$x(F) = \xi - \alpha \ln[(1 - F)/F] \quad , k = 0 \quad (8.5.25)$$

$$x(F) = \xi + \alpha \left\{ 1 - [(1 - F)/F]^k \right\} / k \quad , k \neq 0 \quad (8.5.26)$$

Onde  $k$ ,  $\alpha$  e  $\xi$  são os parâmetros de forma, escala e posição, respectivamente.

Os parâmetros da distribuição regional foram estimados utilizando os momentos-L e as razões-L regionais apresentados na TAB. 41.

TABELA 41  
Valores regionais das razões-L e dos momentos-L para as regiões MAX-I e MAX-VII

Região	$l_1$	$l_2$	L-CV( $\tau_2$ )	Assimetria-L( $\tau_3$ )	Curtose-L( $\tau_4$ )
MAX-I (RV)	1	0,2632	0,2632	0,1511	0,1061
MAX-VII (RP)	1	0,2118	0,2118	0,1723	0,1518

(RV) é a bacia do Alto rio das Velhas e (RP) é a bacia do Alto e médio rio Paraopeba

Os parâmetros calculados para as distribuições Log-Normal (3P) e Logística Generalizada (LG) encontram-se na TAB. 42.

TABELA 42  
Parâmetros da distribuições Log-Normal (3P) e Logística Generalizada (LG)

Região	Distribuição	Posição ( $\xi$ )	Escala ( $\alpha$ )	Forma ( $k$ )
MAX-I (RV)	Log-Normal (3P)	0,929	0,448	-0,311
MAX-VII (RP)	Logística Generalizada	0,941	0,202	-0,172

(RV) é a bacia do Alto rio das Velhas e (RP) é a bacia do Alto e médio rio Paraopeba

Após a determinação dos parâmetros das distribuições regionais, foram estimados os quantis regionais adimensionalizados associados a vários períodos de retorno, de acordo com as equações (8.5.22) e (8.5.26); os valores obtidos estão apresentados na TAB. 43.

TABELA 43  
Quantis regionais adimensionalizados para vazões máximas  $(X/\mu)_T$

Reg.	Tr ( anos)									
	1,01	2	5	10	20	25	50	100	150	200
MAX-I (RV)	0,186	0,929	1,360	1,634	1,891	1,971	2,217	2,458	2,599	2,698
MAX-VII (RP)	0,298	0,941	1,257	1,480	1,715	1,795	2,060	2,355	2,544	2,686

(RV) é a bacia do Alto rio das Velhas e (RP) é a bacia do Alto e médio rio Paraopeba

A estimativa do fator de adimensionalização pode ser feita a partir das seguintes relações:

REGIÃO MAX- I (Sub-bacias do rio das Velhas)

$$Q_{\max-med} = 0,7652A^{0,7828} \quad (A \geq 175 \text{ km}^2) \quad (8.5.27)$$

REGIÕES MAX-VII (Sub-bacias do rio Paraopeba)

$$Q_{\max-med} = 0,2318A^{0,9001} \quad (A \geq 84 \text{ km}^2) \quad (8.5.28)$$

onde

$Q_{\max-med}$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) é a média das vazões máximas anuais (ano hidrológico)

$A$  ( $\text{km}^2$ ) é a área de drenagem

O cálculo da vazão máxima associada a um tempo de retorno qualquer e áreas de drenagem superiores a  $175 \text{ km}^2$ , no caso das sub-bacias do rio das Velhas, e maiores que  $84 \text{ km}^2$  para as sub-bacias do rio Paraopeba, é realizado pela equação:

$$X_T = (X/\mu)_T \hat{\mu}_j \quad (8.5.29)$$

onde,

$(X/\mu)_T$  é o quantil regional adimensionalizado associado a um tempo de retorno  $T$ , que é calculado pela equação (8.5.22) para as sub-bacias do rio das Velhas ou pela equação (8.5.26) para as sub-bacias do rio Paraopeba. Os quantis também podem ser obtidos na TAB. 43.

$\hat{\mu}_j$  é o fator de adimensionalização,  $Q_{\max-med}$ , estimado pela equação (8.5.27) para as sub-bacias do rio das Velhas ou pela equação (8.5.28) para as sub-bacias do rio Paraopeba.

Nas sub-bacias do rio das Velhas com áreas de drenagem inferiores a  $175 \text{ km}^2$ , a vazão máxima associada a um tempo de retorno pode ser aproximada pela seguinte equação:

$$X_T = \left( \frac{X}{\mu} \right)_T \left( 0,7652(175)^{0,7828} \left( \frac{A(\text{km}^2)}{175\text{km}^2} \right) \right)$$

$$X_T = 43,6139 \cdot \left( \frac{X}{\mu} \right)_T \left( \frac{A(\text{km}^2)}{175\text{km}^2} \right) \quad (A < 175 \text{ Km}^2) \quad (8.5.30)$$

A estimativa da vazão máxima associada a um tempo de retorno para as sub-bacias do rio Paraopeba com áreas de drenagem menores que  $84 \text{ km}^2$  pode ser realizada pela seguinte equação:

$$X_T = \left( \frac{X}{\mu} \right)_T \left( 0,2318(84)^{0,9001} \right) \left( \frac{A(\text{km}^2)}{84\text{km}^2} \right)$$

$$X_T = 12,5071 \cdot \left( \frac{X}{\mu} \right)_T \left( \frac{A(\text{km}^2)}{84\text{km}^2} \right) \quad (A < 84 \text{ km}^2) \quad (8.5.31)$$

O TAB. 44 apresenta as vazões máximas associadas a diversos tempos de retorno calculados para as principais sub-bacias do rio das Velhas e do rio Paraopeba pertencentes à APA Sul RMBH.

TABELA 44  
Vazões máximas das sub-bacias do rio das Velhas e do rio Paraopeba (m<sup>3</sup>/s)

Sub-Bacias	Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Q <sub>max-med</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Tempo de Retorno (anos)							
				2	5	10	20	25	50	100	150
Rib. dos Macacos	Velhas	131,43	32,76	30,4	44,5	53,5	61,9	64,6	72,6	80,5	85,1
Rio do Peixe	Velhas	214,18	51,09	47,5	69,5	83,5	96,6	100,7	113,3	125,6	132,8
Cór. Fazenda Velha	Velhas	27,03	6,74	6,3	9,2	11,0	12,7	13,3	14,9	16,6	17,5
Cór. Manso	Velhas	58,02	14,46	13,4	19,7	23,6	27,3	28,5	32,1	35,5	37,6
Cór. Cortesia	Velhas	30,69	7,65	7,1	10,4	12,5	14,5	15,1	17,0	18,8	19,9
Cór. do Mingu	Velhas	39,54	9,85	9,2	13,4	16,1	18,6	19,4	21,8	24,2	25,6
Cór. do Vilela	Velhas	12,66	3,16	2,9	4,3	5,2	6,0	6,2	7,0	7,8	8,2
Rib. Piedade	Paraopeba	103,2	15,05	14,2	18,9	22,3	25,8	27,0	31,0	35,5	38,3
Rib. Casa Branca	Paraopeba	125,1	17,90	16,8	22,5	26,5	30,7	32,1	36,9	42,2	45,5
Cór. Corredor	Paraopeba	13,58	2,02	1,9	2,5	3,0	3,5	3,6	4,2	4,8	5,1
Cór. Capão da Serra	Paraopeba	38,63	5,75	5,4	7,2	8,5	9,9	10,3	11,9	13,5	14,6

As estimativas das vazões máximas das sub-bacias da APA Sul RMBH pertencentes à bacia do rio Piracicaba foram realizadas por proporcionalidade de áreas de drenagem considerando os resultados da análise de frequência dos dados de vazões máximas anuais por ano hidrológico da estação de Carrapato, código 56640000. Na análise de frequência foram utilizados os dados que constam do ANEXO I e ajustadas as distribuições Log-Normal, Gumbel, Pearson-III, Log-Pearson-III, Generalizada de Eventos Extremos (GEV) e a Generalizada de Pareto com os parâmetros sendo estimados utilizando os momentos-L. Na definição da distribuição que apresenta o melhor ajuste foi aplicado o teste de aderência de Filliben com nível de significância de 10% (MAIDMENT, 1992). Os momentos-L e as razões-L da estação de Carrapato estão apresentados na TAB. 45.

TABELA 45  
Momentos-L e razões-L da estação de Carrapato, cód. 56640000

Estação	$l_1$	$l_2$	L-CV( $\tau_2$ )	Assimetria-L( $\tau_3$ )	Curtose-L( $\tau_4$ )
<b>Carrapato</b> <b>Cód. 5664000</b>	143,88	41,62	0,2893	0,1975	0,1579

A distribuição escolhida foi a Generalizada de Eventos Extremos (GEV) cuja as funções densidade e acumuladas estão apresentadas a seguir:

$$f_x(x) = \frac{1}{\alpha} \exp[-(1-k)y - \exp(-y)] \quad (8.5.32)$$

$$\text{Para } k = 0, y = \frac{x - \xi}{\alpha} \text{ e para } k \neq 0, y = -\frac{1}{k} \ln \left[ 1 - \frac{(x - \xi)k}{\alpha} \right].$$

Os limites da função são:

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

$$F_x(x) = \exp[-\exp(-y)] \quad (8.5.33)$$

$$x(F) = \xi - \alpha \ln[-\ln(F)] \quad , k = 0 \quad (8.5.34)$$

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - [-\ln(F)]^k \right\} \quad , k \neq 0 \quad (8.5.35)$$

Onde  $k$ ,  $\alpha$  e  $\xi$  são os parâmetros de forma, escala e posição, respectivamente. As equações para estimativa dos parâmetros utilizando os momentos-L estão descritas em Hosking e Wallis (1997). Os parâmetros calculados para a estação de Carrapato constam da TAB. 46.

TABELA 46  
Parâmetros da distribuição GEV ajustada as vazões máximas de Carrapato

Posição ( $\xi$ )	Forma ( $k$ )	Escala ( $\alpha$ )
108,081	-0,04267	57,634

O ajuste entre a distribuição empírica e a GEV pode ser visualizado no GRAF. 35. A posição de plotagem de Gringorten,  $P(Q \geq q) = (i - 0,44)/(n + 0,12)$ , foi utilizada para estimar as probabilidades de excedência da distribuição empírica.

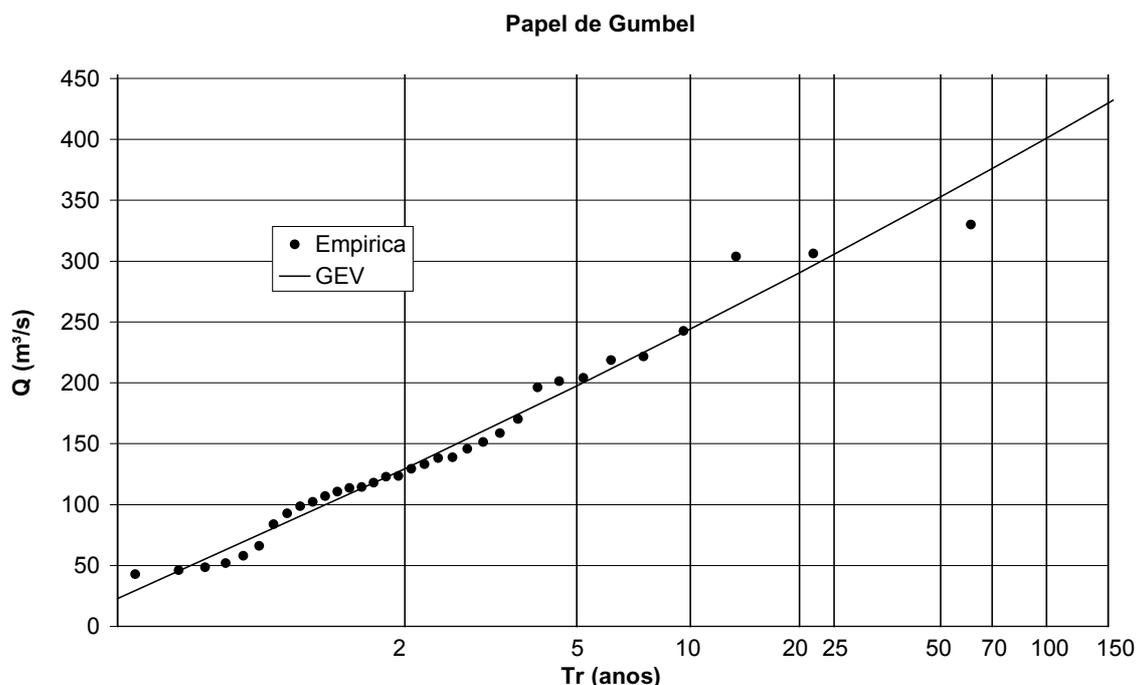


GRÁFICO 35 – Ajuste da distribuição GEV as vazões máximas anuais de Carrapato

As vazões máximas da estação de Carrapato associadas a diferentes tempos de retorno foram calculadas através da equação 8.5.35. No caso das sub-bacias da APA Sul RMBH que fazem parte da bacia do rio Piracicaba as estimativas foram feitas por proporcionalidade de áreas de drenagem através da equação (8.5.36). Os resultados alcançados estão apresentados na TAB. 47.

$$Q_{\max,Tr} (m^3 / s) = Q_{\max,Tr-Carrapato} (m^3 / s) \cdot \frac{A(km^2)}{426km^2} \quad (8.5.36)$$

TABELA 47  
Vazões máximas das sub-bacias do rio Piracicaba (m³/s)

	Area (km²)	Tempo de Retorno (anos)							
		2	5	10	20	25	50	100	150
Carrapato 56640000	426	129,4	197,4	244,2	290,6	305,6	352,8	401,0	429,8
Rio Barão de Cocais*	86,41	26,2	40,0	49,5	58,9	62,0	71,6	81,3	87,2
Ribeirão Conceição	303,9	92,3	140,8	174,2	207,3	218,0	251,7	286,1	306,6
Ribeirão Caraça	120,8	36,7	56,0	69,2	82,4	86,7	100,0	113,7	121,9

\* Área de drenagem inserida na APA Sul RMBH

### 8.5.5 Vazões Mínimas

No trabalho desenvolvido por Pinto e Alves (2001) foram regionalizadas as vazões mínimas com as durações de 1, 3, 5, 7, 10, 15, 30 e 60 dias, aplicando o método “index-flood”, utilizando momentos-L e empregando as estatísticas-L conforme foi descrito sucintamente no item 8.5.4.

A metodologia para a definição das regiões homogêneas para vazões mínimas utilizada no trabalho citado foi a mesma descrita no item que trata das vazões máximas. Houve uma pequena alteração na análise de agrupamento (*cluster analysis*), na qual foi acrescentada a variável densidade de drenagem. Além das etapas descritas no item 8.5.4, também foi feita uma análise da geologia e da hidrogeologia da área em estudo para definição das regiões homogêneas.

As sub-bacias do rio das Velhas pertencentes à APA Sul RMBH estão localizadas na região homogênea denominada MIN-A (Alto rio das Velhas) e as sub-bacias do rio Paraopeba na região MIN-D (Rio Paraopeba).

A seleção das distribuições de frequências regionais foi efetuada a partir da verificação do ajuste das distribuições de Gumbel e Weibull (2 e 3 parâmetros) para mínimos em cada uma das séries com duração de 7 dias, através da aplicação do teste de Filliben, descrito por Maidment (1992) e a verificação visual do ajuste. A distribuição de Weibull foi aprovada no teste de Filliben com um nível de significância de 5% em todas as séries e apresentou um ajuste visual bem melhor que a distribuição de Gumbel. Dessa maneira optou-se por ajustar a distribuição de Weibull (2P) às distribuições empíricas regionais adimensionais. A verificação do ajuste foi realizado apenas para a duração de 7 dias, pois, constatou-se, inicialmente, que as distribuições empíricas de todas as durações em um mesmo gráfico de

Gumbel ou Weibull, para cada estação, apresentavam a mesma tendência, não mostrando dispersões significativas (PINTO e ALVES, 2001).

A função densidade de probabilidade e de distribuição acumulada de Weibull, além da inversa desta distribuição são as seguintes:

WEIBULL (3P)

$$f(x) = \left(\frac{k}{\alpha - \varepsilon}\right) \left(\frac{x - \varepsilon}{\alpha - \varepsilon}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{x - \varepsilon}{\alpha - \varepsilon}\right)^k\right] \quad (8.5.37)$$

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x - \varepsilon}{\alpha - \varepsilon}\right)^k\right] \quad (8.5.38)$$

Definida para  $x > 0$  e  $\alpha, k > 0$ , onde  $k$  e  $\alpha$  são os parâmetros de escala e de posição, respectivamente, e  $\varepsilon$  é o limite inferior de  $x$ .

$$x(F) = \varepsilon + \left\{(\alpha - \varepsilon) [-\ln(F)]^{1/k}\right\}, \varepsilon \neq 0 \quad (8.5.39)$$

Se adotarmos  $\varepsilon = 0$ , temos a distribuição de Weibull (2P)

$$f(x) = \left(\frac{k}{\alpha}\right) \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^k\right] \quad (8.5.40)$$

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^k\right] \quad (8.5.41)$$

$$x(F) = \alpha [-\ln(F)]^{1/k}, \varepsilon = 0 \quad (8.5.42)$$

A TAB. 48 apresenta os parâmetros da distribuição de Weibull (2P) para diversas durações nas regiões homogêneas de interesse

TABELA 48  
Parâmetros da distribuição de Weibull (2P)

<b>Região MIN-A (Alto rio das Velhas)</b>								
Parâmetros	Durações							
	1 dia	3 dias	5 dias	7 dias	10 dias	15 dias	30 dias	60 dias
$k$	5,2135	5,4200	5,5431	5,5500	5,5730	5,5812	5,6501	5,6876
$\alpha$	1,0886	1,0862	1,0848	1,0847	1,0844	1,0842	1,0832	1,0828
<b>Região MIN-D (Rio Paraopeba)</b>								
Parâmetros	Durações							
	1 dia	3 dias	5 dias	7 dias	10 dias	15 dias	30 dias	60 dias
$k$	4,4884	4,5299	4,5443	4,5468	4,5562	4,5491	4,5929	4,5000
$\alpha$	1,0971	1,0966	1,0964	1,0964	1,0964	1,0965	1,0958	1,0964

Os quantis regionais adimensionais são calculados através da equação (8.5.42). A TAB. 49 apresenta os quantis calculados para alguns tempos de retorno.

TABELA 49  
Quantis regionais adimensionais das regiões MIN-A e MIN-D

<b>Duração de 1 dia</b>								
<b>Reg.</b>	<b>Tempo de Retorno (anos)</b>							
	<b>1,01</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
MIN-A (RV)	1,460	1,015	0,816	0,707	0,616	0,589	0,515	0,450
MIN-D (RP)	1,542	1,011	0,785	0,664	0,566	0,538	0,460	0,394
<b>Duração de 3 dias</b>								
<b>Reg.</b>	<b>Tempo de Retorno (anos)</b>							
	<b>1,01</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
MIN-A (RV)	1,440	1,015	0,824	0,717	0,628	0,602	0,529	0,465
MIN-D (RP)	1,537	1,011	0,787	0,667	0,569	0,541	0,463	0,397
<b>Duração de 5 dias</b>								
<b>Reg.</b>	<b>Tempo de Retorno (anos)</b>							
	<b>1,01</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
MIN-A (RV)	1,429	1,015	0,828	0,723	0,635	0,609	0,537	0,473
MIN-D (RP)	1,535	1,011	0,788	0,668	0,570	0,542	0,465	0,398
<b>Duração de 7 dias</b>								
<b>Reg.</b>	<b>Tempo de Retorno (anos)</b>							
	<b>1,01</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
MIN-A (RV)	1,429	1,015	0,828	0,723	0,635	0,610	0,537	0,474
MIN-D (RP)	1,535	1,012	0,788	0,668	0,571	0,543	0,465	0,399
<b>Duração de 10 dias</b>								
<b>Reg.</b>	<b>Tempo de Retorno (anos)</b>							
	<b>1,01</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
MIN-A (RV)	1,427	1,015	0,829	0,724	0,636	0,611	0,538	0,475
MIN-D (RP)	1,534	1,012	0,789	0,669	0,571	0,543	0,466	0,399
<b>Duração de 15 dias</b>								
<b>Reg.</b>	<b>Tempo de Retorno (anos)</b>							
	<b>1,01</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
MIN-A (RV)	1,426	1,015	0,829	0,724	0,637	0,611	0,539	0,475
MIN-D (RP)	1,535	1,012	0,788	0,669	0,571	0,543	0,465	0,399
<b>Duração de 30 dias</b>								
<b>Reg.</b>	<b>Tempo de Retorno (anos)</b>							
	<b>1,01</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
MIN-A (RV)	1,420	1,015	0,831	0,727	0,640	0,615	0,543	0,480
MIN-D (RP)	1,529	1,012	0,791	0,671	0,574	0,546	0,469	0,402
<b>Duração de 60 dias</b>								
<b>Reg.</b>	<b>Tempo de Retorno (anos)</b>							
	<b>1,01</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
MIN-A (RV)	1,417	1,015	0,832	0,729	0,642	0,617	0,545	0,482
MIN-D (RP)	1,540	1,011	0,786	0,665	0,567	0,539	0,461	0,394

(RV) é a bacia do Alto rio das Velhas e (RP) é a bacia do rio Paraopeba

Para cada uma das regiões homogêneas foram realizadas regressões múltiplas entre a média das séries das vazões mínimas, utilizadas como fator de adimensionalização, e as características físicas e climáticas, ou seja, área de drenagem, comprimento do talvegue principal, declividade equivalente, precipitação média anual e densidade de drenagem. Além das características físicas mencionadas, foi utilizada, também, como uma variável explicativa, as durações da vazões mínimas. O modelo de regressão adotado foi o potencial (PINTO e ALVES, 2001).

Os modelos ajustados para estimativa do fator de adimensionalização das séries estão apresentados a seguir.

REGIÃO MIN-A - Alto rio das Velhas

$$Q_{\min-med} = 0,0947 D^{0,0440} A^{0,6572} \quad (A \geq 330 \text{ km}^2) \quad (8.5.43)$$

REGIÃO MIN-D – Rio Paraopeba

$$Q_{\min-med} = 0,0052 D^{0,0554} A^{0,9903} \quad (A \geq 84 \text{ km}^2) \quad (8.5.44)$$

onde,

$Q_{\min-med}$  (m<sup>3</sup>/s) é a média das vazões mínimas anuais;

$D$  (dias) é a duração;

$A$  (km<sup>2</sup>) é a área de drenagem.

O cálculo da vazão mínima com uma determinada duração associada a um tempo de retorno qualquer e áreas de drenagem superiores a 330 km<sup>2</sup>, no caso das sub-bacias do rio das Velhas, e maiores que 84 km<sup>2</sup> para as sub-bacias do rio Paraopeba, é realizado pela equação:

$$X_T = (X/\mu)_T \hat{\mu}_j \quad (8.5.45)$$

onde,

$(X/\mu)_T$  é o quantil regional adimensionalizado associado a um tempo de retorno  $T$ , que é calculado pela equação (8.5.42), ou obtido na TAB. 49.

$\hat{\mu}_j$  é o fator de adimensionalização,  $Q_{\min-med}$ , estimado pela equação (8.5.43) para as sub-bacias do rio das Velhas ou pela equação (8.5.44) para a sub-bacias do rio Paraopeba.

Nas sub-bacias do rio das Velhas com áreas de drenagem inferiores a 330 km<sup>2</sup>, a vazão mínima com uma determinada duração e associada a um tempo de retorno pode ser aproximada pela seguinte equação:

$$X_T = \left( \frac{X}{\mu} \right)_T \left( 0,0947 D^{0,0440} (330)^{0,6572} \left( \frac{A(\text{km}^2)}{330\text{km}^2} \right) \right)$$

$$X_T = 4,2807 \cdot D^{0,0440} \cdot \left( \frac{X}{\mu} \right)_T \left( \frac{A(\text{km}^2)}{330\text{km}^2} \right) \quad (A < 330 \text{ km}^2) \quad (8.5.46)$$

A estimativa da vazão mínima com uma determinada duração associada a um tempo de retorno nas sub-bacias do rio Paraopeba com áreas de drenagem menores que 84 km<sup>2</sup> pode ser realizada pela seguinte equação:

$$X_T = \left( \frac{X}{\mu} \right)_T \left( 0,0052 D^{0,0554} (84)^{0,9903} \left( \frac{A(\text{km}^2)}{84\text{km}^2} \right) \right)$$

$$X_T = 0,4184 \cdot D^{0,0554} \cdot \left( \frac{X}{\mu} \right)_T \left( \frac{A(\text{km}^2)}{84\text{km}^2} \right) \quad (A < 84 \text{ km}^2) \quad (8.5.47)$$

onde,

$(X/\mu)_T$  é o quantil regional adimensionalizado associado a um tempo de retorno  $T$ , que é calculado pela equação (8.5.42), ou obtido na TAB. 49.

$\hat{\mu}_j$  é o fator de adimensionalização,  $Q_{\text{min-med}}$ , estimado pela equação (8.5.43) para as sub-bacias do rio das Velhas ou pela equação (8.5.44) para a sub-bacias do rio Paraopeba.

A TAB. 50 apresenta as vazões mínimas com duração de 7 dias associadas a diversos tempos de retorno calculados para as principais sub-bacias do rio das velhas e do rio Paraopeba pertencentes à APA Sul RMBH.

TABELA 50  
Vazões mínimas com 7 dias de duração - Sub-bacias dos rios das Velhas e Paraopeba ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Sub-Bacia	Bacia	Área ( $\text{km}^2$ )	$Q_{\text{min-med}}$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Tempo de Retorno (anos)						
				2	5	10	20	25	50	100
Rib. dos Macacos	Velhas	131,43	1,857	1,886	1,538	1,343	1,180	1,132	0,997	0,879
Rio do Peixe	Velhas	214,18	3,027	3,073	2,506	2,189	1,922	1,845	1,625	1,433
Cór. Fazenda Velha	Velhas	27,03	0,382	0,388	0,316	0,276	0,243	0,233	0,205	0,181
Cór. Manso	Velhas	58,02	0,820	0,833	0,679	0,593	0,521	0,500	0,440	0,388
Cór. Cortesia	Velhas	30,69	0,434	0,440	0,359	0,314	0,275	0,264	0,233	0,205
Cór. do Mingu	Velhas	39,54	0,559	0,567	0,462	0,404	0,355	0,341	0,300	0,265
Cór. do Vilela	Velhas	12,66	0,179	0,182	0,148	0,129	0,114	0,109	0,096	0,085
Rib. Piedade	Paraopeba	103,2	0,571	0,578	0,450	0,382	0,326	0,310	0,266	0,228
Rib. Casa Branca	Paraopeba	125,1	0,691	0,699	0,545	0,462	0,394	0,375	0,321	0,276
Cór. Corredor	Paraopeba	13,58	0,075	0,076	0,059	0,050	0,043	0,041	0,035	0,030
Cór. Capão da Serra	Paraopeba	38,63	0,214	0,217	0,169	0,143	0,122	0,116	0,100	0,085

As estimativas das vazões mínimas das sub-bacias da APA Sul RMBH pertencentes à bacia do rio Piracicaba foram realizadas por proporcionalidade de áreas de drenagem considerando os resultados da análise de frequência dos dados de vazões mínimas anuais por ano hidrológico da estação de Carrapato, código 56640000. A análise de frequência foi realizada utilizando os dados de vazões mínimas com durações de 1, 3, 5, 7 e 10 dias conforme está apresentados no ANEXO I. Foram testadas as distribuições de Gumbel e Weibull (2P) com os parâmetros sendo estimados utilizando-se os momentos-L. Na definição da distribuição que apresenta o melhor ajuste foi aplicado o teste de aderência de Filliben com nível de significância de 10% (MAIDMENT, 1992).

A distribuição adotada foi a de Weibull (2P) com as funções densidade e de distribuição acumulada representadas pelas equações (8.5.40) e (8.5.41), respectivamente.

Segundo [Maidment \(1992\)](#), existe uma importante relação entre a distribuição de Weibull e a de Gumbel. Caso uma variável aleatória  $X$  se ajuste à distribuição de Weibull, então a variável  $Y = -\ln [ X ]$  será modelada pela distribuição de Gumbel. Os procedimentos de estimativa dos parâmetros e os teste de ajuste disponíveis para a distribuição de Gumbel podem ser utilizados para a distribuição de Weibull. Assim, se  $+\ln[X]$  possui uma média  $\lambda_{1,(\ln X)}$  e o momento-L  $\lambda_{2,(\ln X)}$ , os parâmetros de ajuste da distribuição de Weibull (2P) para a variável  $X$  são os seguintes:

$$k = \frac{\ln(2)}{\lambda_{2,(\ln X)}} \quad (8.5.48)$$

$$\alpha = \exp\left(\lambda_{1,(\ln X)} + \frac{0,5772}{k}\right) \quad (8.5.49)$$

Para efetuar o ajuste da distribuição de Weibull, foi necessário calcular os logaritmos naturais dos valores das séries para permitir o cálculo dos parâmetros como descrito acima. Os momentos-L e as razões-L das séries dos logaritmos naturais das vazões mínimas com diferentes durações da estação de Carrapato estão apresentados na TAB. 51.

TABELA 51  
Os momentos-L e as razões-L dos logaritmos das vazões de Carrapato

Duração	$l_1$	$l_2$	L-CV( $\tau_2$ )	Assimetria-L( $\tau_3$ )	Curtose-L( $\tau_4$ )
1 dia	1,304	0,101	0,077454	0,0105	0,001
3 dias	1,336	0,0939	0,070284	-0,0258	0,0455
5 dias	1,356	0,092	0,067847	-0,06	0,0548
7 dias	1,381	0,0959	0,069442	-0,0653	0,0643
10 dias	1,397	0,0974	0,069721	-0,0803	0,0597

Os valores dos momentos-L regionais permitiram o cálculo dos parâmetros da distribuição de Weibull através das equações (8.5.48) e (8.5.49). Os parâmetros regionais calculados encontram-se na TAB. 52.

TABELA 52  
Parâmetros da distribuição de Weibull para as vazões mínimas de Carrapato

Parâmetros	Duração				
	1 dia	3 dias	5 dias	7 dias	10 dias
$\kappa$	6,862843	7,381759	7,534208	7,227812	7,116501
$\alpha$	4,007249	4,113165	4,189622	4,309656	4,384639

Após a determinação dos parâmetros da distribuição foram estimados os quantis associados a vários períodos de retorno de acordo com a equação (8.5.42); os valores obtidos estão apresentados na TAB. 53.

TABELA 53  
Vazões mínimas de Carrapato com diferentes tempos de retorno ( $m^3/s$ )

Tr (anos)	1 dia	3 dias	5 dias	7 dias	10 dias
1,01	5,008	5,060	5,133	5,325	5,436
2	3,799	3,914	3,991	4,097	4,165
5	3,221	3,357	3,433	3,502	3,551
10	2,887	3,032	3,108	3,157	3,196
20	2,599	2,751	2,825	2,857	2,889
25	2,514	2,667	2,740	2,769	2,797
50	2,269	2,424	2,496	2,512	2,534
100	2,050	2,206	2,275	2,281	2,297
200	1,852	2,007	2,074	2,071	2,083

O GRAF. 36 apresenta o ajuste entre a distribuição empírica de Carrapato, cód. 56640000, e a distribuição de Weibull para a duração de 7 dias ajustada. A fórmula de posição de plotagem utilizada na distribuição empírica para elaboração do gráfico foi a fórmula de Weibull,  $(i)/(n+1)$ .

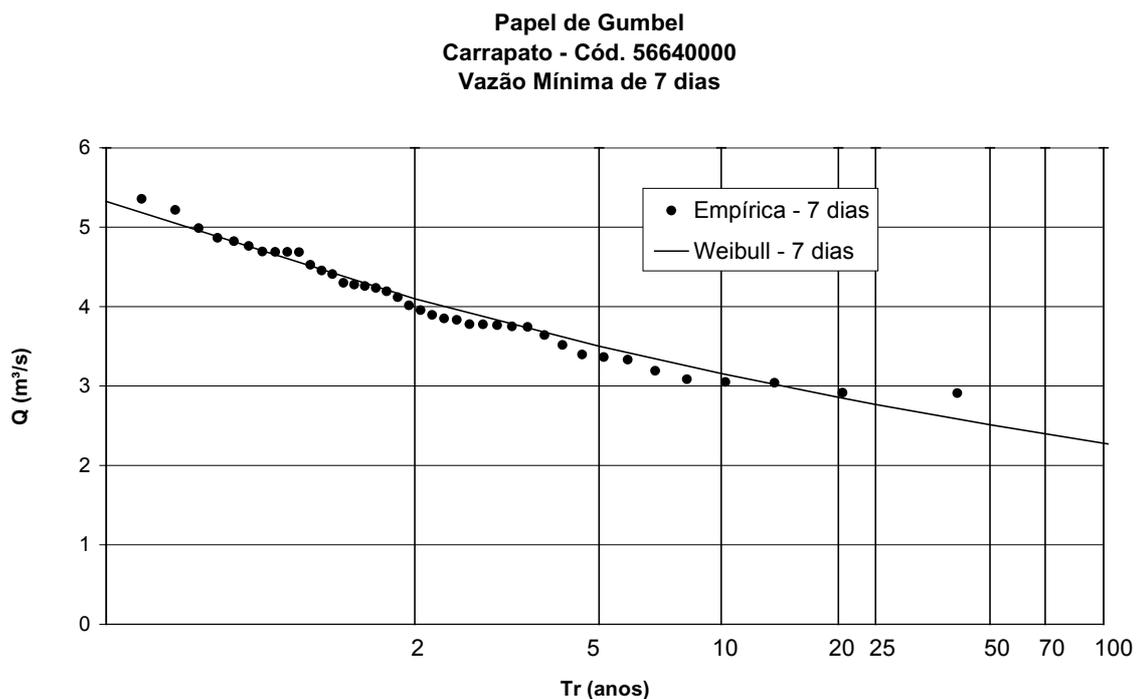


GRÁFICO 36 – Ajuste da distribuição de Weibull às vazões mínimas de 7 dias de Carrapato

As vazões mínimas das sub-bacias da APA Sul RMBH que fazem parte da bacia do rio Piracicaba foram estimadas por proporcionalidade de áreas de drenagem através da equação (8.5.50). As estimativas da vazões mínimas com 7 dias de duração estão apresentados na TAB. 54.

$$Q_{\min, Duração, Tr} (m^3 / s) = Q_{\min, Duração, Tr - Carrapato} (m^3 / s) \cdot \frac{A(km^2)}{426km^2} \quad (8.5.50)$$

TABELA 54  
Vazões mínimas com 7 dias de duração - Sub-bacias do rio Piracicaba (m<sup>3</sup>/s)

Sub-Bacias	Area (km <sup>2</sup> )	Tempo de Retorno (anos)						
		2	5	10	20	25	50	100
Carrapato Cód.56640000	426	4,097	3,502	3,157	2,857	2,769	2,512	2,281
Rio Barão de Cocais*	86,41	0,831	0,710	0,640	0,580	0,562	0,509	0,463
Ribeirão Conceição	303,9	2,922	2,498	2,252	2,038	1,975	1,792	1,627
Ribeirão Caraça	120,8	1,162	0,993	0,895	0,810	0,785	0,712	0,647

\* Área de drenagem inserida na APA Sul RMBH

## 8.6 Análise das Vazões e Precipitações Anuais

A análise das vazões e precipitações anuais realizada neste estudo tem o objetivo de verificar se durante o período que essas variáveis hidrológicas estão sendo observadas, aproximadamente 30 anos, ocorreu alguma alteração na relação entre os volumes anuais escoados e precipitados nas estações fluviométricas.

A primeira abordagem consistiu no traçado do [GRAF. 37](#) que mostra as variações temporais das vazões anuais adimensionais das estações instaladas próximas e dentro da área da APA Sul RMBH e que possuem as séries mais longas. O valor da vazão anual adimensional foi obtido através da relação entre o total do ano hidrológico e a média da série. Analisando o gráfico, observa-se um comportamento homogêneo das vazões anuais adimensionais. Comparando essas curvas com as de precipitações anuais adimensionais, [GRAF. 21](#), observa-se que elas apresentam comportamento bastante semelhante. Os anos hidrológicos de maiores vazões estão associados aos anos de maiores precipitações ocorrendo a mesma relação no caso dos anos com vazões baixas.

