FRANCISCO CÉSAR DALMO

**Simulação de Demandas de Recursos Hídricos Utilizando o Modelo de Simulação
MIKE BASIN, no Trecho do Reservatório de Ibitinga no Rio Tietê e seus afluentes.**

Dissertação apresentada à Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, como parte dos requisitos para a
obtenção do Título de Mestre em Ciências da
Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad

São Carlos

2009

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

D148s	<p>Dalmo, Francisco César</p> <p>Simulação de demandas de recursos hídricos utilizando o modelo de simulação MIKE BASIN, no trecho do reservatório de Ibitinga no Rio Tietê e seus afluentes / Francisco César Dalmo ; orientador Frederico Fábio Mauad. -- São Carlos, 2009.</p> <p>Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2009.</p> <p>1. Simulação. 2. Planejamento e gerenciamento de recursos hídricos. 3. SIG. 4. UHE Ibitinga. I. Título.</p>
-------	---

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro FRANCISCO CÉSAR DALMO.

Dissertação defendida e julgada em 17/08/2009 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Dr. **FREDERICO FÁBIO MAUAD (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado

Prof. Dr. **JOÃO LUIZ BOCCIA BRANDÃO**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado

Prof. Titular **AFONSO HENRIQUES MOREIRA SANTOS**
(Universidade Federal de Itajubá/UNIFEI)

Aprovado

Prof. Dr. **VICTOR EDUARDO LIMA RANIERI**
Suplente do Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Ciências da Engenharia Ambiental, em exercício

Prof. Titular **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

ESCUAR
Serviço de Pós-Graduação
Protocolado em 20/08/2009
10/2009

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a toda minha família, pelo apoio, carinho e confiança para que eu pudesse concluir este trabalho. A meu pai José Dalmo, à minha mãe Maria Conceição Dalmo e aos meus cinco irmãos e três sobrinhos.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Frederico Fábio Mauad pela paciência, compreensão, confiança depositada no término desta pesquisa;

Aos meus antigos professores da Universidade Federal de Itajubá, em especial Afonso e Augusto, que me ensinaram com prazer e dedicação parte do conhecimento que carrego e que apliquei nesta pesquisa;

Aos amigos de Mestrado Ivo, Diego e Victor que compartilharam comigo esses momentos de aprendizado, em especial à Liliane, que soube dar conselhos necessários nos momentos mais difíceis, e que me apoiou para a realização e término desta pesquisa;

Aos meus amigos da República Pulêro com os quais compartilhei vários momentos de alegria e tristeza, que souberam em ouvir nas horas mais difíceis;

A todos os professores, técnicos e funcionários do CRHEA e do Núcleo de Hidrometria da EESC/USP;

Ao CNPq pela bolsa concedida para realização desta pesquisa;

Enfim, a todos aqueles que de uma maneira ou de outra contribuíram para que mais uma etapa do caminho fosse percorrida.

“A água que você toca dos rios é a última daquela que se foi e a primeira daquela que vem. Assim é o tempo presente.”

Leonardo da Vinci.

RESUMO

DALMO, F. C., (2009). **Simulação de Demandas de Recursos Hídricos Utilizando Sistema de Informações Geográficas e o Modelo de Simulação MIKE BASIN, no Trecho do Reservatório de Ibitinga no rio Tietê e seus afluentes.** Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

O presente projeto de pesquisa levantou e analisou os dados de demandas para diversos usos em sub-bacias das quais Jacaré-Guaçu, Jacaré-Pepira e Rio Claro que fazem parte da UGRHI 13 (Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré) e que deságua no trecho médio do Rio Tietê, no reservatório da Usina Hidrelétrica de Ibitinga. O objetivo desta pesquisa foi fornecer resultados baseados em critérios técnicos científicos para auxiliar no processo de direito de uso da água subsidiando assim o respectivo Comitê de Bacias Hidrográficas que compõem a região de estudo na determinação das vazões de outorgas requeridas. Os dados das demandas de abastecimento público, dessedentação (pecuária), irrigação, industrial, diluição de esgoto doméstico e diluição de esgoto industrial, bem como a demanda para geração de energia da UHE Ibitinga, subsidiaram a entrada de dados no programa de simulação computacional MIKE BASIN. O Programa MIKE BASIN encontra-se disponível no Núcleo de Hidrometria do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, e é composto de um sistema de informações geográficas, um modelo de simulação quantitativo capaz de integrar técnicas de otimização, e um banco de dados georreferenciado. Com o software MIKE BASIN foi possível identificar as disponibilidades hídricas para atender diversos usos dos recursos hídricos diante das crescentes demandas e das diferentes condições hidrológicas, definindo assim um planejamento para os diferentes usuários da água, minimizando os conflitos entre os usos múltiplos desta e quantificando o grau de compromisso existente entre eles. Por fim, os resultados foram apresentados através de gráficos, tabelas que podem subsidiar o comitê de bacia, auxiliando no processo de planejamento e gestão dos usos dos recursos hídricos para diversos cenários futuros. Palavras-Chave: Simulação, planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, SIG, UHE Ibitinga.

ABSTRACT

DALMO, F. C., (2009). **Simulation of Water Resources Demand Using Geographical Information System Model and Simulation MIKE BASIN in the excerpt from the reservoir in the Tietê River Ibitinga and its tributaries.** School of Engineering of São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

This research project examined the data and raised the demands for various uses in sub-basins of which Jacaré-Guaçu, Jacaré-Pepira and Claro River that are part of UGRHI 13 (Watershed Tietê-Jacaré) and reaching the average sentence Tietê River, the reservoir of the hydroelectric plant Ibitinga. The objective of this research was to provide results based on scientific technical criteria to help in the right to use water as subsidizing the Watershed Committee of the component to the study region in determining the flow of grant requested. The data demands of the public supply, livestock, irrigation, industrial, dilution of domestic sewage and industrial sewage dilution, and the demand for energy generation of HPP Ibitinga, subsidized the entry of data in the computer simulation program, MIKE BASIN. MIKE BASIN program is available at the Center for Hydrometers the Center for Water Resources and Applied Ecology, School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, and is composed of a geographic information system, a simulation model capable of quantitatively integrate optimization techniques, and a georeferenced database. With the software MIKE BASIN was possible to identify the available water to meet various uses of water resources in the face of growing demands and the different hydrological conditions, thus defining a plan for the different users of water, minimizing conflicts between the multiple uses of and quantifying the degree of compromise between them. Finally, the results were presented through graphs, tables that can support the committee of basin, assisting in the planning process and management of the uses of water resources for various future scenarios.

