



COMITÊ
DA BACIA
HIDROGRÁFICA
DO ALTO TIETÊ



COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ

Presidente

MARTA TEREZA SUPLICY

Vice Presidente

PEDRO CAMELO FILHO

Secretaria Executiva

ANTONIO CARLOS MENDES THAME
GERÔNCIO ROCHA

Gestor Técnico Responsável no Comitê
CÂMARA TÉCNICA DE PLANEJAMENTO

Agente Técnico do FEHIDRO
DAEE

Equipe Técnica Responsável

Coordenação

MONICA PORTO
MARCO ANTONIO PALERMO

Consultoria

ANTONIO MELHEM SAAD
FLÁVIO TERRA BARTH
HIROAKI MAKIBARA
IVO TEIXEIRA
NIVALDO JOSÉ CHIOSSI
RICARDO HIRATA e equipe
RICARDO TOLEDO e equipe
TOBIAS JEROZOLIMSKI e equipe

CADERNO HIDROLÓGICO

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	2
3. METODOLOGIA DO ESTUDO	2
4. ANÁLISE DOS DOCUMENTOS COLETADOS	3
4.1 - RECURSOS HÍDRICOS	3
5. ESTUDO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA	13
5.1 - SÉRIES DE VAZÕES MENSASIS	13
5.2 - CURVAS COTA - VOLUME DOS RESERVATÓRIOS	14
6. O SISTEMA ALTO TIETÊ - RIO CLARO	14
6.1 - O SISTEMA ALTO TIETÊ	14
6.2 - O SISTEMA RIO CLARO	15
6.3 - VAZÕES MÉDIAS MENSASIS	15
6.4 - CARACTERÍSTICAS DOS RESERVATÓRIOS	20
6.5 - SIMULAÇÃO DO SISTEMA COM UM MODELO MATEMÁTICO DE REDE DE FLUXO.....	21
6.6 - TOPOLOGIA UTILIZADA NA MODSIM	21
6.7 - CENÁRIOS E RESULTADOS	24

7. SISTEMA CANTAREIRA	28
7.1 - VAZÕES NATURAIS DO SISTEMA CANTAREIRA	30
7.2 - DEMANDAS DO SISTEMA CANTAREIRA	34
7.3 - CAPACIDADES DOS RESERVATÓRIOS	35
7.4 - CENÁRIOS E RESULTADOS	35
8. OS SISTEMAS BILLINGS, GUARAPIRANGA E COTIA	40
8.1 - PREENCHIMENTO DA SÉRIE DE VAZÕES NATURAIS AFLUENTES AO RESERVATÓRIO RIO DAS PEDRAS	42
8.2 - PREENCHIMENTO DA SÉRIE DE VAZÕES NATURAIS AFLUENTES AO RESERVATÓRIO BILLINGS.....	46
8.3 - ANÁLISE DA SÉRIE DE VAZÕES TURBINADA EM HENRY BORDEN	48
8.4 - VAZÕES BOMBEADAS NA ELEVATÓRIA DE PEDREIRA	50
8.5 - VAZÕES NATURAIS AFLUENTES AO RESERVATÓRIO GUARAPIRANGA	52
8.6 - CURVAS COTA - VOLUME E REGRAS OPERACIONAIS DOS RESERVATÓRIOS DA EMAE	53
8.7 - PREENCHIMENTO DAS SÉRIES DE VAZÕES AO LONGO DO RIO COTIA	55
8.8 - DEMANDAS DOS SISTEMAS	61
8.9 - CAPACIDADES DOS RESERVATÓRIOS	62
8.10 - CENÁRIOS E RESULTADOS	63
RELAÇÃO DE ARQUIVOS	68

1. INTRODUÇÃO

O estudo das disponibilidades hídricas na Bacia do Alto Tietê é elemento fundamental para apoiar e orientar o melhor aproveitamento dos recursos hídricos da Bacia. Em uma bacia complexa como a do Alto Tietê, tanto pelos inúmeros aproveitamentos existentes, bem como pela sua interrelação e pelos diversos usos dos limitados recursos hídricos existentes, é extremamente delicada a avaliação das disponibilidades, de forma independente às demandas.

A intensa urbanização da região leva a dois problemas cruciais, que são a exigência de água em quantidade e qualidade para o abastecimento público, ao mesmo tempo em que essa ocupação leva a comprometimento da qualidade dessas águas, quer seja pelo retorno dos efluentes, quer seja pelo manejo inadequado dos seus mananciais.

O estudo das disponibilidades hídricas abordará os recursos hídricos apenas do ponto de vista quantitativo, não prescindindo de forma alguma das análises complementares do ponto de vista qualitativo.

Um dos grandes problemas que se enfrenta em estudos de planejamento é a recuperação das informações e dados básicos para subsidiar as análises dos cenários futuros. Essa dificuldade advém de vários fatores, que são presentes também no estudo da Bacia do Alto Tietê, como: a escassez dos dados fluviométricos e pluviométricos, que leva à necessidade de complementações, regressões para transposição de informações de locais com dados para locais de interesse; a qualidade dos dados, muitas vezes advindos de séries incompletas ou não estacionárias; a inexistência de dados representativos da bacia em estado natural, uma vez que a existência de aproveitamentos dificulta a recuperação dos dados eliminando o efeito desses aproveitamentos. Por outro lado, toda vez que se efetua um estudo hidrológico, procura-se obter as informações das séries mais completas possíveis, estendendo-se o período de análise dos dados ao período mais recente possível. Embora esse esforço seja louvável, acarreta uma consequência indesejável, que é a dificuldade de comparação dos resultados dos diversos estudos. Muitas vezes, não se consegue identificar se as diferenças nos resultados advêm do fato de trabalhar com séries distintas ou com metodologias de análises distintas. Partindo-se desse pressuposto, optou-se por não explorar a recuperação dos dados mais recentes (salvo em casos particulares que serão justificados), mas sim pela utilização das séries de dados utilizadas no HIDROPLAN¹.

¹ Plano Integrado de Aproveitamento e Controle dos Recursos Hídricos das Bacias Alto Tietê, Piracicaba e Baixada Santista – Conselho Estadual de Recursos Hídricos -Secretaria dos Recursos Hídricos, Saneamento e Obras do Estado de São Paulo, DAEE Departamento de Águas e Energia Elétrica- Consórcio HIDROPLAN- Coplasa, Etepe, Figueiredo Ferraz, Hidroconsult, Maubertec- 1995

Como algumas vezes, a origem das séries utilizadas são resultados de combinações de séries históricas, modelos de geração chuva-vazão, recuperação de séries naturais em função de regras operacionais de aproveitamentos existentes e de sintetização de séries por regressões com postos próximos, convém registrar a origem das séries e consisti-las para garantir que eventuais falhas nesses processos sejam perpetuadas neste estudo e estudos futuros.

Tendo em vista a situação não natural da Bacia do Alto Tietê, as análises de disponibilidades hídricas serão apresentadas simultaneamente às informações das demandas, nos diversos cenários de análise. Para isto será utilizado um modelo de simulação de redes (MODSIM), onde serão destacados os pontos de aflúências naturais e aqueles de demandas. Nesse modelo, pode-se priorizar algumas demandas em relação a outras, o que permite a análise de diversas políticas de utilização dos recursos hídricos.

2. OBJETIVO

O estudo do balanço demanda - disponibilidade hídrica é parte fundamental no Plano da Bacia do Alto Tietê, pois através de suas estimativas poder-se-á avaliar as garantias de atendimento às vazões demandadas para diversos usos, de acordo com prioridades estabelecidas.

3. METODOLOGIA DO ESTUDO

Adotou-se como metodologia básica a utilização de um modelo de rede de fluxo, denominado ModSimP32, desenvolvido na Escola Politécnica da USP (Porto et al., 1997). O modelo de rede de fluxo consiste em um simulador das transferências de vazões em um sistema hídrico, composto por reservatórios, pontos de demanda e pontos intermediários de passagens, interligados por trechos (ou arcos), associado a um algoritmo de otimização (Out- of - Kilter). As transferências de vazões pelos arcos incorrem em custos, que podem ser reais ou apenas representarem prioridades da operação do sistema. Os pontos de demanda e os armazenamentos nos reservatórios recebem índices de prioridade de atendimento, que se refletem no modelo como custos.

Os modelos de rede de fluxo possuem alguma vantagem sobre os modelos de simulação e os de otimização clássicos : enquanto nos primeiros, não há como impor preferências (a menos de exaustivas simulações), nos de otimização, tem-se restrições quanto às dimensões dos sistemas ou à representatividade do modelo.

Desta forma, em uma bacia complexa, como a do Alto Tietê, não há como separar as demandas das disponibilidades hídricas, uma vez que a presença de reservatórios de regularização interliga as disponibilidades naturais com as demandas, através de uma política de operação, baseada em prioridades subjetivas.

4. ANÁLISE DOS DOCUMENTOS COLETADOS

4.1 - RECURSOS HÍDRICOS

Vários documentos básicos foram consultados, além de informações obtidas junto às entidades responsáveis pela operação dos aproveitamentos existentes na Bacia do Alto Tietê.

- **Relatório Zero de Situação dos Recursos Hídricos – Revisão I, Vol. I, Fevereiro de 2000**

Nesse relatório são apresentados os postos fluviométricos disponíveis, com as respectivas áreas de drenagem e período de observação. São resumidas também nesse relatório as estimativas de vazões nas sub-bacias principais, com as indicações de seus valores médios e extremos mensais.

- **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos - Bacia do Alto Tietê- Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê- Novembro de 1999**

Esse relatório síntese apresenta uma caracterização geral das sub-bacias, indicando as vazões e precipitações médias anuais e os gráficos de caracterização das vazões médias e extremas mensais e as precipitações médias mensais e as precipitações do ano de 1998..

- **Relatório HIDROPLAN – Controle de Cheias – DT – HDP – 109 – 11/95**

Nesse relatório, encontra-se a planta da Bacia do Alto Tietê (referente à seção da barragem de Pirapora), com o traçado das sub-bacias contribuintes, em escala 1: 100.000. (Desenho 2.3 , folhas 1 a 4, páginas 13 a 17). Associado a esse desenho, há o Quadro 2.2 (páginas 20 a 24) que apresenta dentre outras informações, as áreas de drenagem das sub-bacias.

A Tabela 4.1 resume os valores das áreas de drenagem nos pontos de interesse para o estudo atual:

Tabela 4.1 - Áreas de Drenagem das bacias

Local	Bacia	Área de Drenagem (km ²)
Rio Tietê em Ponte Nova	1	320
Rio Paraitinga na barragem	8 B	182
Rio Paraitinga na foz	8 A + 8 B	223,9
Rio Tietê – jusante da foz do Rio Paraitinga	1 a 8	592,50
Rio Biritiba na barragem	13 B	75
Rio Biritiba na foz	13 A + 13 B	93,7
Rio Tietê- jusante da foz do Rio Biritiba	1 a 13	714,80
Rio Jundiá na barragem	43 B	122
Rio Jundiá na foz	43 A + 43 B	193,7
Rio Tietê – jusante da foz do Rio Jundiá	1 a 43	1.083,30
Rio Taiapuêba na barragem	45 B	220
Rio Taiapuêba na foz	45 A + 45 B	239,9
Rio Tietê – jusante da foz do Rio Taiapuêba	1 a 45	1.325,30
Rio Cotia em Pedro Beicht	136	62,5

- **Relatório HIDROPLAN – Operação dos Reservatórios e Aspectos Energéticos – DT - HDP – 113 - 11/95**

O anexo “D - Base de Dados das Simulações” desse relatório apresenta no capítulo “3. Dados dos Reservatórios”, nas páginas 8 a 28 as principais características operacionais dos reservatórios dos Sistemas Billings, Taiapuêba, Guarapiranga, Cotia e Cantareira. São apresentados os níveis operacionais extremos, as curvas cota-volume e algumas informações referentes às restrições operacionais, como volumes de espera e vazões mínimas de descarga a jusante das barragens.

- **Relatório HIDROPLAN – ESTUDOS HIDROLÓGICOS - DT – HDP – 104 - 11/95**

No capítulo 1 estão relacionadas, as estações fluviométricas com os respectivos prefixos do DNAEE e os adotado pelo HIDROPLAN, respectivas as áreas de drenagem, coordenadas e períodos de observação, sendo também apresentada uma planta com as suas localizações.

No capítulo 2 é apresentada uma caracterização pluviométrica da área de estudo, com uma ilustração das isoietas de totais anuais médios de longo

período, baseada em estudos anteriormente desenvolvidos para a área pelo próprio DAEE.

Finalmente no capítulo 3, é efetuada uma abordagem geral aos Recursos Hídricos Superficiais para cada uma das bacias englobadas na área de estudo.

Nesse mesmo capítulo são apresentados as séries de vazões médias mensais estabelecidas para os locais de interesse relativas ao período de 1930 a 1993, e um breve relato de como foram obtidas.

Para a bacia do Alto Tietê foram escolhidos 11 locais de postos fluviométricos ou de obras para a constituição das séries de vazões médias mensais, conforme relacionados no Quadro 5.2.1/1.

QUADRO 5.2.1/1 - VAZÕES MÉDIAS NA BACIA DO ALTO TIETÊ PERÍODO 1930 - 1993

Rio	Local	AD (km ²)	Q (m ³ /s)	q (l/s/km ²)
Tietê	Ponte Nova	320	8,8	27,5
Paraitinga	Barr. Paraitinga	182	2,65	14,6
Biritiba	Barr. Biritiba	75	2,02	26,9
Jundiaí	Barr. Jundiaí	122	2,35	19,3
Taiapuê	Barr. Taiapuê	220	4,44	20,2
Grande	Billings	560	14,1	25,2
Guarapiranga	Barr. Guarapiranga	631	11,9	18,9
Tietê	Edgard de Souza	4.818	89,3	18,5
Juqueri	Res. Paiva Castro	369	4,62	12,5
Cotia	Pedro Beicht	62,5	1,12	17,9
Tietê	Pirapora	5.833	102,4	17,5

Nota: AD = área da drenagem; Q = Vazão média; q = vazão média específica

De acordo com o Quadro 5.2.1/1, a vazão média da bacia em Pirapora corresponde a 102,4 m³/s, o que corresponde à contribuição específica média de 17,5 l/s/km². Nos demais locais, a menos dos rios Paraitinga e Juqueri, a vazão específica é superior a esse valor, refletindo a alta pluviosidade da parte da região de cabeceiras da bacia.

Comparando-se estudos anteriores verificam-se os seguintes valores para a vazão média da bacia do Alto Tietê, em Pirapora:

Plano HIBRACE	(1912-1965)	87,0 m ³ /s
Série ELETROPAULO	(1914-1992)	105,1 m ³ /s
Plano SANESP	(1931-1980)	98,7 m ³ /s
HIDROPLAN	(1930-1993)	102,4 m ³ /s

As correspondentes médias referidas ao período comum às quatro fontes, ou seja 1931-1965, são as seguintes:

Plano HIBRACE	85,9 m ³ /s
Série ELETROPAULO	95,0 m ³ /s
Plano SANESP	93,0 m ³ /s
HIDROPLAN	90,7 m ³ /s

Conclui-se por estes números que há divergências entre as estimativas disponíveis, o que se deve a diferentes fatores, como metodologia de cálculo, fonte de dados primários, período-base, assim como, um acréscimo das contribuições superficiais devido à menor infiltração na área urbanizada. Um aspecto relevante é a dificuldade de estimativa face às grandes alterações no regime hídrico regional havidas ao longo do tempo, assim como, ao complexo sistema de obras hidráulicas e reversões existentes.

A seguir é apresentado um resumo de como foram obtidas as séries de vazões médias mensais para cada um dos locais considerados.

Procedimentos para obtenção das séries de Vazões Médias Mensais na Bacia do Alto Tietê (11 séries)

A02 = Rio Tietê no local da Barragem de Ponte Nova

- Para o ano de 1930, as vazões médias mensais adotadas foram as do Convênio HIBRACE;
- De 1931 a 1973, foram adotadas as vazões naturais fornecidas pelo DAEE referidas ao local dos postos fluviométricos V12-109 Ponte Nova da ELETROPAULO e Biritiba Mirim do DNAEE, situados a jusante, multiplicadas pelo fator 0,941.
- De 1974 a 1984, as vazões foram obtidas a partir das vazões observadas nas estações fluviométricas de Biritiba Mirim, do DNAEE, e 3E-048 do DAEE, multiplicadas pelo fator 0,941, e ajustadas tendo em conta a operação do reservatório de Ponte Nova, e as vazões captadas pela SABESP no rio Claro;

- De 1985 a 1993, foram adotadas as vazões fornecidas pela ELETROPAULO, baseadas em balanço de volumes para o reservatório de Ponte Nova, acrescidas das vazões captadas no rio Claro pela SABESP.

A03 = Rio Paraitinga no local da Barragem de Paraitinga

- Para o ano de 1930, foram adotadas as vazões do Convênio HIBRACE referentes ao local do posto fluviométrico de Salesópolis, multiplicada pelo fator 1,49;
- De 1931 a 1980, foram adotadas as vazões fornecidas pelo DAEE, já referidas ao local da barragem;
- De 1981 a 1991, foram adotados os valores observados na Estação 2E-046 do DAEE-CTH, transpostos para o local da barragem mediante o fator multiplicativo 1,49;
- De 1992 a 1993, as vazões foram obtidas através do modelo chuva-vazão.

A04= Rio Biritiba no local da Barragem de Biritiba

- Para o ano de 1930, as vazões foram obtidas da série do Convênio HIBRACE relativa ao posto Biritiba Mirim multiplicadas pelo fator 0,91;
- De 1931 a 1980, foram adotadas as vazões fornecidas pelo DAEE, referidas ao local da barragem;
- De 1981 a 1993, as vazões foram obtidas através de modelo chuva-vazão.

A05 = Rio Jundiaí no local da Barragem da Jundiaí

- Para o ano de 1930, foram adotadas as vazões do convênio HIBRACE, referentes ao posto fluviométrico V-115 da antiga LIGHT, multiplicadas pelo fator 0,91;
- De 1931 a 1977, adotaram-se as vazões fornecidas pelo DAEE, já referidas ao local da barragem;
- De 1978 a 1981, adotaram-se as vazões relativas ao posto 3E-016, multiplicadas pelo fator 0,895;
- De 1982 a 1993, as vazões foram obtidas através de modelo chuva-vazão.

A07= Rio Taiapuêba no local da Barragem do Taiapuêba

- De 1930 a 1962, as vazões adotadas correspondem às do Convênio HIBRACE, atribuída ao local da barragem corrigidas mediante o fator multiplicativo 1,28;
- De 1963 a 1975, foram adotadas as vazões correspondentes à soma das vazões aos postos 3E-014, 3E-015 e 3E-021, do DAEE, multiplicadas pelo fator 1,33;
- De 1976 a 1993, as vazões foram obtidas através de modelo chuva-vazão.

A 15 = Rio Grande no Reservatório Billings (Pedreira)

- As vazões naturais afluentes ao reservatório Billings, no período 1930-1993, foram obtidas a partir dos valores de vazão fornecidos pela ELETROPAULO, que por sua vez se baseiam em dados de operação do próprio reservatório e sistema Billings (balanço de volumes). Foram efetuadas correções para compensar desvios sistemáticos constatados, tanto nas vazões de bombeamento medidas na Elevatória de Pedreira, como nas vazões de transferência, medidas no "Summit Control".

A11 = Rio Guarapiranga no local da Barragem do Guarapiranga

- Foram adotados para todo o período 1930-1993, os valores de vazão resultantes do balanço de volumes do próprio reservatório fornecidos pela ELETROPAULO. Estes elementos foram analisados de maneira sucinta, tendo-se concluído que são consistentes.

A35 = Rio Cotia no local da Barragem de Pedro Beicht

- No período 1930-1989, as vazões naturais adotadas foram fornecidas pela SABESP-DO;
- No período 1990-1993, as vazões naturais foram obtidas através de modelo chuva-vazão.

A65 = Rio Juqueri no local da Barragem Paiva Castro

- No período 1930-1935, as vazões naturais foram obtidas a partir da série de vazões do Convênio HIBRACE, referentes ao posto fluviométrico de Gato Preto, transposta para o local da Barragem;
- No período 1936-1993, as vazões adotadas foram fornecidas pela SABESP-DO.

A rede fluviométrica final para os estudos da bacia do rio Piracicaba é constituída pelos postos relacionados no Quadro 5.2.2/1 adiante, que são os que podem ser considerados de melhor confiabilidade.

QUADRO 5.2.2/1 - VAZÕES MÉDIAS NA BACIA DO PIRACICABA Período 1930-1993

Rio	Local	AD (km ²)	Q (m ³ /s)	q (l/s/km ²)
Atibainha	Barragem	312	6,21	19,9
Cachoeira	Barragem	392	9,17	23,4
Jaguari	Fernão Dias	1.230	25,7	20,9
Piracicaba	Piracicaba	8.869	131,1	14,8
Piracicaba	Santa Maria da Serra	12335	179	14,5
Camanducaia	Amparo	648	9,37	14,5
Camanducaia	Fazenda Barra	920	14,0	15,2
Jaguari	Faz. Buenópolis	1.948	35,4	18,2
Jaguari	Usina Ester	3.386	59,0	17,4
Atibaia	Atibaia	1.137	22,2	19,5
Atibaia	Bairro da Ponte	1.902	31,4	16,5
Atibaia	Acima Paulínea	2.713	41,5	15,3
Corumbataí	Chác. Brunelli (Batovi)	474	6,24	13,2
Corumbataí	Recreio	1.567	20,4	13,0

Nota: AD = área de drenagem; Q = vazão média natural; q = vazão média específica

Examinando-se as séries disponíveis notam-se discrepâncias significativas em alguns postos. Assim, tomando o período comum 1949-1978, no posto de Piracicaba, a média apresentada pelo estudo da TECNOSAN é de 143,6 m³/s, no Plano SANESP este valor é de somente 119,6 m³/s, e no HIDROPLAN, obteve-se, 113,9 m³/s.

De acordo com as séries obtidas neste estudo, como se pode observar no Quadro 5.2.2/1, as disponibilidades superficiais naturais médias montam a, cerca de 60 m³/s na bacia do rio Jaguari, 42 m³/s na bacia do rio Atibaia e 180 m³/s na bacia do Piracicaba próximo à rua Foz, o que em termos de contribuição específica média corresponde a 14,5 l/s/km², valor este inferior ao da bacia do Alto Tietê, que é 17,5 l/s/km².

Observa-se também que, na bacia não há grandes variações nas contribuições específicas, em razão das moderadas variações pluviométricas na região. As maiores vazões específicas ocorrem na região de cabeceira da bacia, situada junto à Serra da Mantiqueira.

Abaixo descreve-se sucintamente como foram obtidas as séries de vazões médias mensais em cada um dos locais escolhidos dentro da bacia do Piracicaba.

Procedimentos para obtenção das séries de Vazões Médias Mensais na Bacia do Piracicaba

P01 = Rio Atibainha na Barragem de Atibainha

- De 1930 a 1935, as vazões adotadas foram as apresentadas no "Estudo de Regionalização de Vazões", do DAEE, referidas ao posto de Nazaré Paulista;
- De 1935 a 1993, foram adotadas as vazões naturais (observadas ou reconstituídas), fornecidas pela SABESP-DO.

P02 = Rio Cachoeira na Barragem do Cachoeira

- De 1930 a 1935, foram adotadas as mesmas vazões do "Estudo de Regionalização de Vazões" do DAEE, referidas ao posto de Piracaia, multiplicada pelo fator 0,91;
- De 1936 a 1981, foram adotadas as vazões naturais observadas ou reconstituídas para o local da barragem, fornecidas pela SABESP-DO;
- De 1982 a 1993, as vazões naturais foram estimadas a partir das observadas no posto F-24 da SABESP, multiplicadas pelo fator 1,364.

P12 = Rio Atibaia em Atibaia

- De 1930 a 1973, foram adotadas as vazões apresentadas no "Estudo de Regionalização de Vazões" do DAEE;
- De 1974 a 1993, as vazões naturais foram reconstituídas, tendo por base as vazões observadas no posto do DNAEE (62.670.000) ajustadas levando em conta a operação dos reservatórios do Sistema Cantareira da SABESP, além das supostas vazões para irrigação coletadas a montante.

P14 = Rio Atibaia em Acima Paulínea

- De 1930 a 1973 foram tomadas as vazões utilizadas no "Estudo de Regionalização de Vazões" do DAEE, e corrigidas apenas consideração as vazões captadas a montante por Campinas que não retornaram à bacia;
- De 1974 a 1993, foram reconstituídas as vazões naturais, tendo por base as vazões observadas no posto F-12 da SABESP, e levando em conta a operação dos reservatórios do Sistema Cantareira, da própria SABESP, além das supostas vazões captadas a montante para irrigação e por Campinas.