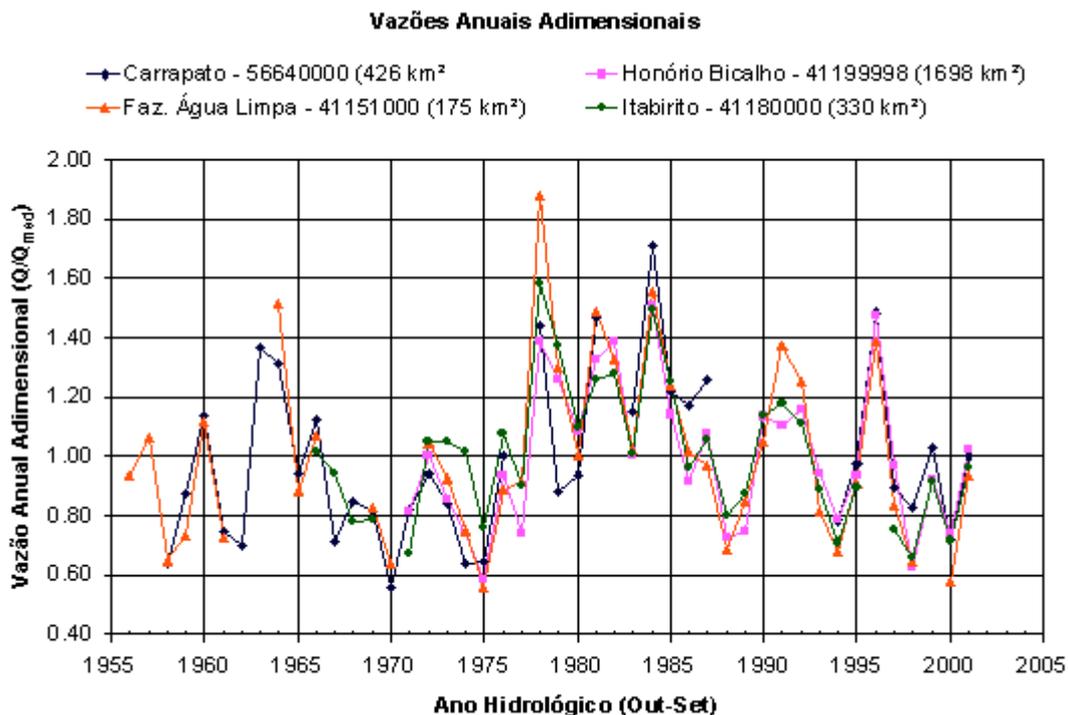


GRÁFICO 37 – Vazões anuais adimensionais

A outra análise consistiu no traçado das curvas dupla acumuladas de deflúvios e precipitações anuais. O método consiste em calcular a precipitação média anual sobre a área de drenagem de uma estação pluviométrica e o respectivo deflúvio anual. Esses valores são acumulados e plotados em um gráfico cartesiano, com as precipitações acumuladas nas abscissas e os deflúvios acumulados nas ordenadas. Nesse gráfico é possível verificar se há alterações significativas na proporcionalidade entre as duas variáveis. Se não houver alterações significativas na proporção entre os deflúvios e as precipitações médias sobre as áreas de drenagem os pontos devem-se alinhar segundo uma única reta. Nesse estudo esse método foi aplicado para as duas estações pluviométricas que controlam a saída da APA Sul RMBH, ou seja, no rio das Velhas em Honório Bicalho, cód. 41199998, área de drenagem de 1.698 km<sup>2</sup>, e no rio Santa Barbara em Carrapato, cód. 5664000, área de drenagem de 426 km<sup>2</sup>. As estações pluviométricas utilizadas no cálculo da precipitação média anual sobre a área de drenagem de Honório Bicalho, cód. 41199998, foram as de Mineração Morro Velho, cód. 01943000, Lagoa Grande, cód. 02043002, Rio do Peixe, cód. 02043004, Congonhas, cód. 02043013, Represa do Miguelão, cód. 02043043, Fazenda Água Limpa, cód. 02043056, Itabirito, cód. 02043060 e Ibrité, cód. 02044012. No caso de Carrapato, cód. 5664000, calculou-se a precipitação média anual sobre a área de drenagem com as estações pluviométricas de Santa Babara, cód. 01943007, Caeté, cód. 01943010, Fazenda Água Limpa, cód. 02043056 e Colégio Caraça, cód. 02043059.

Analisando os [GRAF. 38](#) e [39](#) verifica-se que, nos últimos anos, com exceção do período de 75/76 a 80/81, a proporcionalidade entre os deflúvios e as precipitações anuais das área de drenagem de Honório Bicalho e Carrapato se mantiveram sem alterações significativas e persistentes. Provavelmente, umas das causas da alteração da proporcionalidade de 75/76 a 80/81 seja a ocorrência de anos hidológicos de comportamentos extremos e opostos, como 75/76, bastante seco e 78/79, extremamente chuvoso. Além disso, esses anos parecem se comportar como uma transição de um período de predominância de vazões médias anuais inferiores ou pouco superiores a média (67/68 a 77/78) para uma seqüência de anos de vazões superiores à média, que altera o nível de armazenamento na bacia. Esse comportamento pode ser visualizado no [GRAF. 37](#).

A proporcionalidade entre os deflúvios e as precipitações anuais não pode ser estendido as pequenas áreas de drenagem pois caso sofram interferências antropicas essas relações provavelmente irão se alterar. Como exemplos podem ser citados os córregos dos Fechos, da Mutuca, Cercadinho, Rola Moça, Tabões, Balsamo, Barreiro, do Mingu e os ribeirões da Catarina, Aranha e Caraça entre outros cursos d'água onde a presença de captações para abastecimento público podem modificar essa proporcionalidade. Outros exemplos são a modificações que ocorrem nos córregos Águas Claras, da Fazenda, Grota Fria, Capão da Serra, do Marinho e outros que estão em áreas de mineração. O [ANEXO H](#) descreve as inteferências sobre alguns dos exemplos citados.

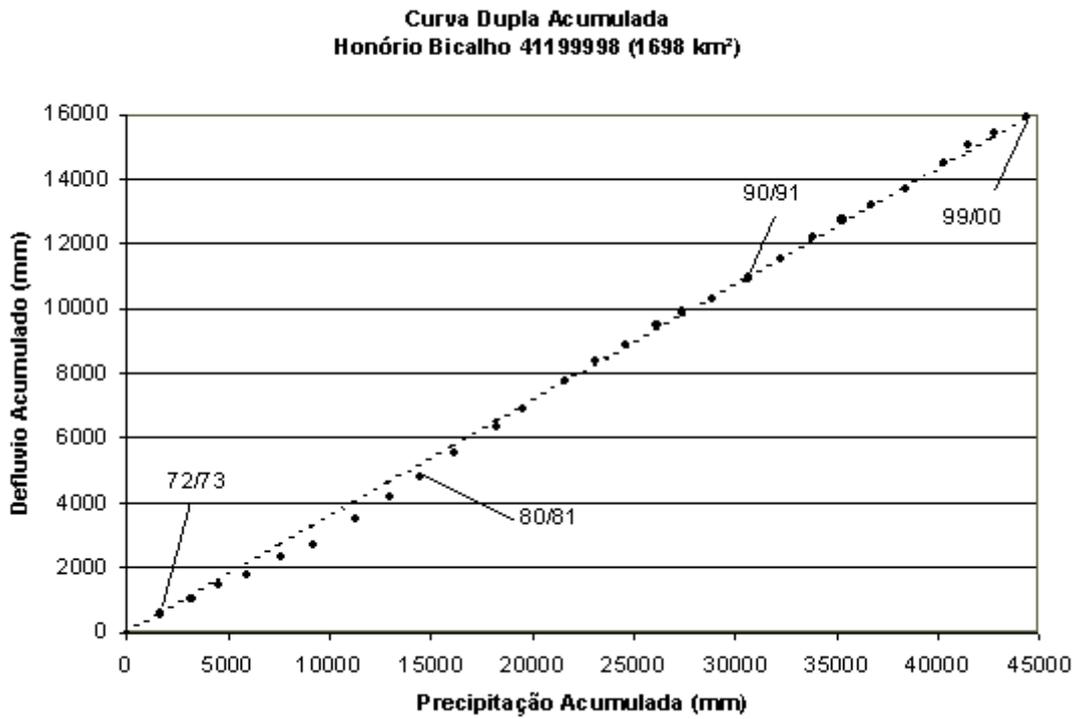


GRÁFICO 38 – Curva dupla acumulada – Honório Bicalho, cód. 4199998

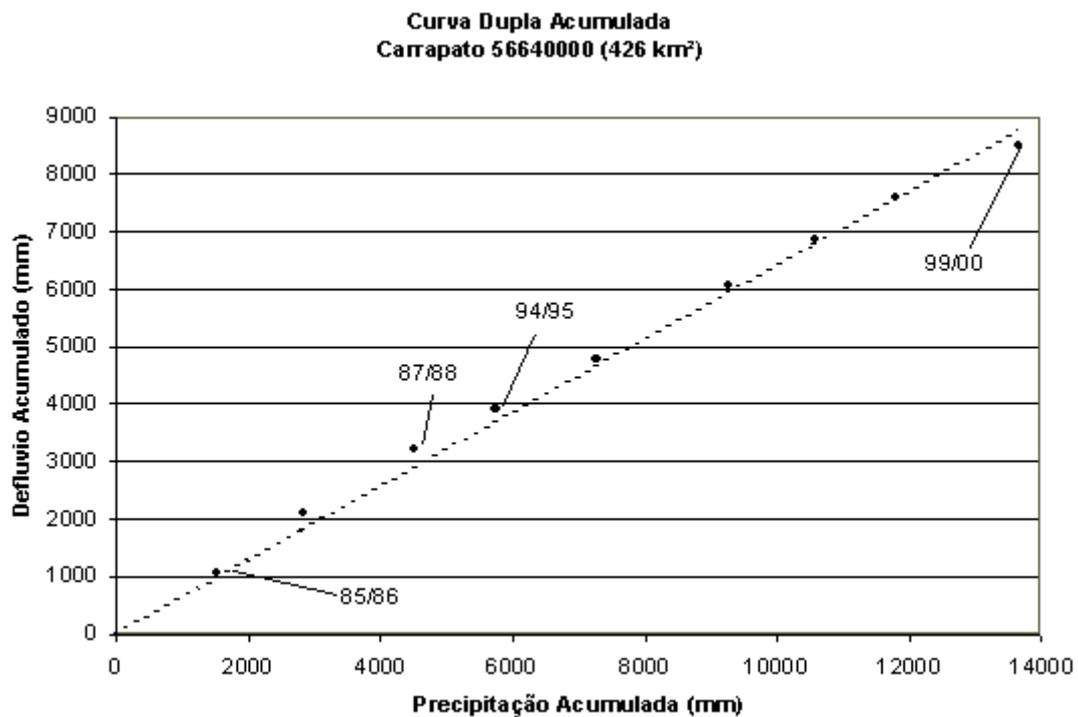


GRÁFICO 39 – Curva dupla acumulada - Carrapato, cód. 56640000

### 8.7 Coeficientes de Escoamento Superficial

A capacidade média de uma bacia hidrográfica produzir escoamento superficial em relação ao índice pluviométrico é avaliado pelo coeficiente de escoamento superficial. A TAB. 55 apresenta os valores dos coeficientes calculados para algumas estações fluviométricas utilizadas nos estudos de Hidrologia da APA Sul RMBH e mostra que as lâminas escoadas nas seções dos cursos d'água em relação à pluviosidade são consideráveis.

TABELA 55  
Coeficientes de escoamento superficial

Código	Estação	Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Q <sub>mlt</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>mlt esp</sub> (l/s/km <sup>2</sup> )	P (mm)	D (mm)	P - D	Ces <sub>c</sub>
41151000	Fazenda Água Limpa	Velhas	175	3,26	18,7	1498	589	909	0,39
41160000	Gulpiara	Velhas	284	6,14	21,6	1498	682	817	0,46
41180000	Itabirito Linígrafo	Velhas	330	7,98	24,2	1518	763	755	0,50
41190000	Aguiar Moreira	Velhas	539	11,21	20,8	1523	656	867	0,43
41199998	Honório Bicalho	Velhas	1698	29,79	17,5	1543	587	956	0,38
56640000	Carrapato	Piracicaba	426	11,91	28,0	1807	877	930	0,49

## **9. SEDIMENTOMETRIA**

---

### **9.1 Caracterização Sedimentológica**

A caracterização sedimentológica da região da APA Sul RMBH foi feita através da estimativa da produção de sedimentos em bacias monitoradas que abrangem a região em estudo. Também foram identificadas as áreas com grande potencial erosivo e de carreamento de sedimentos nos cursos d'água.

A partir dessas informações foi proposta uma rede de monitoramento na APA Sul RMBH, visando uma melhor avaliação das condições sedimentométricas na região.

Para a realização desse estudo foram levantadas informações de diversas entidades existentes na região. As informações levantadas encontram-se listadas a seguir:

- Dados sedimentométricos das estações pertencentes à rede ANA/ANEEL e CEMIG;
- Perfis transversais das estações sedimentométricas;
- Barragens de contenção de rejeitos e de resíduos de empreendimentos industriais e de mineração cadastrados pela FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente e
- Áreas com processos erosivos cadastrados pelas equipes dos temas geomorfologia e geotecnia.

### **9.2 Dados Sedimentométricos**

Na região da APA Sul RMBH praticamente não existem estações sedimentométricas, exceto a estação Fazenda Vertentes, que pertence à CEMIG. No entanto, essa estação está situada na cabeceira do reservatório Rio de Pedras e próxima ao limite da APA Sul RMBH. Além disso, essa estação possui uma série de dados muito curta, e não pode ser usada neste estudo. Portanto, tornou-se necessário levantar as estações sedimentométricas que se encontram em áreas próximas à APA, as quais estão apresentadas na [TAB. 56](#) e de forma esquemática nas [FIG. 13](#) e [14](#).

TABELA 56 – Relação das estações sedimentométricas levantadas

Cod	Estação	Entidade	Rio	Lat	Long	Área Km <sup>2</sup>	Oper. Início	Oper. Fim
40710000	Belo Vale	ANA	Paraopeba	20°24'29"	44°01'16"	2760	Set/72	
40788000	São Joaquim de Bicas	CEMIG	Paraopeba	20°02'22"	44°15'28"	5550	Abr/82	Fev/94
40800001	Ponte Nova do Paraopeba	ANA	Paraopeba	19°56'56"	44°18'12"	5679	Nov/76	
41199998	Honório Bicalho montante	ANA	Das Velhas	20°01'26"	43°49'22"	1698	Fev/76	
41163000	Fazenda Maracujá	CEMIG	Maracujá	20°15'44"	43°41'49"	117	Out/02	
41152000	Fazenda Vertentes	CEMIG	Das Velhas	20°14'26"	43°40'54"	313	Out/02	

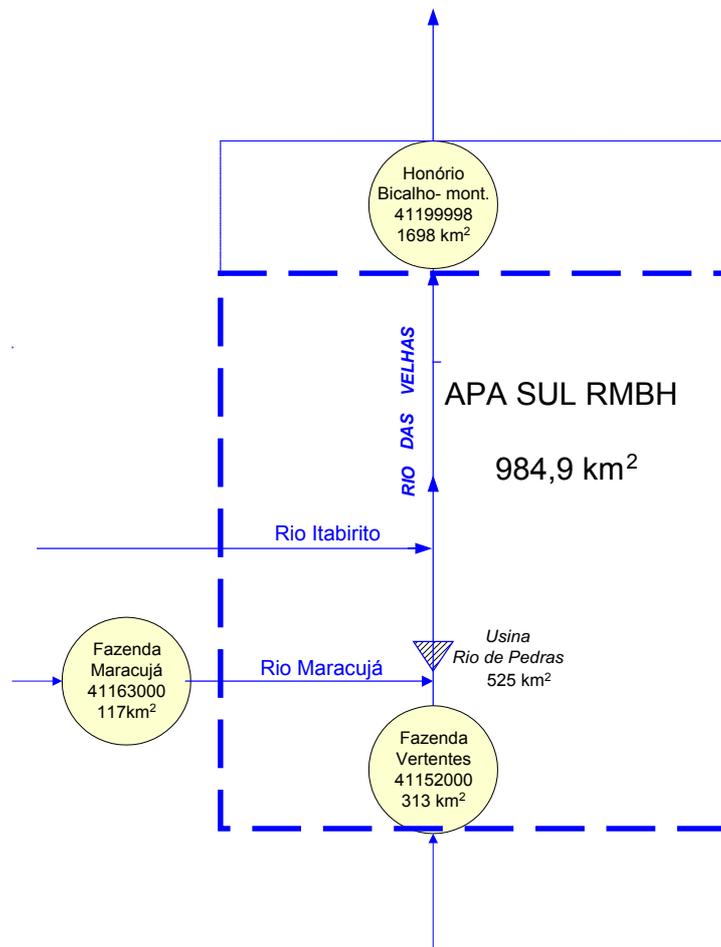


FIGURA 13 - Rio das Velhas

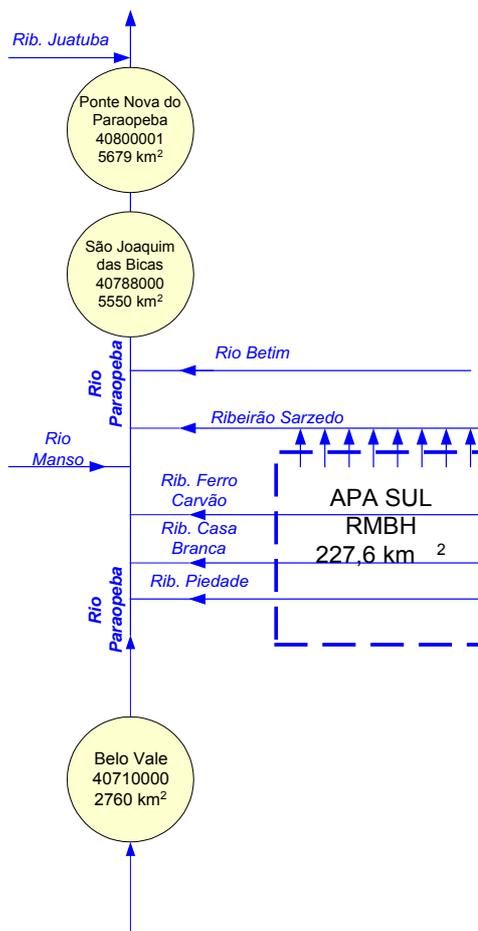


FIGURA 14 – Rio Paraopeba

A operação das estações pertencentes à rede ANA/ANEEL é feita 4 vezes por ano, quando é realizada as amostragens integradas dos sedimentos em suspensão e calculada a descarga sólida em suspensão.

A operação das estações pertencentes à rede da CEMIG é feita 10 vezes por ano, quando é realizada por hidrotécnicos a amostragem integrada dos sedimentos em suspensão e do fundo e calculadas as descargas sólidas em suspensão e total. Elas normalmente são feitas nos meses de março, abril, junho, agosto, outubro e dezembro, sendo uma amostra em cada mês. Nos meses de janeiro e fevereiro são feitas duas amostras em cada mês. Além disso, no período chuvoso são coletadas, diariamente, amostras de água pelos observadores em pontos determinados. No período seco, as coletas são quinzenais. A partir dessas amostras é determinada a concentração de sedimentos em suspensão. Posteriormente, busca-se estabelecer uma correlação entre as concentrações definidas a partir de amostras coletadas pelo observador e as amostras coletadas pelo hidrotécnico.

Apesar das informações da CEMIG serem mais detalhadas, as estações pertencentes àquela entidade não foram utilizadas neste estudo. A estação São Joaquim de Bicas não se encontra mais em operação e a série de dados apresenta muitas falhas. Já as estações Fazenda das Vertentes e Fazenda Maracujá possuem séries de dados muito pequenas (instaladas em outubro/2002).

As estações pertencentes à rede ANA/ANEEL estão localizadas nas bacias dos rios das Velhas e Paraopeba. Para o presente estudo, foram utilizados os dados de vazão e

concentração de sedimentos em suspensão resultantes das medições realizadas no período de 1988 a 2002. A série de dados foi obtida do estudo “Análise de Consistência dos Dados Sedimentométricos e de Qualidade das Águas das Sub-bacias 40, 41, 42, 43, 44, 45, 54, 55, 56 e 60” realizado pelo CPRM - Serviço Geológico do Brasil (CASTILHO e PINTO, 2003), e que descreve detalhadamente a análise de consistência dos dados realizada. Já a bacia do rio Piracicaba não possui estação sedimentométrica próxima à região da APA Sul RMBH. Assim, além da série de dados sedimentométricos, utilizaram-se também as seções transversais das estações sedimentométricas e da estação fluviométrica Carrapato (código 56640000) para avaliar as condições de transporte de sedimentos na estação e na bacia.

### 9.3 Estimativa da Produção de Sedimentos

A produção anual de sedimentos consiste na quantidade de sedimentos estimada anualmente em um exutório de uma bacia hidrográfica. Essa estimativa é feita a partir dos dados sedimentométricos. No caso de redes operadas 4 vezes por ano, quando são coletadas amostras de sedimento em suspensão, como é o caso da rede da ANA, essa estimativa é feita a partir do cálculo da descarga sólida em suspensão, definição da curva-chave de sedimentos e por fim do cálculo da produção anual de sedimentos, a partir da descarga líquida.

#### 9.3.1 Cálculo da Descarga Sólida

“A descarga sólida em suspensão corresponde à parcela de sedimentos que tem sua origem na bacia hidrográfica. Geralmente são sedimentos mais finos, transportados em suspensão na massa líquida devido à turbulência da corrente (CASTILHO e PINTO, 2003).”

Para a transformação das séries de vazões médias mensais das estações analisadas em fluxo de sedimentos em suspensão foi utilizada a seguinte equação:

$$Q_{ss}=0,0864.Q.C$$

onde:

$Q_{ss}$ : descarga sólida de sedimentos em suspensão (t/dia)

$Q$ : vazão líquida, em  $m^3/s$

$C$ : concentração de sedimento em suspensão, em mg/L

As séries de descarga sólida em suspensão das estações utilizadas encontram-se no [ANEXO L](#).

#### 9.3.2 Curvas-chave de Sedimentos

“Curvas de transporte de sedimentos relacionam concentração, descarga sólida ou valores derivados de estudos sedimentológicos, em geral, com outras grandezas como tempo, descarga líquida, nível d’água, profundidade, velocidade e demais derivadas de estudos afins.”

“A correlação mais conhecida é a curva-chave de sedimentos, que é traçada usando concentração ou descarga sólida em função da descarga líquida.” (CARVALHO, 1994).”

As curvas-chaves de sedimentos das estações Honório Bicalho (GRAF. 40), Belo Vale (GRAF. 41) e Ponte Nova do Paraopeba (GRAF. 42) foram obtidas a partir do estudo “Análise de Consistência dos Dados Sedimentométricos e de Qualidade das Águas das

Sub-bacias 40, 41, 42, 43, 44, 45, 54, 55, 56 e 60” realizado pelo CPRM - Serviço Geológico do Brasil.

Os dados de descarga líquida e descarga sólida foram ajustados a uma equação do tipo potencial,  $y=aX^n$ , onde  $y$  é a  $Q_{ss}$ ,  $X$  é a vazão líquida e  $n$  e  $a$  são seus coeficientes. Os valores dos coeficientes são apresentados na TAB. 57.

TABELA 57  
Valores dos coeficientes  $a$  e  $n$  resultantes do ajuste das curvas-chave

Código	Estação	$Q_{ss}$				Amplitude Q (m <sup>3</sup> /s)	Fator
		Curva 1		Curva 2			
		a	n	a	n		
40710000	Belo Vale	$1,30 \times 10^{-2}$	2,96	-	-	10 a 110	3,5
40800001	Ponte Nova do Paraopeba	$3,00 \times 10^{-4}$	3,37	-	-	20 a 250	3
41199998	Honório Bicalho Montante	$5,56 \times 10^{-5}$	4,72	$1,49 \times 10^{-2}$	3,06	10 a 100	3

A amplitude corresponde à faixa de vazão líquida na qual a curva tem validade.

Na análise de consistência “verificou-se que o critério de comparação dos valores de concentração total de sedimentos em suspensão com os registrados na série histórica de cada estação não era muito adequado para a análise de consistência dos dados sedimentométricos, pois geralmente a concentração de sedimentos em suspensão varia diretamente com a descarga líquida. Assim, estabeleceu-se um novo critério para a análise dos dados, que consiste na definição de faixas de aceitação do dado baseadas na equação da curva-chave de sedimento. Estas faixas foram determinadas a partir de fatores multiplicadores e divisores do coeficiente  $a$  da curva-chave,  $Y = aX^n$ . Para as bacias hidrográficas estudadas, esses fatores apresentam valores de **2**, **2,5**, **3** e **3,5**, sendo o primeiro o menos freqüente. A utilização desse fator  $f$  significa que numa mesma descarga líquida, são aceitáveis valores de descarga sólida variando de  $1/f$  a  $f$  vezes o valor obtido pela curva-chave, o que ilustra a grande dispersão dos pontos naturalmente encontrada neste tipo de gráfico” (CASTILHO e PINTO, 2003).

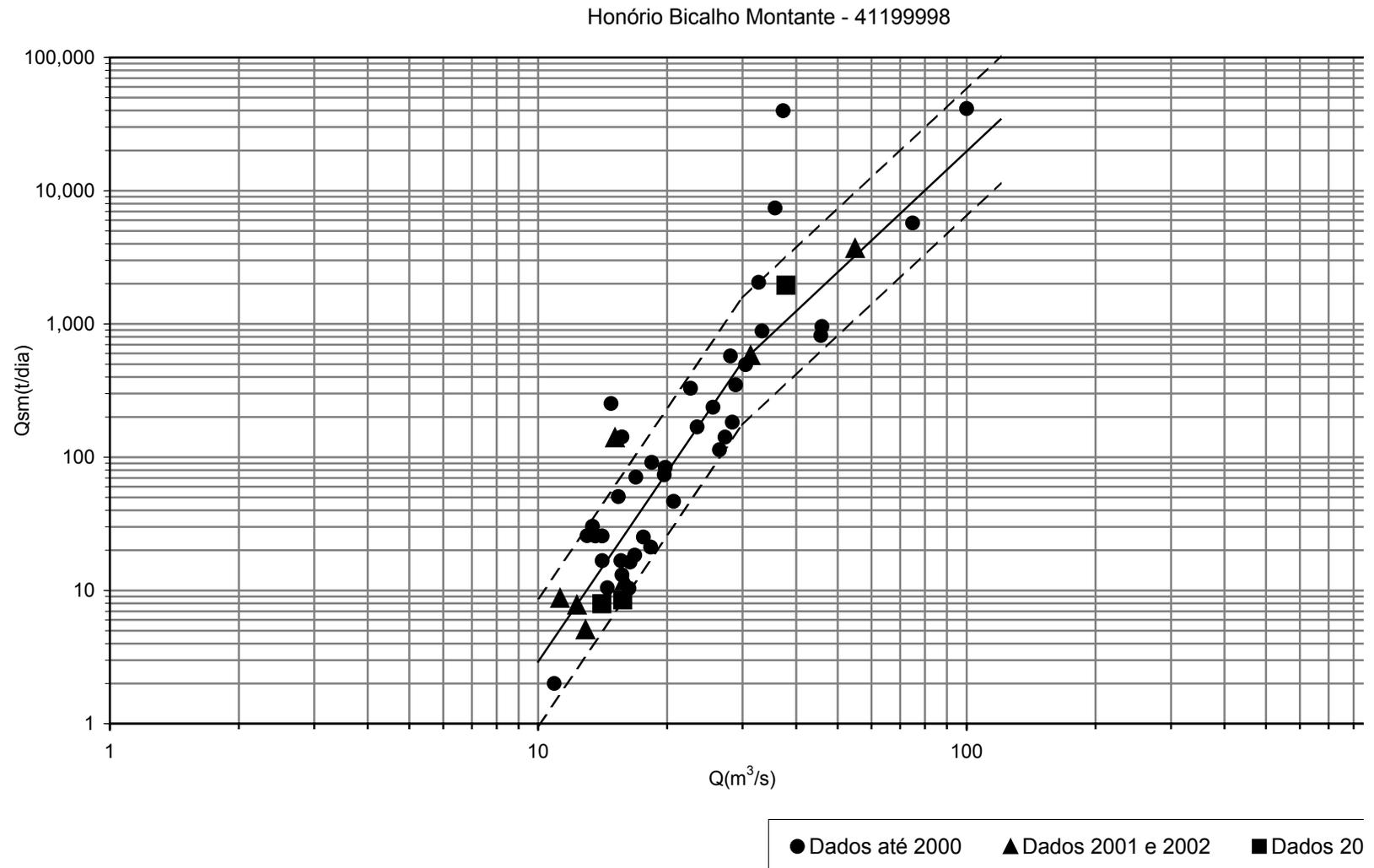


GRÁFICO 40 – Curva-chave da estação Honório Bicalho

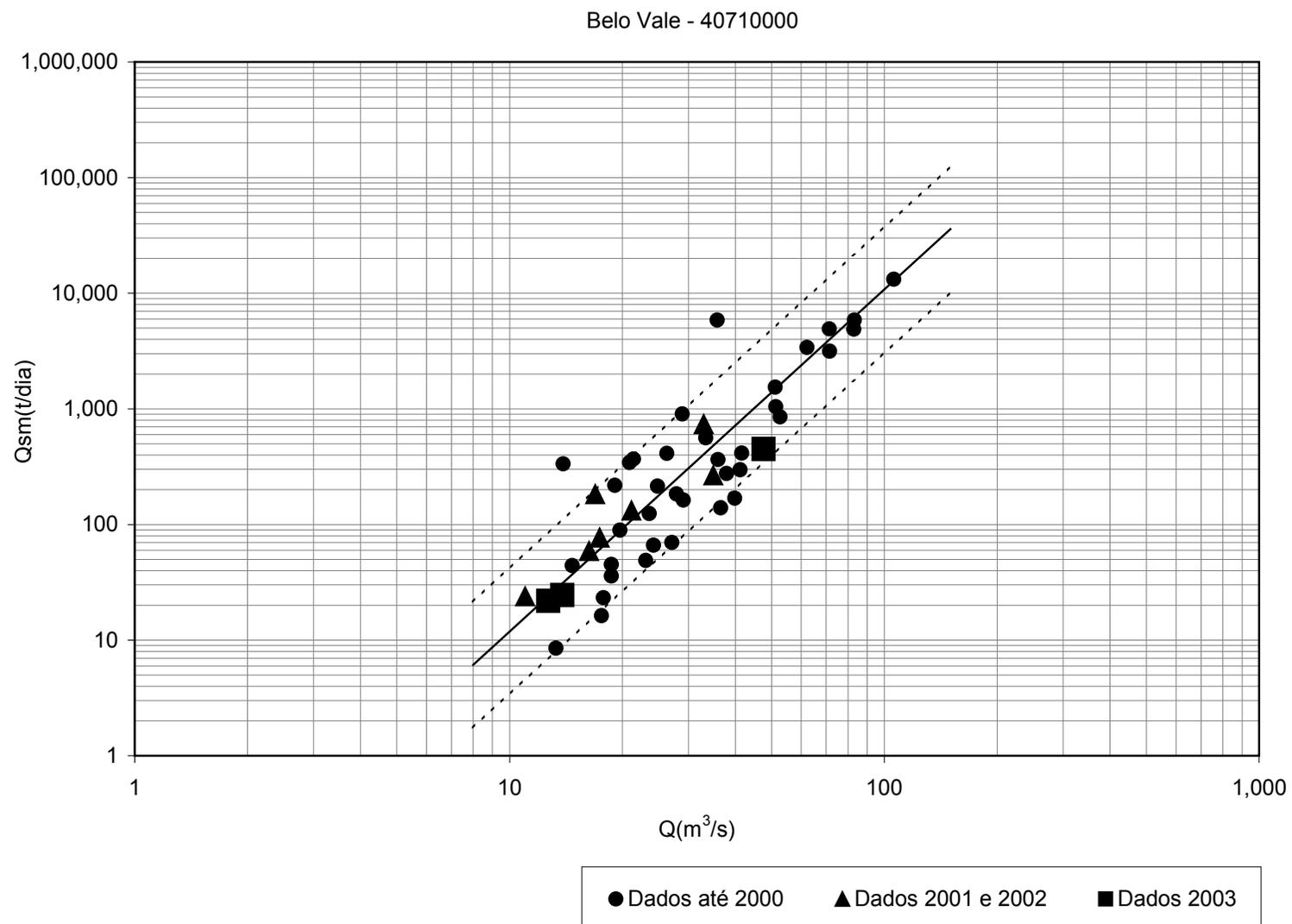


GRÁFICO 41 – Curva-chave da estação Belo Vale

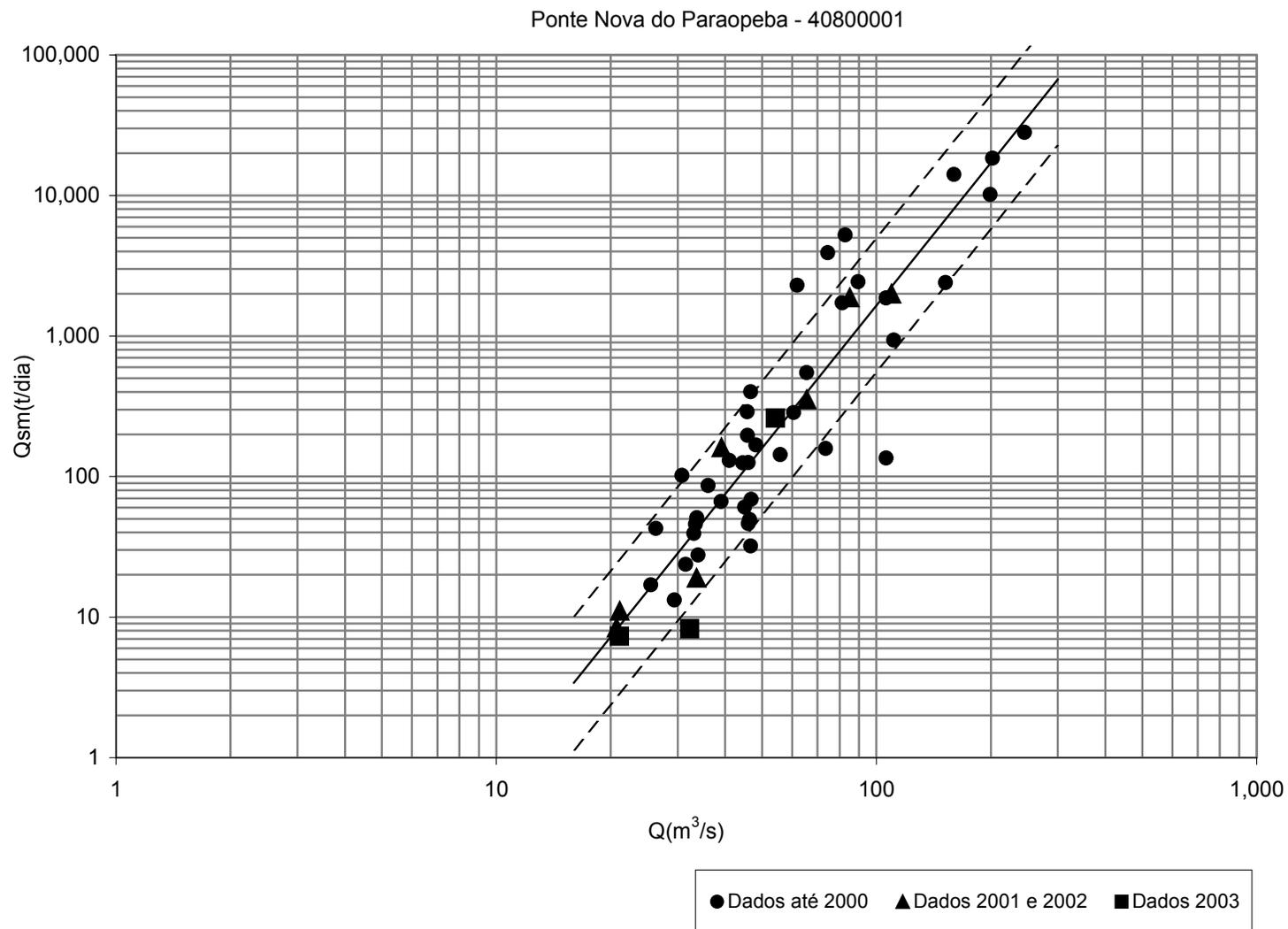


GRÁFICO 42 – Curva-chave da estação Ponte Nova do Paraopeba

### 9.3.3 Cálculo da Produção Anual de Sedimentos

Produção específica de sedimentos é a relação entre a vazão de sólidos em suspensão anual e a área de drenagem da bacia contribuinte.

Os valores da produção anual de sedimentos foram calculados a partir da vazão líquida média anual das estações analisadas. Os resultados estão apresentados na TAB. 58.

TABELA 58  
Produção anual de sedimentos em suspensão (t/km<sup>2</sup>.ano)

Ano	Estações		
	Honório Bicalho	Belo Vale	Ponte Nova do Paraopeba
1988/89	25	75	17
1989/90	28	60	24
1990/91	158	*	124
1991/92	144	*	104
1992/93	167	350	91
1993/94	86	168	64
1994/95	37	130	35
1995/96	83	214	64
1996/97	354	424	234
1997/98	97	*	27
1998/99	12	*	18
1999/00	78	77	34
2000/01	27	33	9
2001/02	112	87	32

(\*) Anos hidrológicos com dados incompletos

Pode-se notar que, no período monitorado, o ano hidrológico de maior produção de sedimentos em suspensão foi o de 1996/1997, quando foi registrada uma grande cheia na região. No entanto, os valores de produção de sedimentos encontrados mesmo para o ano de 1996/1997, considerando a descarga de fundo como 10 a 30% da descarga em suspensão, estão na faixa dos valores normais de produção de sedimento, segundo [Carvalho](#) (1994).

Apesar da ordem de grandeza da produção de sedimentos das três estações ser a mesma, verifica-se uma maior produção de sedimentos em Belo Vale, localizada na bacia do rio Paraopeba, e cuja área de drenagem é de 2.700 km<sup>2</sup>, se comparada com a estação Honório Bicalho, na bacia do rio das Velhas, cuja área de drenagem é de 1.700 km<sup>2</sup>. Além disso, verifica-se uma maior produção de sedimentos em Belo Vale também se comparada à Ponte Nova do Paraopeba (área de drenagem igual a 5.700 km<sup>2</sup>). Esses valores são esperados, já que a produção de sedimentos, segundo [Khosha](#) em [Carvalho](#) (1994), decresce com o aumento da área de drenagem.

A análise da evolução da produção de sedimentos das bacias foi feita através da análise dos diagramas de dupla massa. Para o traçado desse diagrama foram utilizados valores acumulados ano a ano da produção de sedimentos em suspensão, em função das descargas líquidas correspondentes acumuladas da série disponível.

Os [GRAF. 43 a 45](#) apresentam os diagramas traçados.

Através da análise dos diagramas de massas, verificou-se que os anos hidrológicos mais chuvosos apresentaram um aumento de produção de sedimentos, pois, devido ao aumento da vazão, uma maior quantidade de sedimentos foi transportada pelo curso d'água. Além disso, não foram verificados desvios significativos nas curvas que indicassem um aumento causado por degradação na bacia.