Keywords: Simulation, planning and management of water resources, GIS, UHE Ibitinga.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – VISTA DA UHE IBITINGA	32
FIGURA 2 – CURVA COTAXÁREAXVOLUME DO RESERVATÓRIO DE IBITINGA	35
FIGURA 3 – LOCALIZAÇÃO DA UGRHI-13.....	37
FIGURA 4 – MUNICÍPIOS DA BH-TJ.....	38
FIGURA 5 – SUB-BACIAS PROPOSTAS PARA UGRHI-13.....	39
FIGURA 6 – DEMANDA HÍDRICA PREVISTA PARA 2010 NO CENÁRIO TENDENCIAL PARA SUB-BACIA 1	92
FIGURA 7 – DEMANDA HÍDRICA PREVISTA PARA 2010 NO CENÁRIO TENDENCIAL PARA SUB-BACIA 2.....	92
FIGURA 8 – DEMANDA HÍDRICA PREVISTA PARA 2010 NO CENÁRIO TENDENCIAL PARA SUB-BACIA 6.....	92
FIGURA 9 – EXEMPLO DE REDE DE FLUXO DO MIKE BASIN	95
FIGURA 10 – EXEMPLO DE EXTRAÇÃO DE ÁGUA.....	99
FIGURA 11 – ZONAS DE ARMAZENAMENTO DOS RESERVATÓRIOS.....	101
FIGURA 12 – LOCALIZAÇÃO DOS POSTOS FLUVIOMÉTRICOS	103
FIGURA 13 – SÉRIES MENSAIS DE VAZÕES NO POSTO FAZENDA PAU D’ALHO.....	106
FIGURA 14 – SÉRIES MENSAIS DE VAZÕES NO POSTO FAZENDA BOA VISTA DO JACARÉ	107
FIGURA 15 – SÉRIES MENSAIS DE VAZÕES NO POSTO DA UHE BARIRI.....	107
FIGURA 16 – SÉRIES MENSAIS DE VAZÕES NO POSTO DA UHE IBITINGA	108
FIGURA 17 - COMPARAÇÃO DAS SÉRIES DE VAZÕES MÉDIAS OBSERVADAS E GERADAS DO POSTO IBITINGA	118
FIGURA 18 - COMPARAÇÃO DAS SÉRIES DE VAZÕES MÉDIAS MENSAIS OBSERVADAS E GERADAS DO POSTO FAZENDA BOA VISTA DO JACARÉ	118
FIGURA 19 – COMPARAÇÃO DAS SÉRIES DE VAZÕES MÉDIAS MENSAIS OBSERVADAS E GERADAS DO POSTO FAZENDA PAU D’ALHO	119
FIGURA 20 – COMPARAÇÃO DAS SÉRIES DE VAZÕES MÉDIAS MENSAIS OBSERVADAS E GERADAS DO POSTO BARIRI	119
FIGURA 21 – COMPARAÇÃO DAS SÉRIES DE VAZÕES MÍNIMAS MENSAIS OBSERVADAS E GERADAS DO POSTO IBITINGA	120
FIGURA 22 – COMPARAÇÃO DAS SÉRIES DE VAZÕES MÍNIMAS MENSAIS OBSERVADAS E GERADAS DO POSTO FAZENDA BOA VISTA DO JACARÉ.....	120
FIGURA 23 – COMPARAÇÃO DAS SÉRIES DE VAZÕES MÍNIMAS OBSERVADAS E GERADAS DO POSTO FAZENDA PAU D’ALHO	121
FIGURA 24 - COMPARAÇÃO DAS SÉRIES DE VAZÕES MÍNIMAS OBSERVADAS E GERADAS DO POSTO BARIRI	121
FIGURA 25 – REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA NO PROGRAMA MIKE BASIN E SUA INTERFACE COM O ARCVIEW.....	125
FIGURA 26 – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO PARA A DEMANDA DE 16,2 (M ³ /s) DA SUB-BACIA DO RIO JACARÉ-GUAÇU.....	127
FIGURA 27 - SIMULAÇÃO DO CENÁRIO PARA A DEMANDA DE 3,9 (M ³ /s) DA SUB-BACIA DO RIO JACARÉ-PEPIRA.....	128
FIGURA 28 – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO PARA A DEMANDA DE 0,9 (M ³ /s) DA SUB-BACIA DO RIO CLARO	128
FIGURA 29 – RESULTADO DAS SIMULAÇÕES DOS CENÁRIOS 1 E 2 PARA A GERAÇÃO DA UHE IBITINGA	129
FIGURA 30 – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1 COM VAZÕES MÍNIMAS PARA O RESERVATÓRIO	130
FIGURA 31 – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 2 COM VAZÕES MÉDIAS PARA O RESERVATÓRIO.....	130
FIGURA 32 – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3 COM VAZÕES MÍNIMAS PARA OS USOS.....	133
FIGURA 33 – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3 COM VAZÕES MÍNIMAS PARA A UHE IBITINGA	133
FIGURA 34 – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3 COM VAZÕES MÍNIMAS PARA O RESERVATÓRIO	134
FIGURA 35 – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 4 COM VAZÕES MÉDIAS PARA OS USOS	135
FIGURA 36 – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 4 COM VAZÕES MÉDIAS PARA A UHE IBITINGA.....	136
FIGURA 37 – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 4 COM VAZÕES MÉDIAS PARA RESERVATÓRIO	136
FIGURA 38 – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 5 COM VAZÕES MÍNIMAS PARA OS USOS.....	138

FIGURA 39 – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 5 COM VAZÕES MÉDIAS PARA A UHE IBITINGA	139
FIGURA 40 – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 5 COM VAZÕES MÉDIAS PARA O RESERVATÓRIO.....	139
FIGURA 41 – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 6 COM VAZÕES MÉDIAS PARA OS USOS	140
FIGURA 42 – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 6 COM VAZÕES MÍNIMAS PARA A UHE IBITINGA.....	141
FIGURA 43 – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 6 COM VAZÕES MÉDIAS PARA O RESERVATÓRIO.....	142
FIGURA 44 – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 7 COM VAZÕES MÍNIMAS PARA OS USOS.....	143
FIGURA 45 – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 7 COM VAZÕES MÍNIMAS PARA A UHE IBITINGA.....	144
FIGURA 46 – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 7 COM VAZÕES MÍNIMAS PARA O RESERVATÓRIO	144
FIGURA 47 – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 8 COM VAZÕES MÉDIAS PARA OS USOS	145
FIGURA 48 – SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 8 COM VAZÕES MÉDIAS PARA A UHE IBITINGA	146
FIGURA 49 - SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 8 COM VAZÕES MÉDIAS PARA O RESERVATÓRIO	146