P03 = Rio Jaguari na Barragem do Jaguari/Jacareí

- De 1930 a 1981, as vazões naturais foram obtidas a partir da série de vazões observadas no posto 3D-009 (Fazenda Buenópolis) do DAEE-CTH, multiplicada pela fator 0,736;
- De 1982 a 1993, foram adotadas as vazões naturais reconstituídas, fornecidas pela SABESP-PO.

P05 = Rio Piracicaba em Piracicaba

- De 1930 a 1931, as vazões adotadas foram tomadas diretamente ao relatório intitulado "Levantamento, Análise e Processamento de Dados Fluviométricos - Bacia do Piracicaba", do DAEE;
- De 1932 a fevereiro de 1964, as vazões adotadas foram as que constam no "Estudo da Regionalização de Vazões" do DAEE, tendo apenas sido corrigidas considerando as vazões captadas por Campinas, e que não retornaram à bacia;
- De março de 1964 a 1974, as vazões adotadas foram as observadas no posto da CESP situado no local, e corrigidas considerando as vazões captadas por Campinas, que não retornaram à bacia;
- De 1975 a 1993, as vazões foram reconstituídas a partir das vazões observadas no posto da CESP, acrescentando-se as supostas vazões de irrigação captadas a montante, levando em conta a operação dos reservatórios do Sistema Cantareira da SABESP e das vazões, captadas pela cidade de Campinas."

Comentários :

- Os dados de vazão do Rio Jundiáí no local da barragem foram obtidos multiplicando-se os dados do posto 3E-016 (AD = 142 km²) por 0,895. A relação de áreas é de 122/142 (Barragem/ Posto) = 0,859. Há uma pequena diferença entre os dois fatores.
- Embora o relatório cite que os dados de vazão do Rio Paraitinga, no local da barragem foram obtidos multiplicando-se os valores do posto 2E-046 por 1,49, foram multiplicados por 1,80. A relação entre as áreas de drenagem do posto e da barragem é 182/127 = 1,43. Essa diferença não está explicada !
- **Nota Técnica – Disponibilidade Hídrica Superficial da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, Até a Foz do rio Taiaçupeba (“Seção Suzano”) – Revisão II-A – Agosto/1998 – DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica e SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo**

Nessa nota, foi elaborado um resumo das informações do estudo hidrológico do HIDROPLAN e do estudo elaborado pela SONDOTÉcnica S.A., contratada pelo DAEE para elaboração do EIA-RIMA do Sistema Alto Tietê.

Os valores utilizados para elaborar o balanço disponibilidade – demandas são os valores médios das séries históricas e dos cenários previstos. Não existe nenhuma análise mais detalhada em nível de discretização.

São feitas algumas atualizações e correções nos diagramas elaborados pela SONDOTÉcnica S.A., resumidas a seguir :

- Alteração do local da captação da Cia. Suzano de Papel e Celulose. Atualmente a empresa capta em uma seção do Rio Tietê, imediatamente a jusante da foz do Rio Taiaçupeba. A indústria capta 1,4 m³/s e contribui com uma vazão de efluentes de 1,26 m³/s. A

alteração do local de captação permitiu que a vazão mínima descarregada do reservatório Taiapuêba deduziu-se de 1,07 m³/s para 0,17 m³/s, uma vez que 0,90 m³/s eram destinados anteriormente à indústria.

- Demandas industriais na bacia intermediária entre a foz do Rio Jundiá e a foz do Rio Taiapuêba. Um estudo realizado pela Diretoria da bacia do Alto Tietê estima esse valor em 0,70 m³/s.
- Vazões captadas pelo Município de Mogi das Cruzes. O município capta 0,40 m³/s do Rio Tietê (possui instalações para tratar até 0,70 m³/s) e recebe mais 0,45 m³/s da SABESP, através do Sistema Adutor Metropolitano. Como 85 % dessas vazões voltam ao curso do Rio Tietê em forma de esgoto, essa vazão é igual a 0,72 m³/s. Um estudo feito pelo Departamento de Planejamento da SABESP em junho de 1998 indica que em 2015, a vazão de atendimento do município será de 1,21 m³/s. Mantidas as mesmas proporções atuais, a contribuição de esgotos ao Rio Tietê será de 1,03 m³/s. Caso o tratamento dos esgotos seja feito na ETE Suzano, as vazões retornáveis de esgotos serão de 0,14 m³/s e 0,21 m³/s, para as situações atual e de 2015, respectivamente.
- Vazões naturais mínimas nos Rios Biritiba e Paraitinga, na condição “sem a construção das barragens”. O estudo propõe que sejam consideradas como tais as vazões com frequência de excedência de 90 %, o que representa 0,66 m³/s no Rio Biritiba e 1,30 m³/s no Rio Paraitinga.
- Vazão regularizada pela represa Biritiba. O valor da vazão regularizada com garantia de 98 % é de 1,74 m³/s
- Vazão regularizada pela represa Paraitinga. O valor da vazão regularizada é de 2,20 m³/s em 97 % do tempo, segundo estudos feitos pelo Bureau de Projeto e de Consultoria Ltda.
- Vazão natural do Rio Paraitinga a jusante do barramento. A vazão de contribuição entre a barragem de Paraitinga (AD = 182 km²) até a foz no Rio Tietê (A. D. total = 262,3 km²) foi obtida por correlação de áreas, a partir da vazão média da bacia a montante do barramento e corrigida por um fator 0,7 para considerar a menor pluviosidade na região a jusante da barragem.
- Foram analisadas três configurações denominadas de inicial, intermediária e final, resumidas no quadro seguinte :

Configuração		Inicial		Intermediária				Final			
Condição		1-1	1-2	2-1	2-2	2-3	2-4	3-1	3-2	3-3	3-4
Captação Biritiba (SABESP)		0,00		4,47				5,37			
Abastecimento de Mogi das Cruzes	Sist. Próprio	0,40		0,40		0,53		0,40		0,53	
	SAM	0,45		0,45		0,68		0,45		0,68	
Retorno de Esgotos de Mogi das Cruzes	Sem ETE Suzano	0,72	---	0,72	---	1,03	---	0,72	---	1,03	---
	Com ETE Suzano	---	0,14	---	0,14	---	0,21	---	0,14	---	0,21
Barragem Biritiba		Não		Não				Sim			
Barr. Paraitinga		Não		Não				Sim			
Vazão mínima na Seção Suzano		9,76	9,18	5,29	4,71	5,47	4,65	4,78	4,20	4,96	4,14

Obs : (1) Considerado cobertura de 80 % nos serviços de esgotos e retorno de 85 % da água distribuída.

(2) A Cia Suzano capta 1,40 m³/s imediatamente a jusante da foz do Rio Taiaçupeba e retorna 1,20 m³/s em efluentes.

Pelo quadro anterior, pode-se concluir que sempre foi atendida a vazão de 4 m³/s a jusante da foz do Taiaçupeba, para manutenção da qualidade da água.

5. ESTUDOS DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA

As áreas do estudo foram divididas em três topologias básicas : uma que analisa o Sistema Alto Tietê e Rio Claro, a segunda, que analisa o Sistema Cantareira e por fim a que inclui os Sistemas Billings, Guarapiranga e Cotia.

5.1 - SÉRIES DE VAZÕES MENSAIS

Os dados de vazões utilizados no estudo de disponibilidades hídricas serão restritos ao período utilizado no HIDROPLAN. As séries são discretizadas mensalmente. Alguns arquivos de dados coincidem com aqueles utilizados no HIDROPLAN e sua metodologia de obtenção já foi mencionada no item 2.3.

Todos os arquivos fornecidos pela EMAE, SABESP e Hidroplan foram consistidos e eventualmente preenchidos. O período utilizado foi de 1930 a 1993. Os detalhes dos preenchimentos serão descritos nos casos específicos.

5.2 - CURVAS COTA – VOLUME DOS RESERVATÓRIOS

As curvas cota - volumes dos reservatórios Paiva Castro, Atibainha, Cachoeira, Jaguari/Jacareí, Guarapiranga, Beicht, Jundiaí, Taiapuê, Ponte Nova, Rio Grande, Billings foram obtidas do documento SABESP : Níveis Notáveis das Represas que Abastecem a Região Metropolitana de São Paulo - Revisão 8, Dezembro/1998. Ainda não se encontra disponível a curva do braço Taquacetuba.

6. O SISTEMA ALTO TIETÊ - RIO CLARO

6.1 - O SISTEMA ALTO TIETÊ

O Sistema Alto Tietê explora os recursos deste rio a montante da cidade de Suzano e seus principais objetivos são a regularização de vazões para abastecimento urbano e o controle de inundações.

O principal reservatório do sistema é formado pela Barragem de Ponte Nova, construída no rio Tietê entre os municípios de Biritiba e Salesópolis. Outros quatro reservatórios menores controlam os rios Paraitinga, Biritiba, Jundiaí, afluentes do Rio Tietê.

Depois de totalmente concluído, a condução das águas do sistema até a Grande São Paulo será feita da seguinte forma: as vazões regularizadas pelos reservatórios de Ponte Nova e Paraitinga seguem por seus cursos naturais até próximo à foz do Biritiba onde são desviadas por um canal artificial e bombeadas para o interior do reservatório do Biritiba.

Deste ponto as águas coletadas são transferidas para o reservatório do Jundiaí e deste para o reservatório do Taiapuê. A condução das águas ao longo deste trajeto é feita por gravidade por meio de canais e túneis.

Finalmente estas águas são encaminhadas à Estação de Tratamento de Águas de Taiapuê e daí bombeadas para o Sistema Adutor Metropolitano.

É importante mencionar que o reservatório de Taiapuê não pode ser enchido até seus níveis normais de projeto. Devido a dificuldades de desapropriação de uma indústria localizada na área a ser inundada o volume útil do reservatório é atualmente de 20 hm³ muito menor do que os 80 hm³ projetados.

6.2 - O SISTEMA RIO CLARO

Na década de 20, o Governo de São Paulo decidiu buscar águas de boa qualidade próximo às nascentes do rio Tietê, mais especificamente no Rio Claro, afluente do Rio Tietê cuja foz se situa pouco a montante da barragem de Ponte Nova. Este sistema é constituído pelo reservatório de Ribeirão do Campo, pela Estação de Tratamento do Rio Claro e pela Adutora do Rio Claro, com cerca de 100 km de extensão. Ao longo de sua existência este sistema foi reformado e reforçado até atingir sua configuração atual.

Atualmente o sistema contribui com cerca 4,0 m³/s para o abastecimento de São Paulo já considerando a transposição de 0,5 m³/s do ribeirão Guaratuba, rio da vertente marítima da Serra do Mar.

As águas do Rio Claro que não são aduzidas para São Paulo seguem seu curso normal e vão ser retidas pelo reservatório de Ponte Nova, o que faz com que a operação do Sistema Alto Tietê e Rio Claro devam ser consideradas de forma integrada.

6.3 VAZÕES MÉDIAS MENSAIS

As vazões médias mensais foram obtidas nos locais das barragens, a partir do Hidroplan. Nos locais junto à Foz dos afluentes do Rio Tietê e a jusante da Foz (no Rio Tietê), as vazões foram obtidas por correlação com as áreas de drenagem. Os dados relativos à Barragem Ribeirão do Campo, Poço Preto e km 76 foram fornecidos pela SABESP. A tabela 6.1 resume as áreas de drenagem e as vazões médias mensais do período 1930 a 1993.

Tabela 6.1 - Áreas de drenagem e vazões médias dos locais da topologia do Alto Tietê

Local	Área de Drenagem (km ²)	Vazão Média (m ³ /s)	Arquivos (.xls)
Rio Tietê em Ponte Nova	320	8.83	Hprma02
Rio Paraitinga na barragem	182	2.65	Hprma03
(*)Rio Paraitinga na foz	223,9	3.25	Paraitinga_foz
(*)Rio Tietê _ jusante da foz do Rio Paraitinga	592,50	13.16	Tietê_jus_parait
Rio Biritiba na barragem	75	2.02	Hprma04
(*)Rio Biritiba na foz	93,7	2.52	Biritiba_foz
(*)Rio Tietê-jusante da foz do Rio Biritiba	714,80	16.33	Tiete_jus_birit
Rio Jundiá na barragem	122	2.35	Hprma05
(*)Rio Jundiá na foz	193,7	3.73	Jundiá_foz
(*)Rio Tietê – jusante da foz do Rio Jundiá	1083,30	23.9	Tietê_jus_jundiá
Rio Taiaçupeba na barragem	220	4.44	Hprma07
(*)Rio Taiaçupeba na foz	239,9	4.84	Taiaçupeba_foz
(*)Rio Tietê – jusante da foz do Rio Taiaçupeba	1325,30	29.0	Tietê_jus_taia
Ribeirão do Campo		1.05	Ribeirão_do_Campo
Poço Preto		2.86	Poço_Preto
Km76		1.68	Km76

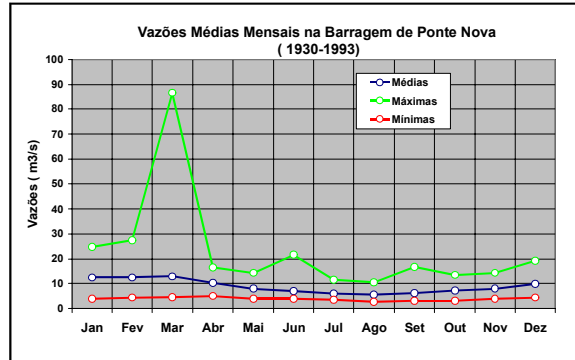


Figura 6.1 - Vazões em Ponte Nova

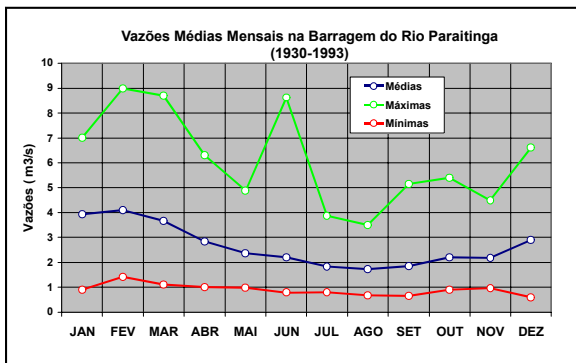


Figura 6.2 - Vazões na Barragem Paraitinga

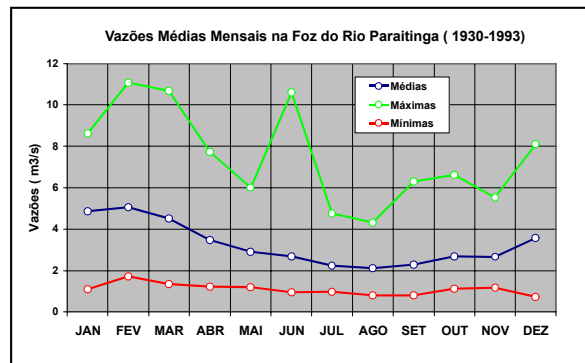


Figura 6.3 - Vazões na Foz do Rio Paraitinga

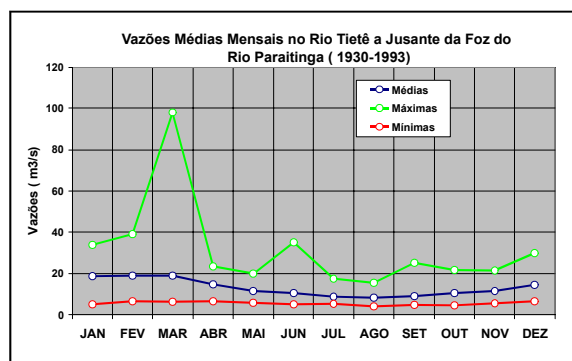


Figura 6.4 - Vazões no Rio Tietê a jusante da Foz do Rio Paraitinga

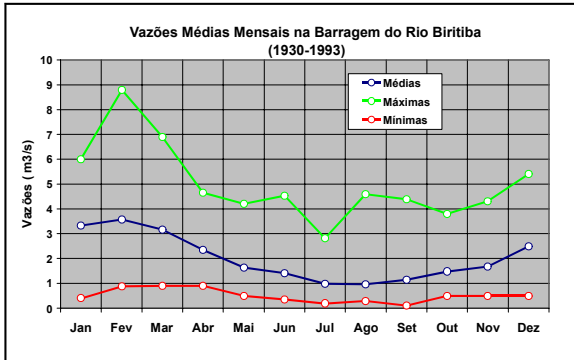


Figura 6.5 - Vazões na Barragem do Rio Paraitinga

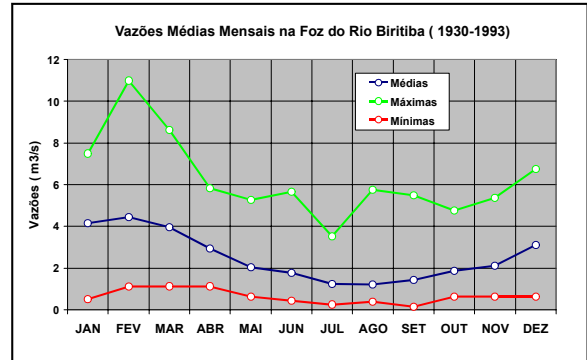


Figura 6.6 - Vazões na Foz do Rio Biritiba

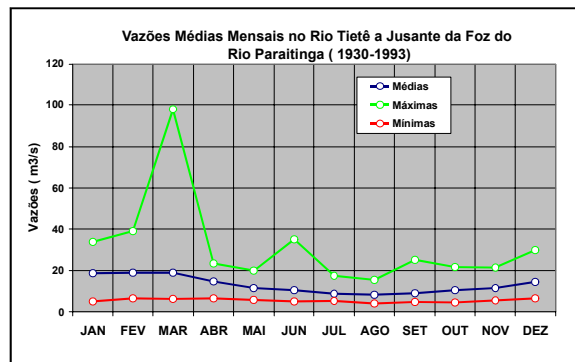


Figura 6.7 - Vazões no Rio Tietê a jusante da Foz do Rio Biritiba

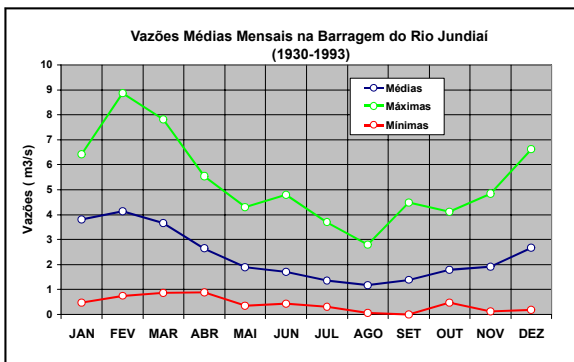


Figura 6.8 - Vazões na Barragem do Rio Jundiá

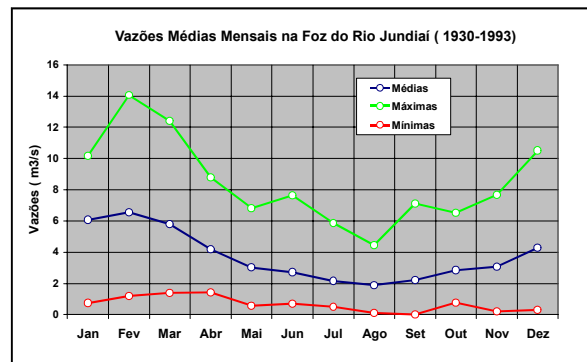


Figura 6.9 - Vazões na Foz do Rio Jundiá

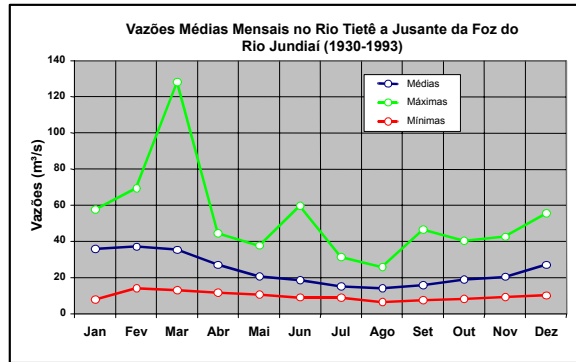


Figura 6.10 - Vazões no Rio Tietê a jusante da Foz do Rio Jundiá

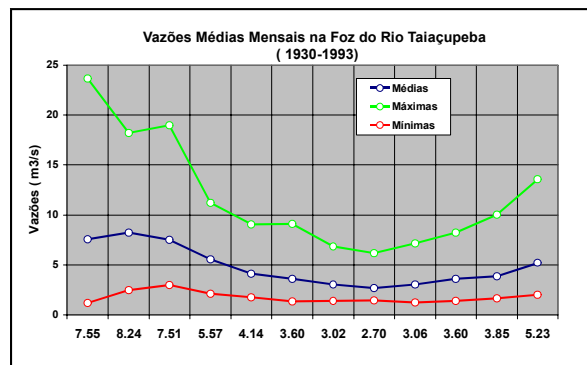
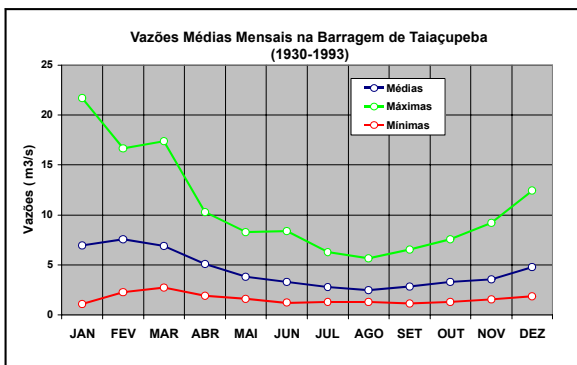


Figura 6.11 - Vazões na Barragem do Rio Taiaçupeba Figura 6.12 - Vazões na Foz do Rio Taiaçupeba

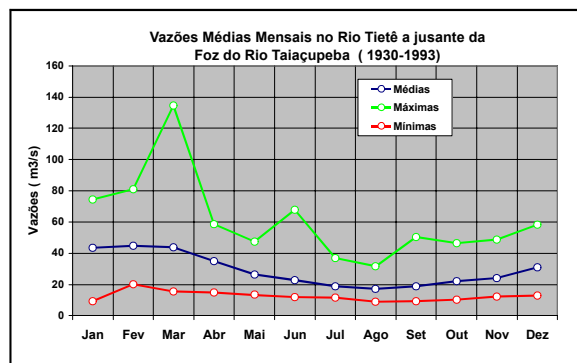


Figura 6.13 - Vazões no Rio Tietê a jusante da Foz do Rio Taiaçupeba

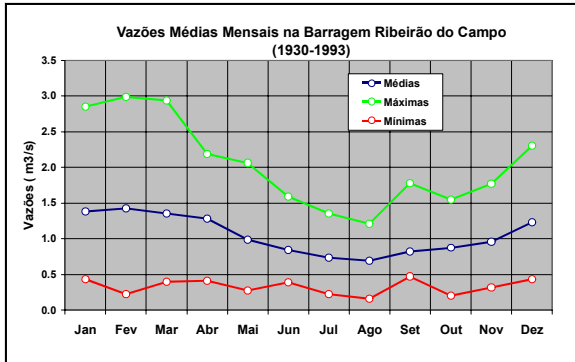


Figura 6.14 - Vazões em Ribeirão do Campo

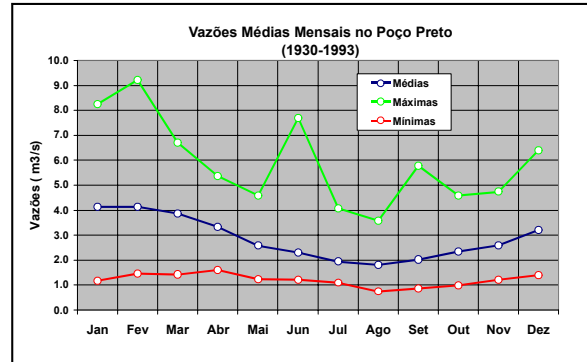


Figura 6.15 - Vazões em Poço Preto

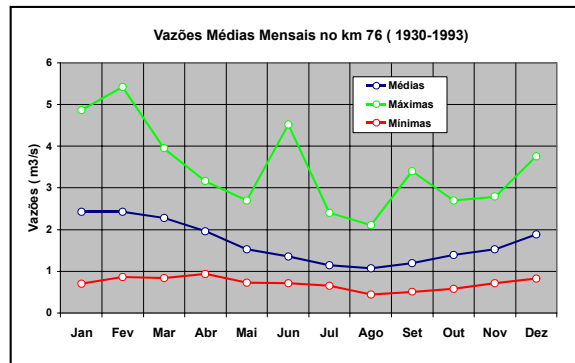


Figura 6.16 - Vazões no km 76

6.4 - CARACTERÍSTICAS DOS RESERVATÓRIOS

Os volumes e níveis operacionais dos reservatórios do Alto Tietê foram obtidos a partir de informações do Hidroplan, da SABESP e do DAEE. Existem algumas divergências nos valores obtidos, que não puderam ser esclarecidos. A tabela 6.2 indica um resumo desses valores, com as indicações de diferenças quando elas existem.