**Ponte Nova do Paraopeba - Rio Paraopeba**  
**Evolução da Produção de Sedimentos**

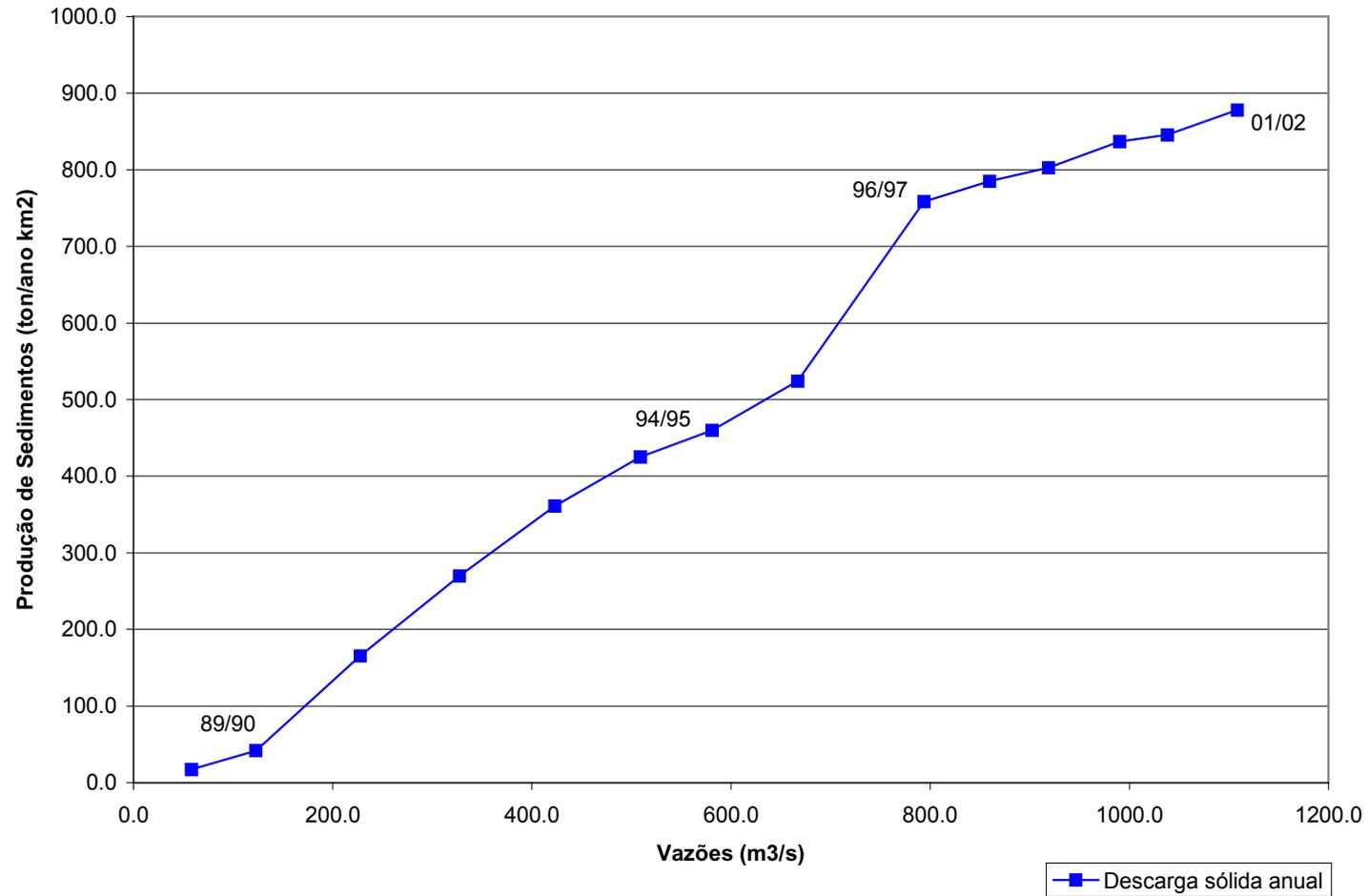


GRÁFICO 43 – Diagrama de massa da estação Ponte Nova do Paraopeba

**Belo Vale - Rio Paraopeba**  
**Evolução da Produção de Sedimentos**

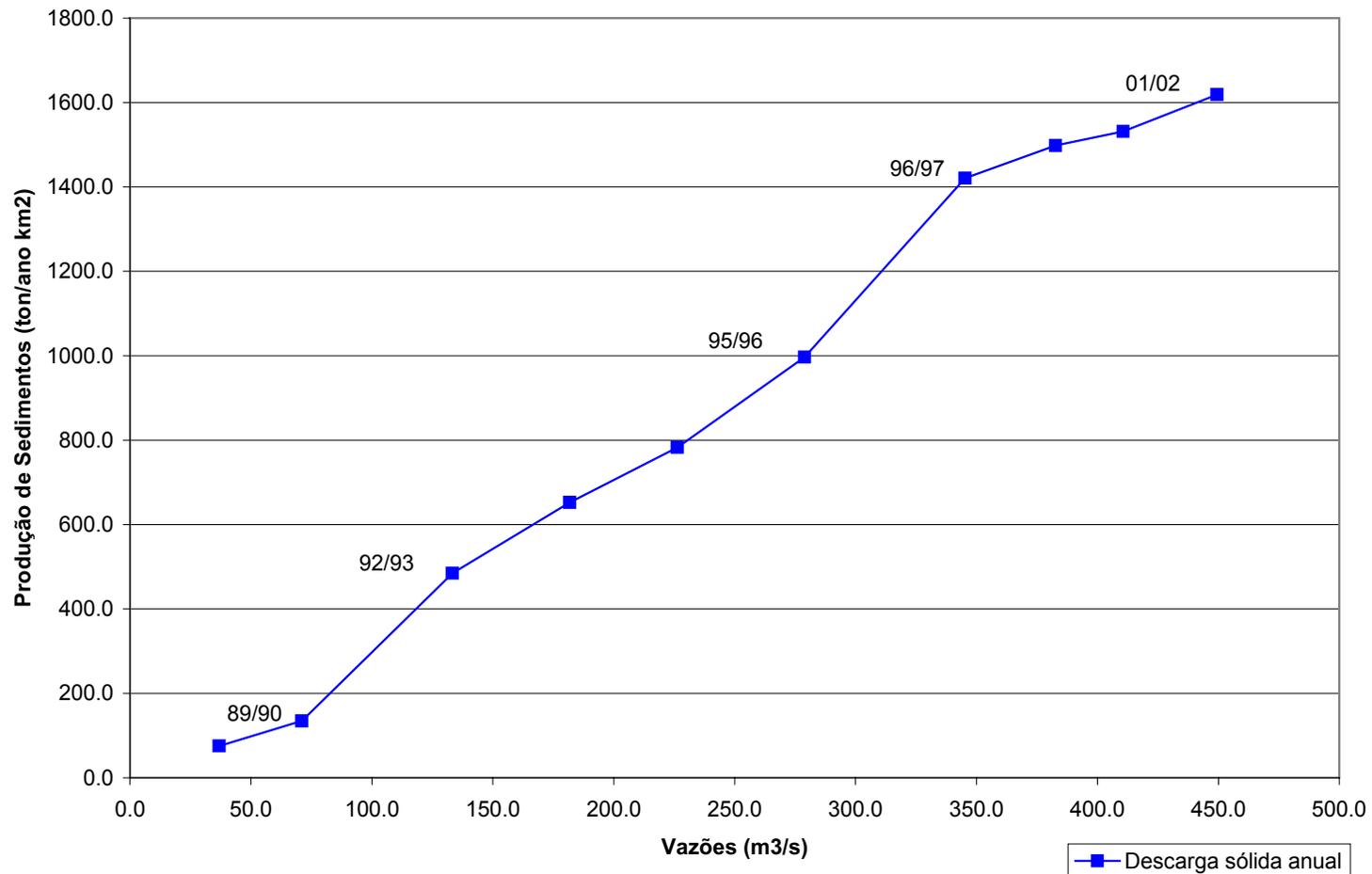


GRÁFICO 44 – Diagrama de massa da estação Belo Vale

Honório Bicalho - Rio das Velhas  
Evolução da Produção de Sedimentos

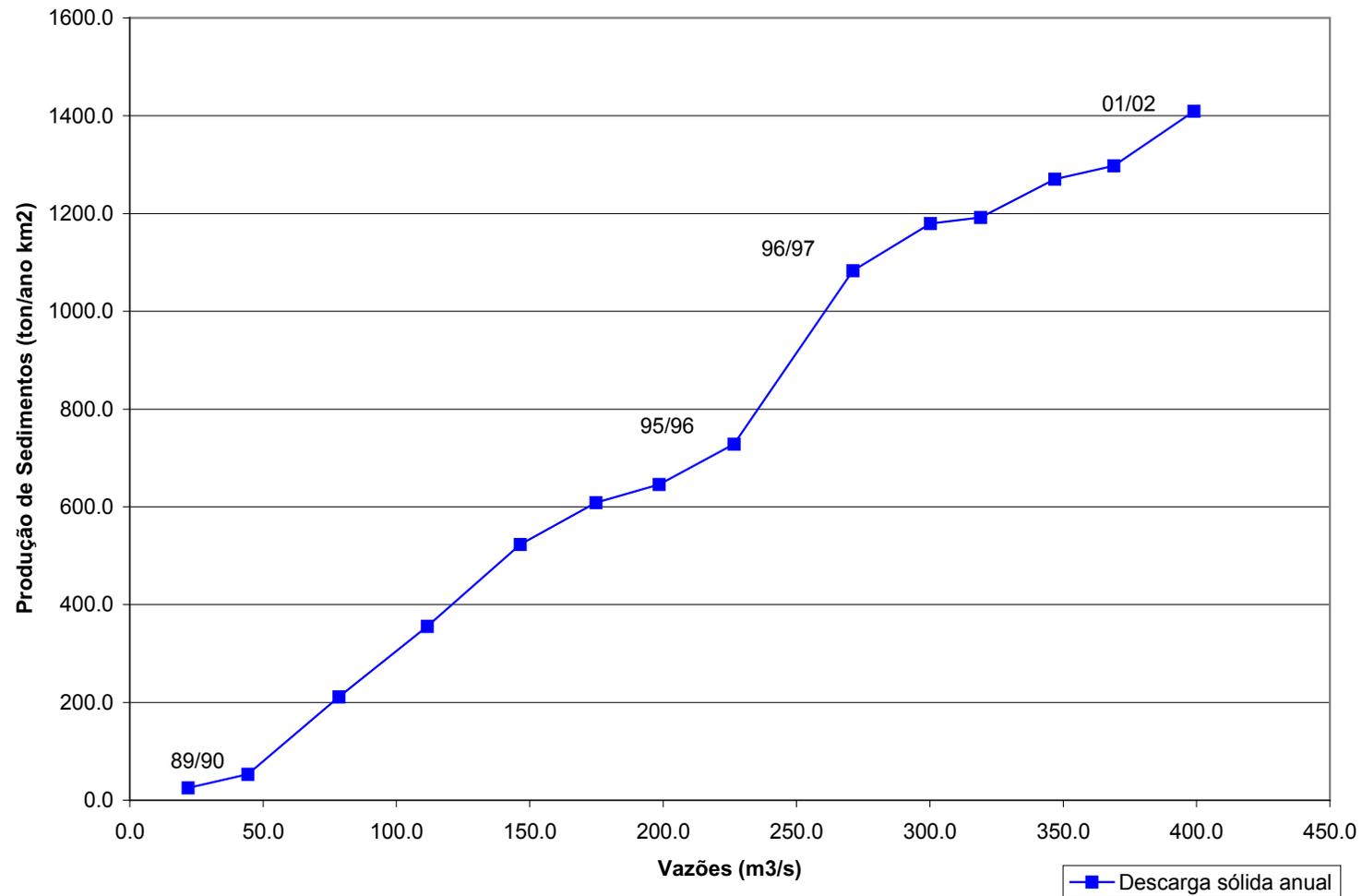
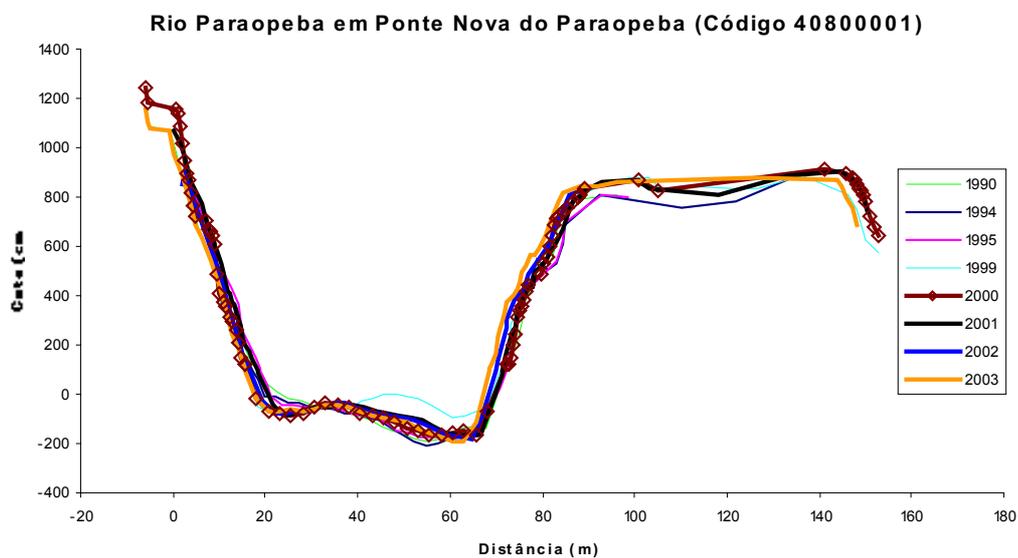
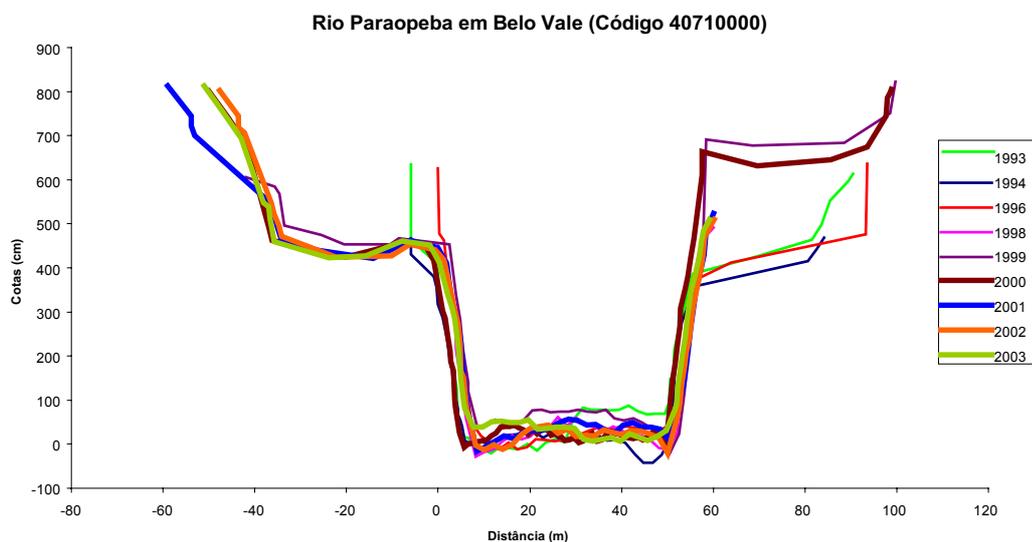


GRÁFICO 45 – Diagrama de massa da estação Honório Bicalho

Por fim, foram analisadas as mudanças verificadas nas calhas dos rios a partir das seções transversais disponíveis, levantadas em épocas diferentes nas estações analisadas.

As seções transversais e os períodos analisados estão apresentados nos GRAF. 46 a 49.



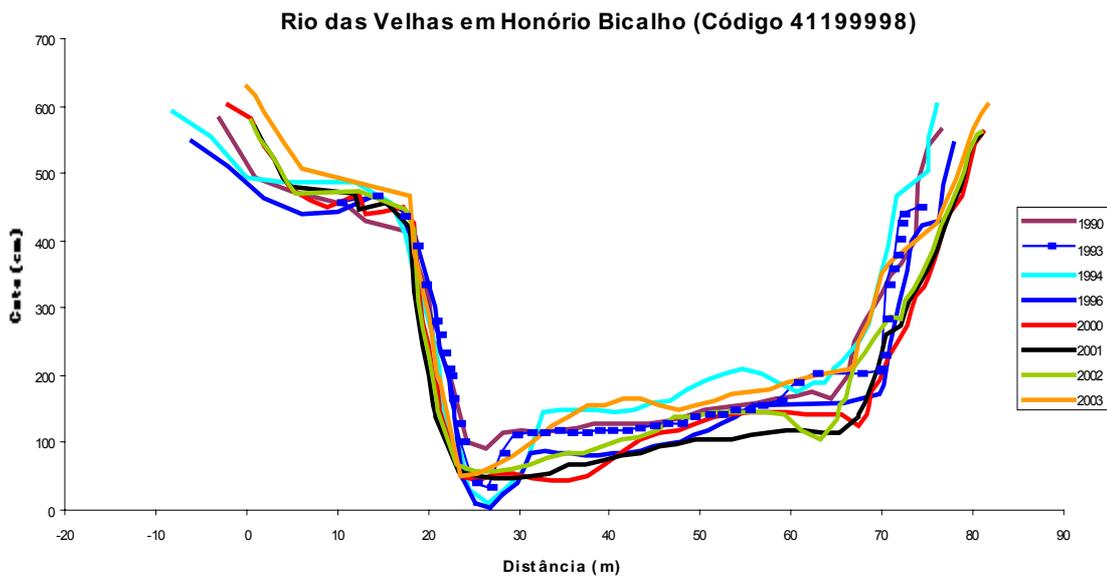


GRÁFICO 48 – Seção Transversal

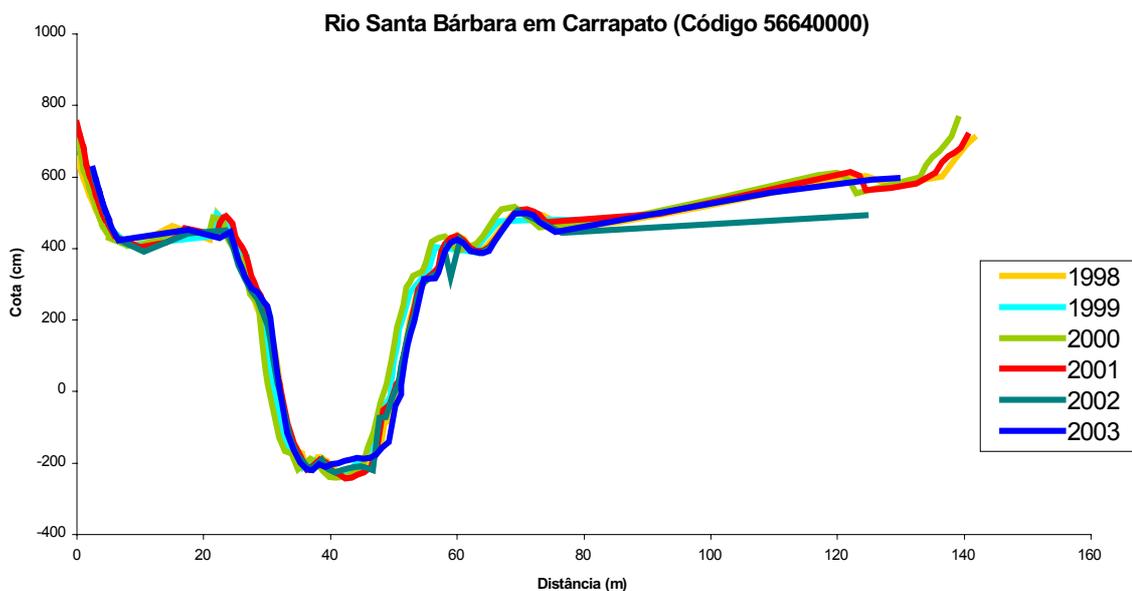


GRÁFICO 49 – Seção Transversal

Nas seções analisadas não foram verificadas mudanças significativas que indicassem a evolução de um assoreamento indesejável.

#### 9.4 Informações Adicionais

Para complementar o estudo foram levantadas as feições erosivas cadastradas pela equipe de geomorfologia e geotecnia no período de novembro a dezembro de 2002, abril de 2003 e março a abril de 2004. Esses dados foram obtidos a partir de observações diretas de campo em todos os locais acessíveis dentro da região da APA Sul RMBH.

A **FIG. 15** ilustra as feições erosivas levantadas.

Também foram mapeadas as barragens de contenção de rejeitos e de resíduos de empreendimentos industriais e de mineração dentro da região da APA, segundo o cadastro realizado pela FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente, no estudo “Avaliação do potencial de dano ambiental das barragens de contenção e rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração no estado de Minas Gerais” – maio/2004.

A **FIG. 16** ilustra as barragens de rejeito cadastradas na região da APA.

O **QUAD. 1** correlaciona as feições erosivas às barragens de rejeito em cada sub-bacia. São também apresentadas sugestões quanto ao acompanhamento desses pontos, como parte da proposta de monitoramento.

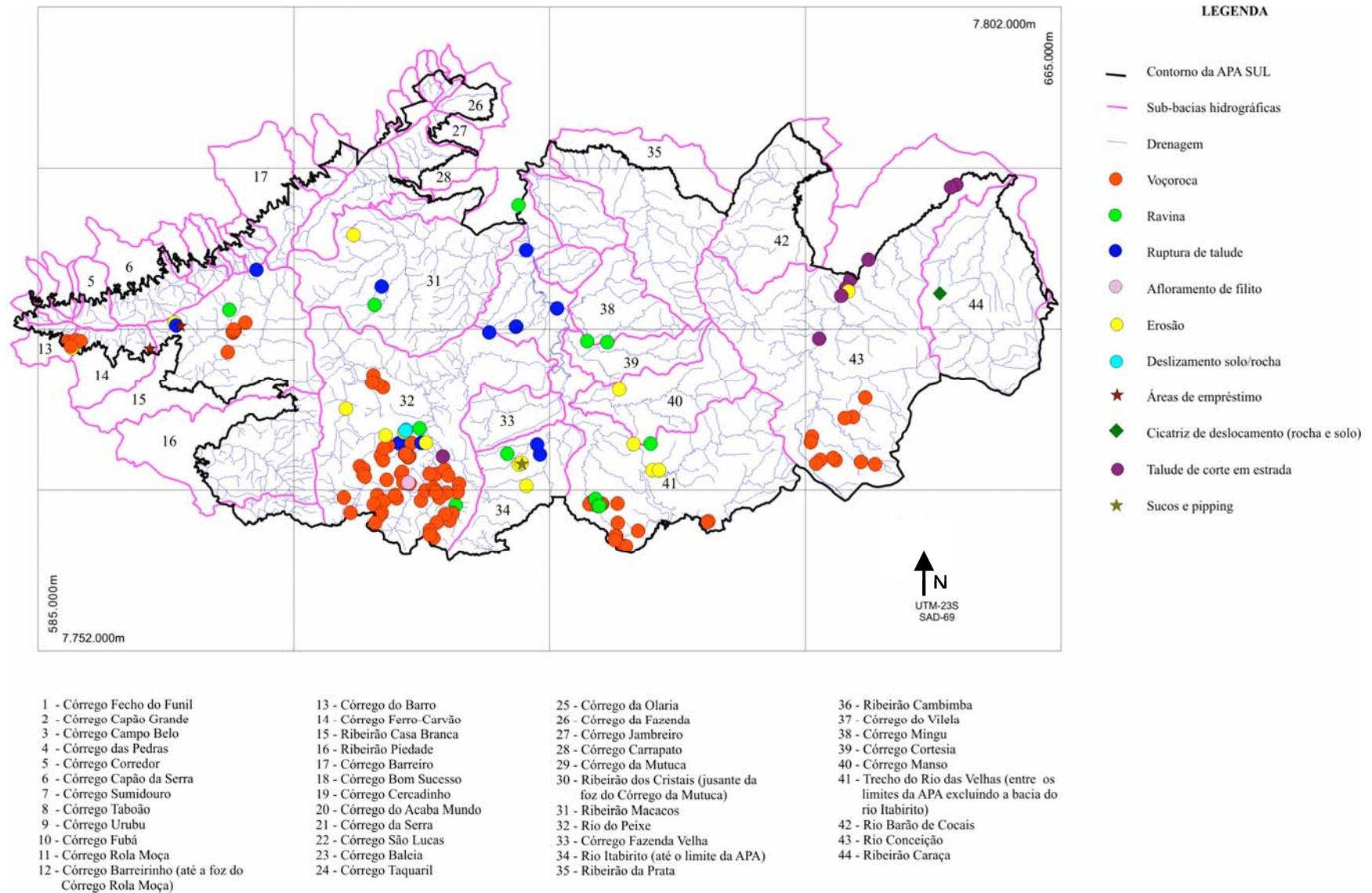
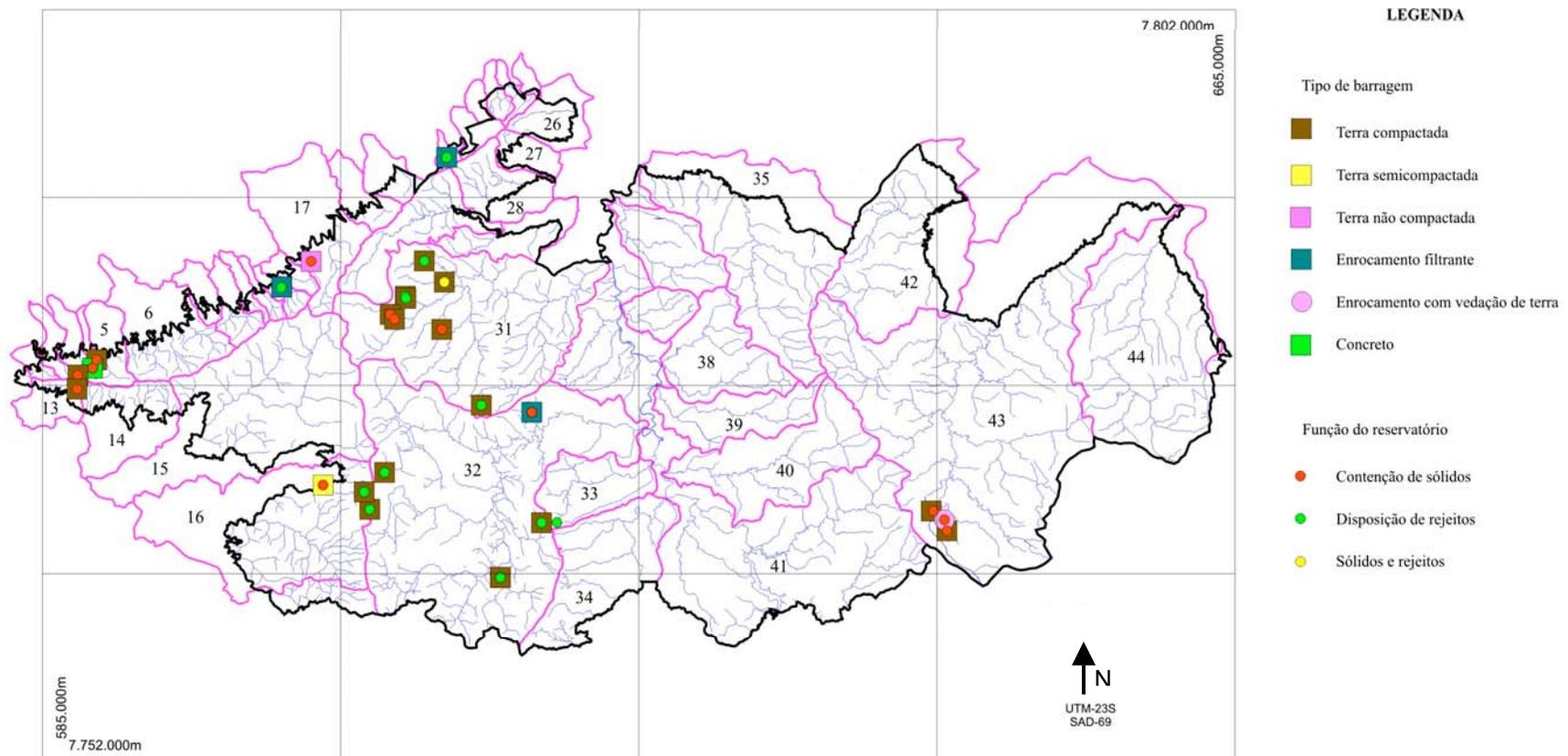


FIGURA 15 – Feições erosivas



1 - Córrego Fecho do Funil  
 2 - Córrego Capão Grande  
 3 - Córrego Campo Belo  
 4 - Córrego das Pedras  
 5 - Córrego Corredor  
 6 - Córrego Capão da Serra  
 7 - Córrego Sumidouro  
 8 - Córrego Taboão  
 9 - Córrego Urubu  
 10 - Córrego Fubá  
 11 - Córrego Rola Moça  
 12 - Córrego Barreirinho (até a foz do Córrego Rola Moça)

13 - Córrego do Barro  
 14 - Córrego Ferro-Carvão  
 15 - Ribeirão Casa Branca  
 16 - Ribeirão Piedade  
 17 - Córrego Barreiro  
 18 - Córrego Bom Sucesso  
 19 - Córrego Cercadinho  
 20 - Córrego do Acaba Mundo  
 21 - Córrego da Serra  
 22 - Córrego São Lucas  
 23 - Córrego Baleia  
 24 - Córrego Taquaril

25 - Córrego da Olaria  
 26 - Córrego da Fazenda  
 27 - Córrego Jambreiro  
 28 - Córrego Carrapato  
 29 - Córrego da Mutuca  
 30 - Ribeirão dos Cristais (jusante da foz do Córrego da Mutuca)  
 31 - Ribeirão Macacos  
 32 - Rio do Peixe  
 33 - Córrego Fazenda Velha  
 34 - Rio Itabirito (até o limite da APA)  
 35 - Ribeirão da Prata

36 - Ribeirão Cambimba  
 37 - Córrego do Vilela  
 38 - Córrego Mingu  
 39 - Córrego Cortesia  
 40 - Córrego Manso  
 41 - Trecho do Rio das Velhas (entre os limites da APA excluindo a bacia do rio Itabirito)  
 42 - Rio Barão de Cocais  
 43 - Rio Conceição  
 44 - Ribeirão Caraça

FIGURA 16 – Localização das barragens de rejeito

QUADRO 1  
Feições erosivas e barragens de rejeito por sub-bacia

Bacia	Feições erosivas	Barragem de rejeito		Sugestões
		Tipo de barragem	Função do reservatório	
Córrego Capão Grande		Terra compactada	Contenção de sólidos	
Córrego Corredor		Concreto	Contenção de sólidos	
		Terra compactada	Contenção de sólidos	
Córrego Rola Moça		Enrocamento filtrante	Disposição de rejeitos	
Córrego do Barro		Terra compactada	Contenção de sólidos	Monitoramento detalhado das feições
	Voçoroca			
	Ravina			
Córrego Ferro- Carvão	Voçoroca			Monitoramento detalhado das feições
	Área de empréstimo			
Córrego Casa Branca	Voçoroca			Monitoramento sedimentométrico a jusante da confluência do córrego da Índia com rib. Casa Branca
	Ravina			
	taludes com blocos instáveis e feições erosivas			
	talude de corte que sofreu ruptura planar/ rotacional			
	pilhas de material de rejeito s/ evidências de instabilidade ruptura de talude de corte			
Ribeirão Piedade		Terra compactada	Disposição de rejeitos	Monitoramento sedimentométrico no local da estação fluviométrica (*)
		Terra semi compactada	Contenção de sólidos	
Córrego Barreiro		Terra não compactada	Contenção de sólidos	
Córrego Acaba Mundo		Dique filtrante	Disposição de rejeitos	
		S/D	Disposição de rejeitos	
Ribeirão Macacos	grande erosão			Monitoramento sedimentométrico a jusante da confluência do córrego Gordura e na estação fluviométrica
	barragens de rejeito e taludes de cortes em solo residual			
	Ravina			
		Terra compactada	Contenção de sólidos	
		Terra compactada	Disposição de rejeitos	
	Terra compactada	Sólidos e rejeitos		
Córrego Manso	Sulcos erosivos em área de empréstimo			Monitoramento sedimentométrico
	Sulcos erosivos			
	Ravina			
Córrego Mingu	Ravina			Monitoramento detalhado das feições

(\*) Estação fluviométrica instalada para o projeto

QUADRO 1  
Feições erosivas e barragens de rejeito por sub-bacia (conclusão)

Bacia	Feições erosivas	Barragem de rejeito		Sugestões
		Tipo de barragem	Função do reservatório	
Rio de Peixe	Voçoroca			Levantamento topográfico do reservatório da represa de Codornas
	Ravina			
	Afloramento defilido			
	Erosão e deslizamento de solofocha			
	Estrada			
	Ruptura de talude de corte			
	Ruptura de talude e sulcos			
	Sulcos erosivos			
		Terra compactada	Disposição de rejeitos	
		Voçoroca		
	Erosão profunda		Levantamento topográfico do reservatório da represa de Miguelão	
	Voçoroca			
		Terra compactada	Disposição de rejeitos	
	Voçoroca		Represa TS	
	Deslizamento solofocha			
		Enrocamento filtrante	Contenção de sólidos	
Trecho Velhas	Voçoroca			Monitoramento sedimentométrico a montante da Represa rio de Pedras
	Sulcos erosivos			
				Monitoramento sedimentométrico a jusante da confluência com o rio Itabirito
	Voçoroca			
	Ravina			
	Ruptura em talude			
	Ruptura em talude de corte			
Rio Itabirito	Sulcos erosivos			
	sulcos e pipping			
	Ruptura de taludes de corte			
	Ravina			
Córrego Fazenda Velha		S/D	Disposição de rejeitos	
Rio Conceição	Voçoroca			Monitoramento sedimentométrico a jusante da confluência com córrego Engenho e no local da estação fluviométrica (*)
	Ravina			
	Sulcos erosivos			
	Deslizamento em talude de corte em estrada			
		Terra compactada	Contenção de sólidos	
	Enrocamento c/vedação terra	Contenção de sólidos		
Ribeirão Caração	cicatriz de deslizamento (blocos e solo)			

(\*) Estação fluviométrica instalada para o projeto

### 9.5 Proposta de uma Rede Sedimentométrica na Região da APA Sul RMBH

Neste estudo, foi feita a caracterização hidrossedimentológica das águas superficiais em torno da APA Sul RMBH por meio da análise da produção de sedimentos em suspensão das estações sedimentométricas disponíveis na rede de monitoramento ANA/ANEEL. Os dados analisados provêm de estações com áreas de drenagem muito maiores do que as das sub-bacias pertencentes à APA Sul RMBH, e portanto servem apenas como referência para a análise sedimentométrica da região de interesse desse estudo. Além disso, a operação da rede sedimentométrica da ANA não permite que se extraia maiores informações sobre os dados.

A carência de dados sedimentométricos específicos da APA Sul RMBH, bem como a inexistência de uma rede de estações com uma operação mais adequada e detalhada, impedem a realização de um estudo mais pormenorizado. Sendo assim, sugerimos a instalação de uma rede de monitoramento sedimentométrico dentro da região.

A [FIG. 17](#) indica os pontos onde deverão ser instaladas estações sedimentométricas de modo a garantir a coleta de uma série de dados adequada para futuros estudos na APA Sul RMBH.

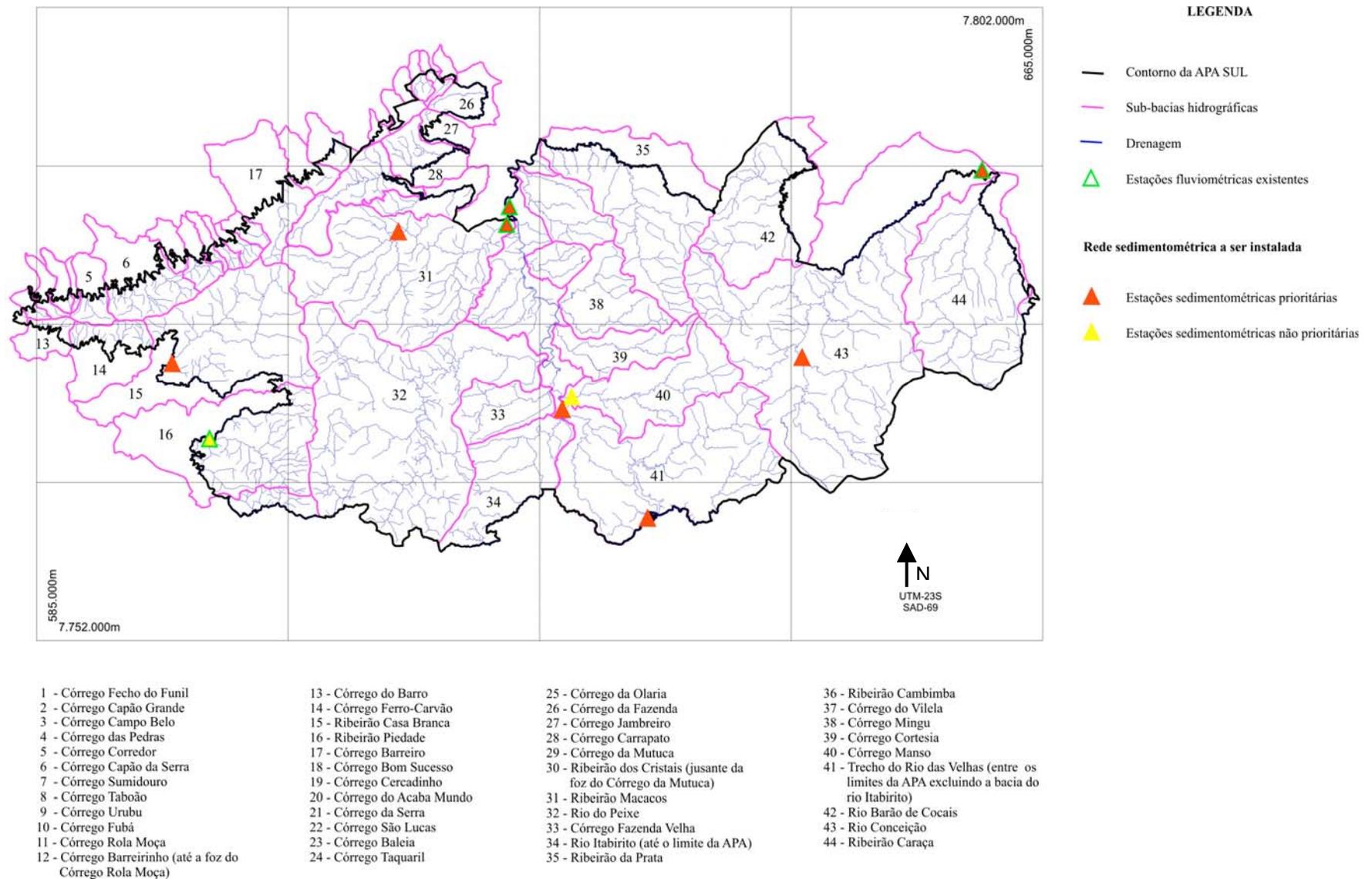


FIGURA 17 – Rede de monitoramento sedimentométrica proposta

## **10. QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA APA SUL RMBH**

---

### **10.1 Introdução**

A qualidade das águas superficiais depende de características ambientais da região (litologia, pedologia, geomorfologia, vegetação, clima), do ecossistema aquático e, principalmente, da atividade antrópica. Essa última provoca intensas modificações nos cursos d'água tanto em termos de composição quanto em quantidade.