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – FICHA TÉCNICA DA UHE IBITINGA	34
TABELA 2 – NÚMEROS, NOMES E ÁREAS DAS SUB-BACIAS PROPOSTAS PARA A UGRHI-TJ	40
TABELA 3 – DEMANDAS DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO	43
TABELA 4 – ABASTECIMENTO PÚBLICO NOS MUNICÍPIOS DA UGRHI-13	43
TABELA 5 – DEMANDAS INDUSTRIAIS CADASTRADAS NA UGRHI-13	47
TABELA 6 – RESUMO DO CADASTRO DO DAEE DE USUÁRIOS DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO	48
TABELA 7 – LEVANTAMENTO DE ÁREAS IRRIGADAS	49
TABELA 8 – COMPARAÇÃO ENTRE AS DEMANDAS CADASTRADAS E ESTIMADAS POR SUB-BACIAS	50
TABELA 9 – VARIÁVEIS E COEFICIENTES DE REGIONALIZAÇÃO UTILIZADOS NA SUB-DIVISÃO DE BACIAS PARA O PLANO DE BACIA DA UGRHI-13	54
TABELA 10 – DADOS DA CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUPERFICIAL, POR SUB-BACIA, NA UGRHI 13	57
TABELA 11 – POPULAÇÃO ESTIMADA PARA CENÁRIOS DE PLANO DE BACIA (EM HABITANTES)	65
TABELA 12 – DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL PARA CENÁRIOS DE PLANEJAMENTO DA UGRHI 13 (EM m ³ /s)..	87
TABELA 13 - DEMANDAS HÍDRICAS SUPERFICIAIS TOTAIS ENTRE 2010 E 2050 PARA CENÁRIO TENDENCIAL “A” E EM TODA A UGRHI-13	88
TABELA 14 - DEMANDAS PREVISTAS PARA 2010 DO CENÁRIO TENDENCIAL (L/s/km ²)	89
TABELA 15 - DEMANDAS PREVISTAS PARA 2025 DO CENÁRIO TENDENCIAL (L/s/km ²)	90
TABELA 16 - DEMANDAS PREVISTAS PARA 2050 DO CENÁRIO TENDENCIAL (L/s/km ²)	90
TABELA 17 – RELAÇÃO DOS POSTOS FLUVIOMÉTRICOS	103
TABELA 18 – MESES COM FALHAS NO POSTO FAZENDA PAU D'ALHO (DEZ 1970 - JAN 1979)	110
TABELA 19 – MESES COM FALHAS NO POSTO FAZENDA BOA VISTA DE JACARÉ (NOV 1970 - JUL 1993)	110
TABELA 20 – PRECIPITAÇÃO MÉDIA NO RESERVATÓRIO DE IBITINGA	122
TABELA 21 – DADOS DA CURVA COTEXÁREAXVOLUME	123
TABELA 22 – DEMANDAS HÍDRICAS SUPERFICIAIS PARA 2008	126
TABELA 23 – DEMANDAS HÍDRICAS SUPERFICIAIS PARA 2010	131
TABELA 24 – DEMANDAS HÍDRICAS SUPERFICIAIS PARA 2025	137
TABELA 25 – DEMANDAS HÍDRICAS SUPERFICIAIS PARA 2050	142

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA	AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS
BH-TJ	BACIA HIDROGRÁFICA DO TIETÊ-JACARÉ
CBH-TJ	COMITE DE BACIA HIDROGRÁFICA DO TIETÊ-JACARÉ
CEST	CENÁRIO PARA OFERTA HÍDRICA TENDENCIAL
DAEE	DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA
EMBRAPA	EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
IPT	INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS
SEADE	FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS
SIG	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA
SIGRH	SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DE SÃO PAULO
SSD	SISTEMAS DE SUPORTE A DECISÃO
UGRHI	UNIDADE DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS
UHE	USINA HIDRELÉTRICA
USP	UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ÍNDICE

DEDICATÓRIA.....	I
AGRADECIMENTOS.....	III
RESUMO	VII
ABSTRACT	IX
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS.....	XIII
LISTA DE ABREVIATURAS	XIV
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS	5
2.1 OBJETIVO GERAL	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	6
3.1 PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS	6
3.2 OUTORGA DE RECURSOS HÍDRICOS.....	12
3.3 SISTEMAS DE SUPORTE A DECISÃO	15
3.4 MODELO DE OTIMIZAÇÃO E SIMULAÇÃO	22
3.5 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	25
4 LOCAL DE ESTUDO	31
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA UHE IBITINGA	31
4.1.1 <i>Características Gerais</i>	31
4.1.2 <i>Características Técnicas</i>	32
4.2 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA UGRHI 13	36
4.2.1 <i>Aspectos Gerais Da BH-TJ</i>	36
4.2.2 <i>Aspectos quantitativos dos recursos hídricos</i>	41
4.2.2.1 – Disponibilidade Hídrica da Bacia do Relatório Zero de 2000	41
4.2.2.2 Uso Público	42
4.2.2.3 Uso Doméstico	46
4.2.2.4 Uso Industrial.....	46
4.2.2.5 Uso na Irrigação	47
4.2.2.6 Cenários de Oferta Hídrica.....	50
4.2.2.6.1 Vazão média de longo período (Q _{lp})	51
4.2.2.6.2 Vazão mínima de “d” meses consecutivos (Q(d.Tr)).....	52
4.2.2.6.3 Vazões mínimas da curva de permanência (Q _p %)	53
4.2.2.6.4 Vazão mínima de sete dias consecutivos (Q _{7dias} , Tr=10)	53
4.2.2.7 Demanda hídrica superficial cadastrada.....	54
4.2.2.7.1 Cenário Sócio-econômico Tendencial	59
4.2.2.7.2 Demandas Hídricas Setoriais.....	60
4.2.2.7.2.1 Abastecimento Público	63
4.2.2.7.2.2 Cálculo de Demanda de Abastecimento Doméstico	65
4.2.2.7.2.3 Diluição de Efluentes Domésticos.....	67

4.2.2.7.2.4 Cálculo de demandas por diluição de esgotos domésticos	71
4.2.2.7.2.5 Agricultura Irrigada.....	75
4.2.2.7.2.6 Pecuária.....	78
4.2.2.7.2.7 Indústria e Diluição de Efluentes Industriais	80
4.2.2.7.3 Considerações sobre balanços calculados	81
4.2.2.7.4 Dados de Demandas de Recursos Hídricos Superficiais do Relatório Zero.....	82
4.2.2.8 Oferta hídrica superficial.....	87
4.2.2.9 Demandas hídricas superficiais setoriais	87
6 METODOLOGIA	93
6.1 BALANÇO DE MASSA	93
6.2 CARACTERIZAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL MIKE BASIN	94
6.2.1 Interface Gráfica do Usuário	96
6.2.2 Rede de Fluxo do Rio.....	97
6.2.3 Demandas de Água.....	98
6.2.4 Reservatórios.....	100
6.3 LEVANTAMENTO DE DADOS DE VAZÃO	102
6.3.1 Postos Fluviométricos	102
6.3.2 Tratamento dos dados Fluviométricos.....	108
6.4 – SÉRIES SINTÉTICAS	110
6.4.1 Modelo Estacionário Multivariado Autoregressivo de Primeira Ordem AR (1)	112
6.5 – DADOS DO RESERVATÓRIO	122
7 RESULTADOS E CENÁRIOS	124
7.1 TOPOLOGIA DO SISTEMA	124
7.2 SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1	126
7.3 SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 2	126
7.4 SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3	132
7.5 SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 4	134
7.6 SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 5	137
7.7 SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 6	140
7.8 SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 7	142
7.9 SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 8	145
8 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	147
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	151

1 INTRODUÇÃO

O consumo de água tem aumentado a cada dia devido à sua utilização nos mais diversificados usos e também devido ao crescimento populacional e econômico, sendo assim, é importante destacar que esse recurso renovável e dotado de valor econômico deve ser gerenciado de forma a atender as demandas presentes e futuras, garantindo assim as necessidades das futuras gerações.

Atualmente não só em regiões áridas do mundo, mas também em áreas onde o clima é tropical e temperado são notadas e discutidas questões relacionadas à demanda e oferta de água pra atender aos mais variados usos.

Um planejamento adequado da água é necessário para que se possa identificar os locais onde há ocorrência de escassez e minimizar os conflitos existentes, fazendo com que o planejamento regional atenda de maneira satisfatória aos diversos usuários existentes entre eles: o abastecimento urbano, industrial, dessedentação, agricultura, energia entre outros.