Tabela 6.2 - Características das represas do AltoTietê
Características Principais das Represas

Represa	NA Mín	NA Máx	Área da Bacia (km²)	NA Mín	NA Máx	Vol Tot hm3	Vol Oper hm3
	Oper (m)	Oper (m)		Min (m)	Max (m)		
Paraitinga	762.00	771.30	182	n.c	771.10		
	756.00	768.80	184				35
Ponte Nova	755.00	770.00	320.00	n. c.	773.00	332.9	290
							296
Biritiba	752.50	759.50	75.00	n.c.	758.70		34.4
		757.50					
Jundiaí		754.50	122	746.50	756.76	110.1	74.1
	748.42		116				60.0
Taiapuê	750.00	742.34	220	737.50	743.00	32.1	21.5
	739.50	747.00	224		749.33		87.9
Rib do Campo		875.00	11.80	856.70	n.c.	13.9	13.8
Poço Preto	858.57	n.c.	92.80	n.c.	852.94		
Guaratuba (elev)	n.c.	n.c.	20.10	n.c.	n.c.		
km 76 (elev. nível)	n.c.	n.c.	140.00	n.c.	n.c.		

SABESP / DAEE

Sabesp = DAEE

revisão 8

Para o reservatório Taiapuê, adotou-se a condição atual, em que há a restrição de alteamento da barragem, em função da presença de uma indústria a montante da barragem em cota inferior à cota máxima de inundação de projeto.

Para a topologia utilizada no MODSIM, os volume úteis utilizados estão resumidos na tabela 6.3.

Tabela 6.3 - Volumes úteis utilizados no MODSIM

Represa	Volume Útil (hm³)
Paraitinga	35
Ponte Nova	290
Biritiba	35
Ribeirão do Campo	14
Jundiaí	60
Taiapuê	20

6.5 - SIMULAÇÃO DO SISTEMA COM UM MODELO MATEMÁTICO DE REDE DE FLUXO

O modelo escolhido para simular o Sistema Alto Tietê foi o *Modsim*, desenvolvido por Labadie e outros na Colorado State University e descrito por Azevedo e Porto (Porto et Al, 1997). Este modelo trata fundamentalmente do problema de alocação de água em bacias hidrográficas. O Modsim é classificado como um modelo de *rede de fluxo*, pois representa o sistema de aproveitamento dos recursos hídricos de uma bacia por meio de um conjunto de *nós* e *arcos*.

Os *nós* representam reservatórios, demandas, reversões, confluências, e outros pontos importantes do sistema. Os *arcos* são os elos de ligação entre os nós e representam trechos de rios, adutoras, canais e outras estruturas semelhantes.

O princípio de funcionamento do Modsim é o seguinte: o usuário transmite suas preferências ao modelo através de um sistema de prioridades e custos e o modelo utiliza um algoritmo de otimização para garantir que as preferências do usuário sejam atendidas no maior grau possível. Este algoritmo é extremamente eficiente em termos computacionais, o que permite que sistemas excepcionalmente grandes possam ser analisados em tempos bastante curtos.

O Modsim foi utilizado por meio de uma interface gráfica, o *ModSimP32*, desenvolvida para facilitar a simulação de Sistemas de Recursos Hídricos. Esta interface foi desenvolvida na Escola Politécnica da USP (Porto et Al, 1997), no formato de um Sistema de Suporte a Decisões, ou seja, procura ser um instrumento de real utilidade para a tomada de decisões a respeito de sistemas complexos.

A interface ModSimP32 permite que a topologia do sistema de recursos hídricos seja definida graficamente, na tela do computador, apenas com o uso do mouse. Em seguida o usuário deverá preencher os dados necessários à simulação em janelas que são abertas para cada componente do sistema, tais como trechos de canais, reservatórios pontos de demanda etc. Se os dados estiverem em planilhas eletrônicas, como acontece usualmente com as series hidrológicas, tabelas de cota-área-volume, etc, a interface permite a importação destas informações por meio de comandos *Copiar* e *Colar*, padronizados do Windows.

Os resultados são apresentados em diversos formatos, mais especificamente: gráficos, tabelas, curvas de permanência e comportamento de variáveis de interesse ao longo do tempo. É possível também analisar os resultados de diferentes simulações na mesma tela para efeito de comparações.

6.6 - TOPOLOGIA UTILIZADA NO MODSIM

A figura 6.17 mostra a topologia utilizada pelo modelo ModSimP32. Nesta topologia, os reservatórios são representados por triângulos, os pontos de demanda por quadrados, os círculos verdes como pontos de afluentes naturais e os vermelhos como pontos de passagem. Admite-se nessa topologia, uma

Tabela 6.4 - Vazões Médias Mensais

Local	Nó	Vazão Média (m ³ /s)
Ribeirão do Campo	31	1,05
Poço Preto	38	2,86
Guaratuba	8	0,50
Km 37	37	1,68
Ponte Nova	7	3,15
Paraitinga	6	2,69
Biritiba	12	2,02
Bacia Intermediária Tietê Ponte Nova a Biritiba	11	2,14
Jundiaí	3	2,35
Bacia Intermediária Tietê entre Biritiba e Jundiaí	15	0,95
Taiapuêba	4	4,44
Bacia Intermediária Tietê entre Jundiaí e Taiapuêba	17	2,58

A tabela 6.5 resume os valores médios das demandas adotadas :

Tabela 6.5 - Demandas Médias

Local	Nó	Tipo	Vazão (m ³ /s)	Prioridade
Jusante de Ponte Nova	10	Não consuntiva	0,50	1
Irrigação 1	19	Consuntiva	0,76	1
Irrigação 2	20	Consuntiva	0,49	1
Mogi das Cruzes	21	Consuntiva	0,70	1
Irrigação 3	23	Consuntiva	0,10	1
Industrial	24	Consuntiva	1,20	1
Cia Suzano	17	Não Consuntiva	1,40	1
Suzano (ecológica)	8	Não Consuntiva	4,00	3
Pólo Petroquímico Capuava	25	Consuntiva	0,50	1
Jusante Jundiaí	14	Não Consuntiva	0,15	1
Jusante de Taiapuêba	16	Não Consuntiva	0,26	1
Rio Claro	26	Consuntiva	4,00	1
Alto Tietê - ETA	27	Consuntiva	Variável	5

6.7 - CENÁRIOS E RESULTADOS

Foram analisados 13 cenários, fazendo-se variar as demandas para a ETA Alto Tietê de 13 m³/s a 17 m³/s e a capacidade da Elevatória de Biritiba com 7,5 m³/s e 10 m³/s.

A tabela 6.6 resume os valores médios obtidos das simulações.

Tabela 6.6 - Resultados das Simulações

Demanda ETA Alto Tietê	Capacidade (m ³ /s) Elevatória Biritiba	Vazão Média (m ³ /s) Fornecida para ETA Alto Tietê	Vazão Média (m ³ /s) Fornecida para ETA Rio Claro	Vazão Média (m ³ /s) Bombeada por Biritiba
13	7,5	12,94	3,98	4,83
	10	12,95	3,98	4,88
14	7,5	13,90	3,98	5,57
	10	13,90	3,97	5,66
15	7,5	14,79	3,97	6,25
	10	14,79	3,96	6,37
15,5	7,5	15,17	3,97	6,55
	10	15,20	3,95	6,71
16	7,5	15,47	3,97	6,77
	10	15,56	3,95	6,98
16,5	7,5	15,70	3,97	6,95
	10	15,87	3,94	7,22
17	7,5	15,85	3,96	7,09

Da tabela 6.6, pode-se observar que um acréscimo da capacidade de bombeamento da Elevatória de Biritiba para valor superior a 7,5 m³/s não traz incrementos significativos nos resultados de atendimento das demandas para São Paulo.

As vazões fornecidas são variáveis no tempo. Para se identificar quanto tempo se consegue atender às vazões nominais das ETAS, define-se um índice de garantia de atendimento, como sendo a porcentagem dos meses em que a vazão fornecida é igual ao valor nominal. A figura 6.18 resume os valores obtidos para essas garantias.

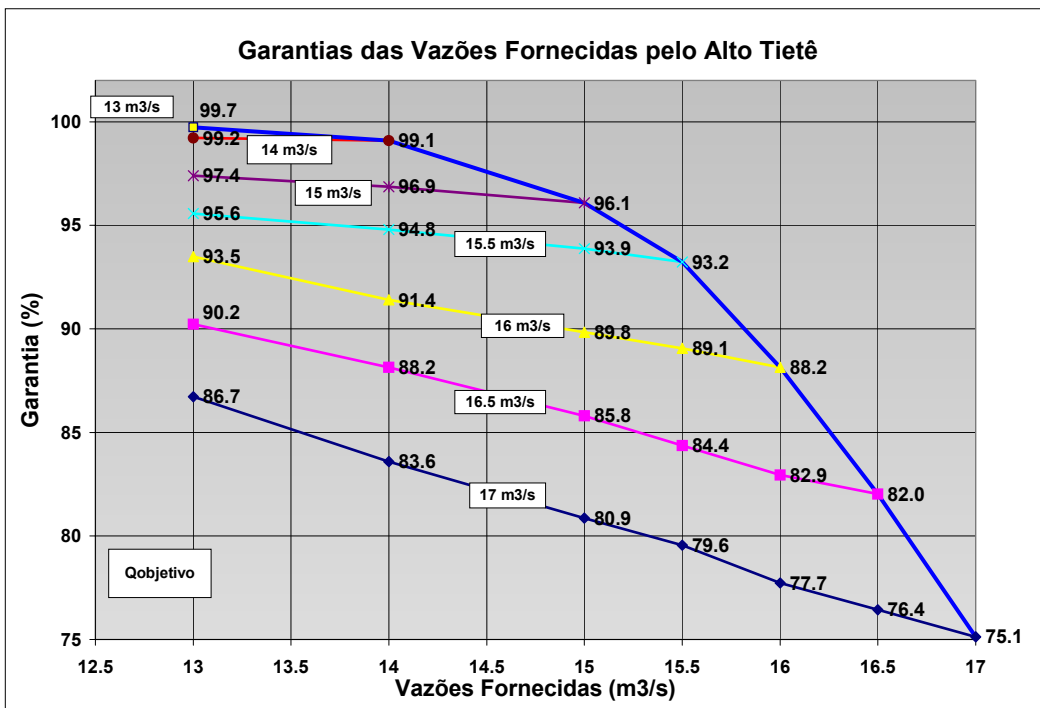


Figura 6.18 - Garantias das vazões fornecidas pelo Alto Tietê

A tabela 6.7 indica as garantias de atendimento das vazões para os diversos cenários.

Tabela 6.7 - Garantias de atendimento da ETA Alto Tietê

Garantias (%)		Vazões Fornecidas (m³/s)						
		13	14	15	15,5	16	16,5	17
Vazões Objetivo (m³/s)	13	99.74						
	14	99.22	99.09					
	15	97.40	96.87	96.09				
	15,5	95.57	94.79	93.88	93.23			
	16	93.49	91.41	89.84	89.06	88.15		
	16,5	90.23	88.15	85.81	84.37	82.94	82.03	
	17	86.72	83.59	80.86	79.56	77.73	76.43	75.13

A figura 6.19 mostra a curva de atendimento às demandas para abastecimento do Sistema Alto Tietê e Rio Claro. Quando se analisa o cenário de produção de 15,5m³/s no Alto Tietê 4 m³/s no Rio Claro, obtém-se uma garantia de cerca de 92,5%. Se a vazão de produção do Alto Tietê se reduz a 14 m³/s, a garantia atinge cerca de 98,5 %. No cenário em que a vazão meta do Alto Tietê é de 15,5 m³/s, a garantia de produção de 14 m³/s é de 94,5 %.

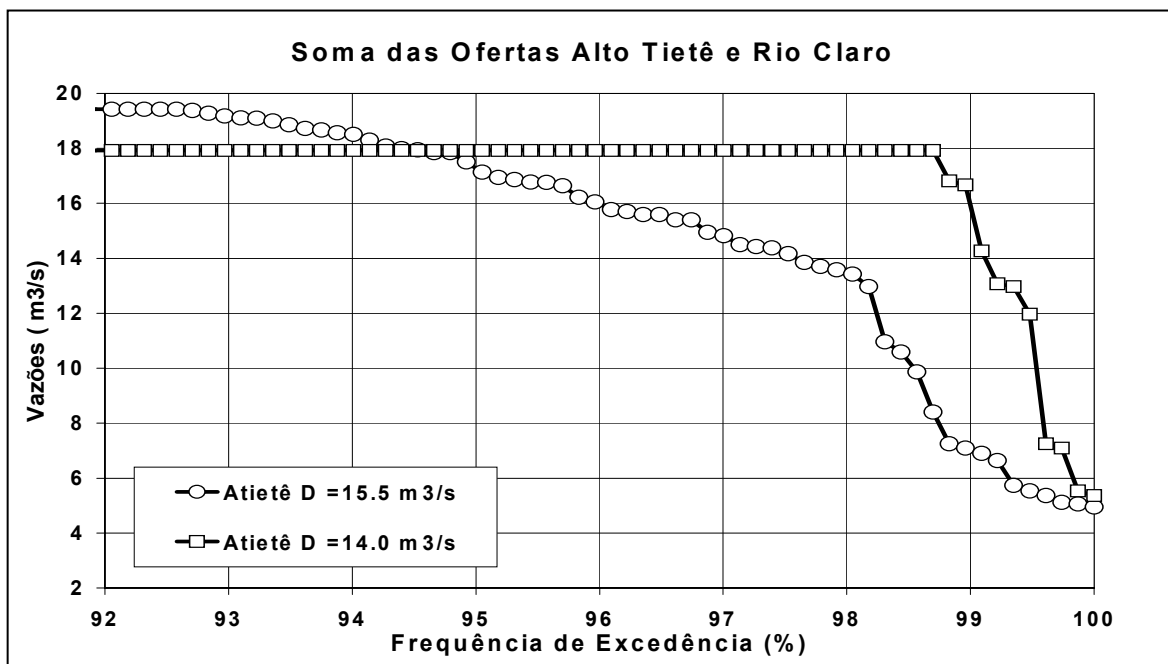


Figura 6.19 - **Garantias de fornecimento total para o abastecimento**

Analisando-se especificamente o Sistema Produtor do Rio Claro, quando o cenário de produção do Sistema Produtor Alto Tietê é de 15,5 m³/s, a garantia de produção de 4 m³/s no Rio Claro é de 98,7 %. Quando a produção meta do Sistema Alto Tietê é de 14 m³/s, a garantia de produção do Rio Claro, para a mesma produção de 4m³/s é de 99,0 %, mostrando pouca influência desse incremento de produção do Sistema Alto Tietê sobre o Sistema Rio Claro. Esses resultados podem ser vistos na figura 6.20.

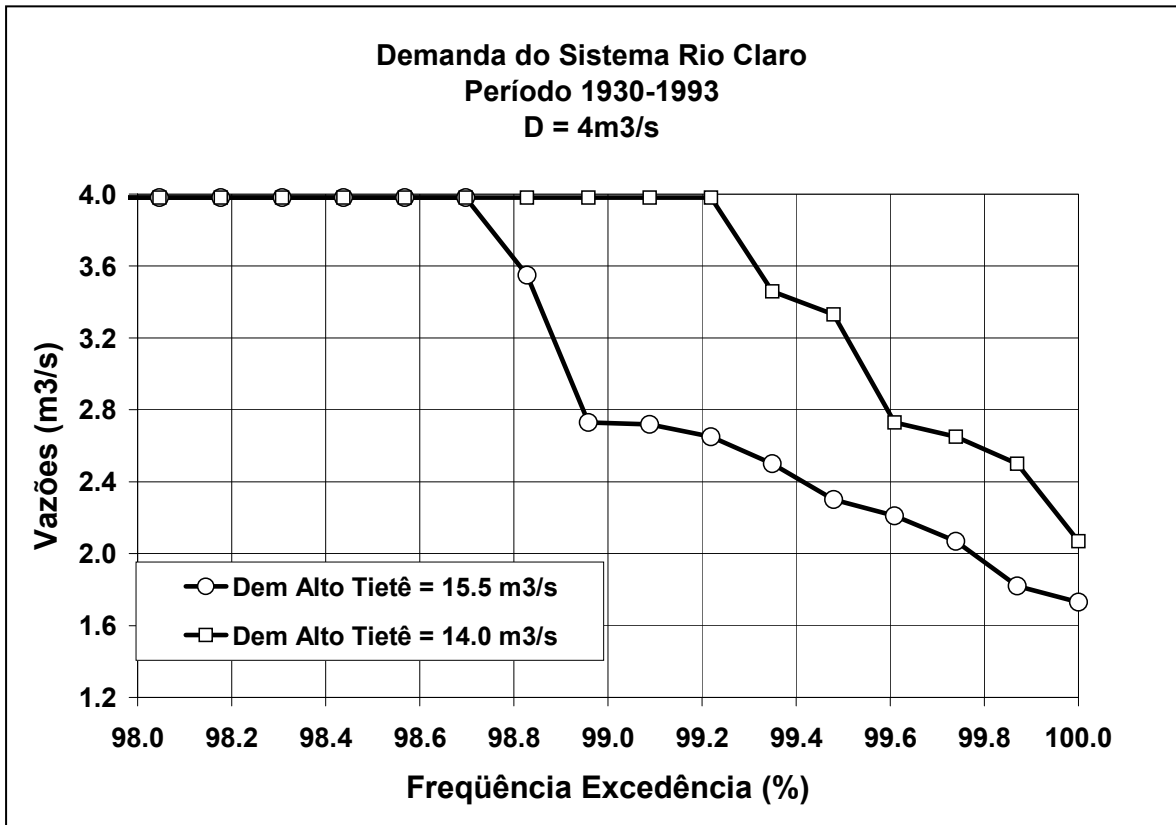


Figura 6.20 - Garantias de abastecimento do Sistema Rio Claro

7. SISTEMA CANTAREIRA

O Sistema Cantareira é responsável pelo abastecimento atual de cerca de 50% de todo o Sistema Adutor Metropolitano de São Paulo. O sistema é composto pela reversão das águas dos Rios Jaguari, Jacareí, Atibaia, Cachoeirinha e Juqueri, através de túneis e canais que interligam os reservatórios situados nesse rios, para o reservatório de Águas Claras.

Os reservatórios Jaguari e Jacareí são interligados por um canal e trabalham como um único reservatório. Esses reservatórios foram os últimos que passaram a integrar o Sistema Produtor Cantareira, por volta de 1982.

O reservatório do Rio Juqueri, denominado Paiva Castro foi o primeiro a ser construído e foi concluído por volta de 1968. Seu volume de regularização é pequeno, servindo como passagem para o reservatório de Águas Claras. A transferência para este último reservatório é efetuada pela elevatória de Santa Inês, com capacidade nominal de 33 m³/s. Desse reservatório, a água é conduzida por condutos forçados para a ETA Guaraú.

O reservatório de Águas Claras tem por objetivo ser um reservatório de segurança de produção da ETA Guaraú, em caso de falta de energia elétrica. Atualmente, com o assoreamento verificado neste reservatório, sua autonomia é muito restrita (algo em torno de 3 a 5 horas).

As vazões descarregadas dos reservatórios do Jaguari, Jacareí, Atibaia e Cachoeira, somadas às contribuições das bacias hidrográficas a jusante das barragens, atendem às necessidades de diversas cidades, indústrias e agricultores da bacia do Rio Piracicaba. A SABESP opera o sistema, para que em condições normais, as vazões observadas em dois pontos de controle, situados em Paulínia e Piracicaba, não sejam inferiores a 15 m³/s e 40 m³/s, respectivamente.

O objetivo da análise desse Sistema é identificar as garantias de abastecimento para São Paulo e das vazões mínimas desses pontos de controle.

A figura 7.1 apresenta a topologia adotada nas simulações com o modelo ModSimP32.

7.1 - VAZÕES NATURAIS DO SISTEMA CANTAREIRA

A rede fluviométrica final para os estudos da bacia do rio Piracicaba é constituída por 14 postos, que são os que podem ser considerados de melhor confiabilidade. De acordo com as séries obtidas neste estudo, as disponibilidades superficiais naturais médias montam a, cerca de 60 m³/s na bacia do rio Jaguari, 42 m³/s na bacia do rio Atibaia e 180 m³/s na bacia do Piracicaba próximo à sua Foz, o que em termos de contribuição específica média corresponde a 14,5 l/s/km², valor este inferior ao da bacia do Alto Tietê, que é 17,5 l/s/km².

Observa-se também que, na bacia não há grandes variações nas contribuições específicas, em razão das moderadas variações pluviométricas na região. As maiores vazões específicas ocorrem na região de cabeceira da bacia, situada junto à Serra da Mantiqueira. "(Fonte : Hidroplan).

As vazões naturais utilizadas no estudo da topologia do Sistema Cantareira foram fornecidas pela SABESP e também obtidas do Hidroplan e compreendem o período de 1930 a 1993 (Tabela 7.1).

Tabela 7.1 - Arquivos com vazões médias mensais

4 SISTEMA CANTAREIRA			
Local	ModSim	Arquivos	Observações
Rio Jaguari –Barragem do Jaguari/Jacareí	1- Jaguari	Hprmp03.xls	
Rio Cachoeira na Barragem do Cachoeira	2- Cachoei	Hprmp02.xls	
Rio Atibainha na Bar. Do Atibainha	3- Atibain	Hprmp01.xls	
Rio Juqueri na Bar. De Paiva Castro	4- P.Castr	Hprma65.xls	
(*)Cont. Intermediária (posto Atibaia em Atibaia menos as vazões naturais de Cachoeira e Atibainha)	34-Contrit	34-contrit.xls	Vazão res. = Hprmp12 – (Hprmp02+Hprmp01)
(*)Posto Atibaia Acima de Paulínia menos o posto Atibaia em Atibaia	14-Pauline	14-Pauline.xls	Vazão res. = Hprmp14 – Hprmp12
Rio Piracicaba em Piracicaba	5-Piracic	Hprmp05.xls	

(*) Arquivos obtidos através de cálculos realizados com os dados Hidroplan.

Foram analisadas as séries das vazões naturais afluentes aos reservatórios Jaguari, Cachoeira, Atibainha e Paiva Castro, além dos pontos de controle em Itatiba, Paulínia e Piracicaba. As vazões médias mensais do período analisado estão resumidas na tabela 7.2.

Tabela 7.2 - **Vazões Médias Mensais do Sistema Cantareira**

Local	Vazão Média (m³/s)
Jaguari	25,7
Cachoeira	9,2
Atibainha	6,2
Paiva Castro	4,6
Itatiba	24,5
Paulínia	17,0
Piracicaba	131,1

As séries completas encontram-se no arquivo Dados_Cantareira.xls. As figuras 7.2 a 7.6 mostram os valores médios e as envoltórias das vazões médias mensais mínimas e máximas.

Para as seções junto à Paulínia e Piracicaba, foram traçadas as curvas de duração das vazões médias mensais históricas (1930-1993) e as curvas históricas com as médias, máximas e médias mensais anuais, para comparação com o período após a construção das barragens do Sistema Cantareira (Figuras 7.7 a 7.12).