A caracterização da qualidade das águas é feita a partir de indicadores químicos, físicos, físico-químicos e microbiológicos. Os indicadores de qualidade podem ser utilizados, dependendo do objetivo do estudo, para identificação de fontes poluidoras, avaliação de problemas ambientais específicos, monitoramento de alerta de situações conflitantes (uso/qualidade ou uso/quantidade), etc.

Os indicadores de qualidade das águas, ou mais comumente conhecidos como parâmetros, são mensuráveis por procedimentos analíticos padronizados por entidades especializadas. Para tanto, são coletadas amostras representativas do curso d'água, devendo-se obedecer a cuidados técnicos apropriados, como o volume e número de amostras adequados.

### **10.2 Objetivo**

Este trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade das águas superficiais na APA Sul RMBH, de forma a contribuir para o estabelecimento de critérios para o planejamento sócio-econômico e ambiental da área de estudo.

### **10.3 Metodologia**

A execução dos trabalhos consistiu nas etapas a seguir:

- Pesquisa bibliográfica;
- Levantamento de dados secundários de qualidade das águas superficiais;
- Planejamento de uma rede de monitoramento de qualidades das águas superficiais;
- Levantamento e análise do Índice de Qualidade da Água (IQA);

- Cálculo e análise de Contaminação por Tóxicos – CT (IGAM, 2003);
- Levantamento de legislações ambiental e de recursos hídricos nas esferas Nacional e Estadual pertinentes à qualidade das águas;
- Análise comparativa entre o enquadramento dos cursos d'água e a qualidade das águas a partir de resultados de análises químicas de monitoramentos utilizados no projeto APA Sul RMBH;
- Análise comparativa entre o enquadramento em classes de QA dos cursos d'água e o tema uso e ocupação do solo; e
- Comparação entre o enquadramento e o tema uso e ocupação do solo.

#### 10.3.1 Pesquisa Bibliográfica

Os estudos e dados disponibilizados por entidades públicas e privadas foram os seguintes:

- Relatórios do Projeto Águas de Minas referentes às bacias dos rios das Velhas e Paraopeba (IGAM, 2003a; IGAM, 2003b);
- Programa Nacional do Meio Ambiente II – PNMAII – MG (IGAM, 2004);
- Dados de análises do monitoramento de qualidade das águas dos mananciais de abastecimento executados pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA-MG;
- Avaliação das Interferências Ambientais da Mineração nos Recursos Hídricos na Bacia do Alto Rio das Velhas (IGAM, 2001);
- Projeto Rio Doce (ADOCE, 1998);
- Dados de oxigênio dissolvido da estação Honório Bicalho Montante (41199998) da rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas – ANA (ANA, 2004); e
- Dados de monitoramento executado pelas mineradoras Ferteco, MBR e Anglogold.

#### 10.3.2 Dados Secundários de Qualidade das Águas Superficiais

Neste projeto, foram utilizados resultados de análises químicas, físicas, físico-químicas e microbiológicas gerados pelos monitoramentos do Projeto Águas de Minas, do PNMAII e nos mananciais de abastecimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) operadas pela COPASA-MG. Incluem-se, ainda, dados de oxigênio dissolvido da estação Honório Bicalho Montante da rede hidrometeorológica da ANA. Do Projeto do Rio Doce não foi possível utilizar quaisquer resultados de análise, pois os disponíveis na bacia do rio Piracicaba não atendiam aos objetivos do projeto.

A seleção dos pontos de monitoramento, das fontes mencionadas acima, considerou os localizados dentro da área da APA Sul. Entretanto, foi importante considerar a influência da qualidade das águas de cursos d'água que chegam na área de estudo. De igual relevância, considerou, também, a contribuição da qualidade das águas da APA Sul para a hidrografia a jusante da mesma.

Na **TAB. 59** consta a relação de pontos de monitoramento selecionados bem como sua descrição. A visualização espacial dos pontos de monitoramento consta no **APÊNDICE D**.

A **TAB. 60** exhibe o número de campanhas de campo nesses pontos de monitoramento. Todos os dados de análises disponibilizados estão armazenados num banco de dados, utilizando-se o software Microsoft Access (**APÊNDICE E**).

### 10.3.2.1 Consistência de Dados de Oxigênio Dissolvido (OD)

Os dados de oxigênio dissolvido (OD) obtidos foram analisados por um procedimento de consistência com o intuito de identificar resultados errôneos. A análise de consistência consistiu em comparar os dados de OD com valores tabelados de concentração de saturação de oxigênio. O limite aceitável de OD é de até 10 % acima da concentração de saturação de oxigênio.

A concentração de saturação de oxigênio dissolvido em água foi obtida a partir da multiplicação de equações empíricas em função da temperatura (PÖPEL, 1979, *apud*: VON SPERLING, 1996), e da pressão, representada pela altitude (QASIM, 1985, *apud*: VON SPERLING, 1996):

$$C_s = C_T \times f_H \quad (10.3.1)$$

Onde:

$$C_T = 14,652 - 4,1022 \times 10^{-1} T + 7,9910 \times 10^{-3} T^2 - 7,77774 \times 10^{-5} T^3 \quad (10.3.2)$$

$$f_H = \frac{C'_s}{C_s} = \left(1 - \frac{H}{9450}\right) \quad (10.3.3)$$

$C_T$  = concentração de saturação de oxigênio em função da temperatura (mg/L)

T = temperatura da água (°C)

$f_H$  = fator de correção de saturação de oxigênio pela altitude (-)

$C'_s$  = concentração de saturação de oxigênio em função da altitude H (mg/L)

H = altitude (m)

### 10.3.2.2 "Amônia Não-ionizável"

A "amônia não ionizável" foi estimada a partir do nitrogênio amoniacal pela seguinte equação:

$$pKa = \frac{A + B}{C + T} \quad (10.3.4)$$

$$C_{NH_3} = \frac{C_{NH_4}}{1 + 10^{pKa + pH}} \quad (10.3.5)$$

onde: ka = constante de equilíbrio

pka = logaritmo de ka

T = temperatura da água em graus Celsius

A = 0,1556

B = 2714,12

C = 273,2

$C_{NH_3}$  = Concentração de amônia não ionizável

$C_{NH_4}$  = Concentração de nitrogênio amoniacal

TABELA 59 - Descrição dos pontos de monitoramento utilizados.

Ponto de monitoramento	Descrição	Curso d'água	Classe	Latitude	Longitude	Altitude	Tipo	Operação
0600000401 <sup>(1)</sup>	Barragem Tabões I - Barragem do Recalque	Córrego Tabões	1	7781580	598357	-	Manancial superficial	COPASA-MG
0600000402 <sup>(1)</sup>	Barragem Tabões II - Principal	Córrego Tabões	1	7781498	599240	-	Manancial superficial	COPASA-MG
0600000403 <sup>(1)</sup>	Barragem Tabões III (Barraginha) - Auxiliar Tabões II	Córrego Tabões	1	7781104	598795	-	Manancial superficial	COPASA-MG
0600000601 <sup>(1)</sup>	Captação Mutuca – barragem principal	Córrego Mutuca	Especial	7786968	607850	1120	Manancial superficial	COPASA-MG
0600000602 <sup>(1)</sup>	Captação Mutuca – barragem auxiliar	Córrego Mutuca	Especial	7787080	607843	1170	Manancial superficial	COPASA-MG
0600000701 <sup>(1)</sup>	Captação Catarina - Barragem Principal	Ribeirão Catarina	1	7780647	604590	-	Manancial superficial	COPASA-MG
0600000702 <sup>(1)</sup>	Captação Catarina - Barragem Auxiliar II	Ribeirão Catarina	1	7780492	603838	-	Manancial superficial	COPASA-MG
0600000703 <sup>(1)</sup>	Captação Catarina - Barragem Auxiliar II	Ribeirão Catarina	1	7780380	603995	-	Manancial superficial	COPASA-MG
0600000704 <sup>(1)</sup>	Captação Catarina - Barragem Reserva	Ribeirão Catarina	1	7780060	603440	-	Manancial superficial	COPASA-MG
0600000901 <sup>(1)</sup>	Captação Fechos – barragem principal	Córrego Fechos	Especial	7780104	608285	1100	Manancial superficial	COPASA-MG
0600000902 <sup>(1)</sup>	Captação Fechos – barragem auxiliar	Córrego Fechos	Especial	7780813	609442	1140	Manancial superficial	COPASA-MG
0600000907 <sup>(2)</sup>	Captação córrego Seco	Córrego Seco	1	200305	435640	960	Manancial superficial	COPASA-MG
0600000908 <sup>(2)</sup>	Citral Química – Fechos	-	-	200356	435916	1370	Poço - Capão Xavier	COPASA/MBR
0600000909 <sup>(2)</sup>	Floricultura Samambaia – Fechos	-	-	200430	435901	1350	Poço - Capão Xavier	COPASA/MBR
0600000910 <sup>(2)</sup>	Condomínio Serra dos Manacás – Fechos	-	-	200505	435859	1390	Poço - Capão Xavier	COPASA/MBR
0600001101 <sup>(1)</sup>	Bela Fama – Alça Direita	Rio das Velhas	2	7787061	622271	730	Manancial superficial	COPASA-MG
0600001103 <sup>(2)</sup>	Ribeirão dos Macacos a montante do rio das Velhas	Ribeirão dos Macacos	1	20°01'40"	43°49'45"	730	Manancial superficial	COPASA-MG
0600001104 <sup>(2)</sup>	Rio das Velhas a montante de Rio Acima	Rio das Velhas	2	20°08'12"	43°47'30"	760	Manancial superficial	COPASA-MG
0600001107 <sup>(2)</sup>	Rio Itabirito a montante do rio das Velhas	Rio Itabirito	2	20°11'36"	43°48'21"	820	Manancial superficial	COPASA-MG
0600001108 <sup>(2)</sup>	Rio das Velhas a montante do rio Itabirito	Rio das Velhas	2	20°10'00"	43°47'02"	790	Manancial superficial	COPASA-MG
0600001109 <sup>(2)</sup>	Bela Fama – Alça Esquerda	Rio das Velhas	2	20°01'03"	43°49'51"	730	Manancial superficial	COPASA-MG
0600001502 <sup>(2)</sup>	Mina do Tamanduá – Piezômetro MBR	-	-	20°05'38"	43°56'36"	1280	Poço - Capão Xavier	COPASA/MBR
BV013 <sup>(3)</sup>	Rio das Velhas logo a montante do rio Itabirito	Rio das Velhas	2	20°10'00"	43°47'00"	780	Água de superfície	IGAM
BV035 <sup>(3)</sup>	Rio Itabirito a jusante do córrego Cata Banca	Rio Itabirito	2	20°14'00"	43°48'00"	840	Água de superfície	IGAM
BV037 <sup>(3)</sup>	Rio das Velhas logo a jusante da foz do rio Itabirito	Rio das Velhas	2	20°08'00"	43°48'00"	760	Água de superfície	IGAM
BV062 <sup>(3)</sup>	Ribeirão Água Suja próximo de sua foz no rio das Velhas	Ribeirão Água Suja	2	19°58'55"	43°49'32"	740	Água de superfície	IGAM
BV063 <sup>(3)</sup>	Rio das Velhas logo a jusante do ribeirão Água Suja	Rio das Velhas	2	19°58'00"	43°49'00"	740	Água de superfície	IGAM
BV139 <sup>(3)</sup>	Rio das Velhas a montante da ETA/COPASA de Bela Fama	Rio das Velhas	2	20°04'00"	43°49'00"	740	Água de superfície	IGAM
BPO36 <sup>(4)</sup>	Rio Paraopeba na localidade de Melo Franco	Rio Paraopeba	2	20°11'44"	44°07'22"	760	Água de superfície	IGAM
BPO68 <sup>(4)</sup>	Rio Paraopeba no local denominado Fecho do Funil	Rio Paraopeba	2	20°05'34"	44°12'38"	720	Água de superfície	IGAM
41199998 <sup>(5)</sup>	Honório Bicalho Montante	Rio das Velhas	2	20°01'26"	43°49'22"	721	Água de superfície	ANA

TABELA 59 - Descrição dos pontos de monitoramento utilizados. (conclusão)

Ponto de monitoramento	Descrição	Curso d'água	Classe	Latitude	Longitude	Altitude	Tipo	Operação
AV030 <sup>(6)</sup>	Represa Rio de Pedras – Corpo da barragem	Represa Rio das Pedras	2	7764457	632594	903	Água de superfície	IGAM
AV040 <sup>(6)</sup>	Rio das Velhas a montante do Rio Itabirito	Rio das Velhas	2	7765067	630941	760	Água de superfície	IGAM
AV080 <sup>(6)</sup>	Rio Itabirito a montante de Itabirito	Rio Itabirito	2	7757247	625129	899	Água de superfície	IGAM
AV090 <sup>(6)</sup>	Córrego Carioca a montante da cidade de Itabirito	Córrego Carioca	2	7759697	623069	868	Água de superfície	IGAM
AV100 <sup>(6)</sup>	Córrego da Onça a montante do Rio Itabirito	Córrego da Onça	2	7763238	624920	793	Água de superfície	IGAM
AV110 <sup>(6)</sup>	Rio Itabirito a jusante do Córrego da Onça	Rio Itabirito	2	7765849	624597	844	Água de superfície	IGAM
AV120 <sup>(6)</sup>	Córrego Moleque a montante do Rio Itabirito	Córrego Moleque	2	7768057	623906	757	Água de superfície	IGAM
AV130 <sup>(6)</sup>	Rio das Velhas a jusante do Rio Itabirito	Rio das Velhas	2	7772822	626197	721	Água de superfície	IGAM
AV140 <sup>(6)</sup>	Córrego Fazenda Velha a montante do Rio das Velhas	Córrego Fazenda Velhas	2	7771861	626018	719	Água de superfície	IGAM
AV150 <sup>(6)</sup>	Ribeirão Congonhas a montante da Represa das Codornas	Ribeirão Congonhas	1	7767947	615873	1131	Água de superfície	IGAM
AV160 <sup>(6)</sup>	Corpo da Barragem Lagoa Grande	Barragem Lagoa Grande	2	7768538	610512	1284	Água de superfície	IGAM
AV170 <sup>(6)</sup>	Córr. Lagoa Grande a montante da represa das Codornas	Córrego Lagoa Grande	2	7768869	612178	1169	Água de superfície	IGAM
AV180 <sup>(6)</sup>	Lagoa das Codornas	Lagoa das Codornas	2	7769834	615938	1162	Água de superfície	IGAM
AV190 <sup>(6)</sup>	Ribeirão Capitão da Mata a montante do rio do Peixe	Ribeirão Capitão da Mata	2	7773002	615756	1069	Água de superfície	IGAM
AV200 <sup>(6)</sup>	Rio do Peixe a montante do Rio das Velhas	Rio do Peixe	22	7774311	618189	785	Água de superfície	IGAM
AV210 <sup>(6)</sup>	Rio das Velhas a jusante de Rio Acima	Rio das Velhas	2	7778301	626553	716	Água de superfície	IGAM
AV220 <sup>(6)</sup>	Córrego Fechos na barragem principal	Córrego Fechos	Especial	7780102	608257	1101	Água de superfície	IGAM
AV230 <sup>(6)</sup>	Córrego Fechos na barragem auxiliar	Córrego Fechos	Especial	7780861	609464	1087	Água de superfície	IGAM
AV240 <sup>(6)</sup>	Córrego Seco na captação Fechos	Córrego Seco	1	7780859	608506	1140	Água de superfície	IGAM
AV250 <sup>(6)</sup>	Ribeirão Macacos a montante do Rio das Velhas	Ribeirão Macacos	1	7785100	622644	746	Água de superfície	IGAM
AV260 <sup>(6)</sup>	Rio das Velhas em Bela Fama, alça direita	Rio das Velhas	2	7785977	622508	739	Água de superfície	IGAM
AV270 <sup>(6)</sup>	Rio das Velhas em Bela Fama - Alça esquerda	Rio das Velhas	2	7787175	622255	742	Água de superfície	IGAM
AV280 <sup>(6)</sup>	Córrego Mutuca na captação Mutuca - barragem principal	Córrego Mutuca	Especial	7786976	607910	734	Água de superfície	IGAM
AV290 <sup>(6)</sup>	Córrego Mutuca na captação Mutuca - barragem auxiliar	Córrego Mutuca	Especial	7787139	607880	734	Água de superfície	IGAM
AV300 <sup>(6)</sup>	Córrego da Barragem em Nova Lima	Córrego da Barragem	2	7790628	619027	736	Água de superfície	IGAM
AV310 <sup>(6)</sup>	Ribeirão Água Suja a montante do Rio das Velhas	Ribeirão Água Suja	2	7790109	623005	711	Água de superfície	IGAM
AV320 <sup>(6)</sup>	Córrego da Mina a montante do Rio das Velhas	Córrego da Mina	2	7790386	623368	726	Água de superfície	IGAM
AV330 <sup>(6)</sup>	Rio das Velhas a jusante do Córrego da Mina	Rio das Velhas	2	7789869	623714	729	Água de superfície	IGAM
AV340 <sup>(6)</sup>	Ribeirão da Prata a montante do Rio das Velhas	Ribeirão da Prata	1	7790918	625950	709	Água de superfície	IGAM

FONTE: As informações constantes neste quadro foram obtidas em: (1) COPASA-MG, (2) IGAM, 2001, (3) IGAM, 2003a, (4) IGAM, 2003b, (5) ANA, 2004 (6) IGAM, 2004.



TABELA 60  
Número de campanhas de amostragem realizadas nos pontos de monitoramento (conclusão)

Estação	Ano																							Total				
	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999		2000	2001	2002	2003
41199998																1	2	2	3	3	3	3	4	4	3	4	4	36
AV030																												0
AV040																											2	2
AV080																												0
AV090																												0
AV100																										2	6	8
AV110																											2	2
AV120																									2	6	8	
AV130																											2	2
AV140																											6	6
AV150																									2	6	8	
AV160																												0
AV170																											2	2
AV180																												0
AV190																											2	2
AV200																											2	2
AV210																											2	2
AV220																											1	1
AV230																											1	1
AV240																											1	1
AV250																											2	2
AV260																											2	2
AV270																											2	2
AV280																											1	1
AV290																											1	1
AV300																									2	6	8	
AV310																											2	2
AV320																									2	6	8	
AV330																											2	2
AV340																											2	2

Resultados de análises obtidos do banco de dados em IGAM, 2001.

Resultados de análises obtidos do banco de dados em IGAM, 2003a, IGAM, 2003b e COPASA-MG.

### 10.3.3 Índice de Qualidade da Água - IQA

Há diferentes tipos de índices disponíveis na literatura científica para avaliar a qualidade das águas, os quais estabelecem critérios e parâmetros bastante diversificados. O IQA (Índice de Qualidade da Água), desenvolvido pelo National Sanitation Foundation dos Estados Unidos, é o mais utilizado em projetos de monitoramento de qualidade das águas superficiais realizados por entidades públicas no Brasil. Neste caso, utiliza-se a metodologia adaptada pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB – (DERÍSIO, 2000).

O IQA é um número puro gerado a partir de nove parâmetros de qualidade da água, considerados de maior importância segundo vários especialistas da área ambiental. Os parâmetros são: coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total, fosfatos totais, temperatura, turbidez, sólidos totais e oxigênio dissolvido (OD). Cada valor destes parâmetros é lançado numa curva (FIG. 18) com peso relativo  $w_i$  conforme especificado na TAB. 61. Da curva obtém-se um número de 0 a 100, correspondente à contribuição de cada parâmetro para qualidade da água ( $q_i$ ). O IQA é determinado pelo produto ponderado de  $q_i$  elevado ao peso correspondente, dado pela seguinte equação:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (10.3.1)$$

onde: IQA = Índice de Qualidade das Águas;  
 $q_i$  = qualidade do i-ésimo parâmetro;  
 $w_i$  = peso correspondente ao i-ésimo parâmetro;  
 $n$  = número de parâmetros que entram no cálculo do IQA, que neste caso é 9.

TABELA 61  
 Pesos relativos ( $w_i$ ) para os nove parâmetros selecionados para o cálculo do IQA

Parâmetro	Peso ( $w_i$ )
Oxigênio dissolvido (% de saturação)	0,17
Coliformes fecais (NMP/100 mL)	0,15
pH	0,12
DBO (mg O <sub>2</sub> /L)	0,10
Nitratos (mg/L)	0,10
Fosfatos (mg/L)	0,10
Varição de temperatura (°C)	0,10
Turbidez (UNT)	0,08
Sólidos totais (mg/L)	0,08

O valor de IQA varia de 0 a 100 e para cada faixa determina-se nível de qualidade em:

<b>Excelente</b> 90 < IQA ≤ 100
<b>Bom</b> 70 < IQA ≤ 90
<b>Médio</b> 50 < IQA ≤ 70
<b>Ruim</b> 25 < IQA ≤ 50
<b>Muito Ruim</b> 0 < IQA ≤ 25

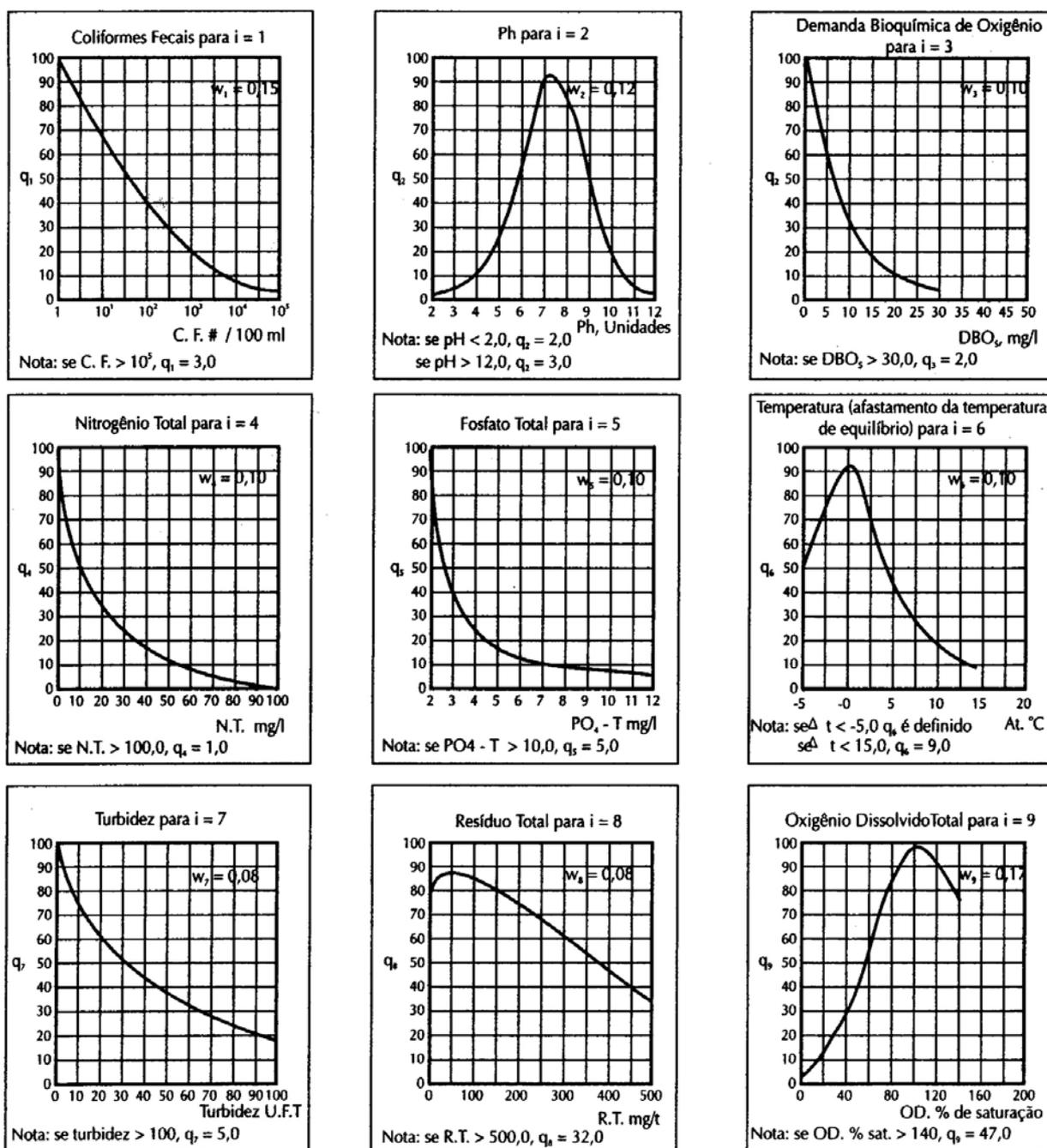


FIGURA 18 - Curvas individuais dos componentes do IQA (DERÍSIO, 2000).

O IQA é uma ferramenta que sintetiza a interferência de efluentes domésticos, nutrientes e sólidos em único número, facilitando a análise de qualidade das águas do curso d'água. Entretanto, o índice não deve ser supervalorizado, mesmo devido às suas vantagens, pois apresenta certas limitações que devem ser consideradas durante a análise dos valores do IQA. Podem-se destacar duas delas: a não individualização dos parâmetros responsáveis pelas variações no índice e a supervalorização dos parâmetros indicadores de poluição orgânica em detrimento aos de outros, que são igualmente relevantes. Devido à essas considerações, neste projeto, o IQA foi utilizado como instrumento para avaliação da qualidade das águas associado à uma análise crítica.

#### 10.3.4 Contaminação por Tóxicos (CT)

O [IGAM](#) (2003a e b) apresentam um critério para avaliar a contaminação por certos parâmetros considerados tóxicos, denominado Contaminação por Tóxicos – CT. Os parâmetros são: amônia, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cianetos, cobre, cromo hexavalente, índice de fenóis, mercúrio, nitritos, nitratos e zinco.

A classificação de CT é definida em três faixas: *baixa*, *média* e *alta*. As faixas são obtidas a partir da multiplicação entre fatores pré-definidos (1,2 e 2) e os valores máximos permitidos dos padrões de qualidade, estabelecidos pela DN do COPAM nº10/86 ([BRASIL](#), 1987), referente à classe de enquadramento do curso d'água em questão, conforme a seguir:

<b>BAIXA</b>	<b>concentração do parâmetro <math>\leq 1,2 P</math></b>
<b>MÉDIA</b>	<b><math>1,2 P &lt; \text{concentração do parâmetro} \leq 2 P</math></b>
<b>ALTA</b>	<b>concentração do parâmetro <math>&gt; 2 P</math></b>

A faixa de CT do corpo d'água é definido pela ocorrência do nível mais inferior para qualquer parâmetro considerado tóxico no período analisado. Portanto, um único parâmetro poderá ser responsável pela faixa do CT. Em [IGAM](#) (2003 a e b) estabelecem que o corpo d'água será classificado com CT alto se houver ocorrência de uma campanha do ano correspondente a duas vezes acima da concentração limite do parâmetro definido na DN 10/86.

#### 10.3.5 Aspectos Legais de Qualidade das Águas e Enquadramento de Cursos d'Água

A legislação ambiental vigente no âmbito federal, pela Resolução nº 20/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA – ([BRASIL](#), 1986), estabelece classes para as águas doces, salobras e salgadas, conforme usos preponderantes. As classes são: Classes Especial, 1, 2, 3 e 4 (águas doces), Classes 5 e 6 (Salinas), Classes 7 e 8 (Águas salobras). No [QUAD. 2](#), estão relacionados os usos preponderantes para as águas doces.

Para cada classe, definem-se padrões de qualidade da água de forma a assegurar os usos preponderantes, sendo mais restritivo quanto mais nobre for o uso em questão. Os padrões de qualidade constituem de um conjunto de parâmetros (físicos, físico-químicos, químicos e microbiológicos) e seus respectivos teores máximos permitidos e/ou restrições, que servem como indicadores específicos para avaliação da qualidade da água para determinado uso. Na [TAB. 62](#) consta os padrões de qualidade para as águas doces, considerando alguns parâmetros.

## QUADRO 2

Classes das águas doces e seus usos preponderantes conforme a Resolução CONAMA n° 20/1986.

Classes	Águas destinadas:
Especial	ao abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção; à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
1	ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que ingeridas cruas sem remoção de película; à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.
2	ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho); à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas; à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.
3	ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à dessedentação de animais.
4	à navegação; à harmonia paisagística; aos usos menos exigentes.

FONTE: Brasil, 1986.

Para as águas de *Classe Especial*, segue-se o padrão de qualidade de potabilidade vigente, Portaria n° 1469/2000 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2001)<sup>1</sup>, acrescido de ausência de coliformes totais para água de abastecimento sem prévia desinfecção.

Para as águas de *Classe 1*, o padrão de qualidade determina restrições de materiais flutuantes, óleos e graxas, substâncias que conferem gosto ou odor, corantes artificiais, substâncias que formem depósitos objetáveis, coliformes, demanda biológica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), turbidez, cor e pH 5. Além desses, estabelece uma série de substâncias consideradas potencialmente prejudiciais e seus respectivos teores máximos: metais, ânions, sólidos, substâncias orgânicas e nutrientes.

Para as águas de *Classe 2*, mantém-se os mesmos limites ou condições da Classe 1, à exceção para os parâmetros coliformes, ausência de corantes artificiais que não sejam removíveis por processos de tratamento de água, cor, turbidez, DBO e OD.

Para as águas de *Classe 3*, mantém-se os mesmos limites ou condições da Classe 1, sendo que para alguns parâmetros adotam-se valores máximos permitidos menos restritivos.

<sup>1</sup> A portaria do Ministério da Saúde n° 36/1990 (BRASIL, 1990) antecede à vigente.

Para as águas de *Classe 4*, tendo um padrão de qualidade hierarquicamente menos restritivo, estabelece controle somente para os seguintes parâmetros: materiais flutuantes, odor e aspecto, óleos e graxas, índice de fenóis, OD, pH, substâncias facilmente sedimentáveis que contribuam para o assoreamento de canais de navegação.

No Estado de Minas Gerais, a Deliberação Normativa nº 10/86 do Conselho de Política Ambiental – COPAM – (BRASIL, 1987) estabelece somente cinco classes para as coleções de água, especificadamente para águas doces, com os mesmos padrões de qualidade estabelecidos pela legislação ambiental nacional. Nesta mesma deliberação normativa, incluem-se, também, padrões de qualidade para lançamento de efluentes nas coleções de água. No presente trabalho, os resultados de análises serão comparados concomitantemente com as Legislações Federal e Estadual.

De acordo com a Lei Federal 9.433 (BRASIL, 1997), o enquadramento dos cursos d'água em termos de qualidade é um instrumento de Política Nacional de Recursos Hídricos que visa *assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes*. As classes dos corpos d'água para o enquadramento estão definidas pela legislação ambiental específica, em especial, a Resolução CONAMA nº 20/1986. Os mesmos fundamentos são reproduzidos pela Lei 13.199 (BRASIL, 1999) do Estado de Minas Gerais.

Tanto a Resolução CONAMA nº 20/1986 quanto a Deliberação Normativa do COPAM nº 10/1986 definem o *enquadramento* como sendo o *estabelecimento do nível de qualidade de água (classe) a ser alcançado e/ou mantido em segmento de corpo de água ao longo do tempo*. Desta forma, o enquadramento estabelece os usos preponderantes de cada segmento do corpo d'água.

De acordo com a Resolução CONAMA N° 20/1986, cabe a cada Estado realizar o enquadramento de seus corpos d'água e, enquanto não feito, as águas doces são consideradas classe 2, as salinas classe 5 e as salobras classe 7.

Pela Lei 13.194/1999 do Estado de Minas, compete à Agência de Bacia Hidrográfica *efetuar estudos técnicos relacionados com o enquadramento dos corpos de água da bacia em classes de usos preponderantes, assegurando o uso prioritário para o abastecimento público*, como, também, propor, ao Comitê de Bacia Hidrográfica, o *enquadramento dos corpos de águas nas classes de uso*. No seu turno, ao Comitê de Bacia Hidrográfica compete deliberar sobre a proposta e encaminhá-la ao Conselho Regional de Recursos Hídricos de Minas Gerais (CERH-MG) para deliberação do COPAM.

#### 10.3.5.1 Mapa de Enquadramento de Qualidade das Águas na APA Sul RMBH

No Estado de Minas Gerais, seis bacias hidrográficas já foram enquadradas<sup>2</sup>. De relevância para APA Sul RMBH, as coleções de águas das bacias dos rios Piracicaba, Paraopeba e das Velhas foram enquadradas pelas Deliberações Normativas do COPAM nº 9/1994 (BRASIL, 1994), nº 14/1995 (BRASIL, 1995) e nº 20/1997 (BRASIL, 1997), respectivamente. Ressalte-se, entretanto, que a sub-bacia Mingu, afluente do rio das Velhas, foi enquadrada pela Deliberação Normativa do COPAM nº 5/1994 (BRASIL, 1995).

<sup>2</sup> Além das bacias dos rios Piracicaba, Paraopeba e das Velhas, foram enquadradas as do rios Paraibuna (DN COPAM nº 16, de 24 de setembro de 1996), Pará (DN COPAM nº 28, de 09 de setembro de 1998 e DN COPAM nº 31, de 18 de dezembro de 1998) e Verde (DN COPAM nº 33, de 18 de dezembro de 1998).

TABELA 62  
Padrões de qualidade de águas doces, considerando alguns parâmetros.

Parâmetros	Unidade	Portaria MS nº 1469/00	Resolução CONAMA nº 20/86			
		Classe Especial	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
PH	-	6 a 9,5	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9
Cor aparente	uH	15	30	75	75	-
Turbidez	uT	5	40	100	100	-
Coliformes fecais	NMP/100 mL	-	200	1.000	4.000	-
Coliformes totais	NMP/100 mL	-	1.000	5.000	20.000	-
OD	mg O <sub>2</sub> /L	-	≥ 6	≥ 5	≥ 4	> 2
DBO 5 dias a 20 °C	mg O <sub>2</sub> /L	-	3,0	5,0	10,0	-
Índice de Fenóis	mg/L	-	0,001	0,001	0,3	1,0
Surfactantes	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	-
Óleos e graxas	mg/L	-	v.a.	v.a.	v.a.	t.i.
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1000	500	500	500	-
Antimônio	mg/L	0,005	-	-	-	-
Alumínio	mg/L	0,2	0,1	0,1	0,1	-
Arsênio	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	-
Bário	mg/L	0,7	1,0	1,0	1,0	-
Berílio	mg/L	-	0,1	0,1	0,1	-
Boro	mg/L	-	0,75	0,75	0,75	-
Cádmio	mg/L	0,005	0,001	0,001	0,01	-
Cianetos	mg/L	0,07	0,01	0,01	0,20	-
Chumbo	mg/L	0,01	0,03	0,03	0,03	-
Cobalto	mg/L	-	0,2	0,2	0,2	-
Cobre	mg/L	2	0,02	0,02	0,50	-
Cromo Trivalente	mg/L	-	0,5	0,5	0,5	-
Cromo Hexavalente	mg/L	-	0,05	0,05	0,05	-
Cromo total	mg/L	0,05	-	-	-	-
Estanho	mg/L	-	2,0	2,0	2,0	-
Ferro solúvel	mg/L	-	0,3	0,3	5,0	-
Ferro total	mg/L	0,3	-	-	-	-
Manganês	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,5	-
Mercúrio	mg/L	0,001	0,0002	0,0002	0,002	-
Níquel	mg/L	-	0,025	0,025	0,025	-
Prata	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,05	-
Selênio	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	-
Zinco	mg/L	5,0	0,18	0,18	5,0	-
Cloretos	mg/L	250	250	250	250	-
Fluoretos	mg/L	1,5 <sup>(4)</sup>	1,4	1,4	1,4	-
Fosfato total	mg P/L	-	0,025	0,025	0,025	-
Nitratos	mg N/L	10	10	10	10	-
Nitritos	mg N/L	1	1,0	1,0	1,0	-
Nitrogênio amoniacal	mg N/L	-	-	-	1,0	-
Sulfatos	mg/L	250	250	250	250	-
Sulfetos	mg S/L	0,05	0,002	0,002	0,3	-

FONTES: Brasil, 1986; Brasil, 2001;

NOTA: Entende-se, aqui, surfactantes como substâncias tenso-ativas que reagem com o azul de metileno.  
Sulfetos - como H<sub>2</sub>S não dissociado.