No Brasil, o problema de escassez de água passou a fazer parte dos grandes centros urbanos, deixando de ser apenas um problema da região nordeste. No Estado de São Paulo, principalmente nos meses de estiagem já se pode observar um quadro

crítico em relação aos recursos hídricos, devido à grande demanda e a diminuição da oferta hídrica.

A utilização de técnicas e ferramentas capazes de auxiliar o planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos vem se tornando cada vez mais freqüente, devido principalmente a sua praticidade na operação, análise dos dados, tomadas de decisão, apesar dos dados não serem totalmente consistentes.

Segundo Lima (2002), diante das facilidades crescentes de uso da microinformática, vários modelos matemáticos têm sido desenvolvidos, permitindo a realização de cálculos precisos com grande velocidade e com estrutura capaz de absorver informações e dados relevantes, sendo possível, assim, abranger os principais aspectos de uma bacia hidrográfica. Entre as técnicas mais utilizadas estão a simulação e a otimização.

A Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecida pela Lei 9433/97, caracteriza-se pela descentralização das ações e encontra-se em fase de implantação, ainda que em um processo lento. Um de seus princípios básicos é a adoção de bacia hidrográfica como unidade de planejamento. A partir do início da vigência dessa lei, e até mesmo antes, os Estados vêm aprovando suas leis para o setor de recursos

hídricos. Os critérios para outorga e cobrança para captação de água e lançamento de efluentes estão, de forma geral, em fase de proposição, discussão e definição, enfatizando a importância do gerenciamento de recursos hídricos no desenvolvimento das atividades econômicas nacionais.

Segundo Brandão (2004), no Brasil a partir da década de 50, iniciou-se um processo de aceleração da industrialização. Para tanto havia a necessidade da expansão do parque gerador de energia elétrica. A opção pelo desenvolvimento da hidroeletricidade foi uma consequência da alta disponibilidade de potencial hidráulico próximo aos grandes centros de consumo. Foi a partir dessa época que se iniciou a construção de usinas de grande porte e conseqüentemente grandes reservatórios.

Hoje, devido à maior amplitude de usos e o atendimento a usos múltiplos, a política operacional de reservatórios requer uma confiabilidade maior. Somam-se, ainda, as necessidades de redução de riscos e maximização de lucros em mercados mais competitivos e com regulamentação apropriada. O planejamento da matriz energética e o gerenciamento de recursos hídricos balizam o crescimento de diversos setores da sociedade, tornando esta preocupação ainda maior.

O reservatório de Ibitinga é um dos cinco reservatórios que a empresa AES Tietê possui localizado no rio Tietê e posicionado em sequência, formando uma cascata de reservatórios. A utilização do rio Tietê para a geração de energia, navegação, irrigação e demais atividades, ressalta a importância do gerenciamento dos recursos hídricos das bacias, a fim de garantir a sustentabilidade dos diversos usos e do desenvolvimento da região.

A garantia do uso da água pelas gerações futuras depende do gerenciamento e do uso racional do recurso nos dias de hoje. Portanto, é necessário que os reservatórios de acumulação de água para fins múltiplos recebam atenção especial, com estudos de operação e de análise de conflitos, que cresçam juntamente com os avanços das técnicas de análise de sistemas.

O estudo realizado no reservatório da Usina Hidrelétrica de Ibitinga permitiu um melhor entendimento da dinâmica entre a disponibilidade e a oferta hídrica disponível na região. Após as análises também foi possível verificar que os resultados se aproximam dos dados apresentados pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Aplicar um modelo computacional que seja capaz de auxiliar a tomada futura de decisão diante das crescentes demandas hídricas relacionadas no Plano de Bacia da UGRHI-13 e das diferentes condições hidrológicas da área de estudo.

2.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar a situação atual de disponibilidade hídrica superficial para usos múltiplos da água correspondente à área de influência do reservatório da UHE Ibitinga e de seus principais tributários no trecho (Rio Jacaré-Pepira, Rio Jacaré-Guaçu e Rio Claro), bem como identificar e classificar os principais problemas hídricos relacionados à operação da usina.
- Realizar o balanço hídrico entre disponibilidade e demanda hídrica para o cenário atual e futuros em curto prazo (5 anos), médio prazo (25 anos) e longo prazo (50 anos), através de modelagem de rede de fluxo.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos

A palavra gestão vem sendo muito utilizada atualmente e quase sempre entendida como sinônimo de gerenciamento e administração. O gerenciamento é parte da gestão, é atividade administrativa envolvendo mais especificamente a execução e acompanhamento das ações. A gestão é mais abrangente, atuando no planejamento global a partir das vertentes políticas, econômica e social. Mas a gestão aplicada aos recursos hídricos ou às questões ambientais que se configura como a própria gestão pública é um processo bem mais amplo e complexo mesmo no campo teórico, exigindo legislação própria de difícil interpretação.

Quando passamos à prática, tais leis e princípios estão muito além da compreensão da grande maioria da população e principalmente da disposição em aceitá-las, tanto pela própria sociedade que se habituou à gratuidade e disponibilidade “infinita” desse recurso natural, como nas diversas instâncias governamentais, historicamente acostumadas com a administração centralizada (BARROS, 2000).

Dentre inúmeras preocupações, a demanda crescente pelo uso de recursos hídricos destaca-se como importante suporte da própria existência. A percepção do crescimento contínuo da população mundial, associado a um suprimento finito de água, conduz ao claro consenso de que sua utilização exige posicionamentos de longo prazo, visando implantar políticas racionais, que harmonizem desenvolvimento econômico e meio ambiente sustentável (BALARINE, 2000).

A implantação dessas políticas públicas deve levar em consideração àquilo que Lanna (1995) define como gestão ambiental:

“o processo de articulação das ações dos diferentes agentes sociais que interagem em um dado espaço, com vistas a garantir a adequação dos meios de exploração dos recursos ambiental-naturais, econômicos e sócio-culturais – às especificidades do meio ambiente, com base em princípios e diretrizes previamente acordados/definidos”.

Para Azevedo e Baltar (2000), o processo de gerenciamento de recursos hídricos para atendimento a essas demandas ocorreu de forma centralizada, fragmentada e orientada para interesses econômicos e específicos, com ênfase no setor de geração de energia elétrica e, em segundo momento, no abastecimento de água nos centros urbanos. Esse modelo contribuiu para uma distribuição desigual da infra-

estrutura de recursos hídricos no país, concentrando investimentos federais nas regiões sul e sudeste, onde era maior o desenvolvimento econômico.

O planejamento adequado e a gestão eficiente dos recursos hídricos compõem uma importante missão, pois estes são patrimônios públicos de insubstituível valor estratégico para o desenvolvimento social e econômico (COIMBRA, et al. 1999). A água deve ser reservada em quantidade adequada para a manutenção saudável dos ecossistemas, o que no planejamento e gerenciamento tradicionais são considerados satisfatórios. A legislação procura cada vez mais proteger as águas, estabelecendo padrões de vazão e qualidade, bem como alocar ao ambiente natural parte da água que antes era destinada a grandes projetos usuários (BRASIL, 2002b).