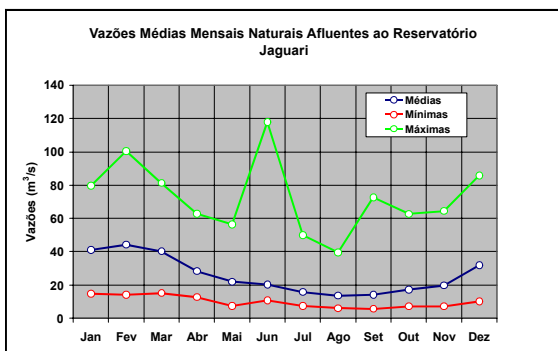


Figura 7.2 - Vazões Afluentes ao Reservatório Jaguari

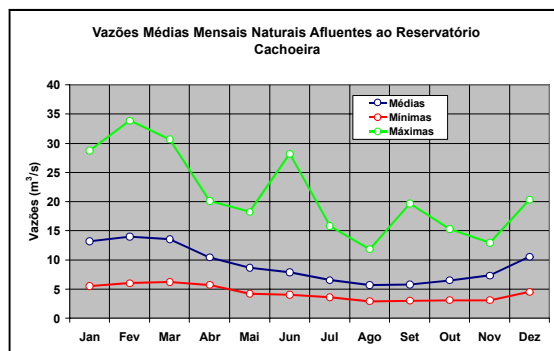


Figura 7.3 - Vazões Afluentes ao Reservatório Cachoeira

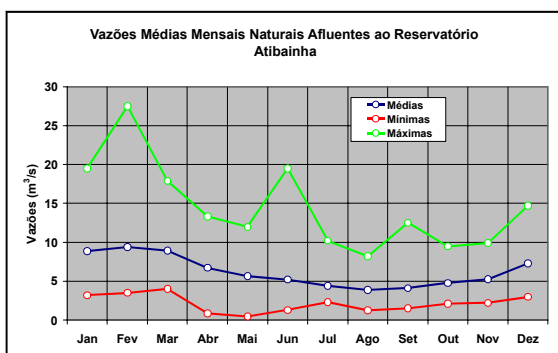


Figura 7.4 - Vazões Afluentes ao Reservatório Atibainha

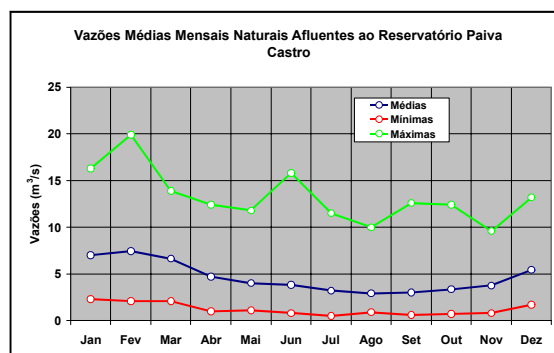


Figura 7.5 - Vazões Afluentes ao Reservatório Paiva Castro

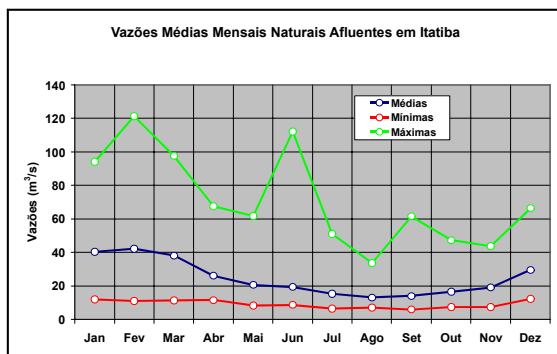


Figura 7.6 - Vazões Mensais em Itatiba

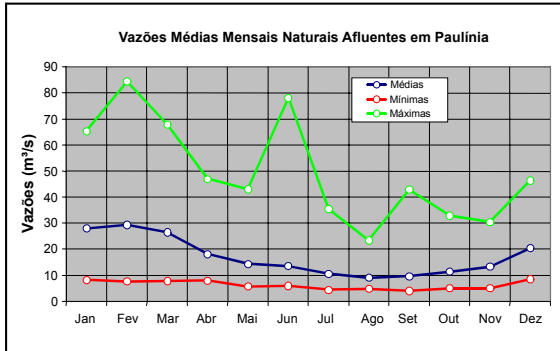


Figura 7.7 - Vazões Afluentes em Paulínia

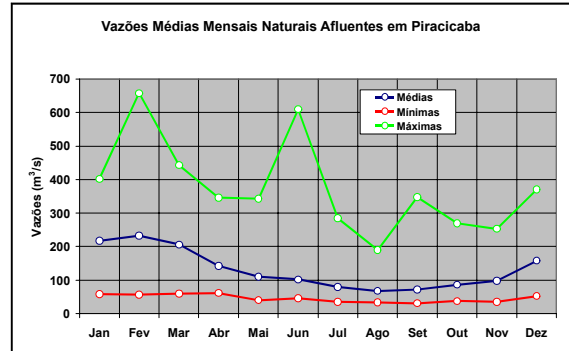


Figura 7.8 - Vazões Afluentes em Piracicaba

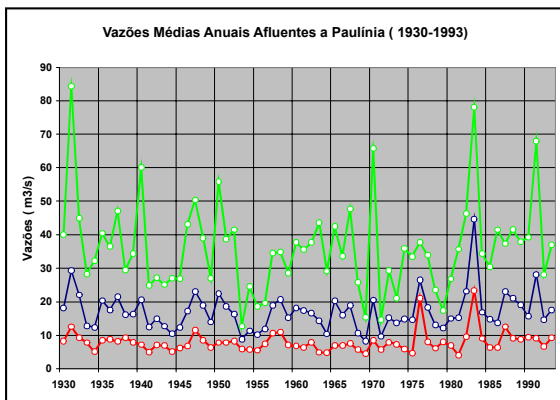


Figura 7.9 - Vazões Anuais em Paulínia

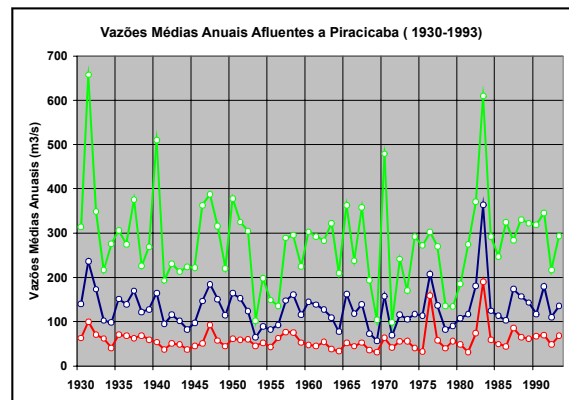


Figura 7.10 - Vazões Anuais em Piracicaba

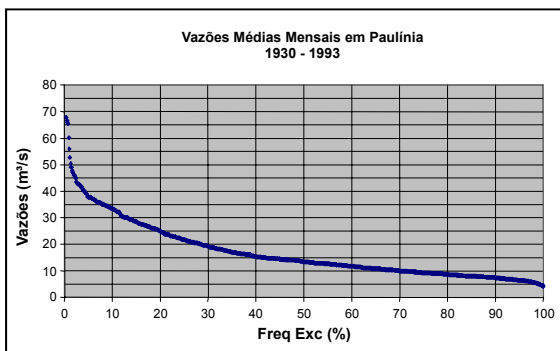


Figura 7.11 - Curvas de Frequência das Vazões Mensais em Paulínia

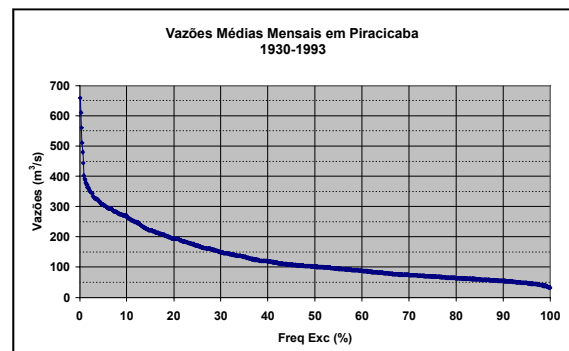


Figura 7.12 - Curvas de Frequência das Vazões Mensais em Piracicaba

7.2 - DEMANDAS DO SISTEMA CANTAREIRA

A tabela 7.3 apresenta as demandas dos pontos de controle. Algumas demandas aparecem divididas no modelo em duas parcelas : uma principal e outra secundária.

Tabela 7.3 - Demandas do Sistema Cantareira (Utilizadas no ModSim)

Local	Nó	Vazão (m ³ /s)	Prioridade*
Jusante Jaguari	28	1,0	2
	27	1,0	90
Jusante Cachoeira	9	1,0	2
	29	1,0	90
Jusante Atibainha	8	1,0	2
	30	1,0	90
Jusante Paiva Castro	7	0,5	2
	31	0,5	90
São Paulo	6	33	1
Urbana	22	0,32	1
Industrial	23	0,16	6
Irrigação	16	3,33	10
Urbana	15	0,69	1
Capivari	24	1,2	1
Jundiaí	18	1,2	1
Paulínia	14	12	15
	26	3,0	90
Piracicaba	5	25	15
	25	15	90

* Prioridades adotadas no ModSim

7.3 - CAPACIDADES DOS RESERVATÓRIOS

A tabela 7.4 resume as capacidades úteis dos reservatórios. Os reservatórios Jaguari e Jacareí, por estarem interligados, foram considerados como um único reservatório.

Tabela 7.4 - Capacidades dos reservatórios do Sistema Cantareira

Reservatório	Volume (hm ³)
Jaguari / Jacareí	595
Cachoeira	70
Atibainha	100
Paiva Castro	9,4

As curvas cota-volumes estão disponíveis no documento "Níveis Notáveis das Represas que Abastecem a Região Metropolitana de São Paulo-Revisão 8, Dezembro/1998.- SABESP".

7.4 - CENÁRIOS E RESULTADOS

Para as análises dos diversos cenários de abastecimento de São Paulo foi utilizado o modelo ModSimP32, já descrito no módulo das análises do Sistema Alto Tietê.

O arquivos de trabalho do ModSim estão agrupados no arquivo Canta_33.zip. Os resultados das simulações estão resumidos no arquivo Cantareira_Simulações.xls.

Foram simuladas vazões de retirada para São Paulo variando de 23m³/s a 33m³/s, objetivando avaliar os níveis de garantia de atendimento e as influências sobre as garantias de atendimento às vazões mínimas em Paulínia e Piracicaba.

A tabela 7.5 e a figura 7.13 mostram as garantias de fornecimento de vazões à São Paulo.

Tabela 7.5 - Garantias de fornecimento de vazões à ETA Guaraú - São Paulo

Garantias (%)	Q Fornecida x Garantia											
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	
Objetivo (m ³ /s)	23	100										
	24	99.9	99.9									
	25	99.7	99.7	99.6								
	26	99.6	99.5	99.4	99.2							
	27	99.2	99.1	99.0	98.8	98.7						
	28	98.9	98.8	98.8	98.7	98.6	98.4					
	29	98.5	98.4	98.1	98.0	97.9	97.9	97.7				
	30	98.3	97.9	97.7	97.6	97.5	97.1	96.9	96.7			
	31	97.8	97.3	97.0	96.9	96.8	96.5	96.2	96.0	95.8		
	32	97.0	96.4	96.1	96.0	95.8	95.6	95.3	95.2	95.1	94.9	
	33	96.4	95.7	95.4	95.2	94.9	94.5	94.3	94.1	93.9	93.8	93.8

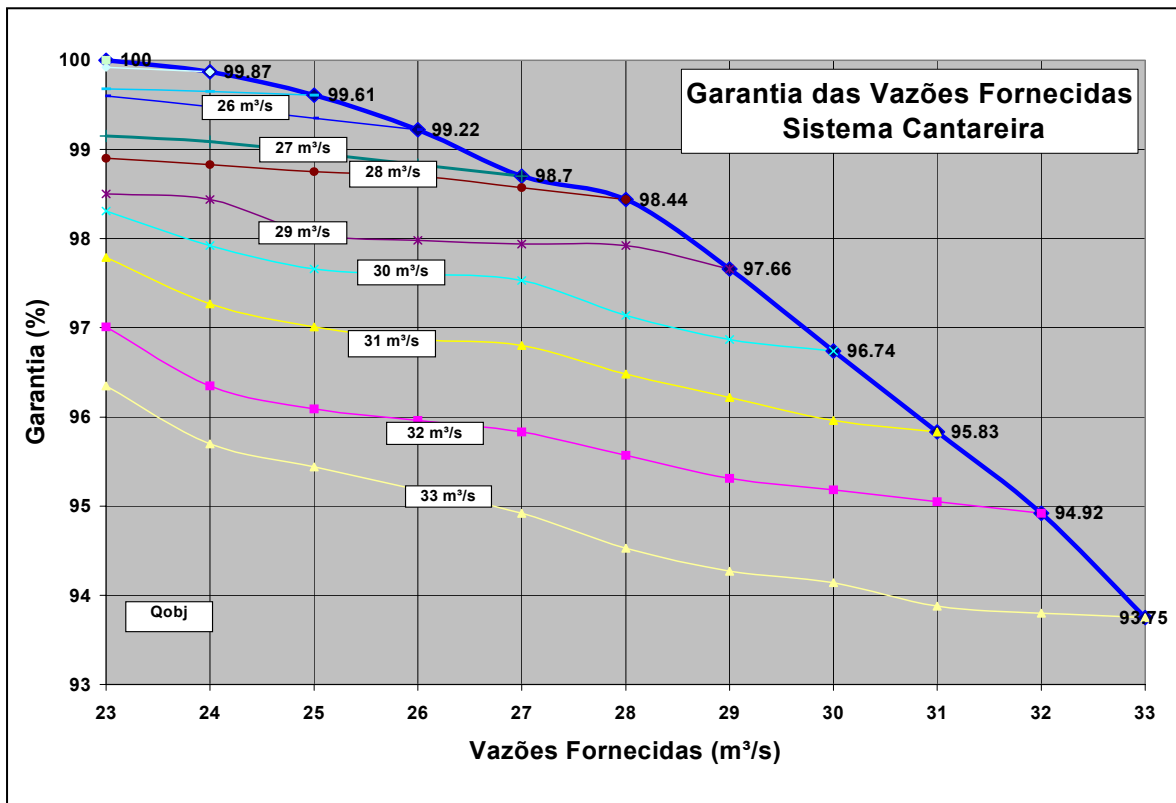


Figura 7.10 - **Garantias das vazões fornecidas à ETA Guarau - São Paulo**

Para cada um dos cenários simulados, analisou-se os efeitos sobre as vazões mínimas garantidas em Piracicaba (objetivo de 40 m³/s) e Paulínia (objetivo de 15 m³/s).

A figura 7.14 indica as garantias de vazões médias mensais mínimas em Piracicaba.

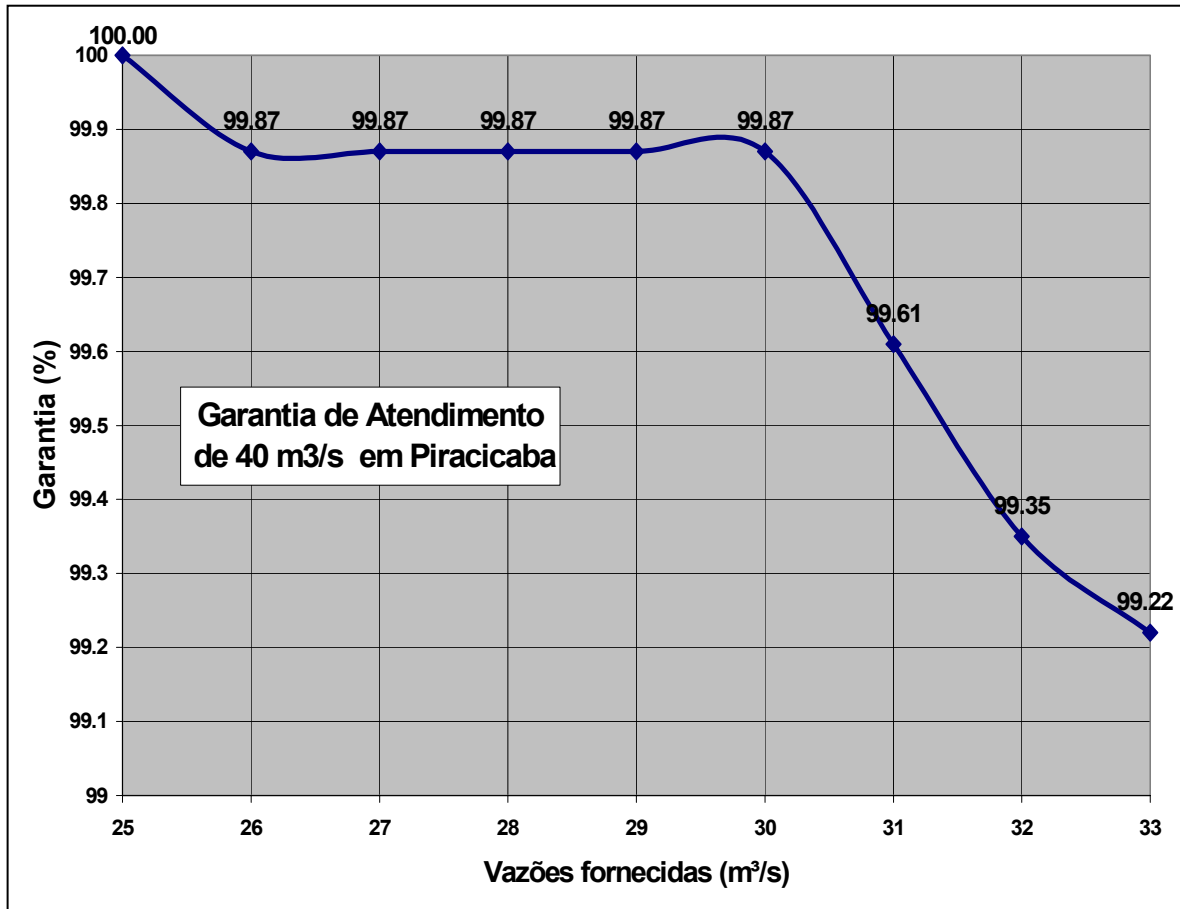


Figura 7.14 - Garantias das vazões mínimas mensais em Piracicaba

Do gráfico 7.14, pode-se concluir que para todos os cenários analisados, a vazão mínima objetivo proposta de 40 m³/s foi garantida em pelo menos 99,2% do tempo.

A figura 7.15 mostra os resultados para as vazões mensais mínimas garantidas, em Paulínia.

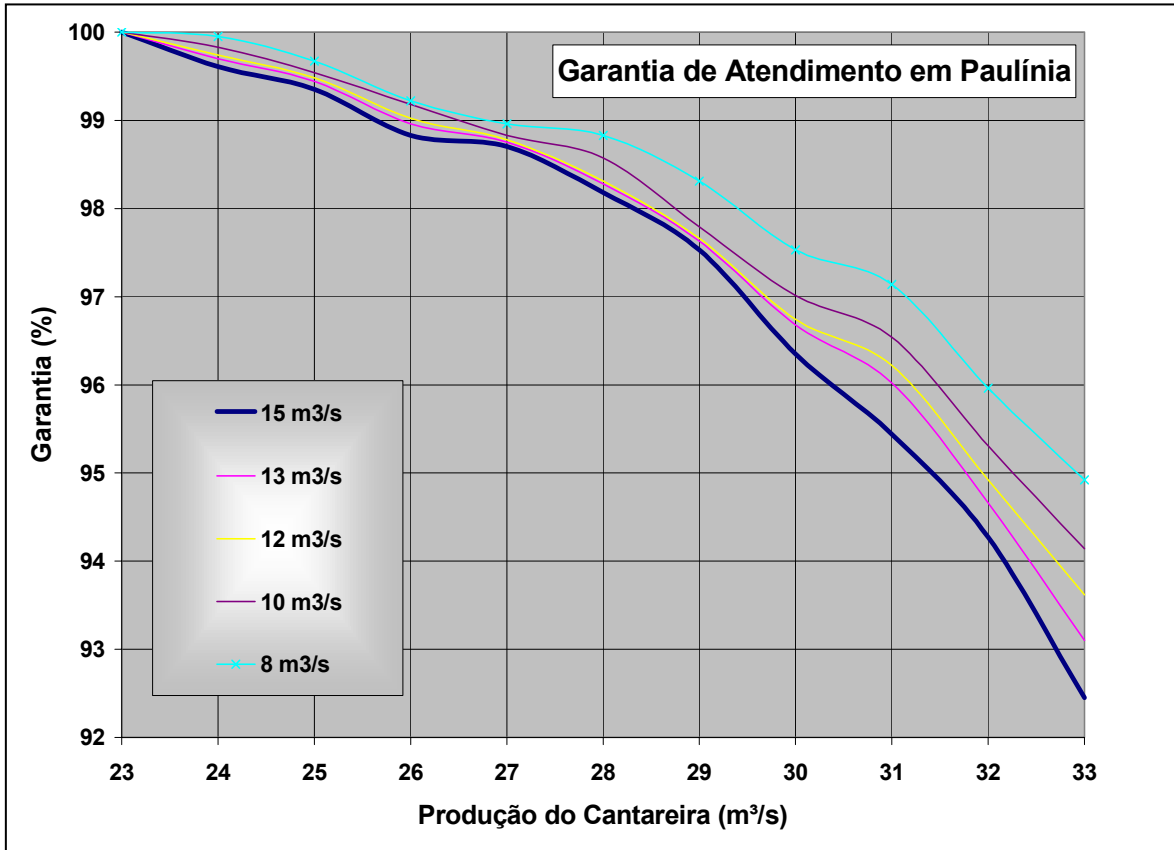


Figura 7.12 - Garantias das vazões mensais mínimas em Paulínia

8. OS SISTEMAS BILLINGS, GUARAPIRANGA E COTIA

Esses sistemas são extremamente complexos, pois sua operação envolve aspectos de abastecimento, geração de energia, controle de inundações, recreação e preservação ambiental. A sua operação deve ser vista de forma integrada, como será justificado a seguir.

O sistema Billings foi projetado para atender primordialmente os interesses de geração de energia elétrica. O reservatório Billings situa-se no Planalto Paulista e recebe através de bombeamento as vazões oriundas da bacia do Rio Pinheiros, afluente do Rio Tietê.

No Rio Pinheiros, situam-se duas barragens, que dividem o rio em dois trechos: o Pinheiros Inferior e o Pinheiros Superior. A primeira barragem denominada de Traição conta com uma elevatória que recalca para o trecho superior. O trecho superior recebe como afluente o Rio Guarapiranga, onde está situada a barragem de mesmo nome a cerca de 1 km de sua foz. Na extremidade de montante do trecho superior há uma barragem e estação elevatória de Pedreira, que recalca as vazões do trecho superior para o corpo principal da represa Billings.

O reservatório Billings possui um formato dendrítico e possui dois braços de interesse para este estudo : o braço do Rio Grande e o braço do Taquacetuba.

O braço do Rio Grande é separado do corpo principal da Billings por uma barragem. No braço há uma elevatória de água bruta que aduz à ETA do Rio Grande, que abastece a região do município de S. Bernardo do Campo e Riacho Grande.

O braço do Taquacetuba é naturalmente ligado ao corpo principal da Billings. Próximo à sua foz, há uma estação elevatória flutuante que recalca para uma outra elevatória fixa situada na margem do braço, que por sua vez recalca para o reservatório do Guarapiranga. A partir de 2000, foi iniciada a operação do conjunto das duas elevatórias, que permite a transferência de 2 m³/s para o reservatório Guarapiranga. Em função da estiagem severa de 2000, há uma licença especial para que em casos de emergência, possa ser transferida uma vazão de até 4 m³/s.

O reservatório Billings é interligado através do canal de Pedreira para o reservatório Rio das Pedras, que possui uma estrutura de controle que aduz por gravidade, através de condutos forçados a água que alimenta a Usina Hidrelétrica de Henry Borden, situada em Cubatão, já na região litorânea.

A usina Henry Borden possui função estratégica no sistema de abastecimento de energia, pois dada sua proximidade ao centro consumidor (São Paulo) é responsável pela geração de energia de pico.

A partir de 1992, ficou restrita a reversão das águas oriundas do Rio Tietê e Pinheiros ao reservatório Billings a situações de inundações nas bacias do Tietê e Pinheiros.

O reservatório Guarapiranga, construído pela antiga Lght e operado posteriormente pela Eletropaulo e atualmente pela EMAE possuía o propósito de regularizar as vazões oriundas de sua bacia, que eram conduzidas, através do Canal Pinheiros Superior ao Reservatório Billings.

Atualmente, o reservatório Guarapiranga é utilizado para aduzir à ETA do ABV, que abastece as regiões Sul e Sudoeste da RMSP. Recebe as vazões do braço do Rio Taquacetuba, através da elevatória de mesmo nome, que descarrega as vazões na várzea do Rios Parelheiros e Itaim, afluentes da represa Guarapiranga.

Existe uma elevatória e uma barragem de nível, no Rio Capivari, situado na encosta da Serra do Mar, que reverte para o reservatório Guarapiranga vazões da ordem de 1 m³/s.

Após a saída da ETA do ABV, já no sistema de adução aos reservatórios de distribuição, há um booster que permite transferir vazões para setores abastecidos originalmente pelo Sistema Cotia.

O Sistema Cotia é composto por duas ETAS situadas no Rio Cotia, denominadas de Alto Cotia e Baixo Cotia. No Rio Cotia existe a barragem de Pedro Beicht, situada na porção de montante da bacia, que regulariza as vazões que são descarregadas no próprio Rio Cotia e então armazenadas no reservatório das Graças (N. Sra, das Graças), de onde é feita a derivação para a ETA Alto Cotia. A jusante dessa barragem existem ainda duas pequenas barragens, Isolina Superior e Isolina Inferior que abastecem a ETA Baixo Cotia.