Segundo as Deliberações Normativas citadas acima, os segmentos da hidrografia da APA Sul RMBH enquadrados estão relacionados no QUAD. 3. Os segmentos não mencionados nas mesmas recebem o enquadramento correspondente ao do trecho onde deságuam. Ressalte-se que alguns cursos d'água foram divididos em dois trechos, sendo cada um enquadrado em uma classe distinta. A localização dos pontos divisores dos trechos foram obtidos em campo, seguindo as informações constantes nas Deliberações Normativas. O mapa de enquadramento em classes de qualidade das águas superficiais da APA Sul RMBH está apresentado no [APÊNDICE D](#).

As classes de qualidade enquadradas presentes na APA Sul RMBH são Especial, 1, e 2, tendo uma maior predominância das classes 1 e 2. Ressalte-se que não há nenhum curso d'água enquadrado nas Classes 3 e 4.

QUADRO 3  
Cursos d'água das bacias dos rios Piracicaba, Paraopeba e das Velhas  
enquadrados pelas DN do COPAM presentes na APA Sul RMBH

Bacia	Cursos d'água
Piracicaba	Rios Conceição, Santa Bárbara e São João ou Barão de Cocais, ribeirões Preto e Caraça, córregos das Flechas, Brumadinho (Primeiro), Brumadinho (Segundo) e Quebra Ossos.
Paraopeba	Ribeirões Barra da Boa Esperança e Ferro-Carvão, córregos Calundu, Laranjeiras, Rola Moça, Urubu, Taboão, Capão da Serra, Boa Esperança, Engenho Seco, Campo Belo e Capão Grande.
Velhas	Rio das Pedras, rio do Peixe, ribeirões Capitão da Mata, Marinhos, Congonhas e dos Macacos, represas Capitão da Mata, "TS", Lagoa Grande, Lagoa das Codornas, córregos do Manso, Água Limpa, do Índio, Cortesia, Mingu, Baia, Viana, Tamanduá, Marumbé, Penteado, Dreno dos Macacos, dos Fechos, do Jambreiro, do Cardoso, do Mutuca e dos Cristais.

FONTES: Brasil, 1994; Brasil, 1995; Brasil, 1997; Brasil, 1995.

#### 10.3.6 Rede de Monitoramento de Qualidade das Águas Superficiais da APA Sul RMBH

Os pontos de monitoramento de qualidade das águas da APA Sul RMBH foram definidos de acordo com a identificação de áreas com características hidrográficas naturais e com interferências antrópicas provenientes de ocupação urbana e de atividades minerárias. Nessa fase, foram consideradas as redes de monitoramento já existentes.

A implantação definitiva dos pontos de monitoramento foi realizada *in loco*, seguindo as recomendações da [ABNT/NBR 9897 \(1987\)](#), bem como a acessibilidade ao local e a exigência de transporte das amostras ao laboratório no prazo de 24 horas. Nessa fase, foram obtidas as posições geográficas, utilizando Global Positioning System – GPS, registro fotográfico e dados descritivos dos pontos de monitoramento.

A rede de monitoramento da APA Sul RMBH consiste em 10 pontos de amostragem de águas superficiais e medições *in loco*, distribuídos conforme consta no mapa do [APÊNDICE D](#) e a descrição no [QUAD. 4](#). Os pontos de monitoramento foram identificados pela nomenclatura das bacias, ou seja, VE – rio das Velhas, PI – rio Piracicaba e PA – rio Paraopeba.

A porção da APA Sul abrangida pelos municípios Barão de Cocais, Catas Altas e Santa Bárbara, onde se situa parte da bacia do rio Piracicaba, é bastante carente de dados de qualidade das águas. Nos projetos consultados, "Rio Doce" e "Águas de Minas", não

existem pontos de monitoramento que puderam ser utilizados para avaliar a qualidade das águas dessa região. Nessa região, puderam identificar atividades minerárias, ativas e inativas, principalmente minas de ouro abandonadas na bacia do rio Piracicaba, mais especificamente, na região da sub-bacia do rio Conceição. No período chuvoso, a lixiviação de solo em regiões minerárias, sem recuperação ambiental adequada, pode transportar elementos metálicos e ametálicos considerados tóxicos para as calhas de drenagem. No intuito de verificar a influência dessa atividade nos cursos d'água foram alocados os pontos de monitoramento PI01, PI02, PI03 e PI04.

Na bacia do rio Paraopeba, foram alocados pontos de monitoramento no ribeirão Casa Branca (PA9) e no ribeirão Ferro-Carvão (PA10), esse último fora do limite da área da APA Sul RMBH. O limite da APA está bem próximo das cabeceiras das sub-bacias que nascem na Serra dos Três Irmãos e que drenam em direção ao ribeirão Sarzedo, afluente do rio Paraopeba. Devido a isso, optou-se por não definir qualquer ponto de monitoramento nessa região.

Na bacia do rio das Velhas, há monitoramento sistemático de qualidade das águas realizado pelo IGAM (Projeto Águas de Minas). Os pontos de monitoramento VE5, VE6, VE7 foram alocados, considerando a existência do monitoramento da atividade minerária e ocupação urbana.

A seleção dos parâmetros físicos, físico-químicos, químicos e microbiológicos (QUAD. 5) baseou-se nas atividades antrópicas que se pretendiam investigar em termos de influência nos corpos d'água. As metodologias analíticas adotadas foram as constantes em APHA, 1998 (QUAD. 6).

As medições de pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido (OD), temperaturas do ar e da água foram realizadas *in loco*. Os demais parâmetros foram analisados no laboratório da empresa Lakefield Geosol Ltda - Laboratório de Análises Minerárias e Ambientais. As amostragens foram realizadas conforme estabelecido em ABNT/NBR 9898 (1987) e os procedimentos descritos em CETESB (1987).

Foram realizadas duas campanhas de monitoramento, uma no período seco e outra no período chuvoso, de modo a considerar as variações sazonais. Os resultados das análises referentes as duas campanhas constam na TAB. 63.

Todas as medições de condutividade elétrica obtidas neste projeto foram convertidas para a temperatura de referência de 25 °C<sup>3</sup>, utilizando a seguinte equação (2510 Conductivity-B, 1995):

$$\text{Condutividade elétrica a } 25 \text{ °C} = \frac{\chi_{\text{medida}}}{1 + 0,019(T - 25)} \quad (10.4.1)$$

$\chi_{\text{medida}}$  = Condutividade elétrica medida  
T = temperatura em °C.

<sup>3</sup> O condutivímetro utilizado não converte as medições de condutividade elétrica para temperatura de referência (20 ou 25 °C).

**QUADRO 4**  
Pontos de monitoramento de qualidade das águas da APA Sul

Ponto	Curso d'água	Bacia	Descrição do Ponto	Coordenadas UTM	
				EW	NS
PI01	Rio Brumadinho	Piracicaba	Rio Brumadinho a montante da confluência com Ribeirão Caraça	660128	7786400
PI02	Rio Conceição	Piracicaba	Rio Conceição a montante da confluência com Ribeirão Caraça	661373	7789108
PI03	Rio Conceição	Piracicaba	Rio Conceição a jusante da confluência com Ribeirão Caraça	661011	7788920
PI04	Rio Conceição	Piracicaba	Nascente	649219	7781496
VE05	Ribeirão dos Macacos	Velhas	Ribeirão dos Macacos a jusante da confluência com Ribeirão Gorduras	614525	7784246
VE6	Rio do Peixe	Velhas	Rio do Peixe a montante do Rio das Velhas	618210	7774300
VE07	Córrego Padre Domingos	Velhas	Córr. Padre Domingos a montante da confluência com Rib. Congonhas	610395	7764676
VE08	Córrego Fazenda Velha	Velhas	Córr. Fazenda Velha a montante do Rio das Velhas	625946	7771820
PA09	Ribeirão Casa Branca	Paraopeba	Ribeirão Casa Branca próximo do povoado Córr. Do Feijão	599088	7776536
PA10	Ribeirão Ferro Carvão	Paraopeba	Ribeirão Ferro Carvão a montante da confluência do Rio Paraopeba	589411	7772105

**QUADRO 5**  
Análises químicas, físico-químicas e microbiológicas realizadas

<b>Ponto</b>	<b>Parâmetros</b>
PI01	Condutividade elétrica a 25 °C, pH, OD, temperatura da água e do ar, sólidos totais, sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão, óleos e graxas turbidez, cádmio, chumbo, mercúrio, arsênio, cianetos, coliformes fecais, coliformes totais, estreptococos.
PI02	Condutividade elétrica a 25 °C, pH, OD, temperatura da água e do ar, sólidos totais, sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão, óleos e graxas turbidez, cádmio, chumbo, mercúrio, arsênio, cianetos, coliformes fecais, coliformes totais, estreptococos.
PI03	Condutividade elétrica a 25 °C, pH, OD, temperatura da água e do ar, sólidos totais, sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão, óleos e graxas turbidez, cádmio, chumbo, mercúrio, arsênio, cianetos, coliformes fecais, coliformes totais, estreptococos.
PI04	Condutividade elétrica a 25 °C, pH, OD, temperatura da água e do ar, sólidos totais, sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão, óleos e graxas turbidez, cádmio, chumbo, mercúrio, arsênio, cianetos, coliformes fecais, coliformes totais, estreptococos.
VE05	Condutividade elétrica a 25 °C, pH, OD, temperatura da água e do ar, sólidos totais, sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão, óleos e graxas, turbidez, ferro, manganês, cianetos, coliformes fecais, coliformes totais, estreptococos.
VE06	Condutividade elétrica a 25 °C, pH, OD, temperatura da água e do ar, sólidos totais, sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão, óleos e graxas, turbidez, ferro, manganês, cianetos, coliformes fecais, coliformes totais, estreptococos
VE07	Condutividade elétrica a 25 °C, pH, OD, temperatura da água e do ar, sólidos totais, sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão, óleos e graxas, turbidez, ferro, manganês, cianetos, coliformes fecais, coliformes totais, estreptococos
VE08	Condutividade elétrica a 25 °C, pH, OD, temperatura da água e do ar, sólidos totais, sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão, óleos e graxas, turbidez, ferro, manganês, cianetos, coliformes fecais, coliformes totais, estreptococos
PA09	Condutividade elétrica a 25 °C, pH, OD, temperatura da água e do ar, sólidos totais, sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão, óleos e graxas, turbidez, ferro, manganês, cianetos, coliformes fecais, coliformes totais, estreptococos
PA10	Condutividade elétrica a 25 °C, pH, OD, temperatura da água e do ar, sólidos totais, sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão, óleos e graxas, turbidez, ferro, manganês, cianetos, coliformes fecais, coliformes totais, estreptococos

QUADRO 6  
Métodos analíticos utilizados.

Parâmetro	Método analítico	Referência
Condutividade elétrica ( <i>in loco</i> )	Condutivimétrico	NT CETESB L5.115
PH ( <i>in loco</i> )	Eletrométrico	MEWW 4500-H <sup>+</sup> , 1998
Oxigênio dissolvido ( <i>in loco</i> )	Eletrométrico	NT CETESB L5.169
Turbidez	Nefelométrico	SMEWW 2130B, 1998
Ferro	ICP	SMEWW 3030 C, D, E, F, G, I e 3120 B, 1998
Manganês	ICP	SMEWW 3030 C, D, E, F, G, I e 3120 B, 1998
Cádmio	ICP	SMEWW 3030 C, D, E, F, G, I e 3120 B, 1998
Chumbo	ICP	SMEWW 4500 P A, B, E, 1998
Mercúrio	Espectrofotometria de Absorção Atômica/Vapor frio	SMEWW 3112 B, 1998
Arsênio	Espectrofotometria de Absorção Atômica/Geração de hidreto	SMEWW 3114 C, 1998
Cianetos	Colorometria/destilação	SMEWW 4500 CN <sup>-</sup> C, D, F, 1998
Óleos e graxas	Gravimétrico/partição	SMEWW 5520 B, 1998
Sólidos não dissolvidos	Gravimétrico	SMEWW 2540 D, 1998
Sólidos dissolvidos	Gravimétrico	SMEWW 2540 C, 1998
Sólidos totais	Gravimétrico	SMEWW 2540 B, 1998

NOTA: SMEWW – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 ed. Washington: APHA, AWWA, WEF, 1998.

NT CETESB – Norma Técnica da CETEB.

TABELA 63  
Resultados de análises

Pontos de Monitoramento	Data de Amostragem	Temperatura do ar	Temperatura da água	Condutividade elétrica a 25 °C	pH	OD	Fe Total	Mn Total	Cd Total	Pb Total	Hg Total	As Total	CN- Total	GEO	Turbidez	Sólidos Totais	Sólidos Dissolvidos	Sólidos Suspensos	Coliformes Fecais	Coliformes Totais	Estreptococos Fecais
		(°C)	(°C)	µS/cm	-	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L CN-	mg/L	NTU	mg/L	mg/L	mg/L	NMP/100ml	NMP/100ml
PI01	17/10/02	26,0	22,0	45	8,07	6,38	< 0,001	< 0,02	< 0,001	< 0,02	< 0,0002	< 0,01	< 0,01	< 5,00	2	< 20,0	< 20,0	< 10,0	9	50	300
	30/01/03	25,0	24,0	20	6,97	8,2	-	-	< 0,001	0,03	< 0,0002	< 0,01	< 0,01	< 5,00	3,5	13,6	< 20,0	< 10,0	130	5000	500
PI02	16/10/02	22,0	19,0	40	7,42	8,6	< 0,001	0,1	< 0,001	0,1	< 0,0002	< 0,01	< 0,01	< 5,00	2	< 20,0	< 20,0	< 10,0	110	350	700
	29/01/03	24,7	24,2	54	7,16	7,8	-	-	< 0,001	< 0,02	< 0,0002	< 0,01	< 0,01	< 5,00	15	49,6	32,8	16,8	700	16000	500
PI03	16/10/02	25,0	20,0	33	7,45	8,42	< 0,001	0,02	< 0,001	0,02	< 0,0002	< 0,01	< 0,01	< 5,00	2	< 20,0	< 20,0	< 10,0	170	1700	340
	29/01/03	25,1	24,2	39	6,50	7,5	-	-	< 0,001	< 0,02	< 0,0002	< 0,01	< 0,01	< 5,00	15	35,6	20,0	15,6	2200	90000	3000
PI04	17/10/02	26,5	19,0	29	7,36	8,9	< 0,001	< 0,02	< 0,001	< 0,02	< 0,0002	< 0,01	< 0,01	< 5,00	1	< 20,0	< 20,0	< 10,0	14	60	280
	30/01/03	24,9	20,0	27	7,36	7,6	-	-	< 0,001	< 0,02	< 0,0002	< 0,01	< 0,01	< 5,00	7	25,6	22,0	< 10,0	500	16000	1600
VE05	22/10/02	25,5	20,8	56	7,48	5,76	0,19	< 0,02	-	-	-	-	< 0,01	< 5,00	1	24,8	24,6	< 10,0	27	24000	1600
	28/01/03	25,1	24,2	47	7,29	8,0	6,5	0,54	-	-	-	-	< 0,01	< 5,00	50	98,0	26,8	71,2	800	90000	3000
VE06	23/10/02	21,4	19,5	70	7,69	6,46	0,18	0,06	-	-	-	-	< 0,01	< 5,00	3	37,0	35,6	< 10,0	240	500	220
	28/01/03	25,0	24,4	38	7,25	7,8	2,6	0,17	-	-	-	-	< 0,01	< 5,00	45	55,2	20,4	34,8	170	16000	500
VE07	23/10/02	20,0	18,0	76	7,49	6,26	0,36	0,04	-	-	-	-	< 0,01	< 5,00	3,5	63,6	63,6	< 10,0	500	16000	2400
	29/01/03	25,0	20,0	59	7,51	7,8	1,12	0,16	-	-	-	-	< 0,01	< 5,00	15	36,0	26,4	< 10,0	130	9000	800
VE08	22/10/02	20,0	19,5	38	7,18	5,64	0,53	0,17	-	-	-	-	< 0,01	< 5,00	2,5	< 20,0	< 20,0	< 10,0	20	5000	20
	28/01/03	24,8	24,5	15	6,73	7,1	3,39	0,32	-	-	-	-	< 0,01	< 5,00	55	84,6	< 20,0	73,0	300	50000	800
PA09	21/10/02	22,0	20,0	35	7,28	7,28	0,69	0,02	-	-	-	-	< 0,01	< 5,00	1	28,8	24,2	< 10,0	140	900	2200
	27/01/03	25,8	24,7	36	7,05	8,2	0,49	0,03	-	-	-	-	< 0,01	< 5,00	4,5	27,2	22,4	< 10,0	900	16000	1300
PA10	21/10/02	25,0	21,5	39	6,96	5,65	1,24	0,48	-	-	-	-	< 0,01	< 5,00	4	29,6	24,0	< 10,0	280	500	500
	27/01/03	25,6	25,0	45	6,81	8,0	2,09	0,88	-	-	-	-	< 0,01	< 5,00	30	47,2	28,8	18,4	1700	50000	2300

## 10.4 Análise de Qualidade das Águas Superficiais da APA Sul RMBH

Neste projeto, o estudo da qualidade das águas consistiu-se em comparar resultados de análises físicas, químicas, físico-químicas e microbiológicas, provenientes de monitoramento, com os valores máximos permitidos das classes de qualidade das águas doces definido pela Resolução CONAMA n° 20/86 e Deliberação Normativa do COPAM n° 10/86. Foram utilizadas, adicionalmente, duas ferramentas de avaliação de qualidade das águas - IQA e CT.

A análise de qualidade das águas foi realizada pelo agrupamento dos pontos de monitoramento por sub-bacias, conforme definidas no item 8.1.1.

Os resultados de análises com referência ao limite de detecção do método analítico empregado foram considerados abaixo do valor máximo permitido estabelecido nos padrões de qualidade, mesmo que superiores.

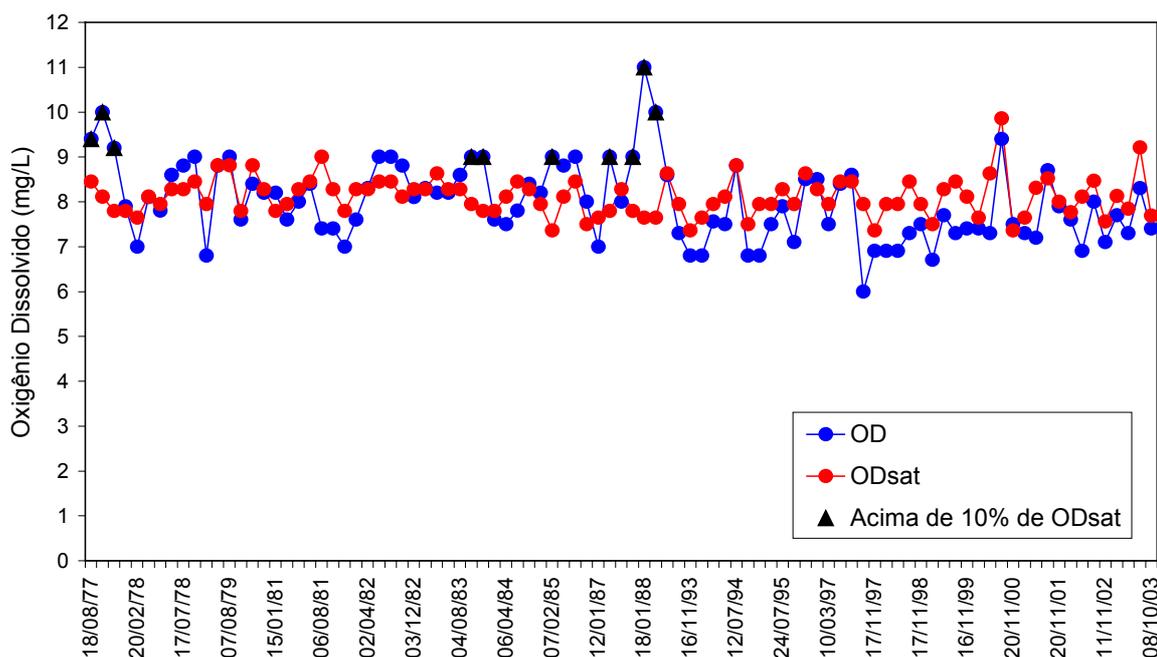
### 10.4.1 Sub-bacia do Rio Itabirito e Porção Sul do Trecho do Rio das Velhas

Os pontos de monitoramento AV100, AV120, AV130, BV013, BV035 e BV037 localizam-se na sub-bacia do rio Itabirito e os AV030 e AV040 no rio das Velhas.

Considerando a série histórica desses pontos de monitoramento, observa-se que a concentração de oxigênio dissolvido (OD) está, em média, acima da Classe 1 (6 mg O<sub>2</sub>/L).

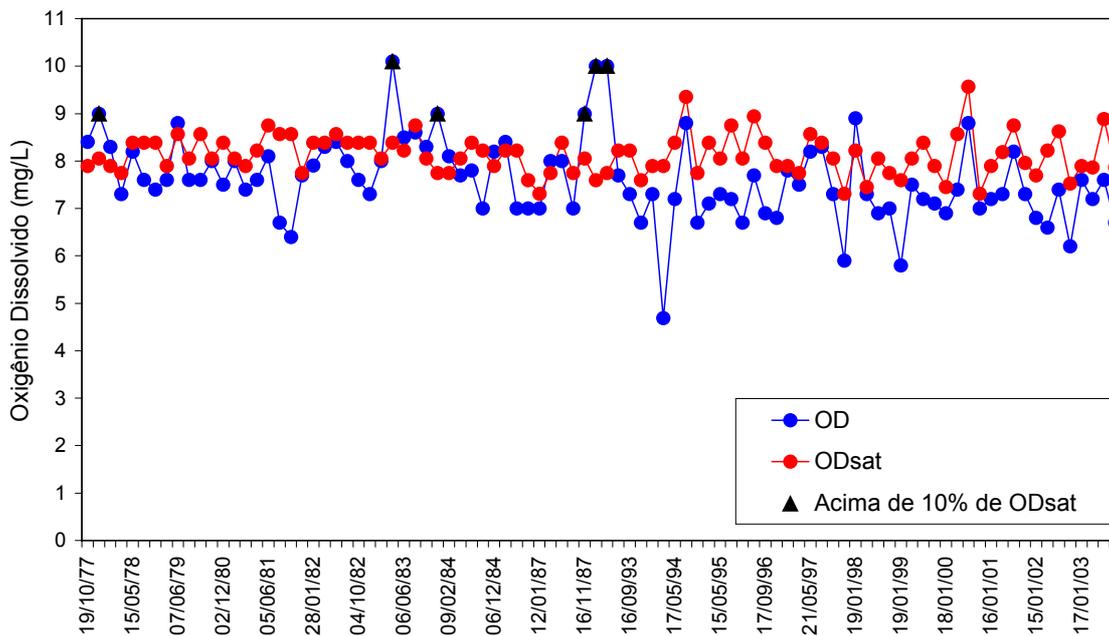
Considerando o critério de consistência de dados de OD, descrito anteriormente, verifica-se que 11%, 7% e 19% das campanhas realizadas em BV013, BV035 e BV037, respectivamente, estão acima de 10 % da concentração de saturação de OD (OD<sub>sat</sub>), porém em campanhas anteriores à década de 1990 (GRAF. 50 a 52). As maiores diferenças entre OD e OD<sub>sat</sub> ocorrem em BV013 (rio Itabirito a montante do rio das Velhas), principalmente a partir do ano de 1994, enquanto em BV037 (rio das Velhas a jusante do rio Itabirito) essas diferenças tornam-se estreitamente menores, o que poderá indicar uma recuperação de níveis de oxigenação. Tanto em AV100 (córrego da Onça) e AV120 (córrego Moleque), pontos de monitoramento localizados nos afluentes do rio Itabirito mostram percentagem de OD de saturação (% OD<sub>sat</sub>) em 90%, em média.

Uma análise geral dos valores de DBO mostra que esses permanecem abaixo da Classe 3 (10 mg O<sub>2</sub>/L) em BV013, BV035 e BV037. Considerando a série histórica, em BV035 observam-se valores maiores de DBO que em BV037. Nesses três pontos de monitoramento ocorre um “pico” de DBO em 24/03/98, que poderá ser atribuído à algum evento no rio Itabirito. Um outro “pico” de DBO foi registrado em 21/05/97 somente em BV037, sendo o maior valor da série histórica - 60 mg O<sub>2</sub>/L. Em AV100 e AV120, há apenas duas campanhas de monitoramento em que foram realizadas análises de DBO, porém com resultados abaixo do limite do método analítico utilizado. Finalmente, a análise temporal indica para estes pontos que a DBO vem mantendo-se num intervalo mais definido no período de 1998 a 2003: BV035 de 2 a 7 mg O<sub>2</sub>/L, BV013 e BV037 de 2 a 5 mg O<sub>2</sub>/L. O mesmo acontece com os valores de DQO para esse período.



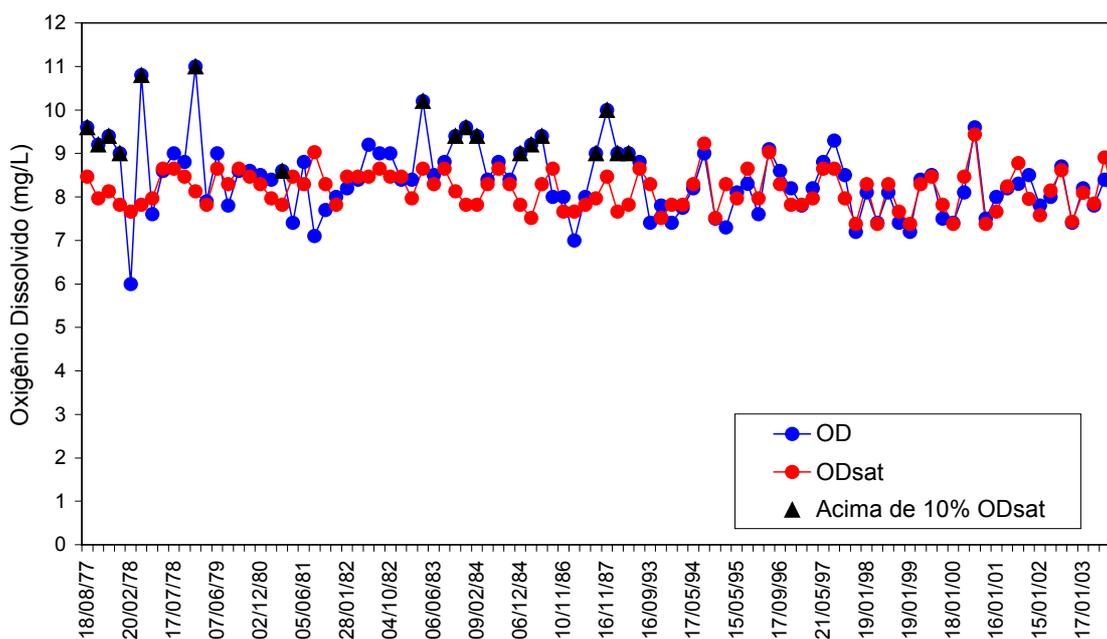
FONTE: Dados de OD (IGAM, 2003a).

GRÁFICO 50 - Curvas de OD e OD<sub>sat</sub> do ponto de monitoramento BV013.



FONTE: Dados de OD (IGAM, 2003a).

GRÁFICO 51 - Curvas de OD e OD<sub>sat</sub> do ponto de monitoramento BV035



FONTE: Dados de OD (IGAM, 2003a).

GRÁFICO 52 - Curvas de OD e OD<sub>sat</sub> do ponto de monitoramento BV037

Dentre outros parâmetros indicadores de matéria orgânica, os valores de nitrogênio orgânico e nitritos estão baixos. Com relação aos fosfatos totais, verifica-se que 73%, 89% e 85% da série histórica em BV013, BV035 e BV037, respectivamente, está acima de 0,025 mg P/L (Classes 1, 2 e 3). Inclusive a campanha de 18/01/00 em BV037 registrou um resultado deste parâmetro 30 vezes maior do que o estabelecido pela legislação.

A Resolução CONAMA nº 20/86 e a DN do COPAM nº10/86 estabelecem valor máximo permitido (VMP) somente para sólidos dissolvidos da série de sólidos (sólidos não dissolvidos, sólidos dissolvidos e sólidos totais), sendo de 500 mg/L para as Classes 1, 2 e 3. Em AV100, AV120, AV130, BV013, BV035 e BV037, não há nenhuma ocorrência de sólidos dissolvidos acima de 500 mg/L (Classes 1, 2 e 3). Entretanto, analisando a série histórica, verificam-se valores mais altos desse parâmetro no período chuvoso. Isso é mais evidente para os sólidos não dissolvidos e sólidos totais, que em algumas campanhas de monitoramento ultrapassam a 500 mg/L (GRAF. 53 a 55). A turbidez, relacionada aos sólidos em suspensão, e a cor, relacionada aos sólidos dissolvidos, refletem o mesmo (TAB. 64). Em 17/01/03, os valores de turbidez foram aproximadamente 15, 9 e 11 vezes maior do que o permitido para Classe 3 (100 UNT), em BV035, BV013 e BV037, respectivamente.

No período chuvoso, observa-se a elevação de sólidos nos cursos d'água devido à lixiviação deste para as calhas de drenagem. Como referência para análise da influência dos índices pluviométricos no conteúdo de sólidos na drenagem, utilizou-se a estação pluviométrica da ANA, localizada em Itabirito (02043060). Normalmente, os índices pluviométricos são maiores no mês de janeiro nessa estação. Restringindo-se ao período de 1998 a 2003, verificaram-se que, nos anos de 2001 e 2002, estes índices foram mais baixos como, também, as concentrações dos sólidos. Em contrapartida, nos outros anos, os índices pluviométricos foram mais altos e, também, as concentrações de sólidos (GRAF. 53 a 55).

TABELA 64  
 Dados da série de sólidos, turbidez e cor dos pontos de monitoramento em BV013, BV035 e BV037 no mês de janeiro no período de 1998 a 2003

Data	Sólidos dissolvidos (mg/L)	Sólidos não dissolvidos (mg/L)	Sólidos totais (mg/L)	Turbidez (NTU)	Cor Real (uH)
<b>BV035</b>					
19/01/98	70	3203	3273	2956	200
19/01/99	51	1134	1185	1398	< 5
18/01/00	55	1403	1458	1516	30
16/01/01	32	85	117	42,7	10
15/01/02	44	822	866	1248	60
17/01/03	229	1766	1995	1490	160
<b>BV013</b>					
23/01/98	34	47	81	79,2	20
19/01/99	32	27	59	34	5
18/01/00	46	272	318	263	30
16/01/01	30	28	58	21,2	15
15/01/02	39	51	90	94,8	60
17/01/03	156	1008	1164	874	100
<b>BV037</b>					
19/01/98	86	2550	2636	2864	150
19/01/99	41	538	579	695	<5
18/01/00	48	1562	1610	1896	60
16/01/01	30	61	91	40,2	10
15/01/02	58	670	728	603	80
17/01/03	226	1563	1789	1138	160

FONTE: IGAM (2003a).

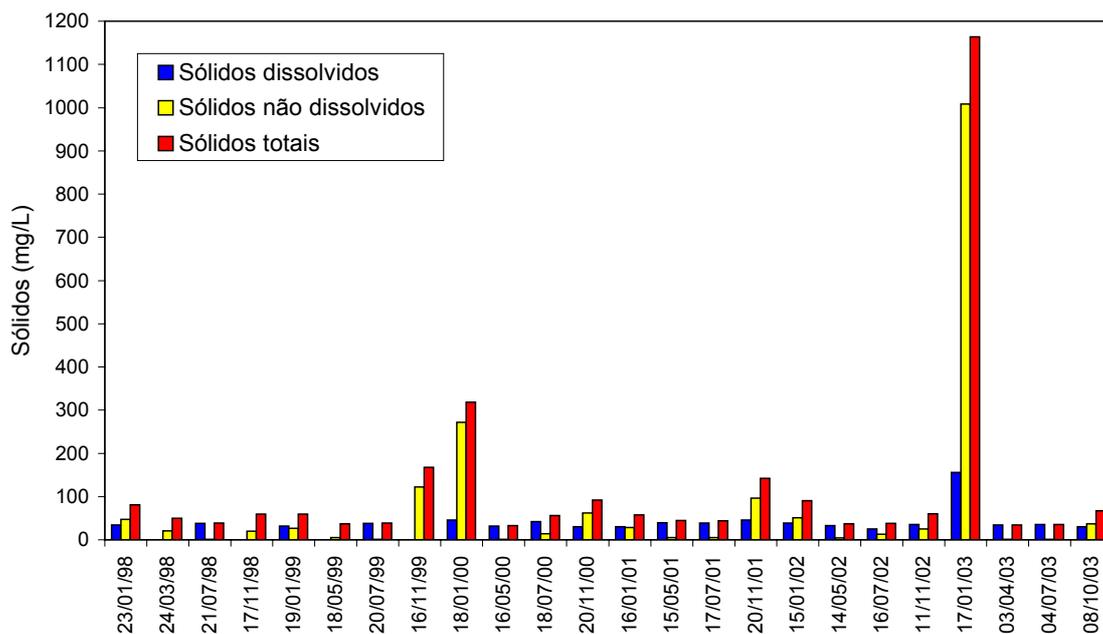
NOTA: O sinal de menor (<) nos resultados de análise refere-se ao limite de detecção do método analítico empregado.

Além da elevação da série de sólidos nos cursos d'água no período chuvoso, o carreamento ocasionou a presença e/ou elevação de concentração de certos metais e ametal (TAB. 65). De fato, o manganês (0,5 mg/L para Classe 3) elevou-se consideravelmente no mês de janeiro. O mesmo comportamento ocorreu com o níquel. O arsênio, mesmo abaixo de 0,05 mg/L (Classes 1, 2 e 3), em algumas campanhas de monitoramento, se fez presente no período chuvoso. É importante ressaltar que, em outras campanhas de monitoramento realizadas no período seco, verificam-se valores abaixo do limite de detecção do método analítico utilizado. Ainda, pode-se destacar a presença de cromo trivalente acima de 0,5 mg/L (Classes 1, 2 e 3) em BV035 (0,66 mg/L) e em BV037 (0,58 mg/L).

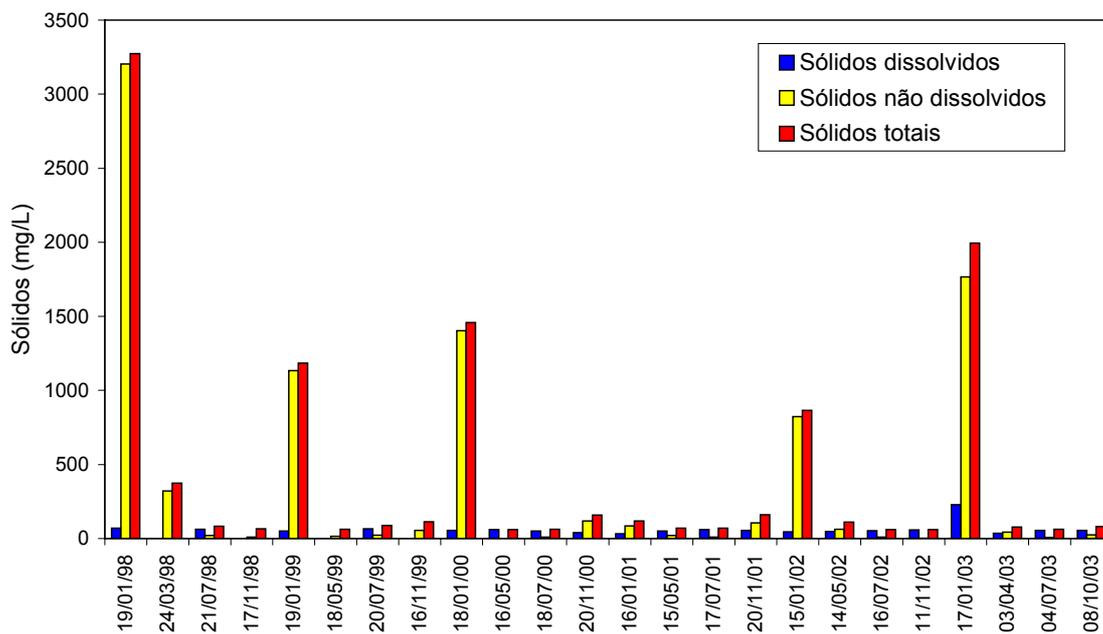
TABELA 65  
 Dados de arsênio, manganês, níquel e cromo trivalente dos pontos de monitoramento em BV013, BV035 e BV037 no mês de janeiro no período de 1998 a 2003

Data	Arsênio (mg/L)	Manganês (mg/L)	Níquel (mg/L)	Cromo Trivalente (mg/L)
<b>BV035</b>				
19/01/98	0,1494	9,950	0,053	0,66
19/01/99	0,0205	3,580	0,016	< 0,05
18/01/00	0,0287	2,900	0,037	< 0,05
16/01/01	0,0014	0,419	< 0,004	0,04
15/01/02	0,0140	7,106	0,036	0,05
17/01/03	0,4330	5,530	0,045	0,12
<b>BV013</b>				
23/01/98	0,0063	0,570	< 0,004	< 0,05
19/01/99	0,0023	0,310	0,009	< 0,05
18/01/00	0,0046	1,290	0,034	< 0,05
16/01/01	0,0014	0,221	< 0,004	< 0,05
15/01/02	0,0036	0,456	0,009	< 0,05
17/01/03	0,0284	2,282	0,041	0,10
<b>BV037</b>				
19/01/98	0,2389	5,150	0,053	0,58
19/01/99	0,0116	1,530	0,012	< 0,05
18/01/00	0,0166	2,060	0,042	0,06
16/01/01	0,0010	0,273	< 0,004	< 0,05
15/01/02	0,0158	3,360	0,036	0,05
17/01/03	0,0275	5,100	0,076	0,18

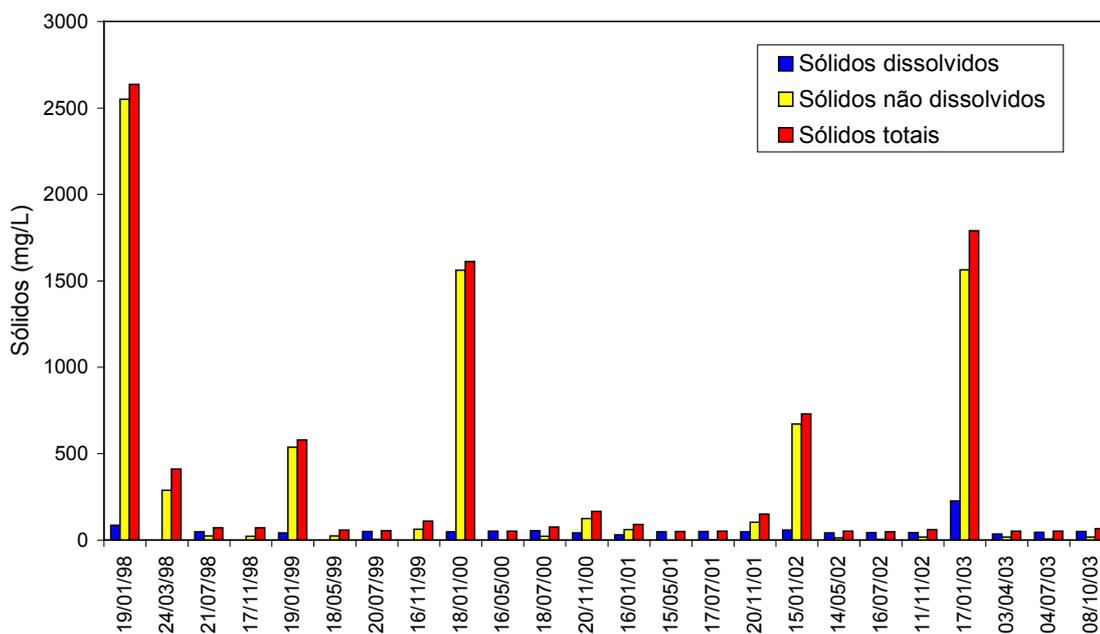
FONTE: IGAM (2003a).