De acordo com a Agência Nacional de Águas (2007) a partir da promulgação da Constituição de 1988, o Brasil experimentou, no início dos anos 1990, uma grande dinâmica nos debates sobre a gestão de recursos hídricos; de um lado, motivados pelo advento de inúmeras legislações estaduais; por outro lado, pela tramitação e por respectivas consultas sociais promovidas pelos relatores da proposta de legislação nacional (Lei nº 9.433/97). Boa parte dessa dinâmica no setor de recursos hídricos decorreu da expectativa gerada pelos novos conceitos e instrumentos trazidos pela

legislação das águas, com potencial de superação dos limites inerentes a ações setoriais isoladas, conforme mencionado nos casos do saneamento e da própria gestão do meio ambiente, restrita aos instrumentos tradicionais de comando e controle.

O aumento populacional e a intensificação das atividades sócio-econômicas têm causado crescente utilização e degradação dos recursos hídricos, aumentando as restrições relativas à qualidade de água. Assim, programas que visam o aproveitamento de recursos hídricos devem considerar aspectos quantitativos e também aqueles relacionados com a qualidade de água (SALIM, 2004).

O planejamento e o gerenciamento de recursos hídricos são ferramentas essenciais para que se possa fazer uma gestão com boa qualidade e também para que se possa enquadrar a gestão de acordo com leis referentes a recursos hídricos existentes no País e no Estado de São Paulo. A gestão das águas é uma atividade voltada à formulação de princípios e diretrizes, ao preparo de documentos orientadores e normativos, à estruturação de sistemas gerenciais e à tomada de decisões que têm por objetivo final promover o inventário, o uso, o controle e a proteção das águas. Fazem parte dessa atividade os seguintes elementos: Política das Águas, Plano de Águas e Gerenciamento das Águas (LANNA, 1997).

A preocupação com a preservação dos recursos hídricos levou à necessidade de um sistema de gestão de recursos hídricos organizado, com o surgimento da Política Nacional dos Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/97), que se apresenta com enfoque integrado, participativo e descentralizado. Os instrumentos foram criados com o objetivo de organizar, planejar e unificar as políticas públicas, de modo que fossem aplicados integralmente em todo o território nacional.

Segundo Porto e Azevedo (1997), “qualquer coisa’ que ajude e/ou apóie uma tomada de decisão pode ser um SSD (Sistema de Suporte a Decisão), metodologia esta que vem sendo empregada com grande sucesso para enfrentar os problemas de tomada de decisão do planejamento e gerenciamento de recursos hídricos”.

De acordo com Margulis et al, (2002), “para a solução dos problemas de degradação e escassez de água, torna-se necessário à gestão dos recursos hídricos para o desenvolvimento de medidas que tratam da qualidade e da quantidade de água. Trata-se de algo óbvio do ponto de vista físico, visto que o fluxo de água, consumido ou redistribuído periodicamente pela irrigação ou pela energia hidrelétrica, afeta a capacidade de depuração dos rios e, também, os efeitos dos despejos de efluentes industriais ou urbanos potencializam e aceleram a má qualidade das águas”.

Do ponto de vista de Grigg (1996), “a gestão de recursos hídricos requer um sistema onde a escala de decisão e controle sejam integrados. É uma área da ciência rica em problemas e desafios. O grande número de variáveis envolvidas, a não-linearidade da dinâmica, a natureza estocástica dos fluxos e outras incertezas futuras dos recursos hídricos tornam a gestão uma tarefa difícil, mas indispensável. A complexidade aumenta ainda mais quando um objetivo é combinar múltiplos benefícios decorrentes do sistema de operação de reservatórios (geração de energia, irrigação, etc.) que freqüentemente competem ou até mesmo geram conflitos, juntamente com a redução natural de riscos (controle de inundação, por exemplo) e de encontro a requisitos ambientais”.

Ainda segundo Grigg (1996), a gestão de grandes sistemas de recursos hídricos, especialmente quando estes abrangem mais de uma bacia hidrográfica, suscita muitas vezes conflitos entre as autoridades ou organizações com interesses diversos (por exemplo, a água para as companhias de abastecimento, agricultura irrigada, etc.).

Segundo Mays e Tung (1996), o problema de planejamento e gestão dos diversos usos em sistemas de reservatório, mais freqüentemente mencionada como um controle ótimo do problema, tem sido e continua a ser objeto de extensas pesquisas.

A multiplicidade de modelos matemáticos baseados em sistemas de análises técnicas têm sido propostas nas últimas décadas oferecendo uma ampla gama de opções e soluções.

A maior parte dos pesquisadores agrupa essas análises técnicas em duas grandes categorias: métodos de otimização e simulação. Mays e Tung (1992) fizeram uma panorâmica exaustiva das típicas técnicas de otimização em análise de sistemas de recursos hídricos.

Devido ao aspecto estocástico dos sistemas de recursos hídricos, tais como métodos determinísticos de otimização linear e programação dinâmica (Loucks et al., 1981; ReVelle, 1999) os mesmos não pode fornecer soluções ótimas ou, mais precisamente, não pode estimar a confiabilidade dos soluções propostas.

3.2 Outorga de Recursos Hídricos

A outorga de direito dos recursos hídricos é um instrumento previsto tanto na Política Nacional dos Recursos Hídricos (Lei 9.433/97) quanto na Política Estadual de Recursos Hídricos (Lei 7.663/91) do Estado de São Paulo.

Sendo então a outorga um instrumento previsto em lei, cabe ao Poder Público, federal ou estadual, conceder esse direito de acordo com os devidos conhecimentos sobre a qualidade, a quantidade e o uso da água a ser outorgada.

Essencial à compatibilização harmônica entre os anseios da sociedade e as responsabilidades e deveres que devem ser exercidas pelo Poder concedente e que, no caso do Estado de São Paulo, cabe ao Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) o poder outorgante na área quantitativa, por intermédio do Decreto 41.258, de 31/10/96, de acordo com o artigo 7º das disposições transitórias da Lei 7.663/91.

De acordo com o DAEE a outorga pode ser uma autorização, concessão ou licença que o Poder Público concede a determinados usuários de água que a utilizam para os mais diversos usos, dentre eles, por exemplo, a captação de água para processo industrial ou irrigação, ao lançamento de efluentes industriais ou urbanos, ou ainda a construção de obras hidráulicas como barragens, canalizações de rios, execução de poços profundos, etc., cabendo aos usuários outorgados fazer o uso da água por determinado tempo, finalidade e condição expressa no respectivo ato.

Segundo Rodrigues (2005), o instrumento de gestão “outorga do uso da água” assegura o controle qualitativo e quantitativo dos usos da água e o efetivo exercício

dos direitos de acesso à água associada a uma garantia. Para tanto, se deve considerar o enquadramento em classes de uso e a vazão do corpo hídrico. A análise de concessão de outorga também considera o impacto do lançamento ou captação do corpo hídrico, diante do cenário real da bacia hidrográfica, e o atendimento às metas estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos Estaduais e Federais, sobretudo, para as prioridades de uso estabelecidas pelos Comitês e agências de águas.

A outorga é definida como “um instrumento de política previsto em lei, e um mecanismo que permite o conhecimento e o controle por parte do administrador público das quantidades de água utilizadas pelos usuários, residindo na capacidade de atenuar, ou mesmo eliminar, conflitos de uso, motivados pela escassez em Bacias Hidrográficas ou regiões hidrográficas” (CARRERA-FERNANDEZ, GARRIDO, 2002).