Embora os sistemas Guarapiranga e Cotia e Rio Grande sejam sistemas produtores de bacias vizinhas, estão no mesmo esquema, para se poder analisar as transferências do Sistema Produtor do Guarapiranga para o Sistema Produtor Alto Cotia, que é feita, através de um booster no sistema de adução e também as importações dos mananciais do Rio Capivari e do braço do Rio Taquacetuba (da Billings) para o reservatório Guarapiranga.

Para a análise dos três sistemas foi utilizado o modelo ModSim, com a topologia apresentada na figura 8.1.

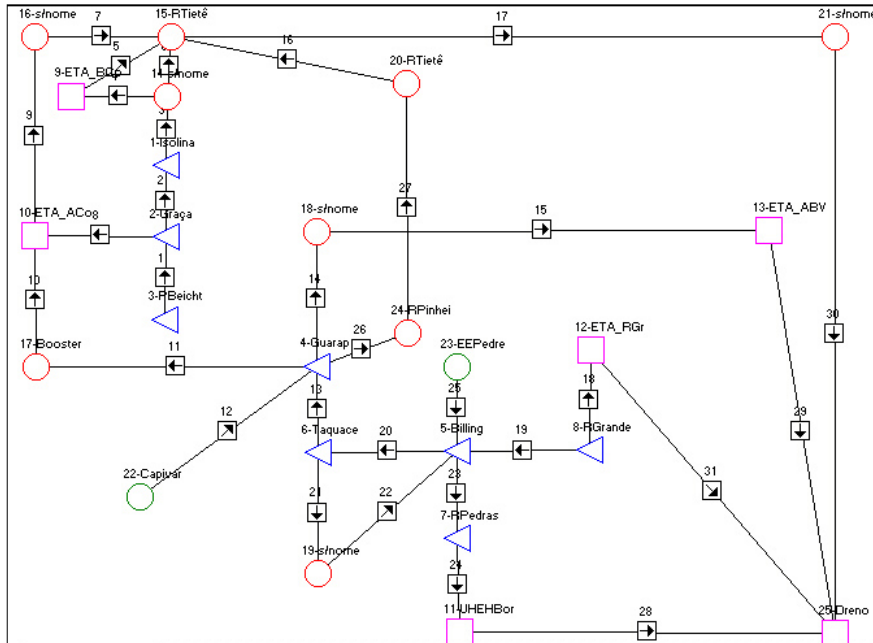


Figura 8.1 - Topologia dos Sistemas Billings, Guarapiranga e Cotia para o ModSim.

8.1 - PREENCHIMENTO DA SÉRIE DE VAZÕES NATURAIS AFLUENTES AO RESERVATÓRIO RIO DAS PEDRAS

Os dados fornecidos pela EMAE, conforme a tabela 8.1 , são referentes ao período de Janeiro de 1927 a Julho de 2000. A série fornecida apresenta alguns valores negativos, principalmente nos anos de 1959 a 1968, onde há seqüências de até 30 meses consecutivos com valores negativos. A partir de 1969, só há um mês com valor negativo.

Tabela 8.1- Vazões Afluentes ao Reservatório Rio das Pedras

Departamento de Planejamento e Supervisão da Operação

RESERVATORIO : RIO DAS PEDRAS
VAZOES MEDIAS MENSAIS (m³/s) (NATURAL)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MED
1927	1.8	2.8	4.8	1.6	0.9	2.1	0.2	0.4	1.6	4.5	1.7	3.6	2.2
1928	6.9	6.5	7.5	4.4	0.5	0.4	2.7	-0.5	3.0	3.7	1.5	2.2	3.2
1929	5.8	10.2	4.8	0.9	5.4	0.9	2.2	1.7	2.9	1.6	3.5	7.1	3.9
1930	1.9	2.3	1.9	2.8	-2.0	-0.1	-0.4	-1.0	2.3	3.0	2.4	3.5	1.4
1931	0.8	2.1	5.1	2.1	1.9	1.2	0.6	0.0	3.2	3.1	3.4	1.5	2.1
1932	3.7	1.8	2.6	0.6	2.0	-0.4	-0.6	0.9	1.2	1.8	0.7	2.9	1.4
1933	2.2	1.3	2.1	1.5	1.0	0.7	1.0	-0.2	3.3	2.5	2.1	4.1	1.8
1934	2.9	6.8	4.7	4.4	1.4	0.6	-0.2	0.7	3.5	0.9	0.7	4.3	2.6
1935	3.6	4.3	1.4	0.8	-0.4	0.1	-0.3	0.8	2.7	1.9	1.2	0.9	1.4
1936	2.6	2.7	5.0	1.5	1.3	1.9	0.5	1.6	3.9	2.5	2.7	4.1	2.5
1937	6.4	3.0	1.2	4.9	4.4	0.5	-0.1	1.5	-0.2	2.9	-0.6	1.0	2.1
1938	1.4	3.0	5.6	3.9	0.2	2.9	-0.4	3.1	-0.5	-2.3	-1.5	-1.4	1.2
1939	-1.1	-0.8	-0.5	1.7	-0.6	-1.9	-1.9	-2.5	-1.2	-2.2	0.5	2.7	-0.6
1940	2.1	-0.9	2.2	1.2	1.0	0.3	0.0	0.5	2.4	3.7	1.7	4.1	1.5
1941	-4.0	3.9	5.3	2.9	3.4	2.4	3.4	3.0	3.5	2.8	5.0	7.0	3.2
1942	4.0	6.6	4.0	3.9	2.4	2.8	2.6	2.1	2.0	3.8	5.1	5.3	3.7
1943	4.2	3.2	1.9	2.1	1.5	2.1	1.0	2.5	1.8	5.2	2.0	3.4	2.6
1944	3.2	9.0	4.3	5.3	1.8	0.9	-0.5	-0.4	-0.3	-0.5	3.1	3.5	2.5
1945	2.6	5.1	3.9	0.8	0.0	1.7	0.0	-1.2	2.1	-1.9	-0.6	2.7	1.3
1946	3.0	1.3	4.4	0.7	0.2	1.9	1.0	0.5	0.5	2.4	3.6	2.6	1.8
1947	5.5	5.6	4.4	3.0	3.7	4.5	2.7	4.1	5.3	5.5	6.1	9.4	5.0
1948	4.8	5.9	7.7	5.2	6.5	3.9	5.8	4.7	5.4	4.4	5.2	4.7	5.4
1949	8.3	3.6	-2.6	-2.0	-4.4	0.5	0.6	-1.9	-0.2	0.8	-0.9	5.0	0.6
1950	5.8	4.6	5.1	2.2	-0.2	-0.8	0.3	2.5	3.7	4.8	5.7	5.7	3.3
1951	3.2	3.2	0.6	4.6	1.4	2.9	1.0	0.6	0.6	3.4	5.7	6.3	2.8
1952	6.2	8.3	6.8	3.4	5.3	4.4	3.2	3.6	4.5	5.1	6.2	3.8	5.1
1953	4.3	6.7	3.2	3.8	3.6	2.2	3.5	4.3	3.7	4.5	8.2	8.4	4.7
1954	8.8	9.3	9.1	11.2	8.0	9.1	9.6	8.1	7.5	8.2	4.7	4.8	8.2
1955	6.7	6.3	7.4	7.2	4.9	6.1	1.6	-0.2	0.3	1.1	1.3	2.6	3.8
1956	1.9	2.1	6.4	5.4	6.6	7.3	9.6	10.5	9.3	11.1	9.2	8.0	7.3
1957	8.3	9.8	11.1	11.1	10.5	8.8	11.5	12.1	13.4	15.0	13.7	16.3	11.8
1958	15.8	13.1	2.5	2.5	3.2	0.9	0.2	-1.9	-0.1	1.5	0.3	1.3	3.3
1959	0.4	2.4	0.2	-2.3	-0.8	-3.1	-3.2	-2.5	-3.1	-4.7	-3.8	-1.2	-1.8
1960	0.0	3.7	0.8	1.1	0.4	0.0	1.0	1.5	-0.7	1.6	0.4	2.5	1.0
1961	7.4	5.2	2.2	1.8	1.1	0.2	-0.2	0.6	1.6	0.3	-0.4	-0.7	1.6
1962	0.2	-0.5	0.4	-1.2	0.2	-2.9	-4.3	-6.4	-4.9	-4.7	-5.0	-0.4	-2.5
1963	-1.7	-3.7	-3.5	-4.1	-6.2	-7.2	-9.4	-12.1	-12.3	-3.8	-7.5	-10.6	-6.8
1964	-4.6	1.7	0.1	-1.4	-2.2	-2.7	0.5	-0.2	-0.8	2.9	4.6	2.6	0.0

Departamento de Planejamento e Supervisão da Operação
RESERVATORIO : RIO DAS PEDRAS
VAZOES MEDIAS MENSAIS (m³/s) (NATURAL) - *continuação*

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MED
1965	1.1	-0.7	-1.3	2.0	-2.8	-5.1	-4.1	-7.0	-3.0	-4.2	-5.2	-3.4	-2.8
1966	1.3	-2.4	1.4	0.5	-2.9	-3.0	-2.9	-2.5	-2.5	-2.4	-4.4	-2.4	-1.9
1967	-3.0	-2.6	-4.2	-4.8	-6.2	-5.1	-5.0	-5.7	-0.5	-4.2	-1.7	-2.2	-3.8
1968	-1.8	-2.7	-1.0	-3.5	-3.9	-6.9	-6.2	-2.5	-2.8	-7.3	-6.4	1.9	-3.6
1969	1.2	4.5	10.8	10.3	6.1	5.4	3.4	1.6	1.4	6.0	6.8	9.1	5.6
1970	7.4	8.4	7.8	3.5	3.0	4.4	2.7	2.9	3.7	3.5	1.3	2.1	4.2
1971	3.5	8.3	4.0	5.5	3.3	3.1	1.8	2.3	2.8	2.6	3.5	6.1	3.9
1972	4.3	2.4	3.2	2.7	1.5	0.6	1.0	2.5	3.4	5.7	4.7	5.0	3.1
1973	5.6	4.4	3.6	8.5	6.3	2.5	4.4	1.9	3.9	3.4	3.5	4.4	4.4
1974	4.8	2.1	4.9	3.7	3.2	3.0	2.5	2.8	2.5	3.3	2.9	6.2	3.5
1975	7.9	7.4	7.4	7.2	3.4	1.7	2.6	1.8	2.9	6.1	8.1	6.7	5.3
1976	10.7	6.4	7.1	8.6	8.5	4.9	5.0	7.2	5.2	4.7	5.5	4.5	6.5
1977	6.6	3.2	3.1	7.5	3.6	2.4	1.7	4.4	5.8	6.8	5.2	5.6	4.7
1978	6.7	7.0	7.9	4.6	4.8	4.6	4.4	4.3	2.6	2.5	8.3	5.4	5.3
1979	7.7	4.7	8.5	5.4	5.4	5.4	5.7	3.8	6.6	4.4	11.5	9.1	6.5
1980	8.3	9.6	5.8	5.2	3.9	5.7	5.6	5.8	4.6	9.3	6.5	8.3	6.6
1981	8.3	5.9	10.2	9.6	7.0	4.9	2.4	3.1	4.0	4.1	4.2	6.1	5.8
1982	8.5	8.2	9.2	8.4	4.8	4.5	2.1	2.7	2.8	6.3	4.6	7.8	5.8
1983	9.1	11.2	10.7	11.6	7.1	6.2	4.1	3.9	9.6	10.2	6.7	7.7	8.2
1984	7.9	7.0	7.4	8.0	5.0	2.1	2.4	7.2	4.8	6.9	6.9	12.0	6.5
1985	13.3	11.7	11.9	8.0	5.9	2.2	1.9	2.6	3.1	2.0	5.9	3.0	6.0
1986	2.5	6.8	7.8	7.1	4.8	4.1	5.7	3.0	3.9	2.7	3.6	8.0	5.0
1987	5.5	6.8	6.8	6.1	2.5	3.2	2.9	3.3	3.6	3.7	3.2	3.4	4.3
1988	6.8	9.3	3.5	7.8	2.6	1.0	0.1	0.1	2.2	1.9	3.3	7.9	3.9
1989	5.1	6.0	6.5	7.2	5.2	5.9	4.4	4.0	5.3	4.9	4.0	5.2	5.3
1990	4.9	4.0	4.0	6.0	4.4	3.4	5.2	2.9	2.5	3.9	3.0	3.6	4.0
1991	6.0	6.9	13.2	5.9	4.7	4.6	3.8	2.8	5.1	5.5	5.6	3.8	5.7
1992	7.8	5.6	5.4	2.8	2.4	1.2	2.8	2.4	6.2	4.6	8.1	6.4	4.6
1993	4.4	3.8	6.7	3.3	2.8	1.9	0.5	1.0	2.2	0.0	-0.4	0.1	2.2
1994	1.1	5.8	6.6	4.4	2.2	3.8	3.4	3.2	2.2	3.8	5.8	4.6	3.9
1995	4.0	13.3	7.2	6.4	5.7	6.1	5.8	6.7	3.8	4.6	7.6	6.9	6.5
1996	4.9	8.3	14.7	14.5	3.1	4.1	1.7	1.5	5.1	2.9	3.8	2.8	5.6
1997	3.6	2.3	1.6	1.7	1.3	2.0	0.2	2.4	1.7	4.8	6.3	5.2	2.8
1998	7.6	7.8	6.7	2.3	2.1	1.2	1.5	1.9	4.6	6.5	3.2	4.5	4.2
1999	10.0	5.4	5.7	3.8	1.5	4.6	3.0	1.6	2.5	3.8	3.0	7.2	4.3
2000	5.8	7.1	6.7	2.5	0.5	0.1	0.5						
MLT	4.5	4.9	4.8	4.0	2.4	2.0	1.6	1.7	2.5	3.0	3.2	4.2	3.2
MAX	15.8	13.3	14.7	14.5	10.5	9.1	11.5	12.1	13.4	15.0	13.7	16.3	16.3
MIN	-4.6	-3.7	-4.2	-4.8	-6.2	-7.2	-9.4	-12.1	-12.3	-7.3	-7.5	-10.6	-12.3

A vazão média da série fornecida, expurgando-se os valores negativos é 4,3 m³/s. Este valor pode estar um pouco diferente do que se poderia garantir para a série, se esta fosse completa, pois há mais valores expurgados no período de abril a setembro (semestre seco) do que no período outubro a março (semestre úmido). Considerando-se a série original fornecida, com os valores negativos, a vazão média se reduz a 3,2 m³/s.

Para completar os meses com vazões negativas, efetuou-se uma análise de regressão linear múltipla, onde os valores da vazões média mensais foram correlacionados com os valores das vazões de três meses anteriores e com a precipitação registrada no posto da barragem do Guarapiranga, no próprio mês.

Para verificar o ajuste dessas correlações foram feitas regressões entre os valores calculados e observados, para cada mês do ano. A tabela 8.2 resume os valores obtidos para os coeficientes de regressão e correlação:

Tabela 8.2 - **Correlação entre valores calculados e observados**

Mês	Regressão	Correlação ²
Jan	0.9529	0.6961
Fev	0.9764	0.7009
Mar	0.9670	0.5587
Abr	0.9639	0.7350
Mai	0.9667	0.6834
Jun	0.9703	0.7090
Jul	0.9652	0.8227
Ago	0.9754	0.9214
Set	0.9842	0.8428
Out	0.9579	0.6816
Nov	0.9645	0.6899
Dez	0.9529	0.5065

Como se pode observar, os coeficientes de regressão entre as vazões calculadas e observadas são ligeiramente menores do que 1, conduzindo os valores calculados a valores um pouco menores do que os observados. A favor da segurança, considera-se o resultado razoável, para a finalidade do estudo.

A vazão média obtida para o período, após o preenchimento das falhas foi de 4,2 m³/s, muito próxima do valor da série original. O arquivo que contém as tabelas e os cálculos detalhados é o Natural Pedras_Alterado.xls.

8.2 - PREENCHIMENTO DA SÉRIE DE VAZÕES NATURAIS AFLUENTES AO RESERVATÓRIO BILLINGS

Os dados fornecidos pela EMAE, conforme a tabela 8.3, são referentes ao período de Janeiro de 1927 a Julho de 2000. A série fornecida apresenta alguns valores negativos, principalmente nos anos de 1953 a 1957, onde há seqüências de até 4 meses consecutivos com valores negativos. A partir de 1970, não há nenhum mês com valor negativo.

Tabela 8.3 - Vazões Afluentes ao reservatório Billings

Departamento de Planejamento e Supervisão da Operação

RESERVATORIO :

BILLINGS

VAZOES MEDIAS MENSAIS (m³/s) (NATURAL)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MED
1927	38.4	43.1	34.4	14.2	8.6	11.0	7.2	11.0	23.9	12.6	11.3	11.8	19.0
1928	18.5	40.3	42.6	20.8	11.5	9.1	8.6	14.6	11.1	11.9	13.0	22.6	18.7
1929	48.4	72.4	35.6	14.0	23.8	11.1	11.5	9.3	13.4	13.0	22.1	51.1	27.1
1930	26.4	27.5	22.1	17.9	18.9	11.3	9.0	15.3	13.3	14.3	17.8	50.8	20.4
1931	27.2	33.1	45.0	18.0	14.9	10.5	8.7	8.3	19.3	21.4	16.6	26.8	20.8
1932	37.9	18.8	32.3	10.0	16.2	12.3	8.5	10.8	5.4	12.8	-0.4	8.9	14.5
1933	16.8	12.7	15.6	10.2	8.5	11.5	7.7	3.8	12.1	12.1	10.4	15.6	11.4
1934	23.5	36.6	29.8	15.6	7.3	8.8	8.3	8.6	11.9	8.6	10.7	44.4	17.8
1935	19.0	36.9	19.7	12.1	7.8	12.3	6.7	9.3	23.9	27.8	11.3	12.7	16.6
1936	17.4	14.5	29.4	8.7	5.5	3.4	1.8	7.6	16.3	10.1	14.4	21.9	12.6
1937	33.6	20.0	9.7	28.9	25.0	9.4	4.7	7.5	4.5	16.4	32.1	14.7	17.2
1938	18.5	26.0	27.0	27.0	11.2	13.3	8.3	15.8	17.9	20.4	21.5	26.5	19.5
1939	28.2	13.2	11.6	10.8	8.7	4.8	7.8	4.4	9.1	4.0	18.1	14.8	11.3
1940	26.2	32.8	12.5	6.6	7.3	1.0	0.9	-0.3	5.2	16.3	9.1	18.4	11.3
1941	15.4	13.7	19.5	7.0	4.0	1.0	3.6	1.2	12.0	6.9	20.1	22.2	10.6
1942	14.9	42.1	17.7	15.1	0.4	6.9	10.8	2.9	4.8	4.1	9.8	19.3	12.4
1943	17.5	13.1	3.5	0.6	0.1	3.0	-0.9	6.7	6.5	28.8	6.8	10.2	8.0
1944	9.0	45.5	36.6	18.0	4.8	3.2	6.8	1.3	3.1	4.8	19.2	16.1	14.0
1945	18.0	27.9	28.8	10.0	7.9	23.3	11.1	5.1	10.2	7.5	11.2	16.7	14.8
1946	26.5	9.2	29.1	5.0	2.3	5.8	4.0	1.9	2.3	15.8	13.3	5.2	10.0
1947	34.2	29.6	24.8	9.6	9.2	11.3	8.1	10.5	16.5	10.0	16.5	38.1	18.2
1948	17.5	21.0	27.4	12.0	15.8	2.3	6.9	7.4	3.5	3.6	8.8	8.0	11.2
1949	28.1	27.7	13.4	13.2	7.8	14.1	5.7	6.9	6.9	10.6	9.2	14.6	13.2
1950	23.2	22.7	20.1	19.8	5.4	3.0	1.0	-2.5	0.9	15.3	10.9	11.7	11.0
1951	31.4	25.0	15.8	6.5	0.2	-2.6	1.5	3.2	0.5	11.1	5.0	15.8	9.5
1952	12.9	28.3	15.6	-0.6	11.9	14.6	0.9	1.6	7.6	5.4	8.6	1.4	9.0
1953	-0.3	14.2	5.1	8.4	5.5	-2.2	-0.9	4.6	-2.5	4.2	2.5	0.1	3.2
1954	-2.0	-1.5	-2.8	5.2	5.0	-4.1	-9.2	-8.1	-6.7	2.7	-4.7	-3.5	-2.5
1955	16.2	-0.4	4.4	-2.0	-2.3	-3.2	3.0	7.5	2.8	6.0	10.0	8.3	4.2
1956	0.8	15.7	35.5	10.2	9.9	14.6	2.4	5.9	0.3	11.8	6.2	9.1	10.2
1957	17.2	16.0	17.7	8.1	-1.5	-2.8	-2.2	-1.0	23.8	13.2	12.5	4.0	8.8
1958	4.4	5.7	30.5	23.9	25.4	14.0	7.0	6.5	12.8	24.7	18.8	34.2	17.3
1959	31.1	37.2	25.3	13.9	11.2	5.4	5.9	9.1	10.0	10.9	13.1	27.7	16.7
1960	15.5	36.7	15.1	10.1	13.0	9.5	8.7	6.6	5.3	12.6	9.5	24.6	13.9
1961	21.3	30.8	19.8	7.2	5.6	2.5	1.5	-0.6	-1.6	3.8	11.3	19.1	10.1
1962	24.6	24.7	18.0	4.2	2.8	4.9	5.6	8.8	12.9	28.9	19.3	37.7	16.0
1963	30.7	23.9	10.0	4.1	6.2	7.2	9.4	12.1	12.3	10.1	11.2	10.6	12.3
1964	4.6	12.1	2.6	4.4	6.9	2.7	4.1	1.7	5.1	0.9	1.7	16.7	5.3
1965	31.6	17.0	11.7	20.7	17.5	8.2	11.2	10.1	7.0	17.2	14.5	22.1	15.7
1966	34.4	19.6	32.4	26.3	10.3	6.5	5.8	13.6	13.6	24.7	12.7	28.2	19.0
1967	24.4	42.5	23.4	19.1	6.2	12.2	8.2	5.7	11.3	13.9	21.6	16.0	17.0

Departamento de Planejamento e Supervisão da Operação
RESERVATORIO : BILLINGS
VAZOES MEDIAS MENSAIS (m³/s)(NATURAL) - continuação

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MED
1968	15.3	6.6	37.1	11.1	9.9	9.6	7.5	6.4	2.8	7.7	6.4	13.0	11.1
1969	9.3	15.7	16.6	11.4	5.3	9.9	-3.4	-1.4	-0.7	37.9	56.5	39.3	16.4
1970	27.2	39.4	23.7	5.7	7.1	15.2	12.1	18.3	24.1	24.9	24.1	24.1	20.5
1971	32.6	53.0	34.6	24.2	14.9	19.9	21.3	15.6	16.4	25.8	18.2	22.9	25.0
1972	41.1	31.3	20.4	20.2	12.5	7.1	9.6	17.2	21.2	40.1	28.1	18.9	22.3
1973	46.7	39.1	22.3	28.8	15.3	12.2	17.4	14.4	27.2	29.6	38.5	39.9	27.6
1974	46.7	23.5	30.4	23.2	13.7	20.6	10.0	9.4	17.1	20.2	17.2	32.4	22.0
1975	40.6	50.8	26.5	13.0	12.2	9.8	13.7	7.5	12.0	20.4	34.3	44.7	23.8
1976	73.2	36.1	24.6	38.7	28.1	16.0	25.9	21.1	29.4	14.2	14.1	17.5	28.2
1977	40.5	11.4	13.7	27.9	12.9	13.3	4.1	8.7	18.9	24.2	22.8	31.5	19.2
1978	30.7	17.6	35.5	8.3	17.6	14.7	14.4	8.4	13.3	10.2	35.9	31.7	19.9
1979	23.1	19.4	24.6	18.1	14.8	8.5	8.6	14.7	26.6	25.2	28.4	28.9	20.1
1980	27.3	55.7	23.3	18.7	8.7	10.4	11.3	9.8	8.3	15.9	16.2	19.8	18.8
1981	26.4	7.7	14.6	20.8	9.9	6.4	11.1	10.0	7.9	23.7	21.3	20.7	15.0
1982	30.9	25.6	14.0	13.2	6.8	23.5	7.2	10.5	11.4	17.7	19.6	22.5	16.9
1983	19.6	39.1	26.2	24.4	22.8	37.4	8.1	4.9	25.0	24.5	5.0	15.2	21.0
1984	22.9	22.5	10.6	13.6	6.1	1.8	7.1	15.7	16.3	7.5	7.1	11.5	11.9
1985	36.1	23.7	22.7	24.9	7.5	6.1	3.4	3.8	9.6	6.3	8.1	12.1	13.7
1986	15.1	45.1	50.9	27.7	19.8	11.0	20.0	16.1	13.9	10.8	19.8	29.6	23.3
1987	37.0	27.9	20.0	19.7	29.6	34.9	13.4	7.4	13.4	15.0	8.8	12.6	20.0
1988	24.2	49.9	31.4	27.1	28.4	15.7	14.4	9.0	12.2	19.9	14.0	27.4	22.8
1989	40.4	41.6	41.0	23.0	20.0	17.0	25.1	10.3	19.9	17.7	14.6	20.9	24.3
1990	35.1	14.0	20.9	17.0	12.7	5.2	13.5	8.6	12.7	12.1	8.4	13.4	14.5
1991	28.3	27.3	46.4	26.2	18.7	19.2	10.9	10.1	12.7	23.9	15.8	18.8	21.5
1992	27.2	17.6	29.5	9.7	12.9	4.1	6.4	10.2	18.0	23.8	29.3	19.1	17.3
1993	12.8	23.2	29.8	8.2	6.7	9.3	4.8	10.6	24.3	11.2	4.2	5.0	12.5
1994	20.5	51.3	30.2	16.4	2.9	4.2	1.6	0.8	5.0	8.8	13.7	17.2	14.4
1995	18.7	58.9	17.1	6.3	2.3	1.9	2.5	0.8	11.7	19.1	9.7	13.9	13.6
1996	33.1	18.6	54.5	12.8	8.9	2.8	2.2	3.6	19.3	12.1	10.3	19.0	16.4
1997	47.2	14.8	2.8	2.9	5.7	8.4	2.1	6.1	18.4	17.0	21.3	14.2	13.4
1998	13.9	24.1	27.3	5.6	10.7	3.1	3.7	3.9	14.7	22.2	7.9	18.4	13.0
1999	29.1	20.4	26.6	11.1	3.0	7.7	8.1	3.3	7.3	11.0	7.2	15.8	12.6
2000	22.9	26.4	12.3	1.0	2.5	0.5	5.3						
MLT	25.4	27.1	23.4	14.3	10.5	9.2	7.3	7.5	11.8	15.2	15.0	20.1	15.6
MAX	73.2	72.4	54.5	38.7	29.6	37.4	25.9	21.1	29.4	40.1	56.5	51.1	73.2
MIN	-2.0	-1.5	-2.8	-2.0	-2.3	-4.1	-9.2	-8.1	-6.7	0.9	-4.7	-3.5	-9.2

A vazão média da série fornecida, expurgando-se os valores negativos é 16.2 m³/s. Sem o expurgo dos valores negativos, a vazão média é de 15.6 m³/s.