FONTE: Dados de sólidos (IGAM, 2003a).  
 GRÁFICO 53 - Valores da série de sólidos do ponto de monitoramento BV013



FONTE: Dados de sólidos (IGAM, 2003a).  
 GRÁFICO 54 - Valores da série de sólidos do ponto de monitoramento BV035



FONTE: Dados de sólidos (IGAM, 2003a).

GRÁFICO 55 - Valores da série de sólidos do ponto de monitoramento BV037

#### 10.4.2 Porção Centro e Norte do Trecho do Rio das Velhas na APA Sul RMBH

Os pontos de monitoramento AV030, AV040, AV130, AV210, AV260, AV270, BV063, BV139, 0600001101, 0600001104, 0600001109 e 41199998 localizam-se no rio das Velhas; AV140, AV200, AV250, AV310 e BV062 em afluentes na margem esquerda do rio das Velhas.

Considerando a série histórica desses pontos de monitoramento, a concentração de OD está, em média, acima de 6 mg O<sub>2</sub>/L, que é a concentração mínima estabelecida para a Classe 1 (GRAF. 56 a 62). À exceção em BV062, ribeirão Água Suja, em que os valores da série histórica de OD estão 93% abaixo do OD<sub>Sat</sub> e 14% abaixo de 4 mg O<sub>2</sub>/L (Classe 3). Enquanto em BV063, rio das Velhas, a jusante com a confluência do ribeirão Água Suja, o conteúdo de OD permanece acima de 6 mg O<sub>2</sub>/L.

A maioria dos valores de DBO está abaixo da Classe 2 (5 mg O<sub>2</sub>/L) em 0600001104, 0600001101, 0600001109 e BV139, sendo que em 0600001109 está 88% abaixo da Classe 1 (3 mg O<sub>2</sub>/L). Analisando a série histórica em BV062, 44% dos valores de DBO estão acima da Classe 3 (10 mg O<sub>2</sub>/L). Entretanto, verifica-se uma diminuição considerável na média do DBO de 229 mg O<sub>2</sub>/L, no período de 1978 a 1988, para 11 mg O<sub>2</sub>/L, no período de 1993 a 2003. Considerando o último período, 47% dos valores de DBO, ainda, permanecem acima da Classe 3. Esse comportamento explica a baixa concentração de OD nesse ponto de monitoramento, já que existe uma demanda de oxigênio para decompor a matéria orgânica. Em BV063, os valores de DBO estão 91% iguais ou menores que 5 mg O<sub>2</sub>/L (Classe 2); e de 1999 a 2003, permanecem entre 2 e 6 mg O<sub>2</sub>/L. Isso indica a capacidade de autodepuração da matéria orgânica do rio das Velhas a jusante da confluência com o ribeirão Água Suja.

No rio das Velhas, constata-se alta ocorrência de concentração de fosfatos totais em não conformidade com a Resolução CONAMA n° 20/86 e a DN do COPAM n° 10/86. Em BV062, BV063, BV139, 0600001101 e 0600001109, a ocorrência de valores acima de 0,025 mg P/L (Classes 1, 2 e 3) corresponde, respectivamente, a 98%, 87%, 79%, 78% e 80% das campanhas realizadas.

A contagem de coliformes fecais e totais é também bastante alta no rio das Velhas. A ocorrência de valores acima de 4.000 NMP, para coliformes fecais, e 20.000 NMP, coliformes totais, que são os valores máximos permitidos para a Classe 3, estão acima de 55% das campanhas realizadas em BV062, BV063 e BV139.

Com relação ao nitrogênio amoniacal, os valores estão, em média, abaixo de 1 mg N/L (Classe 3) em BV063, BV139, 0600001101, 0600001104 e 0600001109. Em BV062, a média de nitrogênio amoniacal é de 1,54 mg N/L e 45% da série histórica acima de 1,00 mg N/L (Classe 3). Este comportamento vem confirmar a alta concentração de matéria orgânica neste ponto de monitoramento.

Da série de sólidos, apenas, sólidos não dissolvidos foram monitorados em 0600001101, 0600001104 e 0600001109. As médias da série histórica desse parâmetro são 116 mg/L, 185 mg/L e 110 mg/L, respectivamente. Em BV139, os sólidos não dissolvidos encontram-se, em média, 182 mg/L. Em BV062 e BV063, as médias da série histórica são mais altas, 1755 mg/L e 760 mg/L, respectivamente. Entretanto, as médias do período de 1993 a 2003 permanecem em 124 mg/L e 186 mg/L, respectivamente. De uma forma geral, os mais altos valores registrados ocorrem no período chuvoso e variam conforme a intensidade do nível pluviométrico. O comportamento de sólidos não dissolvidos reflete nos valores da turbidez nesses pontos de monitoramento. Em BV062 e BV063, os valores estão 53% e 38% acima de 75 UNT (Classes 2 e 3).

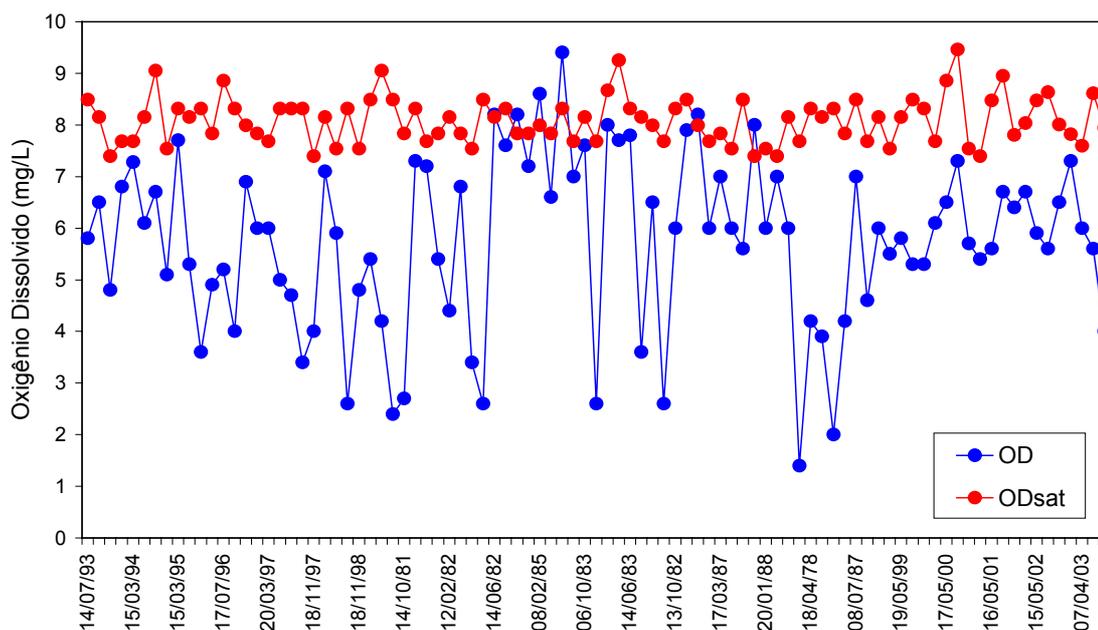
Com relação aos metais, podem-se destacar o alumínio, o ferro solúvel, ferro total e manganês total em 060001101, 0600001104 e 0600001109. As médias das concentrações da série histórica do alumínio são, respectivamente, para esses pontos, 0,998 mg/L, 1,945 mg/L e 1,116 mg/L, ou seja, bem acima do permitido para as Classes 1, 2 e 3 (0,1 mg/L). Todos os valores de ferro solúvel estão abaixo das Classes 1 e 2 (0,3 mg/L) nestes pontos de monitoramento. A Resolução CONAMA n° 20/86 e a DN do COPAM n° 10/86 não estabelecem VMP de ferro total para as Classes 1, 2 e 3, entretanto, os valores podem ser considerados altos, sendo a média de 5,310 mg/L e 11,284 mg/L em 0600001101 e 0600001104<sup>4</sup>, respectivamente. A concentração média do manganês total é de 0,392 mg/L e 0,672 mg/L, respectivamente, em 0600001101 e 0600001104. Ressalte-se, entretanto, ocorrências de valores de manganês total acima de 0,01 mg/L (Classes 1 e 2) e 0,05 mg/L (Classes 3). Assim, 16% e 30% dos valores da série histórica desse parâmetro estão acima do permitido para a Classe 3 em 0600001101 e 0600001104, respectivamente. Em BV062, o manganês total e ferro solúvel apresentam concentrações mais elevadas no período de 1978 a 1982, enquanto, no período de 1993 a 2003, as concentrações abaixam consideravelmente, alcançando a média de 0,34 mg/L para ferro solúvel e 0,713 mg/L para manganês total. Entretanto, continuam ocorrências acima da Classe 3 para os ambos parâmetros.

Com relação ao arsênio, verificam-se altas concentrações em BV062, estando 84% da série histórica deste parâmetro acima de 0,05 mg/L (Classes 1, 2 e 3). Diferentemente do comportamento do arsênio observado nos pontos de monitoramento BV013, BV035 e BV037, que está relacionado ao carreamento de solo para os cursos d'água no período chuvoso, em BV062 a concentração mantém-se alta tanto no período chuvoso quanto no período seco. Em BV063, que localiza-se no rio das Velhas a jusante do córrego Água Suja, observam-se concentrações mais baixas de arsênio, indicando a capacidade de diluição do curso d'água<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> Não há dados de ferro total e manganês total do ponto de monitoramento 0600001109.

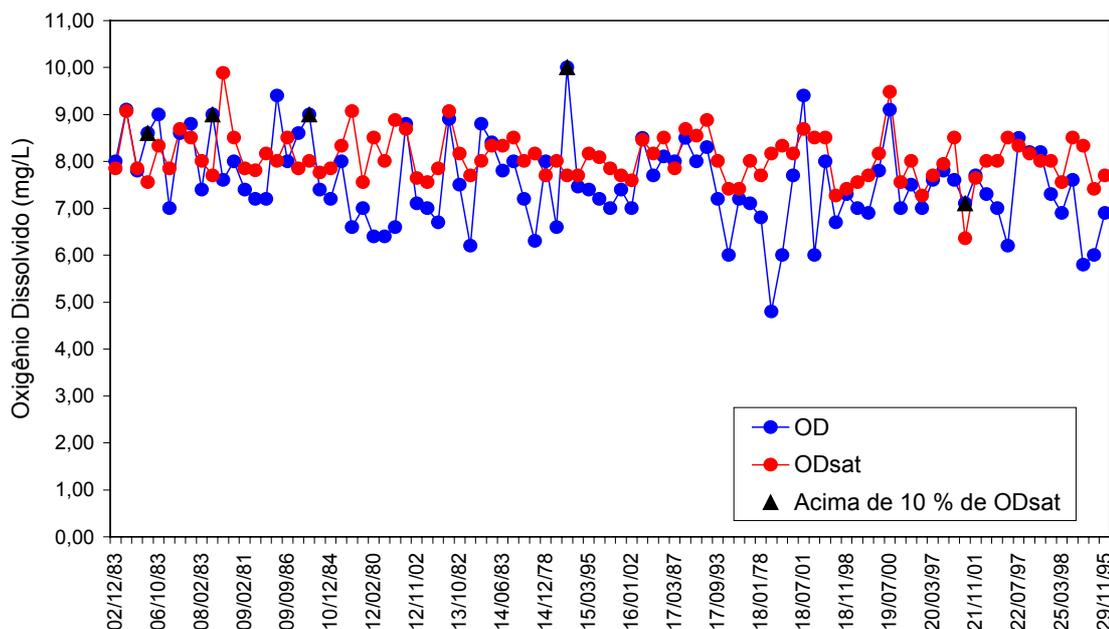
<sup>5</sup> A estação hidrometeorológica em Honório Bicalho Montante, que é a mais próxima do ponto de monitoramento BV063, tem uma vazão de longo tempo de 30 m<sup>3</sup>/s. A vazão de captação em Bela Fama é de 6 m<sup>3</sup>/s.

Segundo IGAM (2001), as altas concentrações de arsênio no período de 1994 a 1998 no ribeirão Água Suja foram ocasionadas pelas escavações e revolvimentos de antigos depósitos estabilizados de resíduos da mineração de ouro, para implantação das obras de canalização do Ribeirão Água Suja, pela Prefeitura Municipal de Nova Lima. Entretanto, campanhas de monitoramento realizadas no período de 1978 a 1981 registraram ocorrências de valores acima de 0,05 mg/L. Após esse período, há dados de arsênio somente de 1993 a 2003, havendo, portanto, um período de quase dez anos sem monitoramento. Nesse último período, os valores de arsênio são mais altos, tendo uma média de 0,2920 mg/L, demonstrando que o problema de carreamento desse ametal ainda persiste como consequência de atividades de mineração no passado.



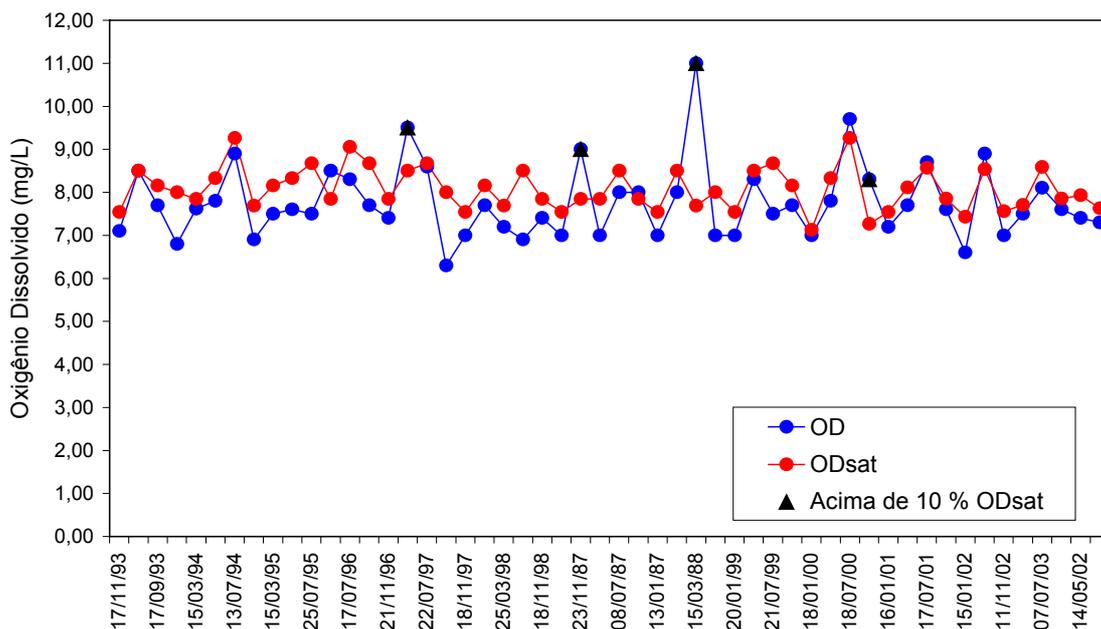
FONTE: Dados de OD (IGAM, 2003a).

GRÁFICO 56 Curvas de OD e OD<sub>sat</sub> do ponto de monitoramento BV062



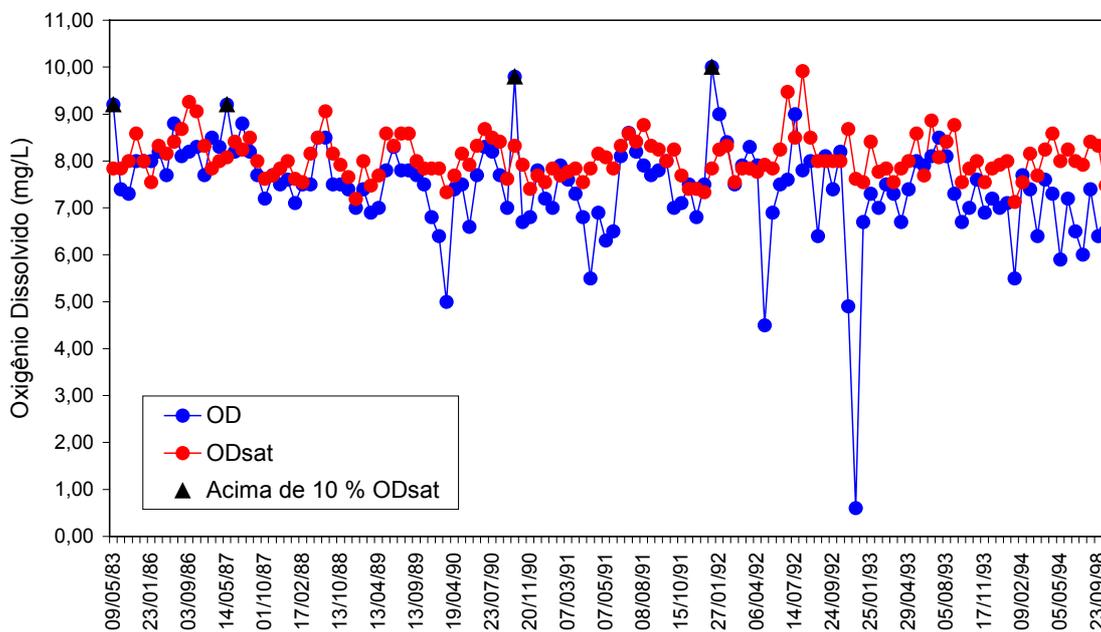
FONTE: Dados de OD (IGAM, 2003a).

GRÁFICO 57 - Curvas de OD e OD<sub>sat</sub> do ponto de monitoramento BV062



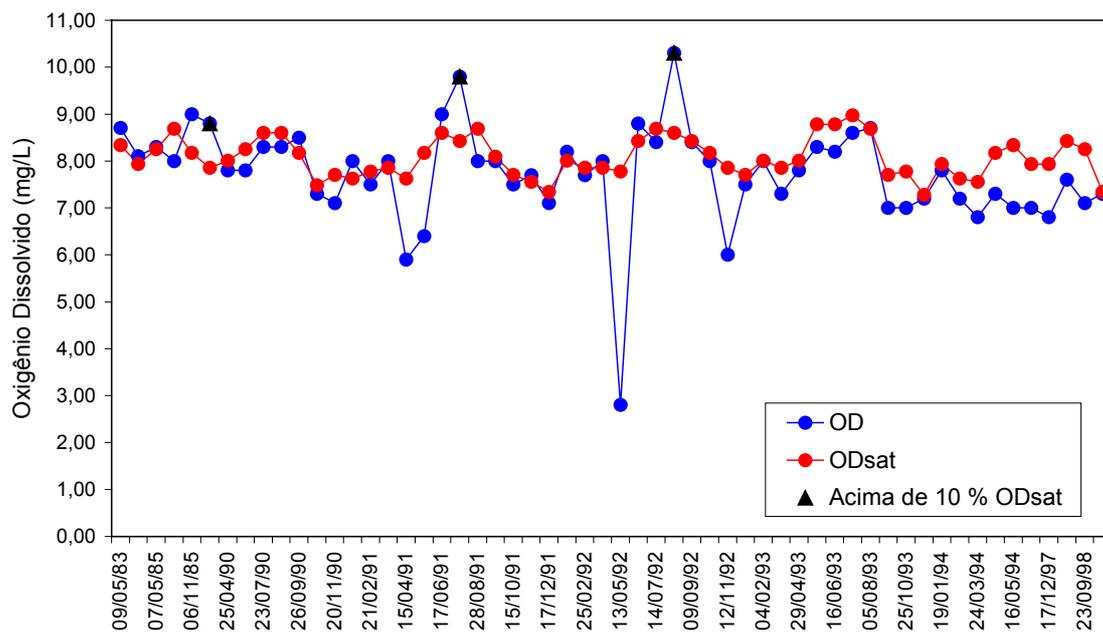
FONTE: Dados de OD (IGAM, 2003a).

GRÁFICO 58 - Curvas de OD e OD<sub>sat</sub> do ponto de monitoramento BV139



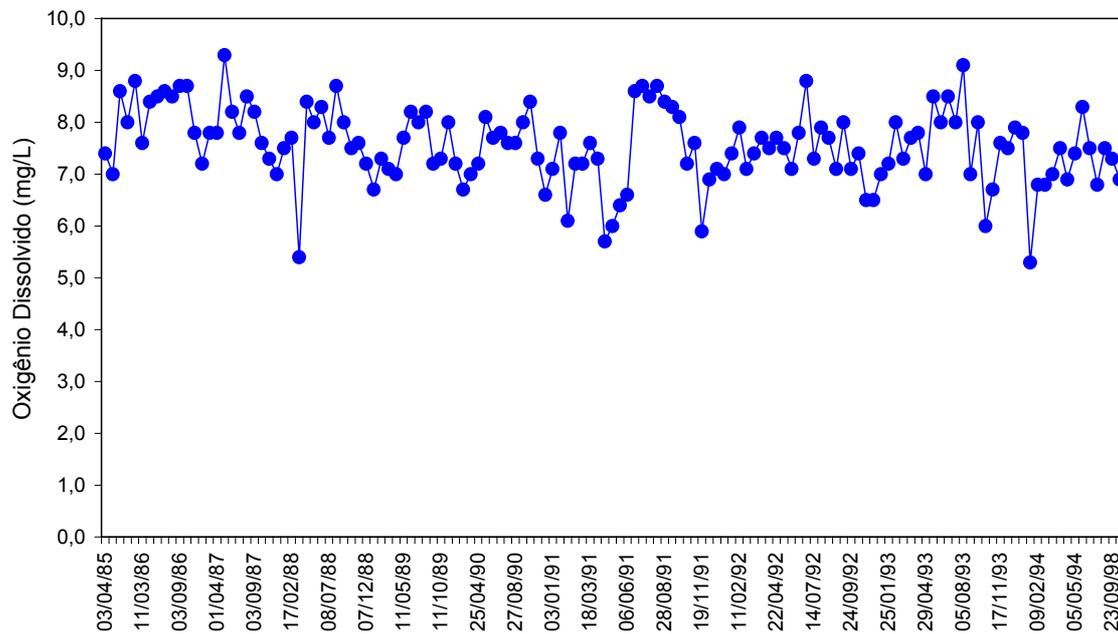
FONTE: Dados de OD (COPASA-MG).

GRÁFICO 59 - Curvas de OD e OD<sub>sat</sub> do ponto de monitoramento 0600001101



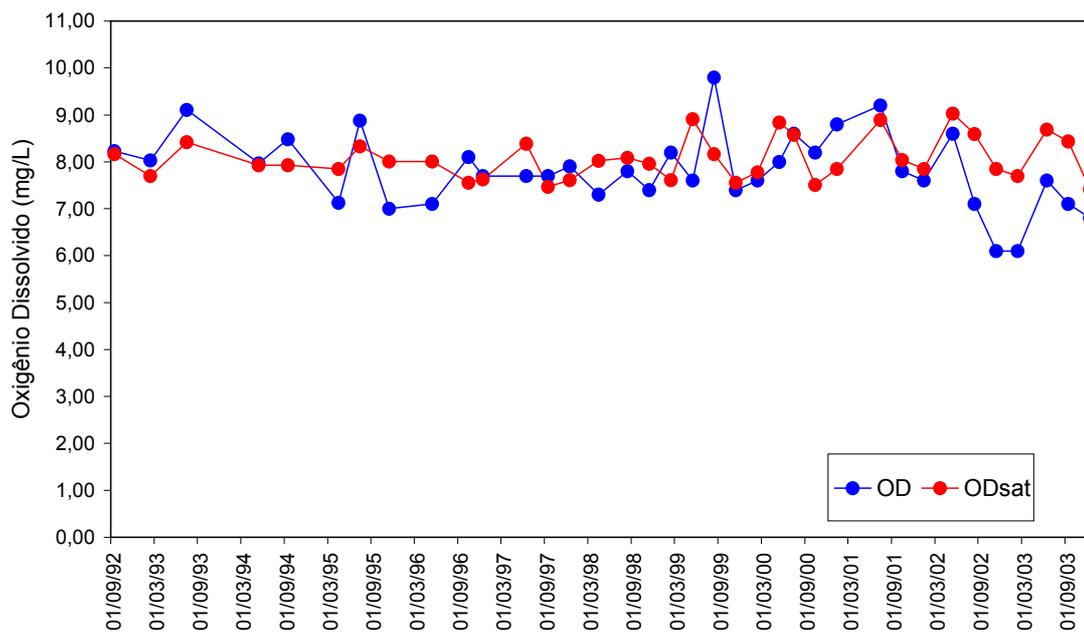
FONTE: Dados de OD (COPASA-MG).

GRÁFICO 60 - Curvas de OD e OD<sub>sat</sub> do ponto de monitoramento 0600001104



FONTE: Dados de OD (COPASA-MG).

GRÁFICO 61 - Curvas de OD do ponto de monitoramento 0600001109



FONTE: Dados de OD (ANA, 2004).

GRÁFICO 62 - Curvas de OD e OD<sub>sat</sub> na estação hidrometeorológica de Honório Bicalho Montante

#### 10.4.3 Sub-bacias dos Ribeirões Macacos, Mutuca e Casa Branca

Na margem esquerda do rio das Velhas, há importantes mananciais nas sub-bacias do ribeirão dos Macacos e do córrego da Mutuca que abastecem a Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH. A COPASA-MG mantém uma rede de monitoramento de qualidade das águas nos mananciais. Para a análise de qualidade das águas nessa região, foram selecionados os seguintes pontos de monitoramento da COPASA-MG: 0600000601 e 0600000602 na sub-bacia do córrego do Mutuca; 0600000901, 0600000902, 0600000907, 0600000910, 0600001502, 0600001103 na sub-bacia do ribeirão dos Macacos. Acrescentam-se, ainda, três poços da COPASA-MG/MBR: 0600000607, 0600000909 e 0600000910 e pontos de monitoramento do Projeto PNMAII: AV220, AV230, AV240, AV250, AV280 e AV290, que são coincidentes aos da COPASA-MG. Da rede da APA Sul RMBH, tem-se o ponto de monitoramento VE05, no ribeirão dos Macacos à jusante da confluência com o ribeirão Gorduras.

Na bacia do rio Paraopeba, há, também, mananciais da COPASA-MG localizados na sub-bacia do ribeirão Casa Branca e no córrego Taboão. Os pontos de monitoramento selecionados foram os seguintes: 0600000701, 0600000702, 0600000703 e 0600000704 no ribeirão Catarina, 0600000401, 0600000402 e 0600000403, córrego Taboão. Da rede da APA Sul RMBH, têm-se dois pontos de monitoramento: PA09, no ribeirão Casa Branca, e PA10, no ribeirão Ferro-Carvão. Do Projeto Águas de Minas, foram incluídos dois pontos de monitoramento do rio Paraopeba: PB036 e PB068, sendo que o primeiro está a montante e o segundo está a jusante de afluentes que nascem na APA Sul RMBH.

Nos pontos de monitoramento da COPASA-MG, a concentração de OD está, em média, acima de 6 mg O<sub>2</sub>/L (Classe 1). Nos pontos 0600000601, 0600000602 e 0600000902, observa-se uma diminuição considerável da concentração de OD como mostrado nos [GRAF. 63 a 67](#).

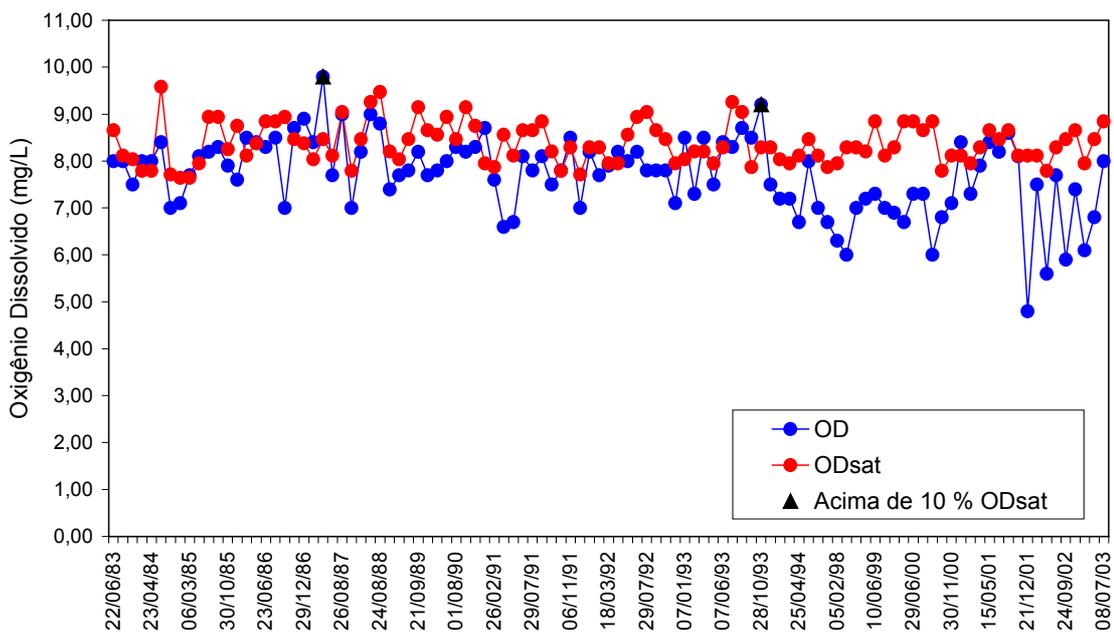
Os valores de DBO estão, em média, abaixo de 3 mg O<sub>2</sub>/L (Classe 1) nos pontos de monitoramento. No 0600001103, há ocorrências de DBO acima de 10 mg O<sub>2</sub>/L como, também, valores abaixo do limite de detecção. Os valores de DQO são mais altos que os de DBO em 0600000601, 0600000602 e 0600000902, registrando valores máximos de 49 mg O<sub>2</sub>/L, 13 mg O<sub>2</sub>/L e 17 mg O<sub>2</sub>/L, respectivamente.

Os valores de sólidos dissolvidos, turbidez e cor indicam que o conteúdo de sólidos é baixo nos pontos de monitoramento da COPASA-MG. Os valores mais expressivos desses parâmetros ocorrem no período chuvoso da série histórica considerada.

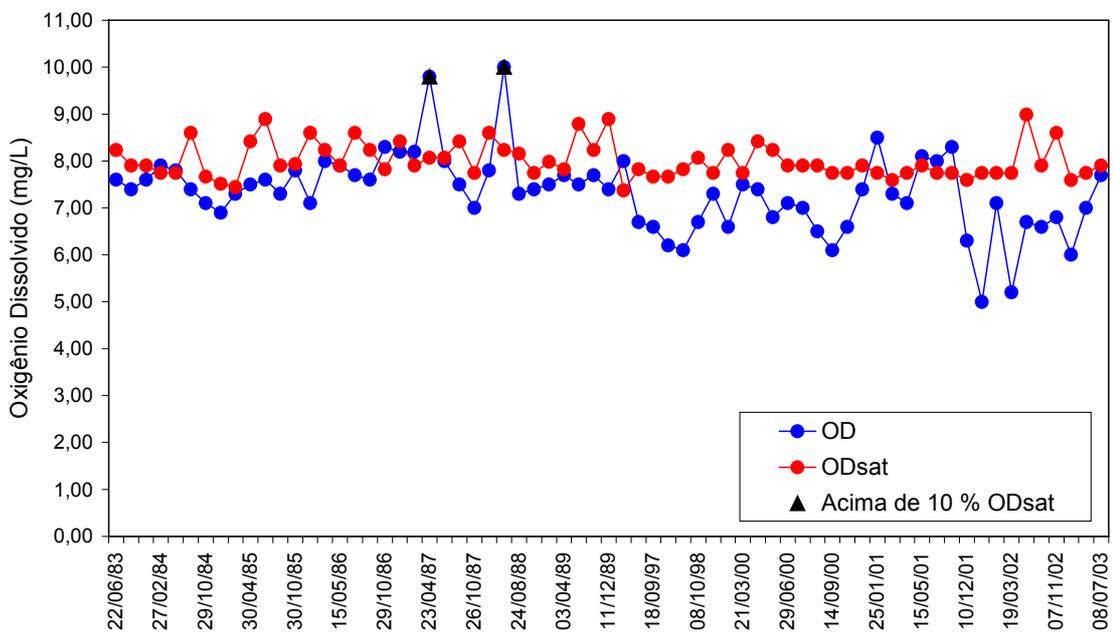
As concentrações de metais, tais como alumínio, arsênio, cromo, ferro solúvel, ferro total, mercúrio, selênio e zinco, estão baixos ou abaixo do limite de detecção do método analítico utilizado. No ponto 0600001103, chama-se a atenção para as concentrações de alumínio, ferro solúvel e total que são mais elevadas que nos demais pontos de monitoramento da COPASA-MG, nas sub-bacias em questão.

Nas duas campanhas de monitoramento realizadas nos ribeirões Casa Branca (PA09) e Ferro-Carvão (PA10), os valores de OD estão acima de 6 mg O<sub>2</sub>/L (Classe 1), embora em PA10, no dia 21/10/02, esteja acima de 5 mg O<sub>2</sub>/L (Classe 2). As contagens de coliformes fecais e coliformes totais foram maiores na campanha realizada em janeiro do que em outubro. Com relação ao ferro e ao manganês, verificam-se valores maiores em PA10 do que em PA09, sendo que para o primeiro registrou valor acima de 0,5 mg/L (Classe 3) na segunda campanha. A turbidez e sólidos dissolvidos estão abaixo dos valores da Classe 1.

Nos pontos de monitoramento BP036 e PB068, a concentração de OD está acima de 6 mg O<sub>2</sub>/L (Classe 1), sendo que há três ocorrências de OD acima de 10% do OD<sub>sat</sub> (GRAF. 66 e 67). Os valores de DBO estão, na maioria, abaixo do limite de detecção do método analítico. A série de nitrogênio (nitrogênio amoniacal e orgânico, nitritos e nitratos) estão também baixos. As contagens de coliformes fecais e coliformes totais flutuam entre os valores máximos permitidos para as Classes 1 e 2. Os valores de cor e turbidez são baixos no período seco, porém ultrapassam aos valores máximos permitidos para as Classes 1, 2 e 3 no período chuvoso. De uma forma geral, as concentrações de alumínio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo (trivalente, hexavalente e total), mercúrio e zinco estão abaixo do limite de detecção do método analítico utilizado. O ferro solúvel e manganês apresentam concentrações acima do estabelecido para as Classes 1, 2 e 3. Para ferro solúvel, 17 % e 23 % da série histórica do BP036 e BP068, respectivamente, está acima de 0,3 mg/L (Classes 1 e 2). Para o manganês, 60 % e 80 % da série histórica do BP036 e BP068, respectivamente, está acima de 0,1 mg/L (Classes 1 e 2).