Cruz (2007) ressalta que a disponibilidade hídrica é a informação básica de apoio à decisão sobre a outorga de direito de uso de recursos hídricos.

A outorga não é um instrumento fácil de implantação e administração. Sua complexidade advém, de um lado, da própria natureza dos recursos hídricos, com seus usos e atributos múltiplos em um quadro de ocorrência estocástica e demandas

crecentes e, de outro, do contexto em que se insere seu gerenciamento, envolvendo interesses conflitantes e os mais distintos atores, desde os órgãos públicos gestores e entidades da sociedade civil, até os usuários finais. (AZEVEDO et al., 2003).

3.3 Sistemas de Suporte a Decisão

A tomada de decisões sobre os recursos hídricos deve contemplar os aspectos hidrológicos, hidráulicos, de qualidade da água, ambientais, econômicos, legais, políticos e sociais que são variáveis no tempo e passíveis de modificações constantes. Conforme a demanda de água cresce e, conseqüentemente, sua disponibilidade diminui, esse processo tende a se tornar cada vez mais complexo. Nas últimas décadas, a tecnologia de informação, associada à grande quantidade de modelos de simulação matemática, vem fazendo prosperar uma metodologia de auxílio à tomada de decisões baseada no apoio de modelos matemáticos e banco de dados, facilitando a interatividade entre o usuário e o computador. Essa metodologia é conhecida genericamente como sistema de Suporte a Decisão e vem sendo empregada em problemas complexos, como é o caso do gerenciamento de recursos hídricos (RIBEIRO e LANNA, 2002).

O gerenciamento dos recursos hídricos que era, até então, setorial - setor hidrelétrico, pesqueiro e de irrigação vem agora assumindo caráter integrado, envolvendo todos os componentes dos usos múltiplos e no nível de ecossistemas. A gestão destes recursos passa a ser abrangente, considerando todos os processos ecológicos e ambientais, econômicos e sociais, no nível de Bacia Hidrográfica (TUNDISI, 2000).

A gestão e alocação de água, entre os diferentes usos, envolvem uma séria disputa de interesse e, adversidades do ponto de vista políticos e sociais (LOUCKS et al., 1981). Os modelos computacionais aparecem como agentes facilitadores na identificação e avaliação de planos de gestão e seleção daquele que apresenta melhor desempenho quanto aos objetivos propostos. Integrando modelos matemáticos, sistemas de informação geográfica, bancos de dados e análise de sistemas, foram desenvolvidos os Sistemas de Suporte à Decisão. Estes sistemas permitem o envolvimento de maior número de variáveis e informações envolvidas na análise de alternativas de gestão de recursos hídricos.

Na escala territorial, as ferramentas e os métodos adequados são necessários para facilitar processos de tomada de decisão na gestão da água bem como para

prestar apoio nas negociações com usuários da água (BARRETEAU, 2003; ETIENNE, 2003).

Modelos de simulação, que avaliam impactos das atividades humanas sobre o ambiente natural, podem de forma eficiente e eficaz explorar o imenso potencial das tecnologias de sensoriamento remoto e SIG. Uma vez que todas as unidades básicas (água, solo e ar) em ambiente de modelagem têm uma distribuição espacial, que afeta os processos e as dinâmicas de interação significativa, o SIG tem muito a oferecer a modelagem ambiental (Fedra, 1993). O SIG torna-se uma ferramenta útil não apenas para gerir um grande banco de dados que inclui teledetecção de dados, mas também facilitar a extração espacial de diferentes parâmetros como entrada para modelos de simulação.

De acordo com Andreu (1996), os sistemas de suporte à decisão (SSDs) são basicamente constituídos por um espectro amplo de modelos matemáticos (simulação e otimização), base de dados, sistemas de informação geográfica e bases de conhecimentos. Os modelos são instalados no computador e controlados por uma única unidade de controle e manejado por meio de interfaces amigáveis com o usuário.

Segundo Froukh¹ (2001) apud Albertin (2004), a demanda de água para uso urbano depende de diferentes variáveis demográficas, sócio-econômicas, climáticas, etc. Com a finalidade de prever as necessidades futuras, ele se apoiou em um sistema de suporte à decisão que engloba os seguintes componentes: sistema de informação geográfica (SIG), sistema de gerenciamento de banco de dados, modelos matemáticos, dentre outros. Desta forma, analisou detalhadamente a quantidade de água que será consumida e medidas de conservação.

Os SSDs podem contribuir e facilitar a tomada de decisão em épocas de secas, nas quais aparecem conflitos pelo uso dos recursos, permitindo aos implicados avaliar os riscos assumidos no futuro como consequência das decisões de utilização da água. Além disso, os SSDs podem ser utilizados para o planejamento de políticas racionais de operação de sistemas de recursos hídricos.

Algumas características têm sido destacadas como importantes em um sistema de suporte a decisão tais como:

- (i) Assessorar o usuário na solução de problemas não-estruturados;

¹ FROUCKH, M. L. (2001). Decision-Support System for Domestic Water Demand Forecasting and Management. **Water Resources Management**, v. 15, n. 6, p. 363-382, December

- (ii) Responder, rápida e convenientemente, perguntas do tipo "o que acontece se", por meio de execuções múltiplas de um ou mais modelos;
- (iii) Apresentar uma interface adequada para comunicação usuário-máquina;
- (iv) Apoiar e aprimorar o julgamento humano e não tentar substituí-lo;
- (v) Permitir a incorporação de julgamentos subjetivos e de conhecimento de especialistas (PORTO; AZEVEDO, 1997).

Ainda de acordo com Porto e Azevedo (1997) um SSD pode ser estruturado da seguinte forma:

- Base de dados – composto por um sistema de informações geográficas onde as informações alimentam a Base de Modelos.
- Base de Modelos: contém os modelos utilizados no sistema para atendimento à solução do problema;
- Base de Conhecimentos: conhecimentos que implicam na experiência de especialistas, permitindo geralmente a incorporação de informações que não são passíveis de tratamento pelos módulos anteriores;

- Módulo de Diálogo: responsável pela comunicação do usuário com o computador.

Para garantir o bom planejamento e a gestão operacional de sistemas complexos de recursos hídricos, é essencial que as mais avançadas ferramentas disponíveis possam ser utilizadas (LOUCKS, 1992).

Essa crença é baseada, em primeiro lugar, no fato de que existem melhorias contínuas em tecnologia da informática, que tornam possível o desenvolvimento de um software que é muito mais amigável. Em segundo lugar, as novas gerações de técnicos e tomadores de decisão nas instituições relacionadas com a água tem tido alguns problemas relativos ao grau de aprendizado na educação em ciências da computação. Como resultado, eles não são relutantes em aceitar a ajuda que pode ser fornecida por um computador, além de conhecer as limitações. Na verdade, o conceito de sistemas de suporte à decisão (SSD) tem emergido como um ambiente concebido para ajudar os tomadores de decisão para responder a questões específicas, por facilitar a utilização de modelos e bases de dados em uma maneira interativa.