Para completar os meses com vazões negativas, efetuou-se uma análise de regressão linear múltipla, onde os valores da vazões média mensais foram correlacionados com os valores das vazões de três meses anteriores e com a precipitação registrada no posto da barragem do Guarapiranga, no próprio mês.

Para verificar o ajuste dessas correlações foi feita uma regressão entre os valores calculados e observados, para cada mês do ano. A tabela 8.4 resume os valores obtidos para os coeficientes de regressão e correlação:

Tabela 8.4 - Correlação entre valores calculados e observados

Mês	Regressão	Correlação ²
Jan	0.9637	0.5114
Fev	0.9764	0.2937
Mar	0.9599	0.5448
Abr	0.9634	0.4901
Mai	0.9842	0.9040
Jun	0.9758	0.8861
Jul	0.9565	0.6843
Ago	0.9504	0.5649
Set	0.9646	0.7218
Out	***	***
Nov	0.9216	0.2435
Dez	0.9464	0.5414

O mês de Outubro não foi analisado, pois não há nenhuma falha neste mês. Como se pode observar, os coeficientes de regressão entre as vazões calculadas e observadas são ligeiramente menores do que 1, conduzindo os valores calculados a valores um pouco menores do que os observados. A favor da segurança, considera-se o resultado razoável, para a finalidade do estudo.

A vazão média obtida para o período, após o preenchimento das falhas foi de 16.0m³/s, muito próxima do valor da série original. O arquivo que contém as tabelas e os cálculos detalhados é o Natural Billings_Alterado.xls.

8.3 ANÁLISE DA SÉRIE DE VAZÕES TURBINADAS EM HENRY BORDEN

A série de vazões turbinadas fornecida pela EMAE, constante no arquivo Turbinamento_HB.xls, compreende o período de Janeiro de 1927 a Julho de 2000.

A vazão média turbinada no período é 56,6 m³/s. A figura 8.2 indica os valores médios anuais. No período inicial, observam-se valores crescentes, em função do crescimento da demanda e das expansões da Usina. Verifica-se uma queda significativa nas vazões, a partir de 1992, quando por Decreto Estadual, as vazões revertidas a partir do Rio Pinheiros, foram reduzidas significativamente.

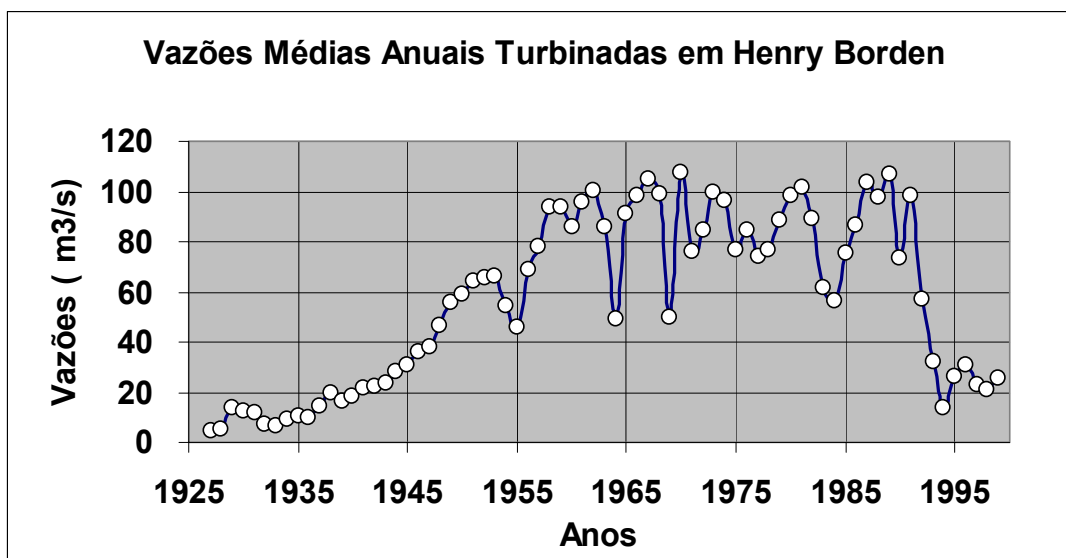


Figura 8.2 - Vazões Médias Anuais Turbinadas em Henry Borden

A vazão média turbinada, no período de 1970 a 1991 foi de 87,0 m³/s e no período 1993 a 2000 foi de 24,8 m³/s. Observa-se também, na figura 8.3 um regime mais variável ao longo do ano. No primeiro período a relação entre as vazões mínima e máxima anuais era de 1 : 1.35 , enquanto que no segundo é de 1:3.58.

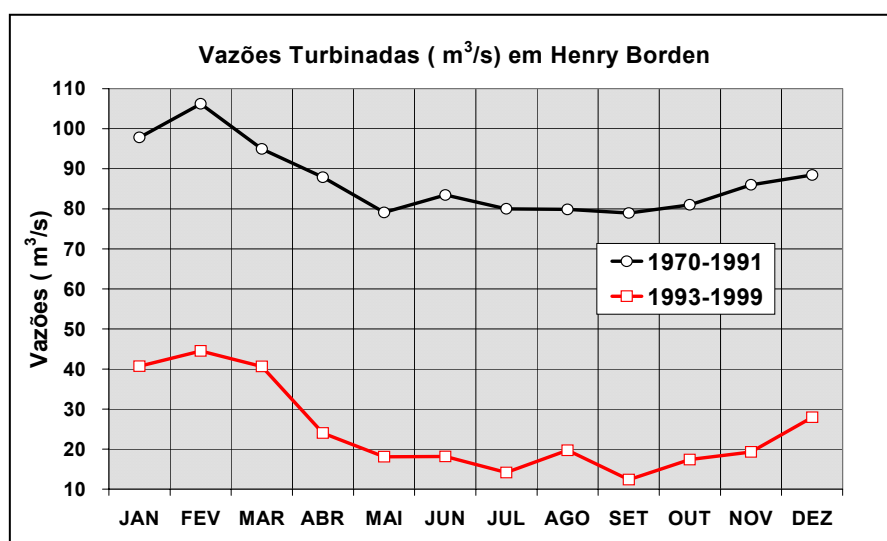


Figura 8.3 - Vazões Médias Mensais Turbinadas em Henry Borden

Os dados e tabelas completos encontram-se no arquivo Turbinamento HB.xls

8.4 - VAZÕES BOMBEADAS NA ELEVATÓRIA DE PEDREIRA

A elevatória de Pedreira situa-se no ponto mais a montante do trecho superior do Rio Pinheiros e tem por objetivo recalcar as águas oriundas do trecho superior para o reservatório Billings. Segundo a concepção original do Projeto Billings, essa vazão recalçada seria destinada ao aproveitamento da Usina Hidrelétrica de Henry Borden, situada em Cubatão.

Os dados fornecidos pela EMAE, compreendem o período de 1939 a 2000, conforme mostrado na tabela constante do arquivo Bombeamento Pedreira.xls.

A figura 8.4 mostra o comportamento das vazões médias anuais recalçadas.

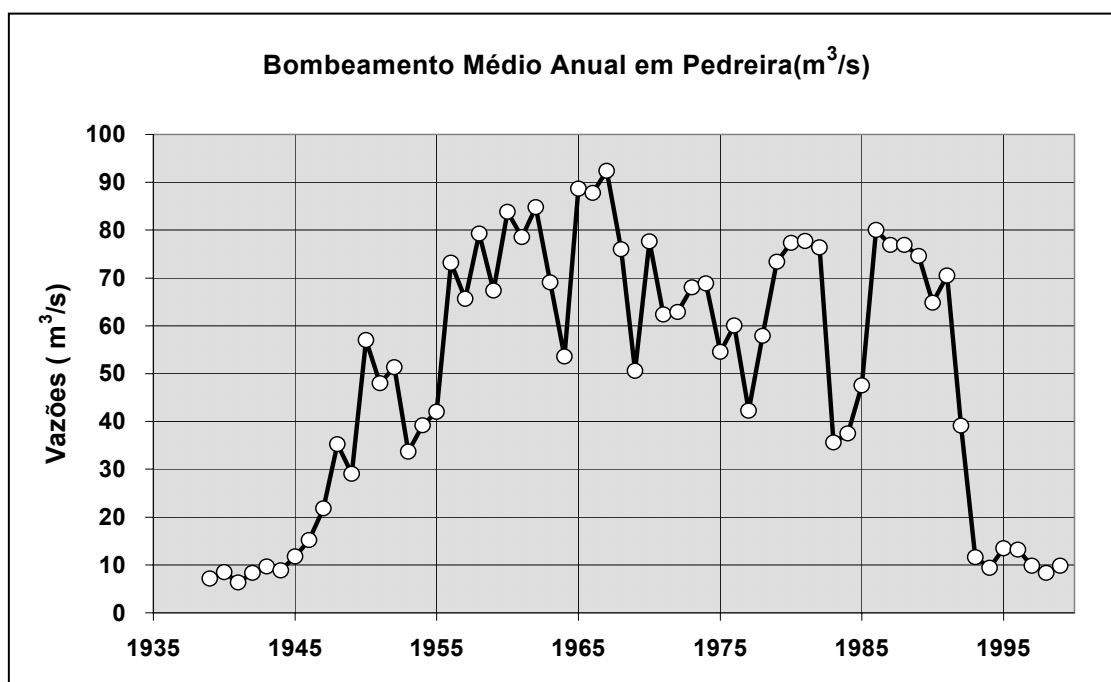


Figura 8.4 - Vazões Médias anuais recalçadas em Pedreira

Nota-se um período de crescimento até por volta de 1970, em função da expansão das demandas e do sistema. A partir de 1992, com a restrição do bombeamento a casos especiais, para controle de inundações na cidade de São Paulo, nota-se uma redução significativa. A vazão média anual bombeada de 1970 a 1991 é de 64,7m³/s. Já no período de 1993 a 1999 a vazão média bombeada foi reduzida a 10,8 m³/s.

As figuras 8.5 e 8.6 mostram as vazões médias mensais bombeadas nos dois períodos, destacando as envoltórias das vazões mínima e máxima bombeadas em cada mês da série histórica.

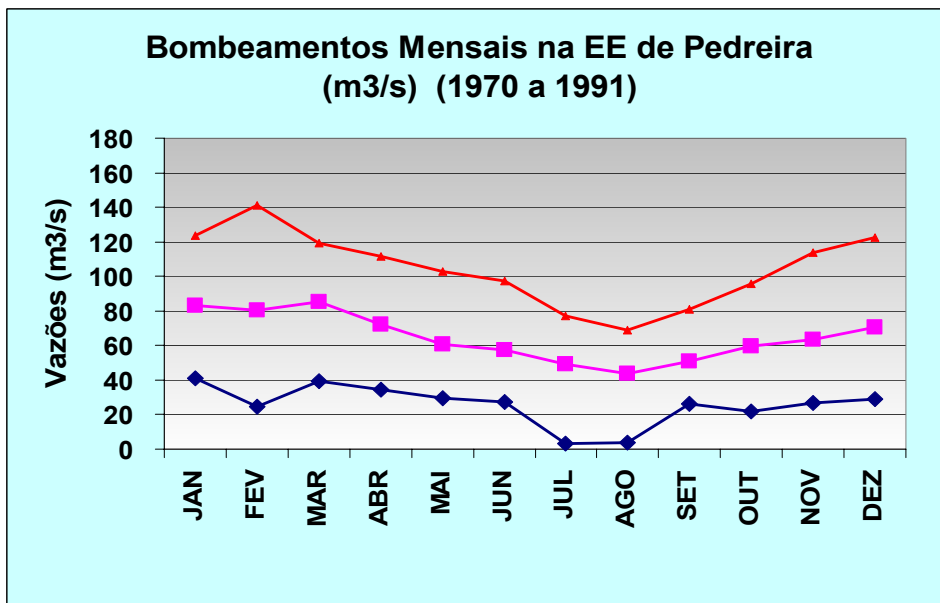


Figura 8.5 - Vazões bombeadas em Pedreira no período 1970 a 1991

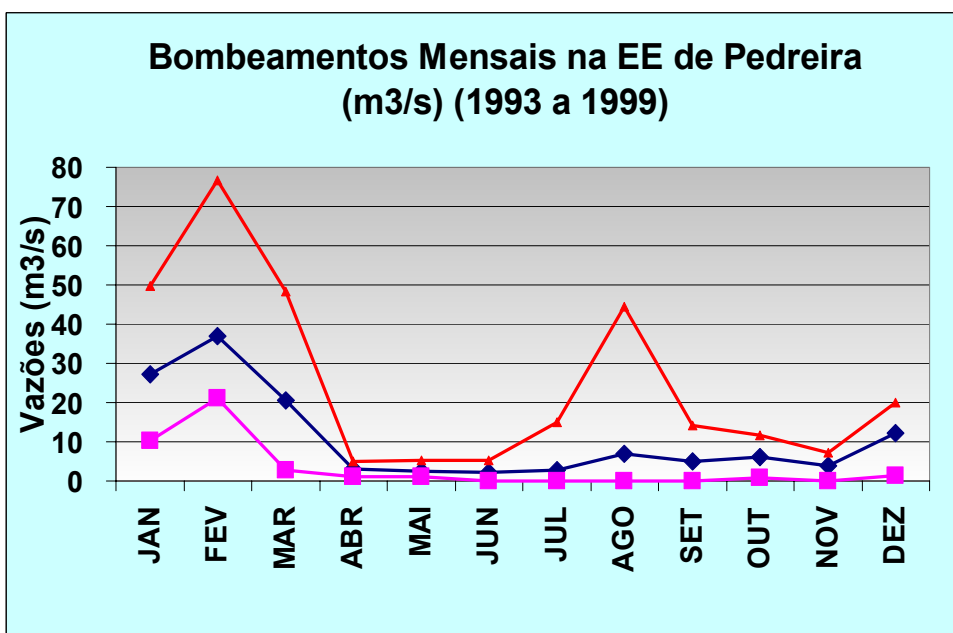


Figura 8.6 - Vazões bombeadas em Pedreira no período 1993 a 1999

No período de 1993 a 1999, os bombeamentos são mais localizados nos meses de verão (Janeiro a Março), pelo motivo já explicado de controle de cheias.

8.5 - VAZÕES NATURAIS AFLUENTES AO RESERVATÓRIO GUARAPIRANGA

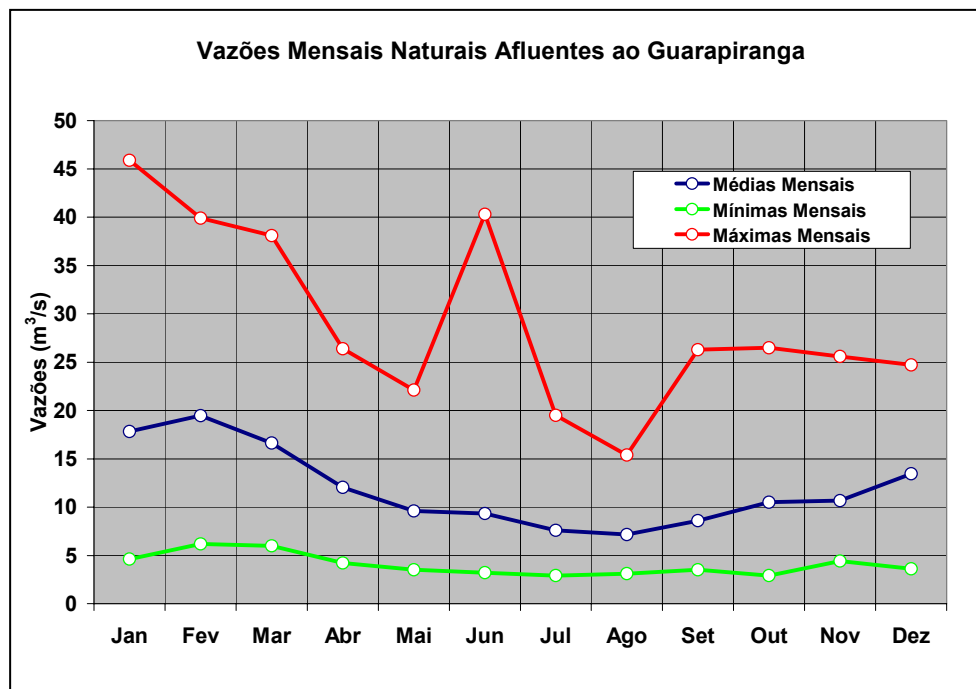


Figura 8.7 - Vazões Médias Mensais Afluentes ao Guarapiranga

A série de vazões naturais afluentes ao reservatório Guarapiranga é obtida por balanço mensal, a partir dos valores das retiradas e das variações mensais dos volumes acumulados. A série histórica disponível remonta a 1910. Foi fornecido pela EMAE o arquivo Natural Gua.xls, com dados de Janeiro de 1910 a Julho de 2000. A SABESP forneceu o arquivo Guarapiranga.xls, com dados de 1930 a 1993. Comparando-se os dois arquivos, notou-se que em alguns meses há algumas diferenças entre os valores dos dois arquivos. Utilizou-se para o estudo, os dados fornecidos pela SABESP.

A vazão média natural do período 1930 a 1993 é de 11,91 m³/s. A figura 8.7 mostra as médias mensais e as envoltórias das mínimas e máximas mensais.

8.6 - CURVAS COTA - VOLUME E REGRAS OPERACIONAIS DOS RESERVATÓRIOS DA EMAE

Foram fornecidas pela EMAE, em forma tabular, as curvas cota - volume e algumas restrições operacionais dos reservatórios Billings (compartimento Pedreira), Billings (compartimento Rio Grande), Guarapiranga e Rio das Pedras.

A tabela 8.5 resume os níveis operacionais e volumes úteis dos reservatórios.

As tabelas completas encontram-se no arquivo Cota x Volume_ EMAE.xls.

Tabela 8.5 - Níveis e volumes operacionais

Reservatório	NA Min Útil (m)	NA Máx Útil (m)	NA Máx Max (m)	Volume (hm ³)	OBS.
Billings /Pedreira	728.00	746.50	747.00	995.6	NA oper variáveis de 744,59 m (jan) a 745,75 m (ago)
Billings / Rio Grande	735.00	746.50		153.1	
Guarapiranga	724.50	736.62	737.40	197.7	NA oper variáveis de 734,95 m (jan) a 736,29 m (ago)
R.das Pedras	722.20	728.50	728.50	26.9	Faixa operativa normal = 727,00 m a 727,60 m

As restrições operativas apresentadas pela EMAE são :

Reservatório Billings

Sangradouro Pequeno Perequê

Descarga máxima permitida = 30m³/s

Motivo: problemas de erosão na Serra do Mar e interferências a jusante (tubulação de etileno da Petrobrás)

Sangradouro Preto Monos

Não são permitidas descargas por essa estrutura

Motivo: problemas operacionais (manobras dos painéis de vedação) e sérias interferências a jusante (residências particulares, torres de linhas de transmissão, sítios, aldeias indígenas e ponte da Fepasa)

Barragem Reguladora Billings-Pedras

Descarga máxima permitida = $150\text{m}^3/\text{s}$

Motivo: preservação do maciço de terra e canal de descarga que necessitam de reparos (obra dependendo de autorização da SMA)

Reservatório do Rio das Pedras

Barragem do Rio das Pedras

Descarga máxima permitida = $60\text{m}^3/\text{s}$

Motivo: transbordamento da galeria de desvio, junto à Usina Henry Borden

Sangradouro Pedras-Perequê

Não são permitidas descargas por essa estrutura

Motivo: problemas operacionais (manobras dos painéis de vedação) e de erosão da Serra do Mar

Usina Henry Borden

Restrições de geração

Motivo: Resoluções Conjuntas SMA/SES-03/92 de 04/10/92 e SEE/SMA/SRHSO-01 de 13/03/96

Reservatório do Guarapiranga

Canal Guarapiranga

Vazão máxima permitida = $205\text{m}^3/\text{s}$

Motivo: capacidade do canal

8.7 - PREENCHIMENTO DAS SÉRIES DE VAZÕES AO LONGO DO RIO COTIA

As vazões mensais do Rio Cotia são disponíveis nos locais onde há a barragem de Pedro Beicht (1914-1999), barragem da Graça (1966- 1999), Posto I5 (Fev 1988 a Mai 2000) . Os dados foram fornecidos pela SABESP.

A figura 8.8 mostra um esquema da bacia do Rio Cotia, com a localização dos locais citados.

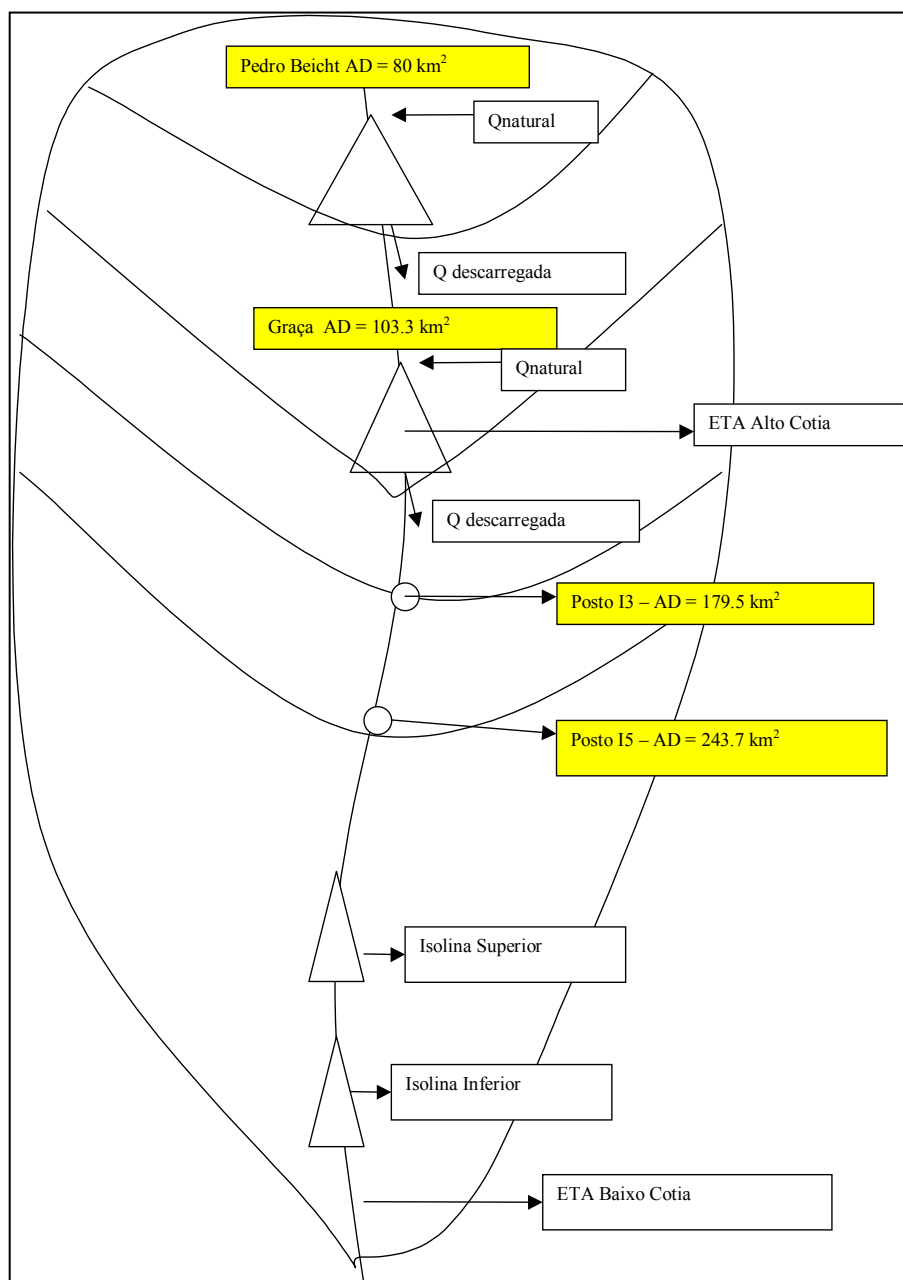


Figura 8.8 - Esquema da bacia do Rio Cotia

Para a finalidade do estudo, considera-se que as vazões do Posto I5 representem as vazões afluentes à seção de derivação da ETA Baixo Cotia.