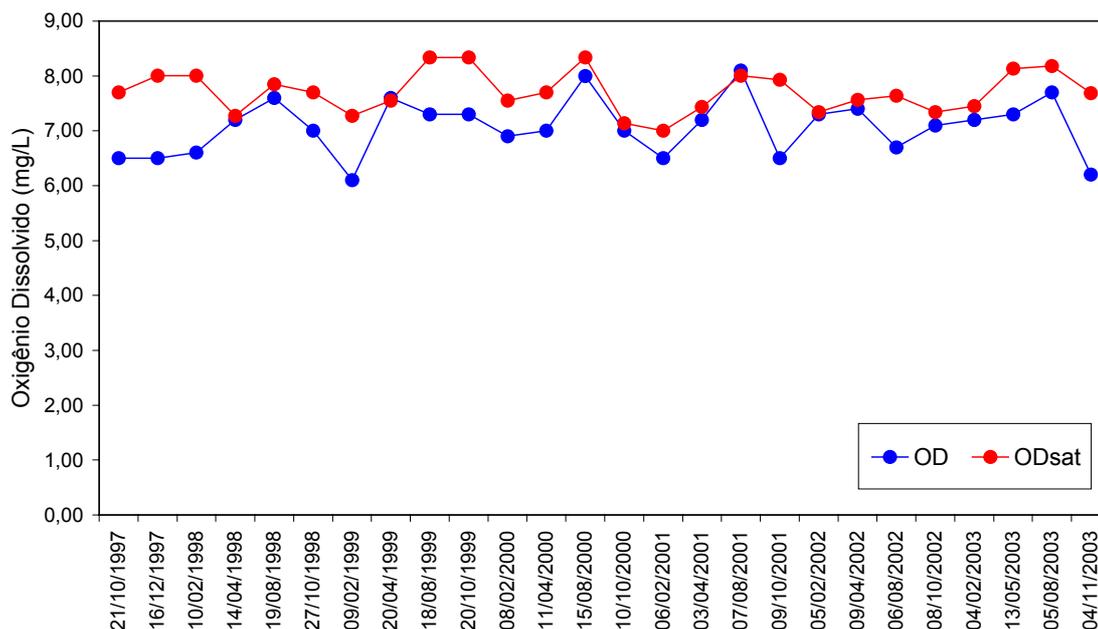


FONTE: Dados de OD (COPASA-MG).  
 GRÁFICO 63 - Curvas de OD e OD<sub>sat</sub> do ponto de monitoramento 060000601



FONTE: Dados de OD (COPASA-MG).  
 GRÁFICO 64 - Curvas de OD e OD<sub>sat</sub> do ponto de monitoramento 060000602





FONTE: Dados de OD (IGAM, 2003b).

GRÁFICO 67 - Curvas de OD e OD<sub>sat</sub> do ponto de monitoramento BP068.

#### 10.4.4 Sub-bacias do Rio do Peixe

Os pontos de monitoramento VE06, VE07, AV150, AV170, AV180, AV190 e AV200 localizam-se em afluentes da margem esquerda do rio das Velhas. Ressalte-se que a série histórica de monitoramento é pequena, variando de 2 a 6 campanhas realizadas no período de 2002 e 2003.

Nesses pontos de monitoramento, a concentração de OD está acima de 6 mg O<sub>2</sub>/L (Classe 1). A quantidade de matéria orgânica é baixa visto que os valores de DBO e da série de nitrogênio (nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, nitritos e nitratos) estão muito baixos. A contagem de coliformes fecais encontra-se, também, baixa. As concentrações dos metais bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo trivalente, cromo hexavalente, mercúrio, zinco, ferro solúvel e dos ametais arsênio e selênio estão abaixo do estabelecidos para a Classe 1 ou abaixo do limite de detecção do método analítico. Os valores de sólidos dissolvidos, turbidez e cor indicam que o conteúdo de sólidos é baixo. Como registrado nos pontos de monitoramento BV013, BV035 e BV037, em AV140 foram registrados altíssimos valores de sólidos (1019 mg/L de sólidos totais), cor (100 mg/L uT) e turbidez (1148 UNT) no dia 17/01/2003, ocasionado por intensas chuvas no mês de janeiro de 2003.

#### 10.4.5 Sub-bacia do Rio Conceição

Os pontos de monitoramento PI01, PI02, PI03 E PI04 localizam-se no rio Conceição pertencente à bacia do rio Piracicaba.

Nos pontos de monitoramento, a concentração de OD está acima de 6 mg O<sub>2</sub>/L (Classe 1). As contagens de coliformes fecais e coliformes totais encontram-se maior na segunda que na primeira campanha de amostragem, chegando a ultrapassar o limite máximo da Classe 3. As concentrações de ferro total, manganês, cádmio, chumbo, mercúrio e arsênio estão, na maioria, abaixo do limite de detecção do método analítico empregado (TAB. 63). Não foi

identificada presença de arsênio nas campanhas. A concentração de sólidos dissolvidos e os valores de turbidez estão muito abaixo da Classe 1.

Nessa região, foram identificadas atividades de mineração, ativas e inativas, principalmente minas de ouro abandonadas na bacia do rio Piracicaba, mais especificamente, na região da sub-bacia do rio Conceição. No período chuvoso, a lixiviação de solo em regiões minerárias, sem recuperação ambiental adequada, pode transportar elementos metálicos e ametálicos considerados tóxicos para as calhas de drenagem. No intuito de verificar influência desta atividade nos cursos d'água foram alocados os pontos de monitoramento PI01, PI02, PI03 e PI04.

### 10.5 IQA e Contaminação por Tóxicos (CT)

Os valores de IQA dos pontos de monitoramento BV013, BV035, BV037, BV062, BV063, BV139, PB036 e PB068 do período de 1997 a 2003 estão representados nos [GRAF. 68](#) a 75; e valores médios na TAB. 66.

Os valores médios do IQA indicam nível de qualidade *média* para o rio das Velhas no trecho a montante do rio Itabirito e a montante da ETA Bela Fama e *ruim* a montante do ribeirão Água Suja. Tanto no rio Itabirito quanto no ribeirão Água Suja, o nível de qualidade é *ruim*. No trecho do rio Paraopeba estudado, o nível do IQA é *médio*.

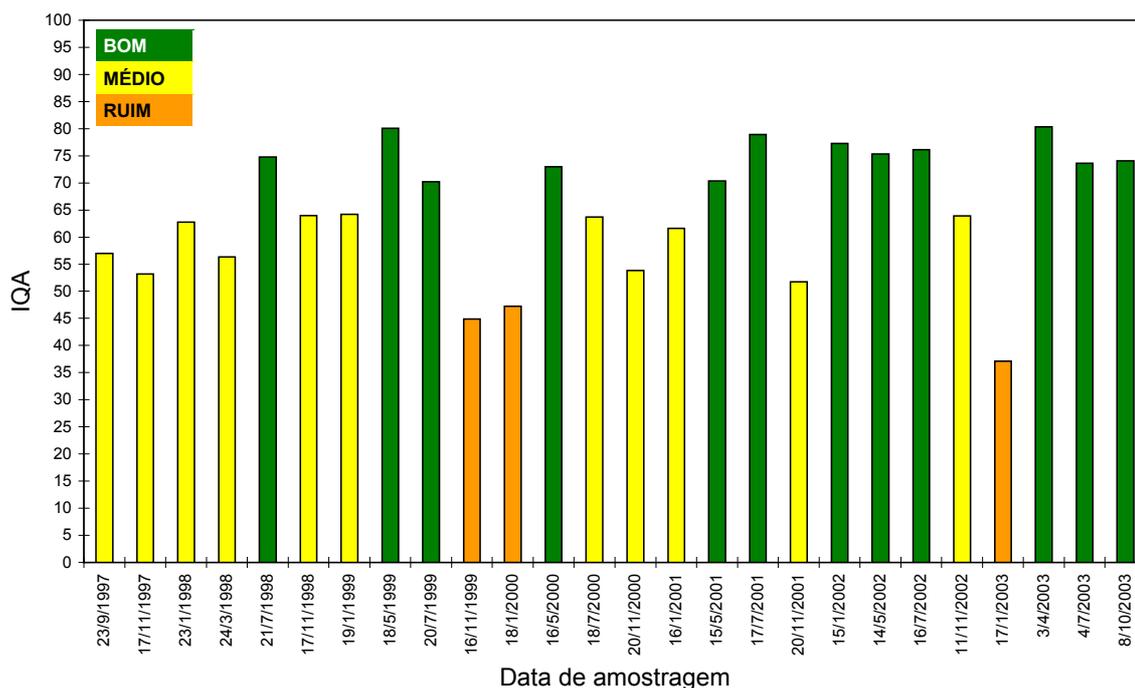
TABELA 66  
Valores médios de IQA entre 1997 e 2003

Estação	Média do IQA	Nível de qualidade
BV035	46,69	Ruim
BV013	64,83	Médio
BV037	56,8	Médio
BV139	57,04	Médio
BV062	41,49	Ruim
BV063	50,57	Médio
BP036	61,84	Médio
BP068	58,75	Médio

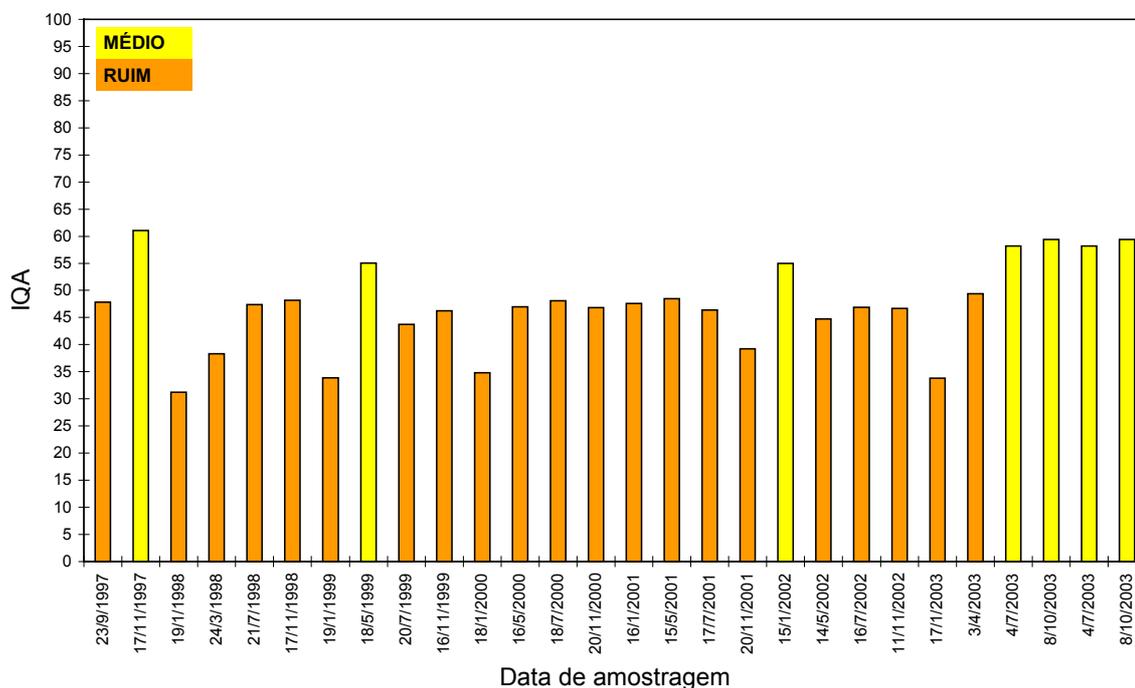
FONTE: Dados individuais de IQA (IGAM, 2003a e IGAM, 2003b).

Considerando os parâmetros que compõem o cálculo do IQA, verificam-se que os valores de IQA refletem as altas concentrações dos indicadores de matéria orgânica e sólidos no rio Itabirito e ribeirão Água Suja provenientes de lançamento de esgoto doméstico e lixiviação de matéria sólida, respectivamente. De fato, a campanha realizada em 17/01/2003, como já discutido anteriormente, representa um dos valores mais baixo de IQA no período analisado. Ao passo que o nível de oxigenação indica condições favoráveis para decomposição da matéria orgânica no rio das Velhas.

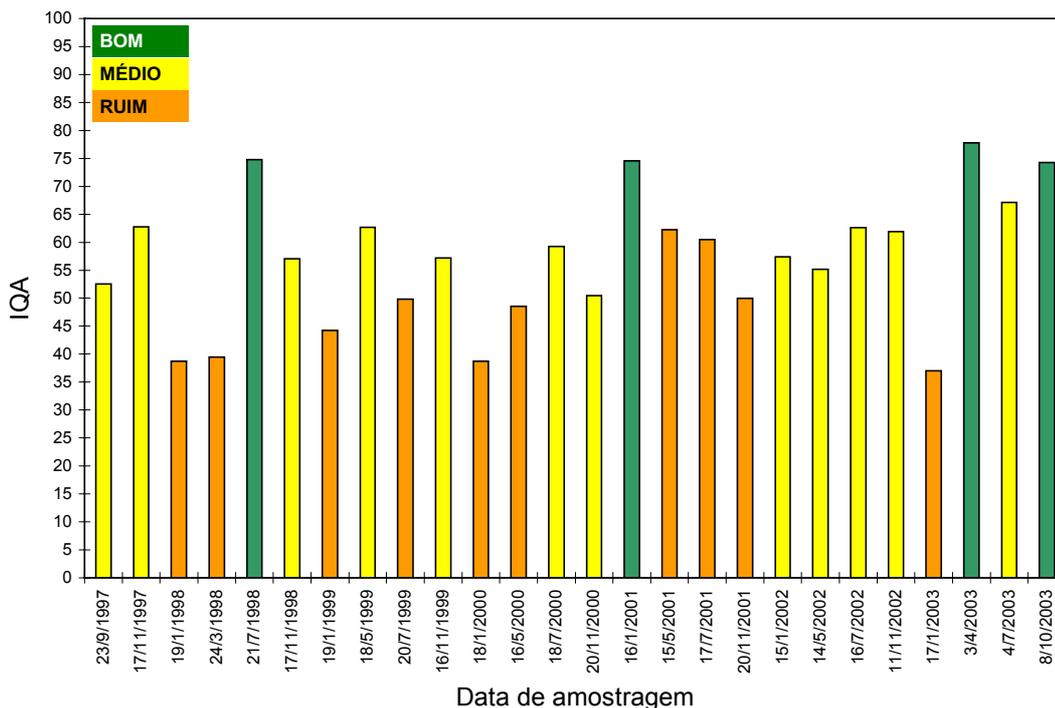
A análise de Contaminação por Tóxicos (CT) determinou o número de ocorrências da série histórica dos parâmetros considerados tóxicos em cada faixa de CT ([item 10.3.5](#)). O nível de CT encontra-se na faixa baixa em todos os pontos de monitoramento analisados, exceto em BV062 (ribeirão Água Suja). Neste ponto, há ocorrência de 13% da série histórica do arsênio acima de duas vezes da concentração definido na DN 10/86 (TAB. 61), ou seja, nível de CT alto. Devido a isso, considerou-se CT alto no ribeirão Água Suja.



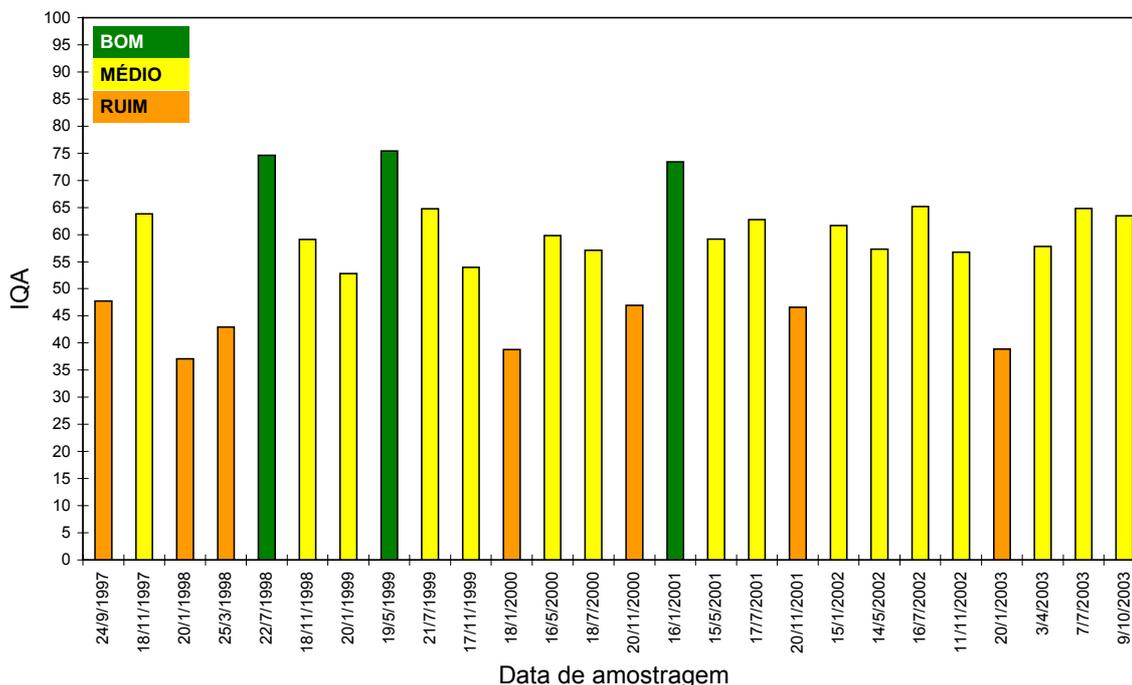
FONTE: Dados de IQA (IGAM, 2003a).  
 GRÁFICO 68 - IQA do ponto de monitoramento BV013 no período de 1997 a 2003



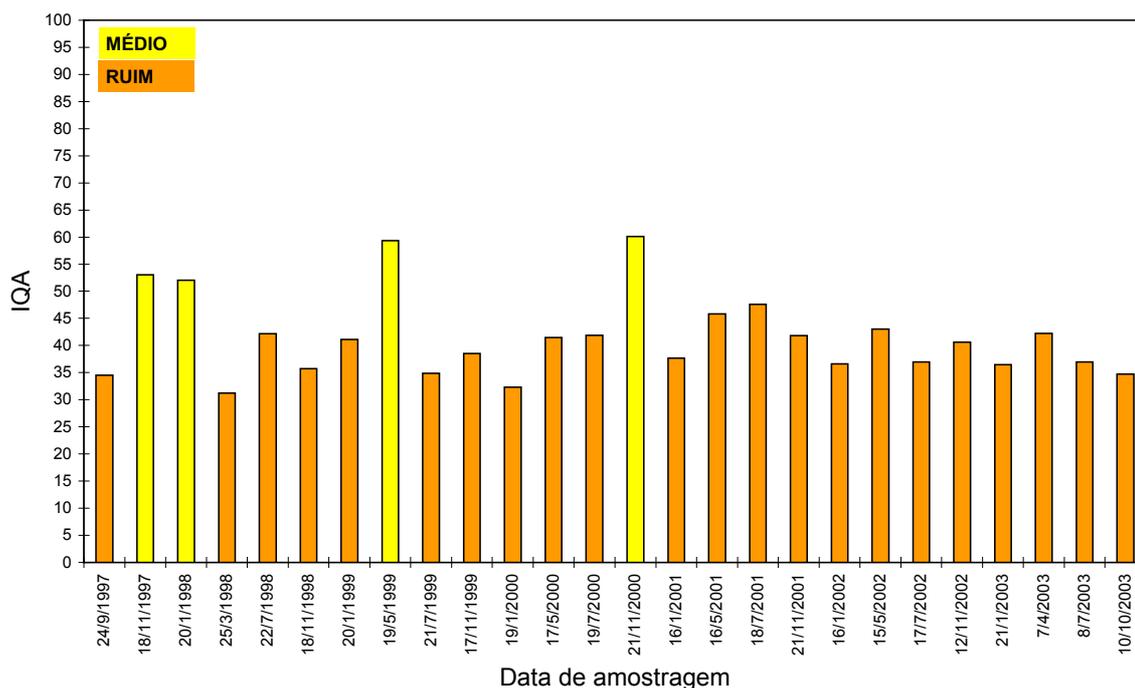
FONTE: Dados de IQA (IGAM, 2003a).  
 GRÁFICO 69 - IQA do ponto de monitoramento BV035 no período de 1997 a 2003



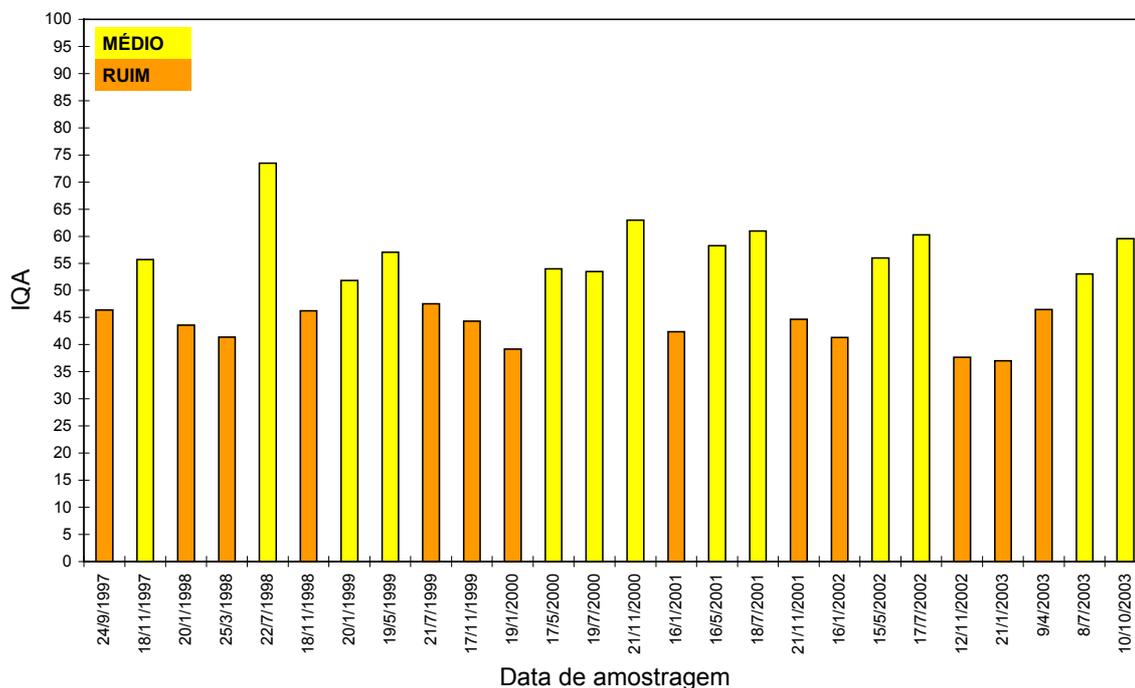
FONTE: Dados de IQA (IGAM, 2003a).  
 GRÁFICO 70 - IQA do ponto de monitoramento BV037 no período de 1997 a 2003



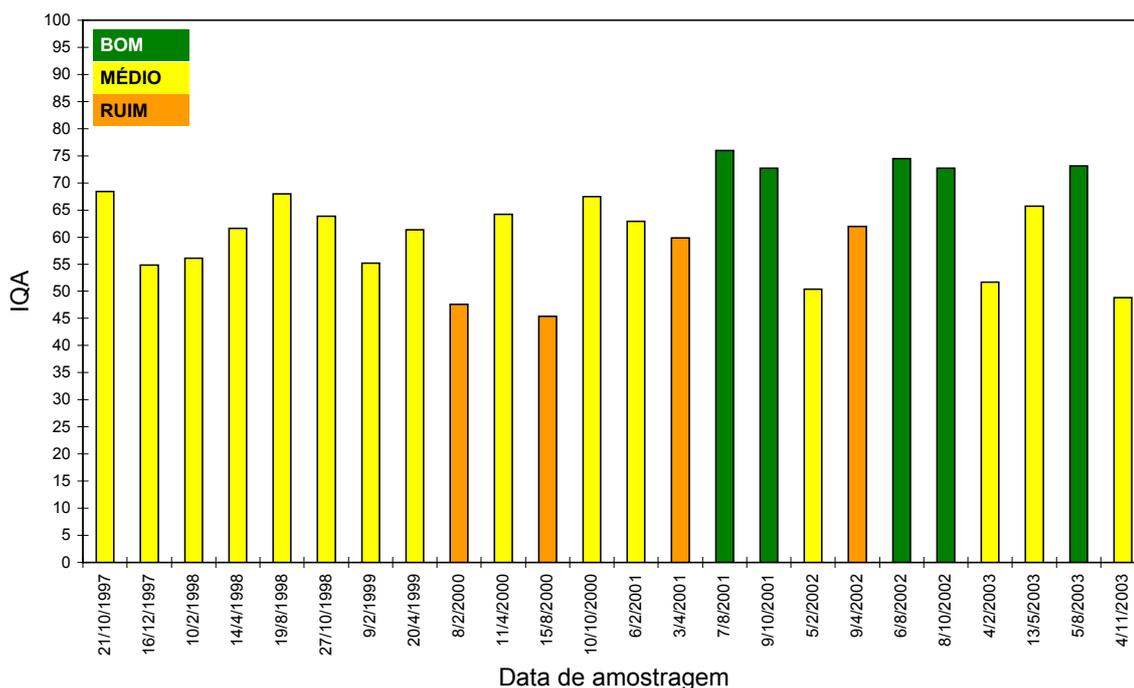
FONTE: Dados de IQA (IGAM, 2003a).  
 GRÁFICO 71 - IQA do ponto de monitoramento BV139 no período de 1997 a 2003



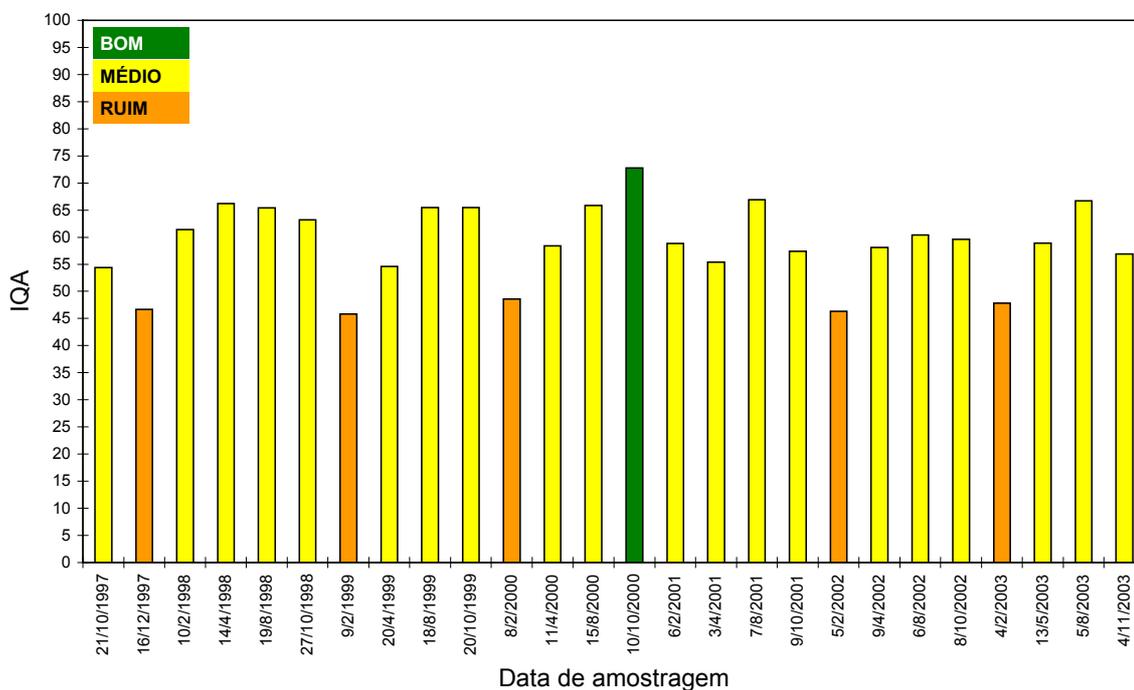
FONTE: Dados de IQA (IGAM, 2003a).  
 GRÁFICO 72 - IQA do ponto de monitoramento BV062 no período de 1997 a 2003



FONTE: Dados de IQA (IGAM, 2003a).  
 GRÁFICO 73 - IQA do ponto de monitoramento BV063 no período de 1997 a 2003



FONTE: Dados de IQA (IGAM, 2003a).  
 GRÁFICO 74 - IQA do ponto de monitoramento BP036 no período de 1997 a 2003



FONTE: Dados de IQA (IGAM, 2003a).  
 GRÁFICO 75 - IQA do ponto de monitoramento BP068 no período de 1997 a 2003

## 10.6 Qualidade das Águas Superficiais Versus Enquadramento

Como mencionado anteriormente, as bacias hidrográficas presentes na APA Sul foram enquadradas em classes de qualidade de água. Entretanto, foram identificados valores de concentração de certos parâmetros em não-conformidade com as classes de enquadramento.

Dentre os parâmetros analisados, os fosfatos totais apresentaram percentagem bastante elevada de não-conformidade com o enquadramento, como mostrado no GRAF. 76. As menores ocorrências acontecem nos pontos de monitoramento em Mutuca (0600000601 e 0600000602) e Fechos (0600000901 e 0600000902).

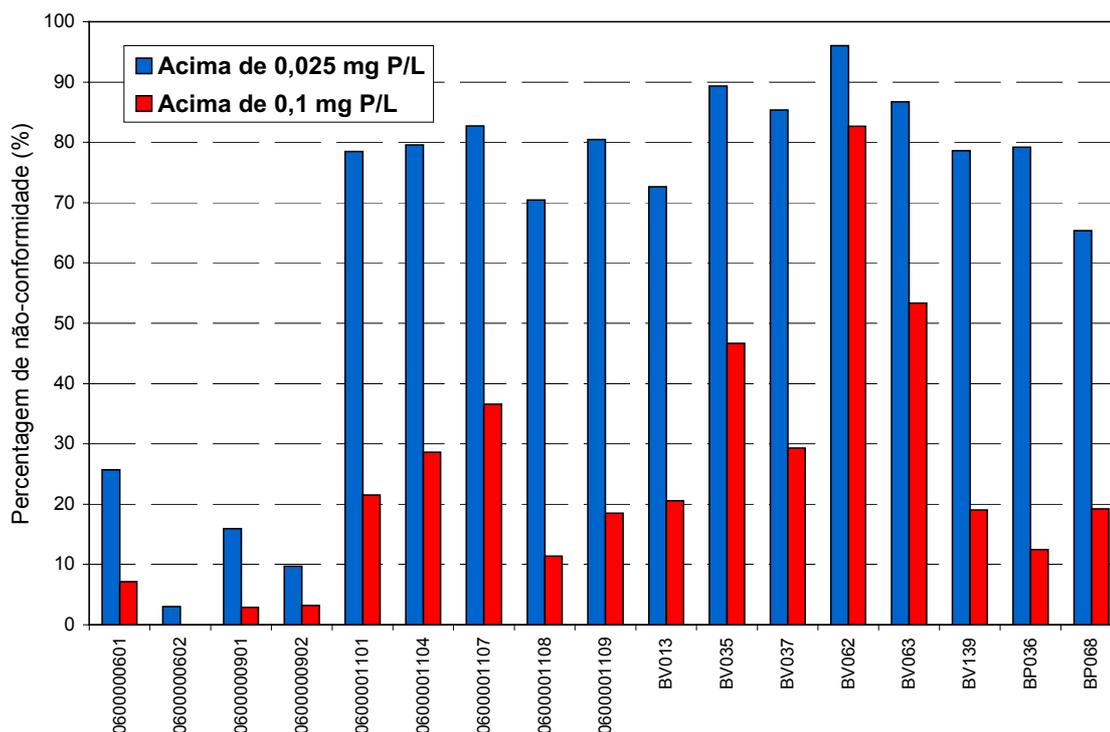


GRÁFICO 76 - Percentagem da série histórica dos fosfatos totais em não-conformidade com o enquadramento, considerando os VMPs estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 20/86 (0,025 mg P/L) e pela proposta de reformulação desta resolução (0,1 mg P/L)

O fósforo é um nutriente essencial e limitante para o desenvolvimento de microrganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica nos ecossistemas aquáticos. A única fonte natural de fósforo é oriunda de desgaste de rochas que contêm fosfatos. A elevação de fósforo provém de lançamento de esgotos domésticos, efluentes industriais e fertilizantes. No rio das Velhas, a presença de fosfatos totais provém de lançamento de efluente doméstico, fato verificado conjuntamente com outros parâmetros indicadores de matéria orgânica, já analisado anteriormente.

É importante ressaltar que o rio das Velhas, no trecho estudado, apresenta uma certa capacidade de autodepuração da matéria orgânica de origem antrópica, garantida pelo nível de oxigenação e pela vazão que são, respectivamente, condições favoráveis para decomposição da matéria orgânica e a diluição dos subprodutos no corpo d'água. A decomposição de compostos orgânicos nitrogenados, na presença de oxigênio e microrganismos aeróbios, resulta em espécies químicas inorgânicas de maior estado de oxidação (matéria orgânica → amônia → nitrito → nitrato). Essas espécies químicas podem

ser quantificadas separadamente. Com relação ao fósforo (fósforo orgânico e a série de fosfatos) a quantificação é feita considerando o fósforo total (P total), ou seja, toda e qualquer espécie química que contenha fósforo é determinado como fósforo total ou fosfatos totais. É possível determinar isoladamente a espécie química ortofosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), sendo a forma disponível para o metabolismo biológico. Portanto, as concentrações de fosfatos totais ou fósforo total poderão ser elevadas nos trechos do rio referentes às diferentes zonas de autodepuração. O ribeirão Água Suja (BV062) apresenta níveis consideráveis de matéria orgânica. Entretanto, no rio das Velhas a jusante da confluência com esse ribeirão, mostra-se uma recuperação, porém a concentração de fosfatos totais ainda permanece alta (BV063).

A Resolução CONAMA nº20/86 está em processo de atualização. Dentre as propostas de atualização, inclui a diferenciação de valor máximo permitido (VMP) de fósforo total para os padrões de qualidade das águas doces para ambientes lântico e lótico (TAB. 67). Isso porque a acessibilidade deste nutriente pelos microrganismos aquáticos é diferenciada nestes ambientes. Para ambiente lótico, o valor passa de 0,025 mg P/L para 0,1 mg P/L, portanto, 4 vezes menos restritivo com relação à legislação atual.

TABELA 67  
Proposta de valores máximos permitidos (VMP) para fósforo total  
da reformulação da Resolução CONAMA nº20/86

Ambiente	VMP, mg P/L
Lântico	0,020
Intermediário	0,025
Lótico	0,1

FONTE: CONAMA, 2003.

NOTA: Ambiente intermediário, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários de ambiente lântico

Considerando VMP de 0,1 mg P/L, o número de ocorrências de não-conformidade diminui enormemente, como mostrado na [GRÁF. 76](#). A percentagem de redução de não-conformidade é menos pronunciada em BV062 e BV063 ([TAB. 68](#)), indicando que a concentração de fosfatos totais é realmente bastante alta.

TABELA 68  
Diferença de percentagem de ocorrência de não-conformidade da série histórica de fosfatos entre VMP 0,025 mg P/L e 0,1 mg P/L

Ponto de monitoramento	Percentagem de redução (%)
0600000601	19
0600000602	3
0600000901	13
0600000902	6
0600001101	57
0600001104	51
0600001107	46
0600001108	59
0600001109	62
BV013	52
BV035	43
BV037	56
BV062	13
BV063	33
BV139	60
BP036	67
BP068	46

É bastante preocupante a percentagem da série histórica do arsênio em não-conformidade no ribeirão Água Suja (GRAF. 77). A identificação desse ametal no curso d'água é proveniente de uma atividade minerária de tempos atrás. Portanto, é recomendável que a implantação de qualquer atividade antrópica deverá considerar conseqüências ambientais futuras.

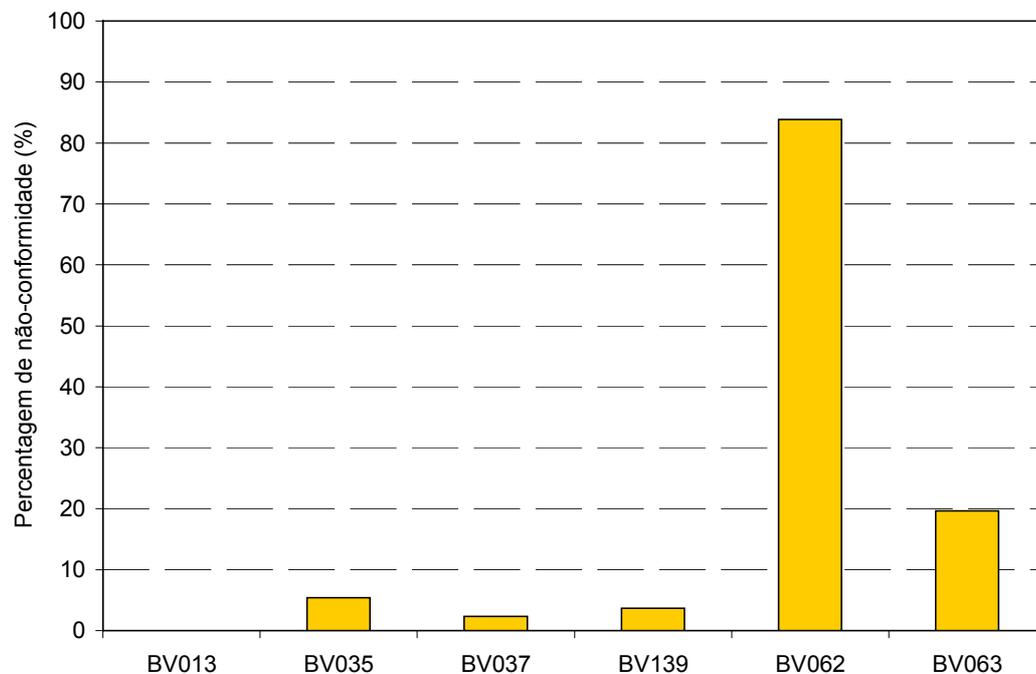


GRÁFICO 77 - Percentagem da série histórica de arsênio em não-conformidade com o enquadramento dos cursos d'água

Outros parâmetros que merecem destaques são ferro solúvel, manganês, coliformes totais, coliformes fecais, índice de fenóis, óleos e graxas, cor e turbidez, como mostrado nos GRAF. 78 a 81. A não-conformidade dos parâmetros cor e turbidez, os quais estão relacionados à presença de sólidos dissolvidos e sólidos não dissolvidos, respectivamente, ocorre principalmente no período chuvoso. Os coliformes fecais e coliformes totais estão relacionados ao lançamento de esgoto doméstico.