Nos últimos anos, muitos exemplos podem ser encontrados na literatura relativos à utilização de SSD em recursos hídricos, conforme pode ser observado nos

estudos de Labadie et al. (1989) ou Loucks e da Costa (1991), entre outros. Este trabalho apresenta o estado atual do AQUATOOL, um SSD generalizado desenvolvido na Universidad Politecnica de Valência (UPV), Valência, Espanha. Inicialmente, o SSD foi concebido para a fase de planejamento do processo de decisão em bacias hidrográficas compreendendo múltiplos reservatórios, aquíferos e outros. Mais tarde, o sistema foi expandido para incorporar módulos para a gestão operacional de fases da decisão.

O AQUATOOL é um projeto contínuo na UPV e, portanto, vem sendo continuamente atualizado e expandido. O valor deste SSD é demonstrado pelo fato de que ele está sendo usado por várias agências de Bacia na Espanha como uma ferramenta padrão não só para desenvolver os seus Planos de Bacia Hidrográfica, mas também para gerenciar seus recursos hídricos de forma eficaz, tanto no curto e médio prazos. O programa pode ser adaptado a vários sistemas de recursos hídricos com diversos objetivos e limitações, tais como usos consuntivos (irrigação, abastecimento de água) e usos não consuntivos (geração de energia, controle de armazenamento em reservatórios,).

Um exame da literatura hidrológica revela uma riqueza de avançadas técnicas de gestão (Mays e Tung, 1991). Por exemplo, a programação linear (Eschenbach et al., 2001), redes neurais artificiais (Sivakumar et al., 2002, Lambrakis et al. 2000) lógica fuzzy (Dubrovin et al., 2002; Shrestha et al., 1996), programação dinâmica (Foufoula-Georgiou e Kitandis, 1988), algoritmos genéticos (WARDLAW e SHARIF, 1999.)

3.4 Modelo de Otimização e Simulação

A gestão de recursos hídricos constitui um desafio do País neste início de década (Freitas, 2003). O aumento populacional e a intensificação das atividades sócio-econômicas têm causado crescente utilização e degradação dos recursos hídricos, aumentando as restrições relativas à qualidade de água. Assim, programas que visam o aproveitamento de recursos hídricos devem considerar aspectos quantitativos e também aqueles relacionados com a qualidade de água (Salim, 2004).

Segundo Azevedo (1997) e Yeh, (1985a) a simulação é uma técnica de modelagem utilizada para aproximar o comportamento de um sistema no computador, representando da melhor maneira possível as características desse sistema através do emprego de descrições matemáticas.

Roberto e Porto, (1999), apontaram que com o surgimento e o rápido desenvolvimento dos computadores, as dificuldades de cálculo que existiam na aplicação de modelos de simulação em recursos hídricos vêm sendo superadas. Os modelos de simulação atuais são extremamente flexíveis, detalhados e representam os sistemas em estudo com alto grau de fidelidade.

De acordo com Lima (2002), a simulação é considerada a técnica mais flexível utilizada em recursos hídricos, sendo essa uma das suas principais vantagens, pois permite que todas as características de um sistema sejam representadas por uma descrição matemática. Ainda como vantagem das técnicas de simulação está a possibilidade de ser aplicável a sistemas complexos e aceitar quaisquer equações de restrição. Apresenta como desvantagem o fato de não permitir aos usuários determinar a política ótima de operação; a melhor solução é encontrada iterativamente, processando diversas simulações alternativas e comparando seus desempenhos.

Ainda segundo Lima (2002) o objetivo da simulação é representar e operar um sistema de forma mais detalhada possível, bem como fornecer informações para avaliar seu comportamento real perante o que foi imposto.

Já as técnicas de otimização procuram, em princípio, identificar a solução que maximiza ou minimiza uma função objetivo que representa matematicamente, os objetivos de um sistema ordenando-os em relação a sua atratividade. Apresenta como principal desvantagem as simplificações necessárias na representação dos sistemas, o que pode afetar de forma significativa a solução encontrada.

A técnica de otimização é muito difundida na literatura para modelar sistemas de reservatórios. Hall et al. (1968) foram os pioneiros a usar programação dinâmica para um único reservatório destinado à geração de energia elétrica. O problema, cujo estágio era o intervalo de tempo de cálculo (janeiro de 1928 a dezembro de 1934), estava sujeito a restrições de quantidade de água turbinada e armazenada, sendo capaz de dar informações sobre o volume de água que deveria ser liberado para outros fins, total de energia gerado, retorno financeiro e situação final do reservatório.

A programação linear foi inicialmente aplicada no problema de planejamento de uma bacia hidrográfica em 1962 e, recentemente, (YEN; CHEN, 2001) testaram diferentes estratégias de alocação de água para prever oferta e demanda deste recurso em Taiwan no ano de 2011. O propósito foi maximizar os benefícios dos usos da água

e minimizar o custo a eles relativos, tendo como restrições equações de continuidade, vazão máxima e sanitária, capacidade dos reservatórios.

Devido a não-linearidade dos sistemas hidrelétricos e também porque a operação de reservatórios é naturalmente seqüencial (BRAGA et al 1991) apoiaram-se na programação dinâmica estocástica para maximizar a produção de energia em um sistema de reservatórios da Bacia do Baixo Tietê, Estado de São Paulo.

3.5 Sistemas de Informações Geográficas

Segundo Santos e Zeilhofer (2005), para manipular um volume de dados e considerar a heterogeneidade fisiográfica das bacias e espacialização das simulações, Sistemas de Informação Geográfica (SIG) se tornam ferramentas valiosas. SIG é uma tecnologia que permite manipular dados geográficos digitalmente. Dentre suas habilidades, permite o pré-processamento de dados, análises espaciais, modelagem e pós-processamento e visualização de resultados (GOODCHILD, 1993; BURROUGH & Mc- DONNELL, 1998), fornecendo uma visão integrada dos sistemas hídricos (McKINNEY & CAI, 2002).

Segundo Rosa (1990) o termo SIG é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações, não apenas

com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial; oferecem ao administrador (urbanista, planejador, engenheiro) uma visão de seu ambiente de trabalho, em que todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto estão ao seu alcance, inter-relacionadas com base no que lhes é fundamentalmente comum: a localização geográfica. Para que isto seja possível, a geometria e os atributos dos dados num SIG devem estar georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica.

De acordo com Simachaya (1999) podemos entender SIG como um sistema de hardware e *software* projetado que permite aos usuários colecionar, administrar, e analisar grandes volumes de dados providos de referencia e os mesmos associarem a atributos.

Segundo Caminiti² (2004) apud Ireson et al (2006) os modelos de simulação são ferramentas inestimáveis para a gestão dos recursos hídricos. Os modelos auxiliam administradores a compreender sistemas naturais, permitindo testar cenários, prever resultados de alto riscos e de altos custos ambientais, além de estabelecer prioridades.

² Caminti, J.E. (2004). Catchment Modelling – a Resource Manager’s Perspective. **Environmental Modelling and Software**. Article in press, available on line.

Estes todos são componentes essenciais do desenvolvimento regional e planos de ações associadas. Haverá sempre algum grau de incerteza, pois modelos são simplificações da realidade. Incertezas nos resultados do modelo podem aparecer devido à conceitualização dos processos modelados, da qualidade e quantidade de dados, restrições da tecnologia do modelo e suposições ou ações utilizadas nas simulações dos cenários.