Para uniformizar a série ao período de 1930-1993, foi necessário completar as séries das vazões do Reservatório da Graça e do Posto I5.

A vazão média do período 1930-1993 das afluições naturais ao reservatório Pedro Beicht é de 1,12 m³/s.

A figura 8.9 mostra as médias mensais do período e as envoltórias das máximas e mínimas das vazões médias mensais.

A série completa encontra-se no arquivo Pedro_Beicht.xls.

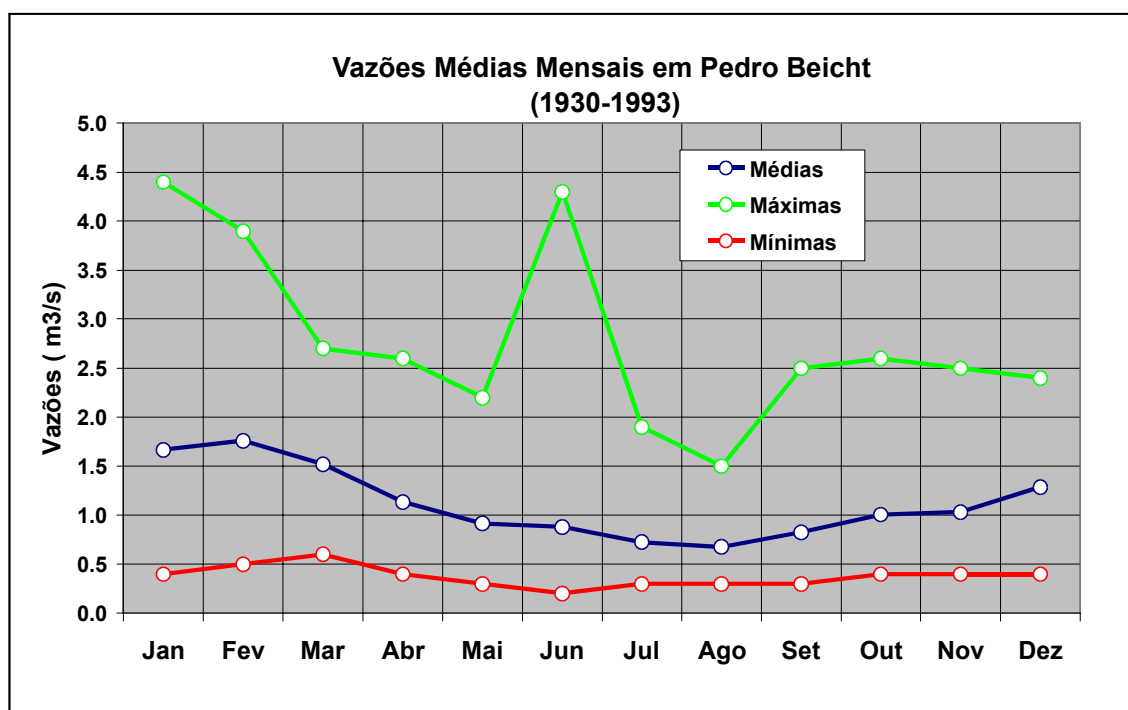


Figura 8.9 - Vazões mensais afluentes ao Reservatório Pedro Beicht (1930-1993)

As vazões intermediárias entre o reservatório Pedro Beicht e o reservatório da Graça foram obtidas por correlação no período comum. Foram analisadas as correlações entre as vazões mensais através das 12 correlações. Face aos resultados obtidos com a correlação única das vazões de todos os meses, adotou-se esse modelo para o preenchimento da série.

A figura 8.10 representa o resultado da correlação obtida.

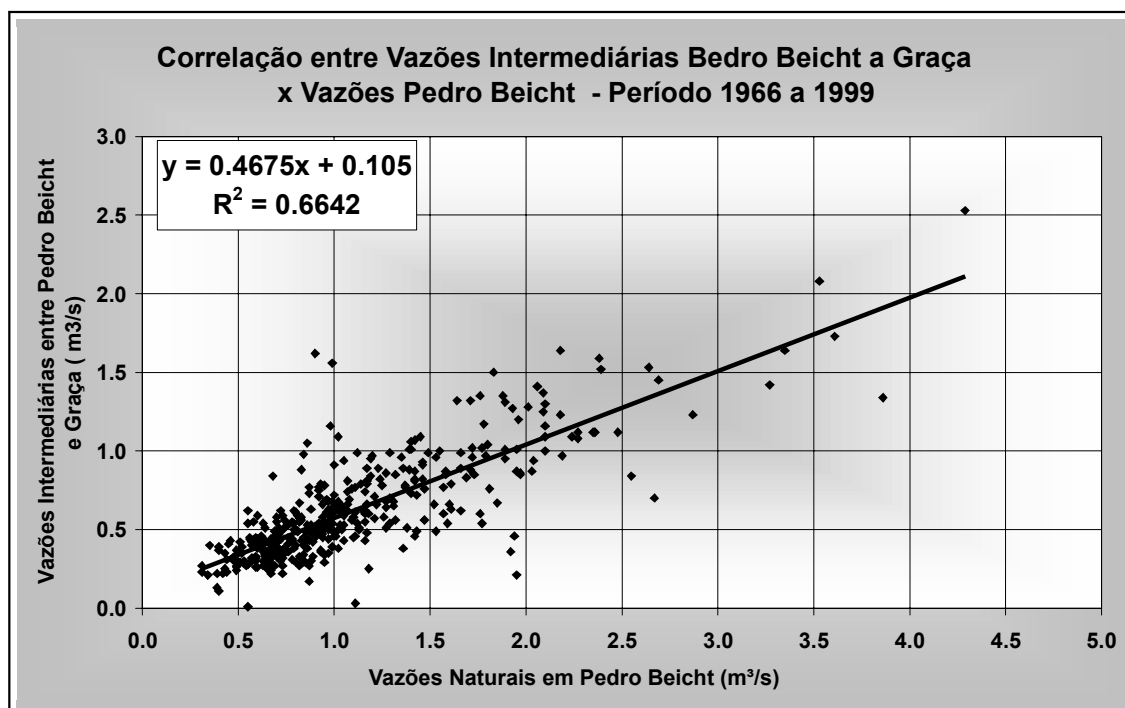


Figura 8.10 - Correlação entre vazões intermediárias entre Pedro Beicht e Graça e vazão em Pedro Beicht

A vazão média do período 1930-1993 das contribuições intermediárias entre as barragens Pedro beicht e da Graça é de 0,63 m³/s.

A figura 8.11 resume os valores mensais e as envoltórias das máximas e mínimas das vazões mensais.

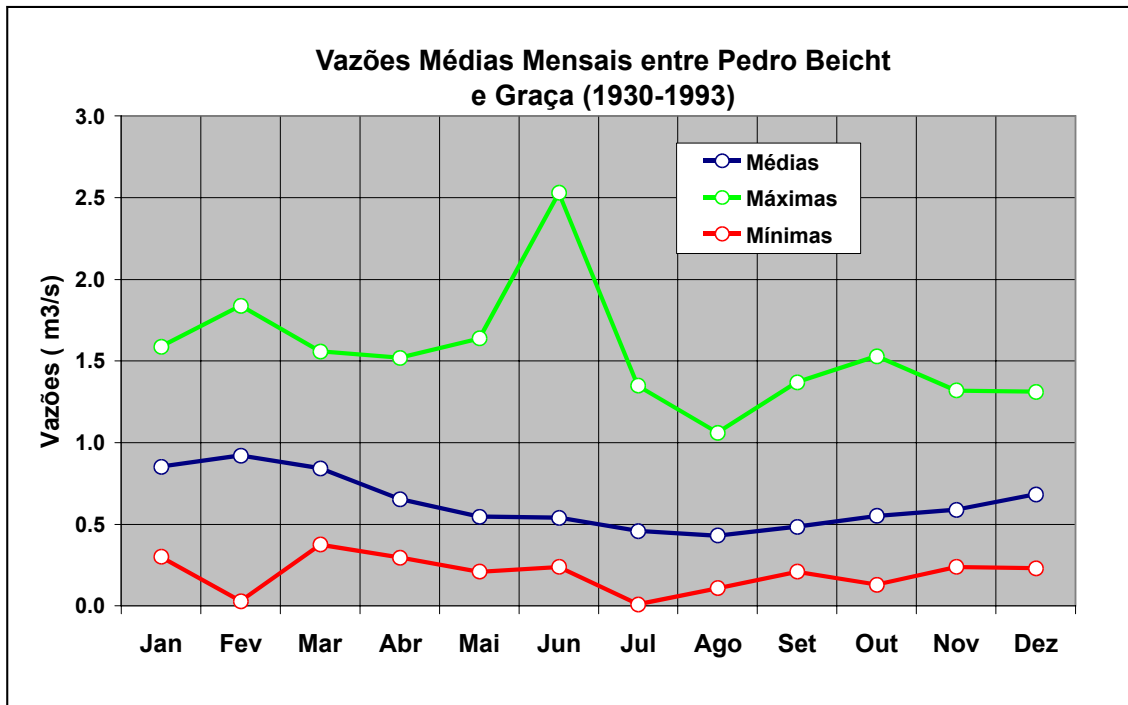


Figura 8.11 - Vazões intermediárias entre Pedro Beicht e Graça

Para o preenchimento da série de vazões do posto I5, foram estudadas diversas correlações. Os arquivos Postol5xPedroBeicht.xls e Postol5xGuarapiranga.xls contém os resultados do estudo. O melhor resultado obtido foi através da correlação das vazões do posto I5 com as vazões do Guarapiranga e com as precipitações no local da barragem do Guarapiranga.

A Figura 8.12 representa a correlação obtida.

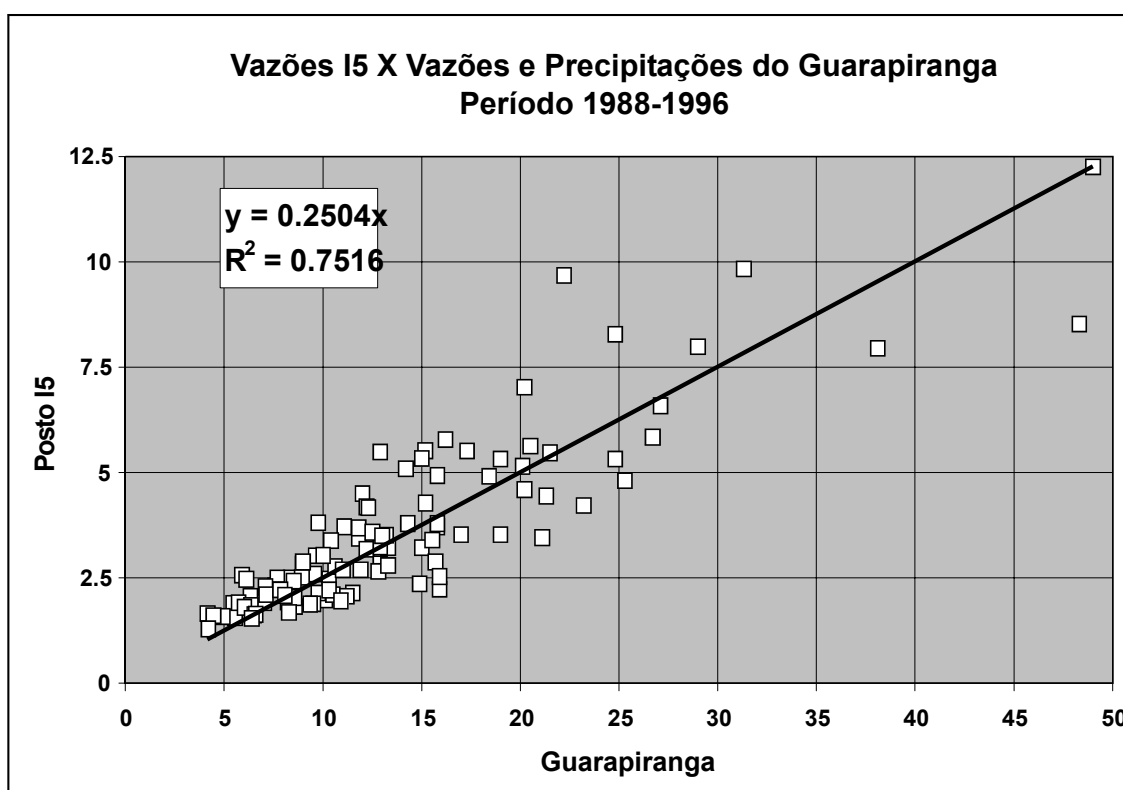


Figura 8.12 - Resultado da correlação entre valores do Posto I5 com vazões e precipitações do Guarapiranga

A vazão média do período 1930-1993 é de 3,13 m³/s. O gráfico da Figura 8.13 resume os valores médios mensais e as envoltórias das máximas e mínimas vazões médias.

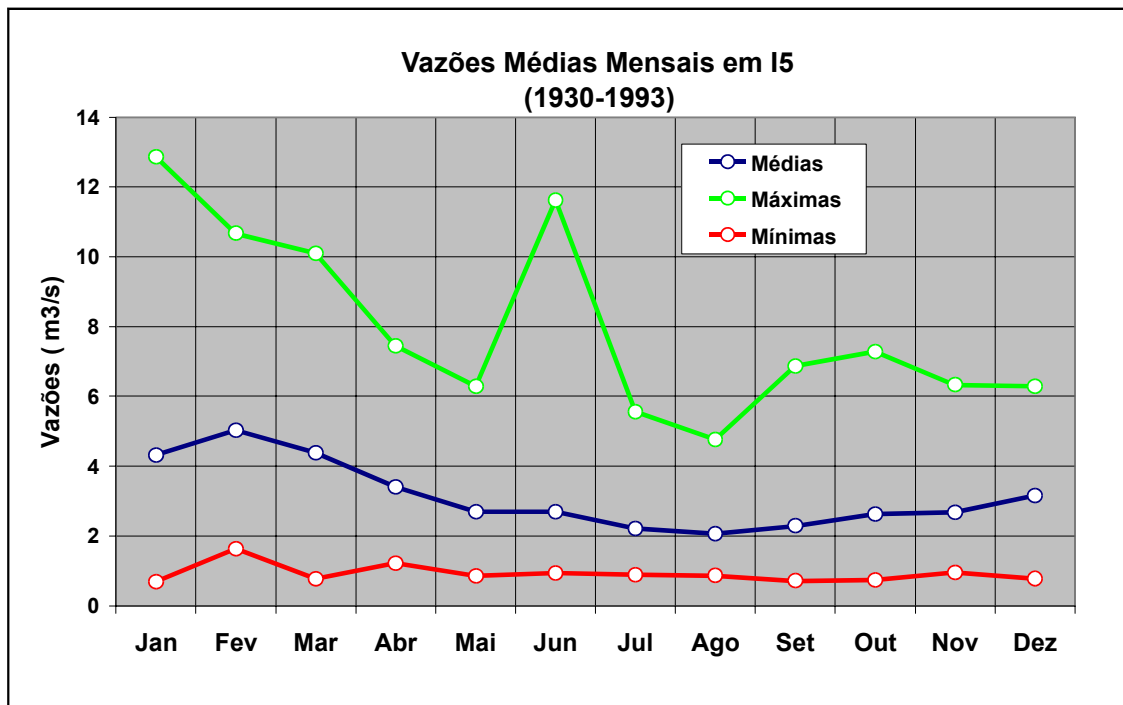


Figura 8.13 - Vazões mensais calculadas no Posto I5 (Rio Cotia)

A tabela 8.6 resume os valores das vazões médias mensais afluentes aos diversos pontos do Sistema.

Tabela 8.6 - Vazões afluentes ao sistema

Local	Vazão (m ³ /s)
Rio Grande	4,92
Billings	15,97
Pedras	4,22
Taquacetuba	0
Guarapiranga	11,86
Pedro Beicht	1,13
Graça	0,52
Isolina	1,39
Capivari	1,05
Pedreira	10,8 ⁽¹⁾
	54,9 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Valores médios do Período 1993-2000

⁽²⁾ Valores médios do Período 1939-1991

8.8 - DEMANDAS DOS SISTEMAS

A tabela 8.7 resume as demandas adotadas no modelo. As demandas para a ETA ABV foram parametrizadas, variando de 12 m³/s a 15 m³/s. As demandas da ETA Baixo Cotia foram variadas de 0,60 m³/s a 1,15 m³/s.

Tabela 8.7 - Demandas médias adotadas no ModSimP32

Local	Nó	Vazão (m ³ /s)	Prioridade
ETA Rio Grande	12	4,20	1
ETA ABV	13	12,0	1
ETA Alto Cotia	10	1,40	1
ETA Baixo Cotia	9	1,15	1
UHE Henry Borden	11	24,8 ⁽¹⁾	1
		60,4 ⁽²⁾	1

⁽¹⁾ Valores médios do período 1993-2000

⁽²⁾ Valores médios do período 1939-1991

O arquivo RMSF Graça e Baixo Cotia.xls contém as vazões aduzidas para as ETAS Alto Cotia e Baixo Cotia, no período de 1994 a 1999. As figuras 8.14 e 8.15 resumem os valores obtidos para esse período.

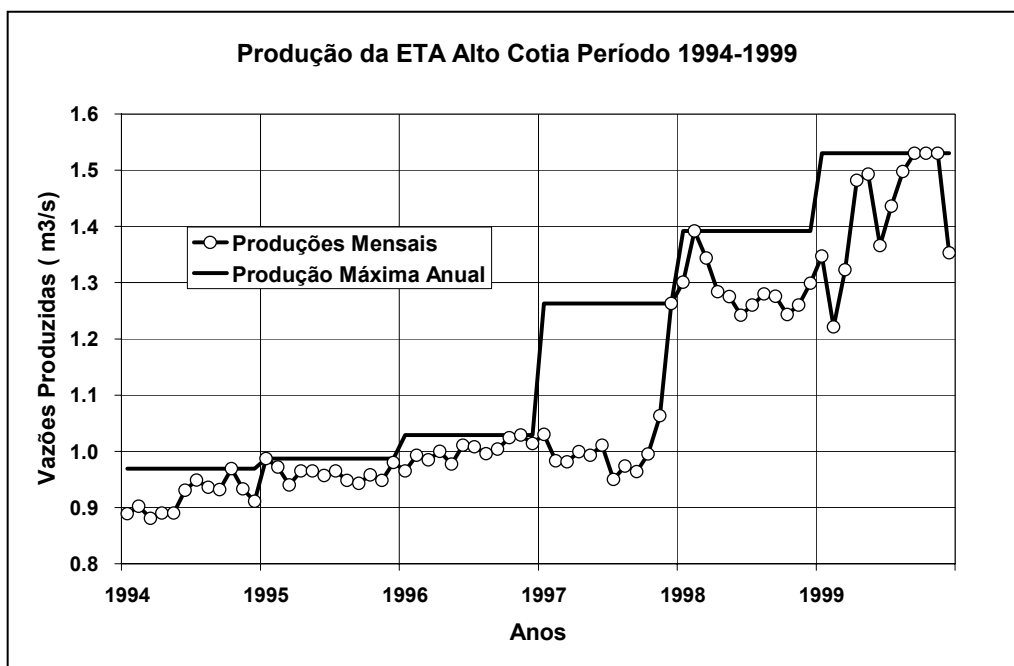


Figura 8.14- Produção da ETA Alto Cotia no período 1994 - 1999.

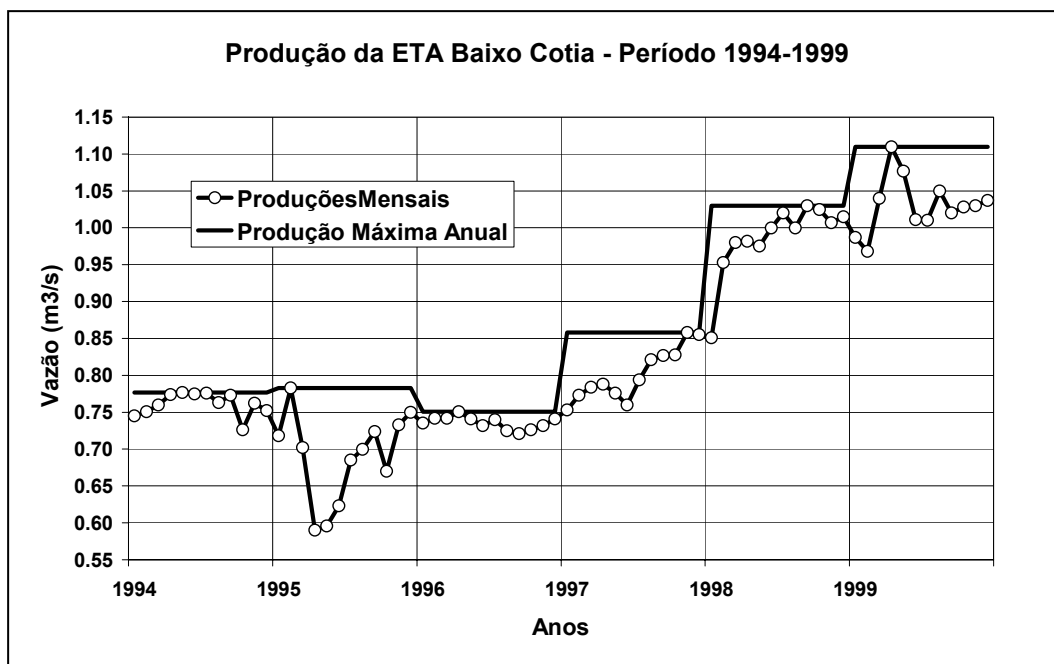


Figura 8.15 - Produção da ETA Baixo Cotia no período 1994 - 1999.

8.9 - CAPACIDADES DOS RESERVATÓRIOS

A tabela 8.8 indica os volumes adotados para os reservatórios dos sistema. As curvas cota - volume estão disponíveis no documento "Níveis Notáveis das Represas que Abastecem a Região Metropolitana de São Paulo - Revisão 8, Dezembro/1998- SABESP".

Tabela 8.8 - Volumes dos reservatórios

Reservatório	Volume (hm ³)
Rio Grande	116
Billings	1000
Pedras	0
Taquacetuba	0
Guarapiranga	180
Pedro Beicht	14,1
Graça	0
Isolina	0

8.10 - CENÁRIOS E RESULTADOS

Visando analisar as garantias de fornecimento do Sistema Guarapiranga, foram efetuadas 20 simulações, combinando-se vazões de fornecimento à ETA do ABV de 12, 13, 14 e 15 m³/s com reversões do braço do Taquacetuba de 0, 1, 2, 3 e 4 m³/s.

As figuras 8.17 a 8.20 apresentam as garantias de atendimento à ETA do ABV em função das vazões transferidas do braço do Taquacetuba.