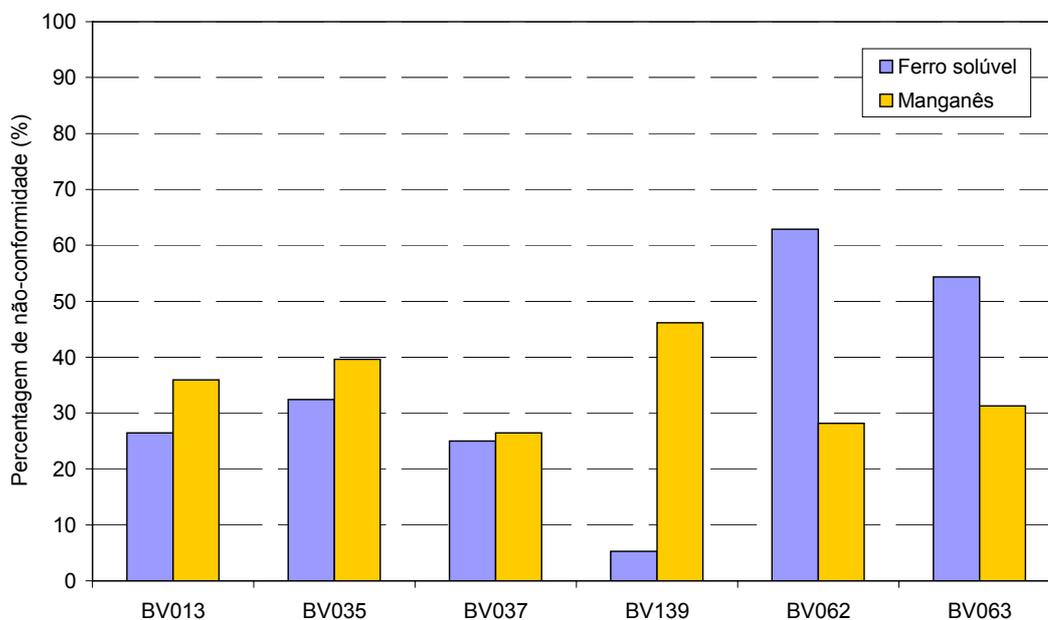


GRÁFICO 78 - Percentagem das séries históricas de ferro solúvel e manganês em não-conformidade com o enquadramento dos cursos d'água

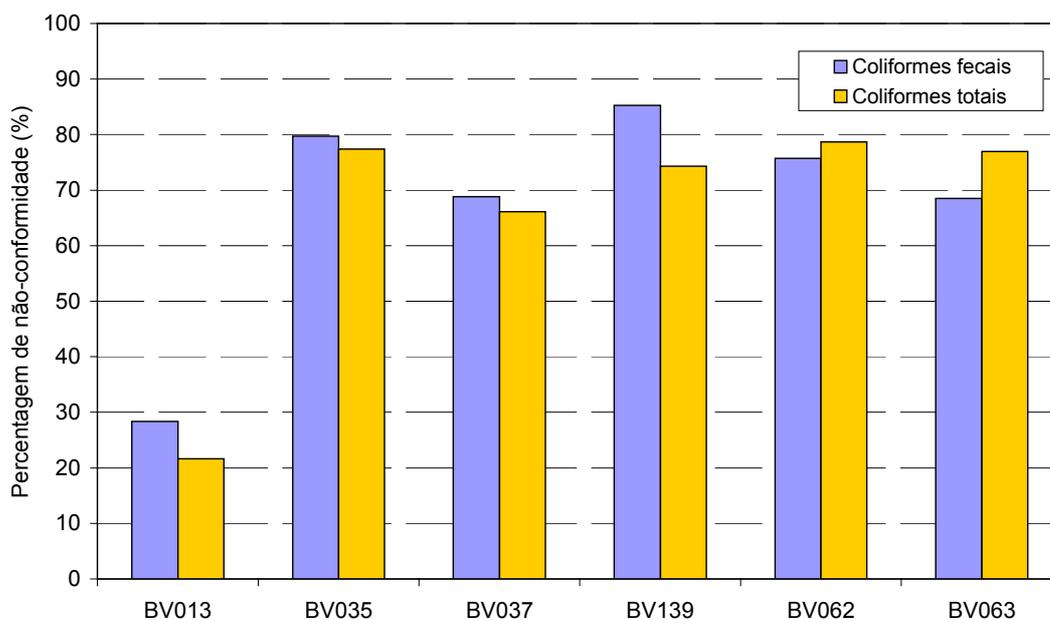


GRÁFICO 79 - Percentagem das séries históricas de coliformes fecais e coliformes totais em não-conformidade com o enquadramento dos cursos d'água

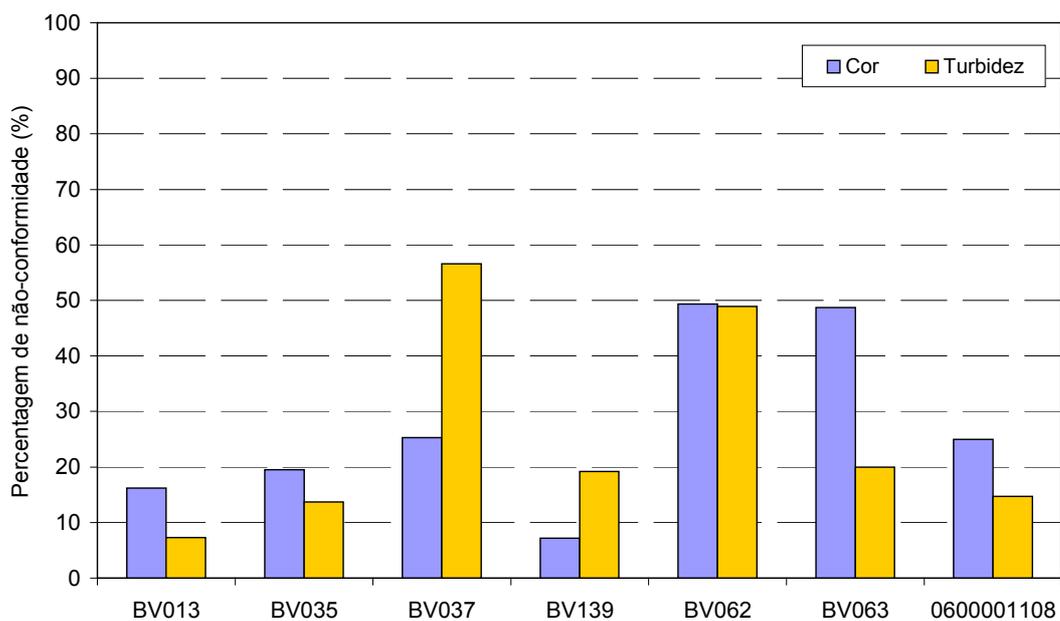


GRÁFICO 80 - Percentagem da série histórica de cor e de turbidez em não-conformidade com o enquadramento dos cursos d'água.

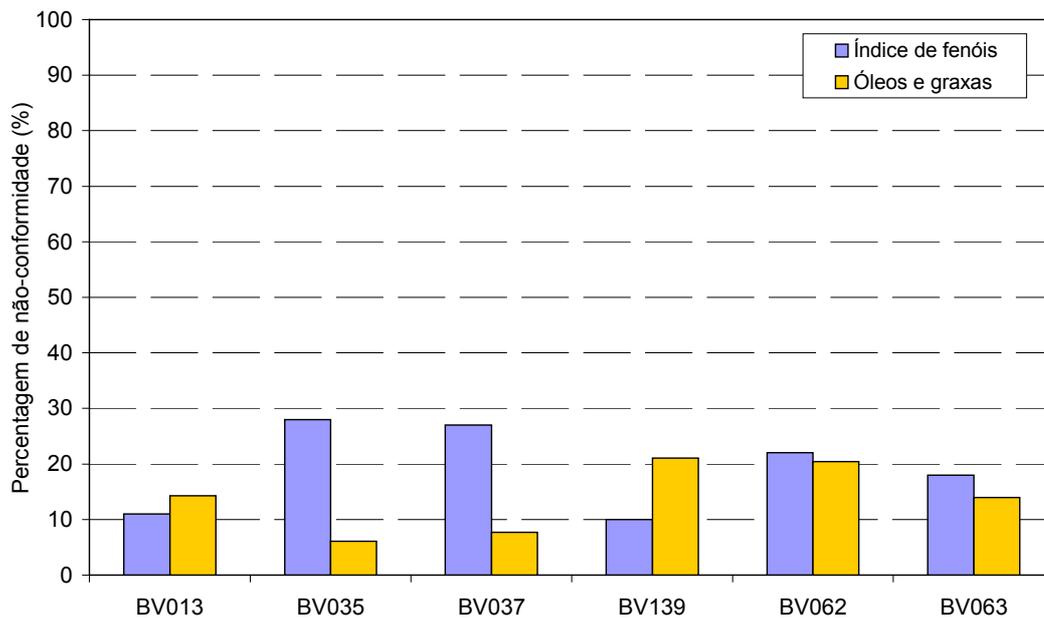


GRÁFICO 81 - Percentagem da série histórica de óleos e graxas e índice de fenóis em não-conformidade com o enquadramento dos cursos d'água

## 10.7 Avaliação Geral de Qualidade das Águas na APA Sul RMBH

Os resultados de análises dos pontos de monitoramento selecionados permitem tecer algumas considerações sobre os cursos d'água da APA Sul RMBH, conforme mostrado no QUADRO 7.

QUADRO 7  
Resumo da avaliação de qualidade das águas

<b>Cursos d'água</b>	<b>Principais características</b>
Rio Itabirito	Altos valores da série de sólidos, de cor, de turbidez, matéria orgânica, coliformes fecais, coliformes totais, fósforo, ferro, manganês. No período chuvoso, carreamento de matéria sólida resulta a presença e/ou elevação da concentração de certos metais, como manganês, níquel e cromo trivalente e do ametal arsênio.
Rio das Velhas, trecho compreendido entre a confluência com o rio Itabirito e a montante da ETA Bela Fama.	Altos valores da série de sólidos, de cor, de turbidez, matéria orgânica, contaminação fecal, ferro e manganês. O conteúdo de oxigênio dissolvido e a vazão do curso d'água favorecem um certo grau de depuração da matéria orgânica e a diluição dos subprodutos.
Ribeirão Água Suja	Altos valores da série de sólidos, de cor, de turbidez, matéria orgânica, contaminação fecal, fósforo, nitrogênio amoniacal, ferro, manganês, arsênio, chumbo, cobre, cádmio, níquel, cromo e bário. Conteúdo de oxigênio dissolvido baixo.
Rio das Velhas a jusante da confluência com o ribeirão Água Suja	Altos valores da série de sólidos, de cor, de turbidez, matéria orgânica, coliformes fecais, coliformes totais, fósforo, ferro, manganês. O conteúdo de oxigênio dissolvido e a vazão do curso d'água favorecem a uma certa depuração da matéria orgânica e a diluição dos subprodutos.
Mananciais da COPASA nos ribeirões dos Macacos, Catarina e córrego Taboões	Baixos conteúdos de sólidos em suspensão e matéria orgânica. Valores baixos de cor e de turbidez. Ocorrências de fósforo acima de 0,025 mg P/L em Mutuca e Fechos. Alto conteúdo de oxigênio dissolvido.

## 10.8 Recomendações

Padronização da nomenclatura dos parâmetros de qualidade das águas;

Utilizar metodologias analíticas com limite de detecção compatível com os valores máximos permitidos dos padrões de qualidade das águas doces;

Modelagem de autodepuração de matéria orgânica na bacia do rio das Velhas;

Utilização do IAP - Índice de Qualidade de Água Bruta para fins de abastecimento público – (CETESB, 2004) nos pontos de monitoramento dos mananciais da RMBH.

## **11. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

---

A análise das variáveis climáticas mostrou que o clima da região onde está inserida a APA Sul RMBH é fortemente influenciado pela atuação dos sistemas de larga-escala e regionais, bem como por fatores locais. Os principais sistemas que atuam diretamente sobre a área em estudo são o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), o Anticiclone Polar Atlântico, as linhas de instabilidade (LI), também chamadas calhas induzidas, os sistemas frontais, a zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e com menor frequência a Alta da Bolívia (AB) e a Baixa do Chaco (BC). Localmente, os fatores que interferem no clima da APA são o relevo, o tipo de solo, a cobertura vegetal, a existência de corpos d'água e a influência antrópica que altera o uso e a ocupação do solo. Entretanto, o relevo parece ser preponderante sobre os outros fatores, pois a presença das Serras do Três Irmãos, do Curral, do Espinhaço e do Caraça, como anteparo físico ao transporte de umidade, gera diferenças nas precipitações e temperaturas em função da altitude.

Os estudos de caracterização pluviométrica mostraram que a distribuição temporal das chuvas, com dois períodos distintos, seis meses secos (abril a setembro) e seis meses úmidos, nos quais as precipitações assumem valores relativamente mais elevados (outubro a março), é reflexo da atuação dos processos de larga escala controlando o regime de precipitação nessa região. O trimestre mais chuvoso, correspondente aos meses de novembro, dezembro e janeiro, representa de 55% a 59% da precipitação média anual e o trimestre mais seco, junho, julho e agosto, aproximadamente de 2% a 3%.

A distribuição espacial das chuvas é muito influenciada pelo relevo, como mostrou o traçado das isoietas médias anuais e o estudo de probabilidade de ocorrência de totais anuais. Esse estudo também mostrou que a distribuição de probabilidades da variável precipitação anual é a Log-Normal (3P) e a APA Sul RMBH pode ser considerada uma região homogênea para essa variável. As chuvas intensas também apresentam influência do relevo, que está representado na equação regional pela variável precipitação média anual.

Em termos de precipitações máximas diárias, a APA Sul forma uma região homogênea com a distribuição regional sendo a Generalizada de Eventos Extremos (GEV).

As disponibilidades hídricas superficiais em termos de vazões médias específicas varia de 18 l/s.km<sup>2</sup> a 30 L/s.km<sup>2</sup> para áreas de drenagem entre 175 e 1.698 km<sup>2</sup>. A maior vazão média específica foi observada na bacia do rio Piracicaba.

Analisando a variação das vazões mensais das principais estações fluviométricas da área em estudo, observa-se que janeiro e dezembro são os meses de maior média, enquanto que agosto e setembro apresentam as menores vazões médias mensais nas sub-bacias.

Os estudos realizados permitiram obter as estimativas das vazões médias mensais na bacia do rio das Velhas geradas na área da APA Sul RMBH. Essas vazões foram comparadas com as da estação de Honório Bicalho, cód. 41199998, que é a estação de controle de jusante da APA e está instalada pouco a montante da captação de Bela Fama (aproximadamente 6 m<sup>3</sup>/s) pertencente à COPASA-MG. Os resultados dessa comparação, apresentados no [ANEXO J](#), mostram que, em termos médios, de 35% a 40% das vazões anuais que escoam em Honório Bicalho têm sua origem na área da APA SUL RMBH.

As contribuições específicas mensais para as diferentes permanências estimadas nesse estudo mostraram que as estações fluviométricas da região da APA Sul apresentam boas disponibilidades para a permanência de 95%, variando de 6,1 a 12,1 l/s.km<sup>2</sup> para áreas de drenagem de 175 a 1.698 km<sup>2</sup>.

A análise de frequência dos dados de vazões mínimas permitiu o cálculo do risco de ocorrência das vazões mínimas para as sub-bacias da APA Sul RMBH com diferentes durações. Entretanto, devem ser feitos alguns comentários sobre as estimativas de vazões mínimas associadas a diferentes tempos de retornos para pequenas áreas de drenagem. As vazões mínimas observadas no período de estiagem são formadas pelas restituições dos aquíferos que compõem a bacia hidrográfica. Desse modo, as drenagens das sub-bacias funcionam como integradores das restituições dos diferentes aquíferos. No caso da APA Sul, devido à heterogeneidade das características hidrogeológicas, em uma mesma sub-bacia, dois córregos, com a mesma área de drenagem, podem apresentar vazões muito diferentes se estiverem drenando aquíferos com características diversas. As drenagens das sub-bacias, cujo o escoamento de base recebe contribuições dos Aquíferos Cauê e Gandarela mostram que os volumes restituídos são significativos. Um exemplo desse fato ocorre na bacia do córrego de Fechos onde praticamente toda a vazão no período de estiagem é captada pela COPASA (Barragem Principal, Barragem Auxiliar e a Galeria) e após um pequeno incremento de área a vazão é quase que completamente restituída. Mais informações sobre esse exemplo podem ser encontradas no [ANEXO H](#).

As vazões máximas anuais da APA Sul RMBH, associadas a vários tempos de retorno, foram estimadas com as distribuições Log-Normal (3P) para a região homogênea do rio das Velhas e a Logística Generalizada para a região homogênea do rio Paraopeba. No caso da bacia do rio Piracicaba, foi ajustada a distribuição Generalizada de Eventos Extremos (GEV) aos dados da estação de Carrapato, cód. 56640000. Comparando a assimetria-L, que é uma medida de assimetria, verifica-se que o maior valor foi obtido para Carrapato e o menor para a região homogênea do rio das Velhas.

Nesse trabalho foi feita, também, uma análise das precipitações e vazões anuais nas estações fluviométricas, para verificar se ocorreu alguma alteração na relação entre os volumes anuais escoados e precipitados. Essa análise foi realizada através da plotagem das vazões anuais adimensionais das estações instaladas próximas e dentro da área da APA-Sul RMBH, que possuem as séries mais longas, e do traçado de curvas dupla acumuladas. A comparação das curvas adimensionais de vazões anuais com as de precipitações, mostrou que elas apresentam um comportamento bastante semelhante. Os anos hidrológicos de maiores vazões estão associados aos anos de maiores precipitações, ocorrendo o mesmo comportamento no caso dos anos com vazões baixas. Analisando as curvas dupla acumuladas verificou-se que, nos últimos anos, com exceção do período de 75/76 a 80/81, a proporcionalidade entre os deflúvios e as precipitações anuais das áreas de drenagem de Honório Bicalho e Carrapato se mantiveram sem alterações significativas e

persistentes. Provavelmente, umas das causas da alteração da proporcionalidade de 75/76 a 80/81 seja a ocorrência de anos hidrológicos de comportamentos extremos e opostos, como 75/76, bastante seco e 78/79, extremamente chuvoso. Além disso, esses anos parecem se comportar como uma transição de um período de predominância de vazões médias anuais inferiores ou pouco superiores à média (67/68 a 77/78) para uma seqüência de anos de vazões superiores à média, que altera o nível de armazenamento na bacia. É importante ressaltar que a proporcionalidade entre os deflúvios e as precipitações anuais não pode ser estendido às pequenas áreas de drenagem, pois caso sofram interferências antrópicas essas relações provavelmente irão se alterar. Como exemplos, podem ser citados os córregos dos Fechos, da Mutuca, Cercadinho, Rola Moça, Tabões, Bálamo, Barreiro, do Mingu e os ribeirões da Catarina, Aranha e Caraça entre outros cursos d'água, onde a presença de captações para abastecimento público podem modificar essa proporcionalidade. Outros exemplos são a modificações que ocorrem nos córregos Águas Claras, da Fazenda, Grota Fria, Capão da Serra, do Marinho e outros que estão em áreas de mineração. O [ANEXO H](#) descreve as inteferências sobre alguns dos exemplos citados.

Os valores dos coeficientes de escoamento superficial calculados para algumas estações fluviométricas, utilizadas nos estudos de Hidrologia, variaram de 0,39 a 0,50. Esses resultados indicam que as lâminas escoadas nas seções dos cursos d'água em relação à pluviosidade são consideráveis, ou seja, a capacidade média da APA Sul RMBH de produzir escoamento superficial em relação ao índice pluviométrico é significativo.

Com relação à análise sedimentométrica, os dados analisados neste estudo servem apenas como referência. A carência de dados sedimentométricos específicos da APA Sul RMBH, e a inexistência de uma rede de estações mais adequada e detalhada, impedem a realização de um estudo mais pormenorizado.

Todavia, os dados disponíveis indicaram que não há um aumento significativo nos últimos anos, na taxa de produção de sedimentos na bacia. Essa afirmação é válida para áreas de drenagem dos pontos de monitoramento superiores a 1.680 km<sup>2</sup>, e não pode ser estendida para as pequenas áreas de drenagem, pois, em pequenas bacias uma interferência antrópica degradadora pode aumentar significativamente a produção de sedimentos. Como exemplo, pode ser citado o rompimento de uma barragem de contenção de sedimentos, localizada na bacia do ribeirão Macacos, ocorrido em Jun/2001.

Sendo assim, a instalação da rede de monitoramento sedimentométrico sugerida é imprescindível para que, futuramente, sejam realizados estudos mais detalhados na região da APA Sul RMBH.

Os dados de qualidades das águas superficiais utilizados neste projeto evidenciam influências marcantes da ocupação urbana, dos usos da água e das atividades antrópicas presentes na APA Sul RMBH.

Dentre os usos da água, pode-se destacar a diluição de efluentes domésticos *in natura*, nas regiões de ocupação urbana, que altera qualitativamente e quantitativamente a composição dos corpos d'água. Os valores dos indicadores de matéria orgânica indicam uma carga de matéria orgânica considerável no rio das Velhas, entre a confluência com o rio Itabirito e a montante da ETA Bela Fama. Ao mesmo tempo, observa-se uma certa capacidade de autodepuração da matéria orgânica neste trecho, visto que o conteúdo de oxigênio dissolvido e a vazão apresentam condições favoráveis para a ocorrência de tal fenômeno e a diluição de seus subprodutos.

A atividade minerária de ferro é expressiva na APA Sul RMBH, assumindo relevância econômica e ambiental. A disposição de resíduos de mineração em pilhas e barragens,

quando não adequada ambientalmente, pode ocasionar a elevação da concentração de sólidos e metais, considerados de alta toxicidade ambiental e humana, nos corpos d'água. Na bacia do rio das Velhas, as altas concentrações de ferro solúvel e total se devem tanto às ocorrências geológicas como às atividades de exploração minerária.

Considerando a área de influência da APA Sul, a atividade minerária de ouro merece destaque no que se refere à geração de rejeitos enriquecidos em arsênio. A disposição desses rejeitos, provenientes da exploração de ouro em tempos passados, nas margens do ribeirão Água Suja, levou a concentrações de arsênio em não-conformidade com a Resolução CONAMA n°20/ 86 e a DN do COPAM n° 10/86.

A situação atual de qualidade das águas mostra certas inconformidades em relação ao enquadramento dos corpos d'água nas bacias hidrográficas presentes na APA Sul. Indubitavelmente, o fósforo é o que apresenta maiores ocorrências de inconformidades com o enquadramento, principalmente, nos pontos de monitoramento com maiores cargas de matéria orgânica. Inclusive, observam-se ocorrências nos mananciais em Fechos e Mutuca, porém em menor percentagem. É importante ressaltar que a proposta de reformulação da Resolução CONAMA n° 20/86, que no final deste ano completa 18 anos, contempla alterações com relação ao fósforo. Além de elevar o valor máximo permitido para as classes de águas doces, considera a diferença do comportamento do fósforo nos ambientes lântico e lótico. A reformulação é um reflexo da necessidade de adequação da legislação com relação à situação atual dos corpos d'água do país.

Para acompanhar a qualidade das águas dos corpos d'água presentes na APA Sul RMBH, é recomendável manter o monitoramento das redes de qualidade propostas pelos temas *Hidrologia* e *Geoquímica Ambiental*, como, também, o já efetuado sistematicamente pelo IGAM (Projeto Águas de Minas). De igual relevância, é imprescindível o exercício das leis ambientais e de recursos hídricos bem como a fiscalização constante da disposição de resíduos gerados na exploração minerária em pilhas e barragens, operantes e inoperantes, por órgãos competentes.

## **12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

2510 Conductivity A. Introduction, In: Standard methods for the examination of water and wastewater, 19 ed. Washington: APHA, AWWA, WEF, 1995, P.2-43 – 2-45.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9897: planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. [Rio de Janeiro], 1987. 23p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9898: preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. [Rio de Janeiro], 1987. 34p.

ADOCE. Agência Técnica da Bacia do Rio Doce. Projeto Rio Doce: qualidade das águas – período 1993/1996. Belo Horizonte: DNAEE/CPRM, 1998.

ANA – Agência Nacional de Águas. Sistema de Informações Hidrológicas da SIH. Disponível em: <[www.hidroweb.ana.gov.br/hidroweb](http://www.hidroweb.ana.gov.br/hidroweb)>. Acesso em: 07/04/2004.

ASSIS, W. L. *Análise do campo térmico e hídrico em Belo Horizonte*. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: UFMG/IGC, 150p., 2001.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433. *Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989*. Brasília: Diário Oficial. 8 de Janeiro de 1997.

BRASIL. Minas Gerais. *Deliberação Normativa COPAM nº 010, de 16 de dezembro de 1986. Estabelece normas e padrões para qualidade das águas, lançamento de efluentes nas condições de águas, e dá outras providências*. Minas Gerais, de 10 de janeiro de 1987, p. 13-15. Belo Horizonte: Imprensa Oficial, 1987.

BRASIL. Minas Gerais. *Deliberação Normativa COPAM Nº 14/95. Dispõe sobre enquadramento das águas da bacia do rio Paraopeba*. Minas Gerais, de 29 de dezembro de 1995. Belo Horizonte: Imprensa Oficial, 1995.

BRASIL. Minas Gerais. Deliberação Normativa COPAM N° 20/97. Dispõe sobre enquadramento das águas da bacia do rio da Velhas. Minas Gerais, de 27 de junho de 1997. Belo Horizonte: Imprensa Oficial, 1997.

BRASIL. Minas Gerais. Deliberação Normativa COPAM N° 5/94. Dispõe sobre enquadramento do córrego Mingu, afluente da margem direita do Rio das Velhas. Jornal Diário Oficial de Minas Gerais, de 22 de janeiro de 1995. Belo Horizonte: Imprensa Oficial, 1995.

BRASIL. Minas Gerais. Deliberação Normativa COPAM N° 9/94. Dispõe sobre enquadramento da bacia do rio Piracicaba. Jornal Minas Gerais, de 27 de abril de 1994. Belo Horizonte: Imprensa Oficial, 1995.

BRASIL. Minas Gerais. *Lei n° 13.199, de 29 de janeiro de 1999. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências.* Jornal Minas Gerais. Belo Horizonte: Imprensa Oficial, 1999.

BRASIL. *Portaria nº 1469, de 29 de dezembro de 2000. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.* Jornal Diário Oficial da União, de 22 de fevereiro 2001, p. 39, Seção I. Brasília: Imprensa Nacional, 2001.

BRASIL. *Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986. Estabelece a classificação de águas doces, salobras e salinas.* Jornal Diário Oficial da União, de 30 de julho de 1986, p. 356, Seção I. Brasília: Imprensa Nacional, 1996.

BRIGGS, I. C. Machine contouring using minimum curvature. In: Geophysics, Tulsa, v. 39, n 1, p.39-48, Fev., 1974.

CARVALHO, N. O Hidrossedimentologia Prática. CPRM, Eletrobrás, Rio de Janeiro, 1994.

CASTILHO, A S. Avaliação da aplicabilidade do Método Simplificado de Colby na estimativa da descarga sólida total em cursos d'água. Estudo de caso: Sub bacia 40 – Região do Alto São Francisco EE-UFGM. Dissertação de Mestrado, 1998.

CASTILHO, A S., PINTO M. C. F. Análise de Consistência dos Dados Sedimentométricos e de Qualidade das Águas das sub-bacia 40, 41, 42, 43, 44, 45, 54, 55, 56 e 60. ANA , CPRM jun, 2003.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Água: rios e reservatórios. Índices. Disponível em: <[www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice.asp)>. Acesso em: 25/05/2004.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Guia de coleta e preservação de amostras de água. Coord. Edmundo García Agudo et al. São Paulo: CETESB, 1987. 150p.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Proposta de Resolução para alteração da Resolução CONAMA nº20/86, sobre classificação e enquadramento de corpos d'água. In: *4ª Reunião da Câmara Técnica de Controle e Qualidade Ambiental, em 14/10/2003. processo n° 02000.002378/2002-43. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 14/10/2003. [17p.]*

DAVIS, E. G.; NAGHETTINI, M.C., *Estudo de Chuvas Intensas no Estado do Rio de Janeiro*. Brasília: CPRM, 2000. CD-ROM.

DALRYMPLE, T. *Flood-frequency analyses, Manual of Hydrology*: Part. 3. Flood-flow Techniques, Geological Survey Water Supply Paper 1543-a, U. S. Government Printing Office, Washington, D. C., 80p. 1960.

DERÍSIO, J. C. *Introdução ao controle de poluição ambiental*. São Paulo: Signus. 2000. p. 164.

FERNANDES, D. et al. *Inventário das estações fluviométricas*. Brasília: DNAEE, 1996.

FREITAS, A. J. *Precipitações. Suas aplicações aos dados obtidos pela estação meteorológica de Lourdes, do Departamento Nacional de Meteorologia, do Ministério da Agricultura EE-UFMG*. Dissertação de Mestrado, 1981.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **ACURUÍ: Carta do Brasil**. Rio de Janeiro, 1986. 1 mapa: color., 74 cm x 60 cm. Escala: 1:50.000.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **BELO HORIZONTE: Carta do Brasil**. Rio de Janeiro, 1988. 1 mapa: color., 74 cm x 60 cm. Escala: 1:50.000.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **BRUMADINHO: Carta do Brasil**. Rio de Janeiro, 1986. 1 mapa: color., 74 cm x 60 cm. Escala: 1:50.000.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **CAETÉ: Carta do Brasil**. Rio de Janeiro, 1977. 1 mapa: color., 74 cm x 60 cm. Escala: 1:50.000.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **CATAS ALTAS: Carta do Brasil**. Rio de Janeiro, 1976. 1 mapa: color., 74 cm x 60 cm. Escala: 1:50.000.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **ITABIRITO: Carta do Brasil**. Rio de Janeiro, 1977. 1 mapa: color., 74 cm x 60 cm. Escala: 1:50.000.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **RIO ACIMA: Carta do Brasil**. Rio de Janeiro, 1986. 1 mapa: color., 74 cm x 60 cm. Escala: 1:50.000. Suja.

GREENWOOD, J. A., LANDWEHR, J. M., MATALAS, N. C. e WALLIS, J. R. *Probability weighted moments: definition and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form*. Water Resources Research, American Geophysical Union. V.15, n.5, p.1049-1054, Out., 1979.

HOSKING, J. R. *The theory of probability weighted moments*. IBM Research Report, New York, IBM Research Division, RC 12210, 160p., Out., 1986.

HOSKING, J. R. M. *Fortran routines for use with the method of L-moments - Version 2*. IBM Research Report, New York, IBM Research Division, RC 17097, 117p., Ago., 1991.

HOSKING, J. R. M., WALLIS, J. R. *Regional flood frequency analysis using L-moments*. IBM Research Report, New York, IBM Research Division, RC 15658, 12p., Mar., 1990.

HOSKING, J. R. M., WALLIS, J. R. *Some statistics useful in regional frequency analysis*. *Water Resources Research, American Geophysical Union*. V.29, n.1, p.271-281, Fev., 1993.

HOSKING, J. R. M., WALLIS, J. R. Correction to "Some statistics useful in regional frequency analysis". *Water Resources Research, American Geophysical Union*. V.31, n.1, p.251, Jan., 1995.

HOSKING, J. R. M., WALLIS, J. R. *Regional Frequency Analysis - an approach based on L-moments*. Cambridge University Press, P.224, 1997.

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Avaliação das interferências ambientais da mineração nos recursos hídricos na Bacia do Alto Rio das Velhas. In: Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do Rio São Francisco. Belo Horizonte: IGAM/Golder Associates Brasil LTDA, 2001. v. 1.

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Programa Nacional do Meio Ambiente II – PNMAII – MG. Alto Rio das Velhas. Disponível em: <[www.igam.mg.gov.br/aguas/htmls/downloads.htm](http://www.igam.mg.gov.br/aguas/htmls/downloads.htm)> . Acesso em 07/04/2004.

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Relatório de monitoramento das águas superficiais na bacia do rio das Velhas em 2002/Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Fundação Estadual do Meio Ambiente, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. Belo Horizonte: IGAM, 2003a. Disponível em: <[www.igam.mg.gov.br/aguas/htmls/downloads.htm](http://www.igam.mg.gov.br/aguas/htmls/downloads.htm)>. Acesso em: 07/04/2004.

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Relatório de monitoramento das águas superficiais na bacia do rio Paraopeba em 2002/Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Fundação Estadual do Meio Ambiente, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. Belo Horizonte: IGAM, 2003b. Disponível em: <[www.igam.mg.gov.br/aguas/htmls/downloads.htm](http://www.igam.mg.gov.br/aguas/htmls/downloads.htm)>. Acesso em 07/04/2004.

MAIA, L. F. P. G. *Alguns Aspectos Dinâmico-Climatológicos em Minas Gerais*. 1988. 164 p. Dissertação (mestrado em climatologia). Instituto Universidade Federal de Viçosa.

MAIDMENT, D. R. *Handbook of hydrology*. New York: MacGraw Hill, Inc., cap. 18, 1992, p.18.6-18.66.

MOREIRA, J. L. B. *Estudo da distribuição espacial das chuvas em Belo Horizonte e em seu entorno*. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: UFMG/IGC, 2002. 107p.

NERC – NATURAL ENVIRONMENT RESEARCH COUNCIL. *Floods studies report*, London, v. 1 e v. 2, 1975.

NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro:IBGE, 1979. 421p.

PFAFSTETTER, O. *Chuvas intensas no Brasil. Relação entre Precipitação, Duração e Frequência de chuvas em 98 postos com pluviógrafos*. Rio de Janeiro. Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 2ª ed., 1982. 1ª ed. 1957.

PINHEIRO, M. M. G. *Estudo de chuvas intensas na região metropolitana de Belo Horizonte*. RMBH.

PINTO, E. J. A.; ALVES, M.M.S. Regionalização de vazões - Sub-bacias 40 e 41 Alto São Francisco. 5 v. – Agência Nacional de Águas / CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Belo Horizonte: CPRM, 2001.

PINTO, E. J. A.; NAGHETTINI, M. C. Definition of homogeneous regions and frequency analysis of annual maximum daily precipitation over the upper São Francisco river basin, in southeastern Brazil. In: *ASCE's 1999 International Water Resources Engineering Conference*, ASCE-American Society of Civil Engineer, Seattle, Aug., 1999.

PINTO, E. J. A.; NAGHETTINI, M. C. *Caracterização pluviométrica da bacia do alto São Francisco – Sub-bacia 40: Definição homogêneas e a regionalização de precipitações máximas diárias*. Belo Horizonte, CPRM, 2000.

PINTO, F. A. *Chuvvas Intensas no Estado de Minas Gerais: Análises e Modelos*. UFV. Tese de Doutorado. 1995.

PIRES, C. L. F. Análise de Frequência – Revisão Metodológica. *A Água em Revista*, n. 3. CPRM, Belo Horizonte, Ou., p. 13-22, 1994.

PÖPEL, H. J. *Aeration and gas transfer*. 2. Ed. Delft, Delft University of Technology, 1979, 169 p. von Sperling M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias volume 1, 2a edição revisada. Belo Horizonte: Departamento de engenharia sanitária e ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996, 243p.

QASIM, S. R. *Wastewater treatment plants: planning, design and operation*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1985. von Sperling M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias volume 1, 2a edição revisada. Belo Horizonte: Departamento de engenharia sanitária e ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996, 243p.

QUADROS, M. F. L. Estudo de episódios de zona de convergência do Atlântico Sul sobre a América Latina. São José dos Campos: INPE. Dissertação de Mestrado, 94p. 1994.

SANTOS, M. R. Influência da morfologia urbana nas condições de conforto térmico em uma fração urbana da cidade de Belo Horizonte: Uma análise topoclimática. Belo Horizonte, Dissertação de Mestrado, UnB, 1999.

SMITH, W. H. F. e WESSEL, P. Gridding with continuous curvature splines in tension. In: *Geophysics* V. 55, n 3, p. 293-305, Mar., 1990.

SUDECAP. Plano de Urbanização e Saneamento Básico de Belo Horizonte. *Canalização do Ribeirão Arrudas: Memória Justificativa dos estudos hidrológicos do vale do ribeirão Arrudas*. Belo Horizonte, set., 1982.

SWAIN, C. J. A FORTRAN IV program for interpolating irregularly spaced data using the difference equations for minimum curvature: *Computers and Geosciences*, 1, p. 231-240, 1976.

THORNTON, C. W.; MATTER, J. R. The water balance. Centerton, N. J.: Laboratory of Climatology. 1955.

TUBELIS, A; NASCIMENTO, F. J. L. *Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras*. São Paulo, Nobel, 1<sup>a</sup> ed., 7<sup>a</sup> reimpressão, 1992.

TUCCI, C. E. *Regionalização de vazões*. Porto Alegre, ANEEL/UFRGS/IPH, 2000.

VERSIANI, B. R., COELHO, M. F. C. D., MAGALHÃES, P. H. V., SPERANDIO SÁ, A. Equações intensidade-duração-freqüência para a região metropolitana de Belo Horizonte: estudo e nova abordagem. *In: XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, II Simpósio de Hidráulica dos Países de Língua Oficial Portuguesa*. Recife. Anais 1, 1995, 4v.

WALLIS, J. R. Regional frequency studies using L-moments. *IBM Research Report*, New York, IBM Research Division, RC 14597, p. 469-476, Mar., 1989.

**Belo Horizonte  
2005**



Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral  
Ministério de Minas e Energia