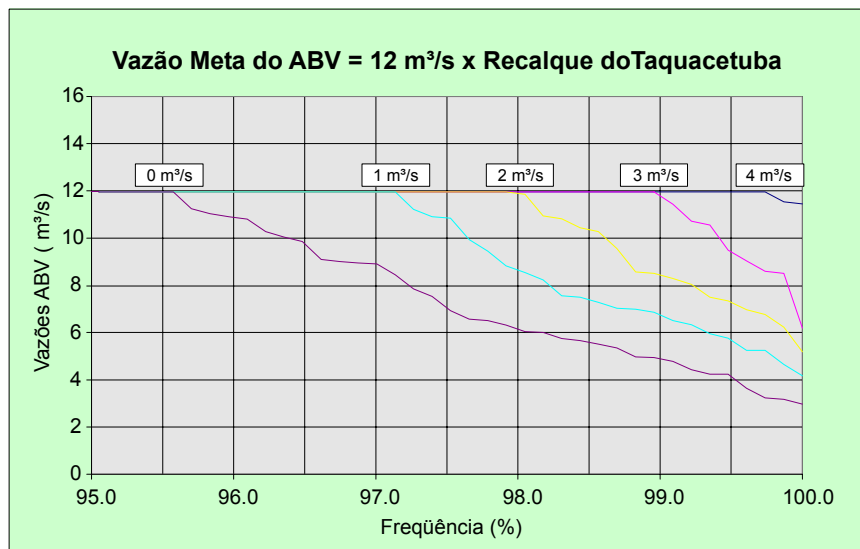


Figura 8.16

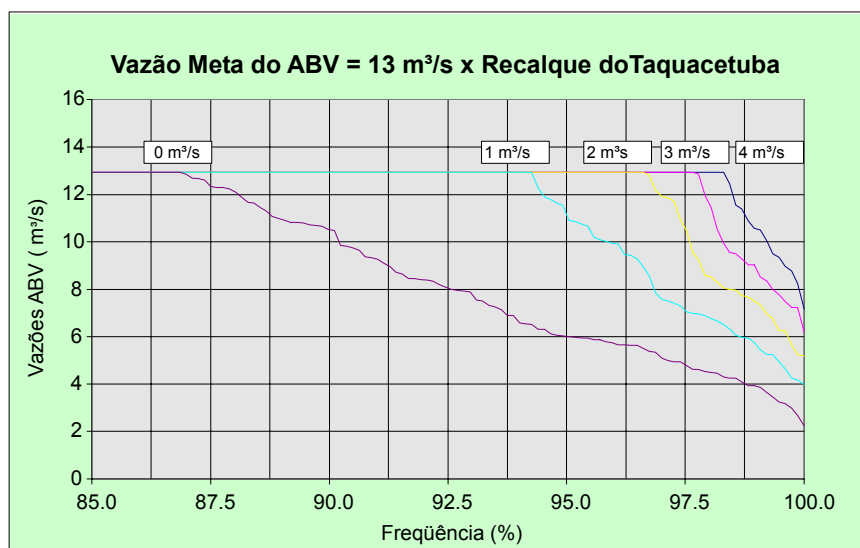


Figura 8.17

Figuras 8.16 a 8.17 - **Garantias no atendimento à ETA ABV em função da transferência do Taquacetuba**

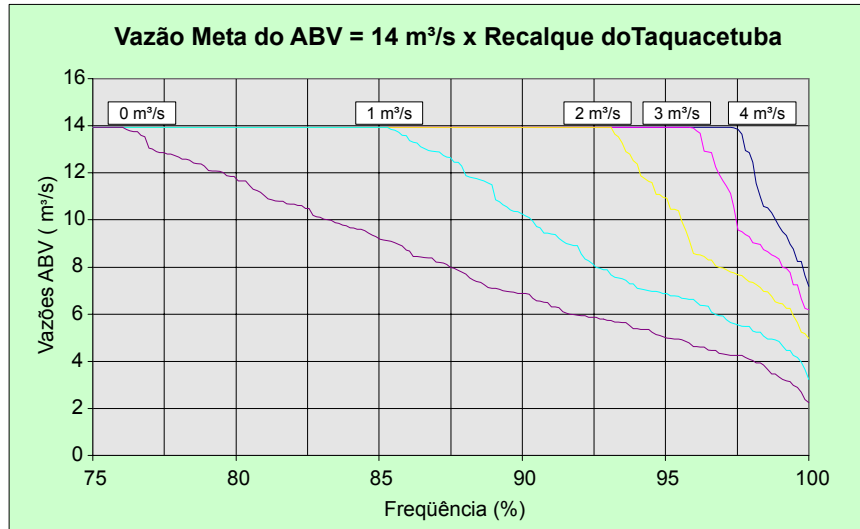


Figura 8.18

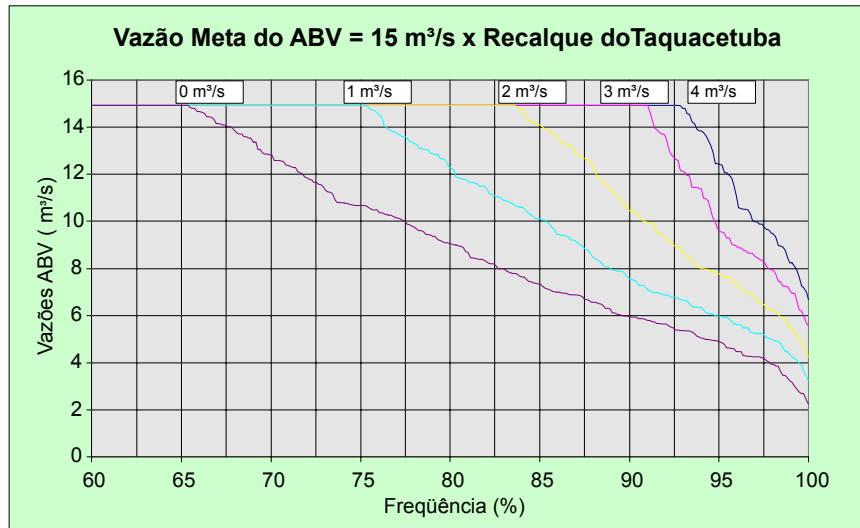


Figura 8.19

Figuras 8.18 a 8.19 - **Garantias no atendimento à ETA ABV em função da transferência do Taquacetuba**

Pode-se fazer duas leituras desses gráficos, como indicadas nas tabelas 8.9 e 8.10.

Tabela 8.9 - Garantias de atendimento à ETA ABV em função das transferências do Taquacetuba.

Vazão Meta ETA ABV (m ³ /s)	Vazão transferida pelo Taquacetuba (m ³ /s)				
	0	1	2	3	4
12	95.6	97.1	98.1	99.0	99.7
13	86.9	94.3	96.6	97.8	98.3
14	76.2	85.4	93.1	96.1	97.5
15	65.6	75.4	83.9	91.0	93.0

Tabela 8.10 - Vazões com garantia de 95 % na ETA ABV em função das transferências do Taquacetuba e das vazões meta na ETA ABV.

Vazão Meta ETA ABV (m ³ /s)	Vazão transferida pelo Taquacetuba (m ³ /s)				
	0	1	2	3	4
12	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
13	6.0	10.9	13.0	13.0	13.0
14	5.0	6.9	10.9	14.0	14.0
15	4.8	5.9	7.7	9.5	12.4

Na tabela 8.9, observam-se as garantias de atendimento das vazões meta variando de 12 a 15 m³/s, quando as transferências variam de 0 a 4 m³/s. A vazão de 12 m³/s possui uma garantia maior do que 95%, independentemente da transferência. Para garantir uma vazão meta de 15 m³/s, seria necessária uma transferência superior a 4m³/s do Taquacetuba

A tabela 8.10 indica as vazões com garantia de 95%, quando em função das vazões meta para o ABV e das vazões de transferência do Taquacetuba. Para essa garantia, é necessária uma transferência média de 2 m³/s para garantir a vazão meta de 13 m³/s na ETA ABV; para garantir uma vazão meta de 14 m³/s em 95% do tempo, a transferência média deve ser de 3 m³/s; a transferência de 4 m³/s , garante uma vazão de 12.4 m³/s durante 95% do tempo, quando a vazão meta na ETA ABV é de meta de 15 m³/s.

Convém analisar também outros resultados obtidos dessas simulações. A tabela 8.11 resume os maiores períodos de meses consecutivos com déficits (independentemente da magnitude dos déficits). Nota-se que mesmo para a vazão meta de 12 m³/s, a reversão do Taquacetuba pode contribuir significativamente com a redução dos períodos com déficits.

Tabela 8.11 - Duração dos períodos críticos para a ETA ABV

	Duração máxima abaixo da demanda necessária (meses)			
	Vazões Meta na ETA ABV			
Taquacetuba (m ³ /s)	12m ³ /s	13m ³ /s	14m ³ /s	15 m ³ /s
0	11	11	14	20
1	10	11	11	14
2	8	10	11	11
3	5	8	10	11
4	2	7	8	11

Por outro lado, a tabela 8.12 indica a magnitude dos déficits, totalizando os volumes de déficits, para cada vazão meta. Pode-se concluir que as reversões crescentes favorecem reduções significativas nos volumes deficitários.

Tabela 8.12 - Volumes dos déficits acumulados na ETA ABV

	Volume acumulado dos deficits (km ³)			
	Vazões Meta na ETA ABV			
Taquacetuba (m ³ /s)	12m ³ /s	13m ³ /s	14m ³ /s	15 m ³ /s
0	45	142	289	455
1	26	57	159	298
2	14	30	70	174
3	5.5	18	35	93
4	0.24	10	19	59

Para a ETA do Alto Cotia, fixou-se uma vazão meta de 1.40 m³/s. Em todas as simulações, a garantia foi sempre superior a 95%, considerando-se uma capacidade de transferência de 0,6 m³/s a partir do Sistema Guarapiranga. Essa transferência ocorre apenas em períodos críticos esporádicos.

Para se analisar o comportamento do Sistema Baixo Cotia, escolheu-se um cenário em que a vazão meta da ETA ABV é de 13 m³/s e a transferência do Taquacetuba é de 2 m³/s.

A figura 8.21 resume os resultados das simulações, mostrando as curvas de duração das vazões fornecidas à ETA Baixo Cotia, para vazões meta variando de 0,60 m³/s a 1,15 m³/s.

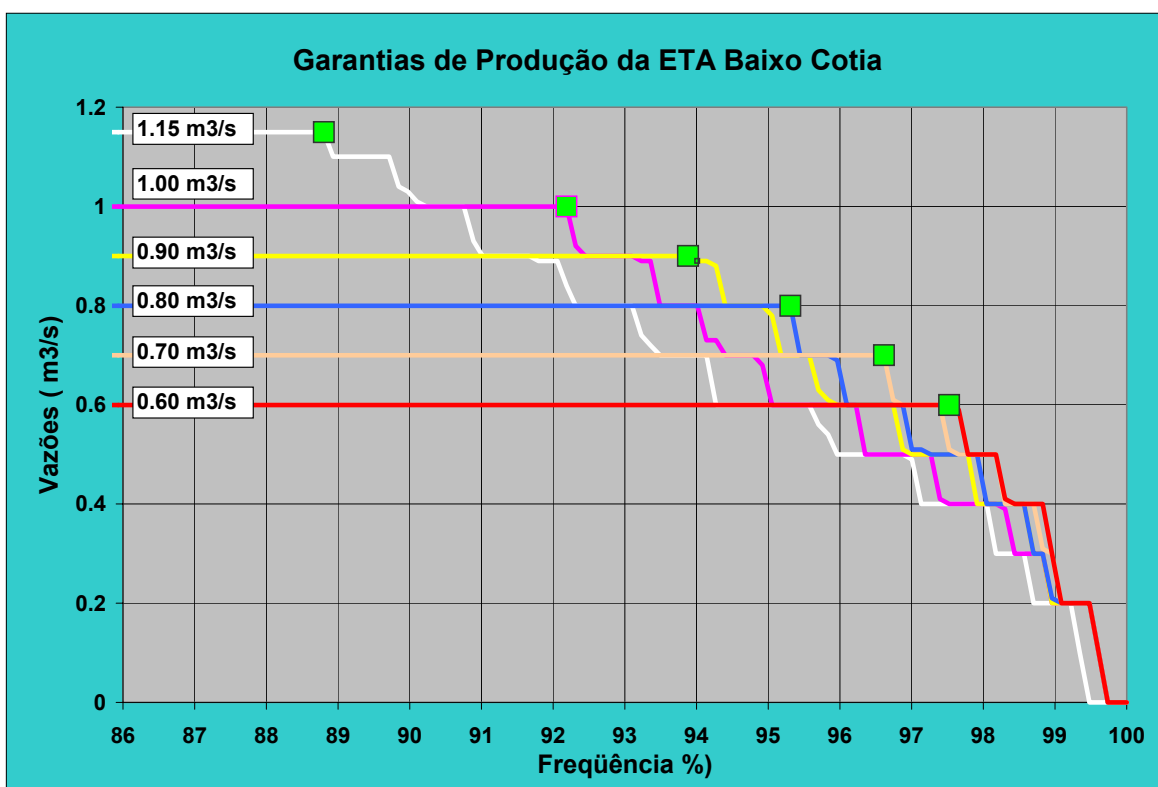


Figura 8.21 - Garantias de produção na ETA Baixo Cotia

Pode-se observar, que para o cenário analisado, a garantia de 95% corresponde a uma vazão de fornecimento à ETA de 0.80 m³/s.

RELAÇÃO DE ARQUIVOS – Caderno Hidrológico

Apresenta-se, a seguir, a relação de arquivos e de componentes dos bancos de dados referenciados no Caderno Hidrológico.

Os arquivos foram agrupados em pastas contendo informações de demandas, disponibilidades, séries temporais de longo período de vazões e dados topológicos.

As pastas foram agrupadas da seguinte forma:

- PASTA ALTO TIETÊ
- PASTA BILLINGS-GUARAPIRANGA-COTIA
- PASTA CANTAREIRA

O conteúdo dos arquivos farão parte do Relatório Final do Plano da Bacia do Alto Tietê, de forma a possibilitar consultas e novas simulações pelos usuários.

PASTA ALTO TIETÊ

Caderno Hidrologia Alto Tietê 29_06_02.zip

- Caderno_Hidrologia_Alto_Tietê_29_06_02.doc
 - Capítulo do Caderno de Hidrologia

Demandas Irrigação Alto Tietê.zip

- demandas_Irrigação_Alto_Tietê.doc
 - Demandas de Irrigação do AT

ModSim Alto Tietê.zip

- Alto_Tietê.ADA
- Alto_Tietê.ORG
- Alto_Tietê.PRJ
 - Arquivos modelo da topologia do AT do ModSim

Resultados Alto Tietê.zip

- Resultados_Alto_Tietê.xls
 - Análise das simulações
- Rio_ClaroxAlto_Tietê.xls
 - Análise das simulações

Resumo Vol Níveis Alto Tietê.zip

- Resumo_Vol_Níveis_Alto_Tietê.xls
 - Volumes e Níveis Operacionais dos Reservatórios

Simulações AT.zip

- Arquivos do ModSim para diversos cenários

TOPOLOGIA AT Rev2.zip

- TOPOLOGIA_AT_Rev2.doc
 - Desenho da topologia do AT utilizada no ModSim

Vazões Alto Tietê.zip

- Hprmp14.xls
 - Vazões do Rio Aibaia em Paulínia - Hidroplan
- 34_contrit.xls
 - Vazão Intermediária do Nó 34 da Topologia do Cantareira
 - Vazão no Rio Atibaia em Atibaia
 - Vazão no Rio Cachoeira na Barragem do Cachoeira

- Vazão no Rio Atibainha na Barragem do Atibainha
- Biritiba_foz.xls
 - Vazões do Rio Biritiba na Barragem do Biritiba
 - Vazões do Rio Biritiba na Foz do Rio Biritiba
- Hprma02.xls
 - Vazões do Rio Tietê em Ponte Nova - Hidroplan
- Hprma03.xls
 - Vazões do Rio Paraitinga na Barragem Paraitinga - Hidroplan
- Hprma04.xls
 - Vazões do Rio Biritiba na Barragem do Riritiba - Hidroplan
- Hprma05.xls
 - Vazões do Rio Jundiaí na Barragem Jundiaí - Hidroplan
- Hprma07.xls
 - Vazões do Rio Taiaçupeba na Barragem de Taiaçupeba - Hidroplan
- Hprma65.xls
 - Vazões do Rio Juqueri na Barragem de Paiva Castro - Hidroplan
- hprmp01.xls
 - Vazões do Rio Atibainha na Barragem do Atibainha - Hidroplan
- Hprmp02.xls
 - Vazões do Rio Cachoeira na Barragem do Cachoeira - Hidroplan
- Hprmp03.xls
 - Vazões dos Rios Jaguari/Jacareí na Barragem Jaguari/Jacareí - Hidroplan
- Hprmp05.xls
 - Rio Piracicaba em Piracicaba - Hidroplan
- Hprmp12.xls
 - Vazões do Rio Atibaia em Atibaia - Hidroplan
- QGUAR1.xls
 - Vazões Afluentes ao Guarapiranga - SABESP
- 14-Pauline.xls
 - Vazões obtidas em Paulínia pelas Simulações
- Jundiaí_foz.xls
 - Vazões no Rio Jundiaí na Barragem do Jundiaí

- Vazões no Rio Jundiaí na foz do Rio Jundiaí
- Paraitinga_foz.xls
 - Vazões na da foz do Rio Paraitinga
- Taiaçupeba_foz.xls
 - Vazões na da foz do Rio Taiaçupeba
- Tietê_jus_birit.xls
 - Vazões no rio Tietê a jusante da foz do Rio Biritiba
- Tietê_jus_jundiaí.xls
 - Vazões no rio Tietê a jusante da foz do Rio Jundiaí
- Tietê_jus_parait.xls
 - Vazões no rio Tietê a jusante da foz do Rio Paraitinga
- Tietê_jus_taia.xls
 - Vazões no Rio Tietê a jusante da foz do Rio Taiaçupeba
- tabela-sistema_Alto_Tietê.doc
 - Áreas de drenagem e nomes dos arquivos do Hidroplan
- Tietê_Ponte_Nova.xls
 - Vazões no rio Tietê na Barragem de Ponte Nova - Hidroplan
- Ribeirão_do_Campo.xls
 - Vazões afluentes ao reservatório Ribeirão do Campo
- Poço_Preto.xls
 - Vazões afluentes ao Poço Preto
- km76.xls
 - Vazões Afluentes ao km76

PASTA BILLINGS-GARAPIRANGA-COTIA

Bacia Rio Cotia.zip

- Bacia_Rio_Cotia.jog
 - Figura da bacia do Rio Cotia, com áreas e localização dos postos fluviométricos e Barragens

Baixo Cotia Resultados.zip

- Baixo_Cotia_Resultados.xls
 - Resultados das Simulações

Bcg.zip

- Bcg.jpg
 - Topologia adotada no ModSim para Billings_Guarapiranga_Cotia

BCG Represas.zip

- BCG_Represas.xls
 - Resultados das Simulações

BCG Resultados.zip

- Baixo_Cotia_Demandas.xls
- BCG.xls
- BCG_Demandas.xls
- BCG12_Demandas.xls
- BCG12_Represas.xls
- BCG13_Demandas.xls
- BCG13_Represas.xls
- BCG14_Demandas.xls
- BCG14_Represas.xls
- BCG15_Demandas.xls
- BCG15_Represas.xls
 - Resultados das Simulações

Caderno Hidrologia EMAE 30 06 02.zip

- Caderno_Hidrologia_EMAE_30_06_02.doc
 - Capítulo do caderno de Hidrologia

Dados EMAE.zip

BombeamentoPedreira.zip

- BombeamentoPedreira.xls
 - Vazões Mensais Bombeadas em Pedreira

Correções.zip

- Correções.doc
 - Memória de Cálculo das consistências dos dados EMAE

Cotaxvolume EMAE.zip

- Cotaxvolume_EMAE.xls
 - Tabelas Cota x Volume dos reservatórios da EMAE

NaturalBillings Alterado.zip

- NaturalBillings_Alterado.xls
 - Precipitações mensais na Barragem Guarapiranga - P12059
 - Vazões mensais afluentes ao Guarapiranga
 - Vazões mensais naturais na Billings - EMAE
 - Vazões mensais consistidas na Billings

NaturalESO.zip

- NaturalESO.xls
 - Vazões naturais mensais em Edgard de Souza - EMAE

NaturalGUA.zip

- NaturalGUA.xls
 - Vazões mensais afluentes ao reservatório Guarapiranga - EMAE

NaturalPedras Alterado.zip

- NaturalPedrasAlterado.xls
 - Vazões Mensais em Rio das Pedras - EMAE
 - Vazões Mensais em Rio das Pedras - consistido

Níveis e restrições EMAE.zip

- Níveis e restrições_EMAE.doc
 - Níveis e restrições operacionais dos reservatórios da EMAE

TurbinamentoHB.zip

- TurbinamentoHB.xls
 - Vazões mensais turbinadas na UHE Henry Borden

Vazões Guarapiranga.zip

- Vazões_Guarapiranga.xls
 - Vazões mensais afluentes ao Guarapiranga

Dados SABESP.zip

GRAÇAJUS.zip

- GRAÇAJUS.xls
 - Vazões diárias e mensais descarregadas da Graça

I-3.zip

- I-3.doc
 - Vazões Diárias no Posto I-3 - SABESP

I-5.zip

- I-5.doc
 - Vazões diárias do posto I-5 - SABESP
- I-5_Med_mensal.doc
 - Vazões mensais no posto I-5 - SABESP
- I-5_Med_mensal.txt
 - Vazões mensais no posto I-5 - SABESP

PBJUS.zip

- PBJUS.xls
 - Vazões diárias e mensais descarregadas de Pero Beicht - SABESP

RMSPGraça e BaixoCotia.zip

- RMSPGraça e BaixoCotia.zip
 - Vazões mensais retiradas da Graça para ETA Alto Cotia
 - Vazões mensais retiradas de Isolina para ETA Baixo Cotia

Tabela cota volume-pedro beicht.zip

- Tabela cota volume-pedro beicht.zip
 - Tabela Cota x Volume de Pedro Beicht

Tabela cota volume-rio grande.zip

- Tabela cota volume-rio grande.zip
 - Tabela Cota x Volume do Reservatório Rio Grande

Esquema Alto Cotia.zip

- Esquema_Alto_Cotia.zip
 - Esquema da bacia do Rio Cotia com área e posição dos postos fluviométricos e barragens.

Isolina.zip

- Isolina.zip
 - Estudo de consistência de vazões do Rio Cotia

ModSim Billings Guarapiranga Cotia.zip

- Billings_Guarapiranga_Cotia.ada
- Billings_Guarapiranga_Cotia.org
- Billings_Guarapiranga_Cotia.prj
 - Exemplos de arquivos da topologia do ModSim

Posto I5xGuarapiranga.zip

- Posto_I5xGuarapiranga.xls
 - Estudo de Consistência de dados do posto I-5

Posto I5xPBeicht.zip

- Posto_I5xPBeicht.xls
 - Vazões mensais em I-5
 - Vazões mensais em Pedro Beicht

PrecipitaçõesCotia.zip

- PrecipitaçõesCotia.xls
 - Precipitações mensais dos postos E3-031 - Baixo Cotia, E3-027- Pero Beicht e E3-034-Graça.

QintGraçaxPedroBeicht.zip

- QintGraçaxPedroBeicht.xls
 - Vazões mensais em Pedro Beicht
 - Vazões mensais intermediárias entre Pedro Beicht e Graça
 - Estudo de correlação entre vazões intermediárias e Pedro Beicht

Resumo ABVxTaquacetuba.zip

- Resumo_ABVxTaquacetuba.xls
 - Análise dos resultados das simulações referentes à produção do ABV x transferência do Taquacetuba.

Vazões BCG.zip

- Pedro_Beicht.xls
 - Vazões mensais em Pedro Beicht
- QnGraçaePedroBeicht.xls

- Vazões mensais em Graça e Pedro Beicht
- Vazões_Naturais_BCG.xls
 - Vazões mensais utilizadas na topologia do ModSim

PASTA CANTAREIRA

Caderno Hidrologia Cantareira29_06_02.zip

- Caderno_Hidrologia *Cantareira29_06_02*
 - Capítulo do caderno de hidrologia

Cantareira simulações.zip

- Cantareira_simulações.xls
 - Resultados das simulações

ModSim Cantareira.zip

- Cantareira.ada
- Cantareira.org
- Cantareira.prj
- Cantareirar.res
 - Exemplo dos arquivos do ModSim

Vazões Cantareira.zip

- Tabela-Sistema_Alto_tietê.doc
 - Tabelas com nomes dos arquivos do Hidroplan
- Vazões_Cantareira.xls
 - Vazões naturais dos reservatórios do Cantareira
 - Vazões naturais em Paulínia e Piracicaba