O desenvolvimento de modelos hidrológicos distribuídos espacialmente melhorou os modelos de previsão de custos, porém requerem informações espaciais mais detalhadas.

De acordo com Pullar e Springer³ (2000) apud Ireson (2006) a incorporação de modelos que descrevem bacias de drenagem em sistemas de informação geográfica melhorou a racionalização dos dados de entrada e forneceu uma melhor interpretação da saída.

Segundo Burrough e McDonnell (1998) o SIG é uma ferramenta para o gerenciamento, que pode ser usado para pré processar informações e validar o uso em

³ Pullar, D.; Springer, D., (2000). Towards integrating GIS and catchment models. **Environmental Modelling and Software**. v. 15, p. 451–459.

ambientes modelos, sendo também uma interface que permita aos tomadores de decisões rapidamente modificar parâmetros e visualizar os resultados da simulação.

O nível de conexão entre um modelo de simulação e um SIG tem um impacto na facilidade de uso do sistema. Três níveis de integração foram identificados (PULLAR; SPRINGER, 2000 apud IRESOON (2006):

- Modelos com baixa conexão Os sistemas são separados e inter operados pelo usuário, trocando informações por arquivos de troca. Esta aproximação pode provar ser bem sucedida (por exemplo, CHOWDARY⁴ et al., (2003), JAIN⁵ et al., (2004) apud IRESOON (2006)..
- Modelos com forte conexão: Um sistema fornece uma interface de usuário para visualização e controle da aplicação, que pode ser construída de vários componentes de programas. Um SIG típico fornece

⁴ Chowdary; V. M., Raob; N. H., and Sarma; P. B. S. (2003) GIS-based decision support system for groundwater assessment in large irrigation project areas. **Agricultural Water Management**. v. 62, p. 229–252.

⁵ Jain; M. K., Kothiyari; U. C. and Ranga Raju; K. G. (2004). A GIS based distributed rainfall-runoff Model). **Journal of Hydrology**. v.299, p. 107–135.

uma interface compartilhada para executar e trocar dados para um programa de modelagem separado.

- Modelos completamente conectados: O modelo é embutido como um componente do aplicativo SIG que esta sendo utilizado. A Integração do SIG e de modelos de bacia hidrográfica fornece uma ferramenta de suporte integrado, definido como planejamento coordenado do solo, água e outros recursos ambientais.

Jain et al (2004) apud Ireson (2006) desenvolveu um processo orientado distribuído do escoamento superficial oriundo da precipitação atmosférica juntamente com SIG, para gerar dados de entrada em termos do uso do solo, declividade, tipo de solo e precipitação. Isto permitiu ao modelo dar suporte a heterogeneidade da bacia hidrográfica. O modelo foi capaz de prever o escoamento superficial devido a mudanças nas práticas do uso do solo dentro da bacia hidrográfica, de modo a tirar maiores vantagens e observações espaciais dos dados de entrada que foram requeridos.

As integrações entre SIG e modelos de simulação fornecem uma ferramenta de apoio à gestão, como partida tem o planejamento e uso do solo, água e outros

recursos ambientais, para uma utilização justa, eficaz e sustentável da bacia hidrográfica em escala (BATHCHELOR, 1999). Sendo assim, é de grande importância destacar a utilização integrada de modelos de simulação e SIG para a gestão de recursos hídricos e outros recursos naturais, para que se possa entender a dinâmica de forma simplificada dos modelos hidrológicos.

4 LOCAL DE ESTUDO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA UHE IBITINGA

4.1.1 Características Gerais

Como primeira etapa da pesquisa optou-se pela caracterização da usina hidrelétrica envolvida no estudo, representada pela UHE Ibitinga. Os dados foram obtidos junto à concessionária de energia AES Tietê.

No começo dos anos 50, um grupo de engenheiros do DAEE viajou para o Vale do Rio Tennessee, no sudeste dos Estados Unidos, e de lá trouxeram o conceito de aproveitamento múltiplo das águas. Com base nele, projetaram as hidrelétricas dos rios Tietê e Paraná e a grande via navegável que, une o baixo Paraná e o rio Paraguai.

No curso médio do Tietê, na cascata de seis centrais hidrelétrica, sobre uma falha geológica de rochas basálticas construiu-se o aproveitamento de Ibitinga, distante 345 Km em da foz do rio Tietê.

A palavra Ibitinga vem do Tupi Guarani que significa “Terra Branca”, onde IBI=Terra e TINGA=Branca. Suas obras civis tiveram início em 1.963.

À montante do aproveitamento afluem os rios Jacaré Pepira e Jacaré Guaçu com uma contribuição média de $100 \text{ m}^3/\text{s}$.

A Usina Hidrelétrica Ibitinga Figura 1 está localizada no médio curso do rio Tietê, , entre os municípios de Ibitinga (distante deste cerca de 22 Km) e Iacanga (distante deste cerca de 16 Km), onde a usina se encontra entre os quilômetros 406 e 407 da rodovia Cesário José de Castilho (SP-321).

À montante encontram-se as usinas Barra Bonita e Bariri e à jusante as Usina de Promissão, Nova Avanhandava e Três Irmãos, no mesmo rio.

Figura 1 – Vista da UHE Ibitinga

Fonte: www.aestiete.com.br

4.1.2 Características Técnicas

Ainda com relação à caracterização da UHE de Ibitinga procurou-se descrever detalhadamente todas as características técnicas (turbinas, geradores, órgãos de

descarga, dimensões e características da barragem, características da eclusa, relações cota X área X volume).

A Tabela 1 apresenta as características técnicas da UHE de Ibatinga.

Tabela 1 – Ficha Técnica da UHE Ibatinga

Localização		Rio Tietê
Coordenadas	Latitude	-21,75917
	Longitude	-48,99056
Início da Operação		24/4/1969
Dados Reservatório	Extensão da Barragem (m)	1519,75
	Área do Reservatório (Km ²)	114
	Cota Máxima Útil (m)	404
	Cota Mínima Útil (m)	403,5
Dados Vertedouro	Volume Útil de Água Acumulado (m ³)	56x10 ⁶
	Número de Comportas	10
	Altura da Queda D'Água (m)	21
Capacidade Instalada	Número de turbinas	3
	Tipo	Kaplan
	Potência por Unidade (MW)	43,83
	Queda Bruta (m)	21,45
Subestação Elevadora	Número de Circuitos	6
	Tensão Nominal (kV)	138
Eclusa	Capacidade	10 milhões ton/ano

Fonte: www.aestiete.com.br

Na Figura 2 está ilustrada a curva cotaXáreaXvolume do reservatório da UHE Ibatinga.

Figura 2 – Curva CotaXÁreaXVolume do reservatório de Ibitinga

Fonte: Convênio USP/Núcleo de Hidrometria – AES Tietê (2005)

4.2 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA UGRHI 13

4.2.1 *Aspectos Gerais Da BH-TJ*

A Bacia Hidrográfica do Rio Tietê-Jacaré (BH-TJ) foi definida como Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos-13 (UGRHI-13) pela Lei nº 9.034/94, de 27/12/1994, que dispôs sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo para o biênio 1994/95.

A UGRHI-13 ou BH-TJ, localizada na porção central do Estado de São Paulo Figura 3, é definida pelas bacias dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira pela margem direita e seus tributários, e pelo Rio Claro na margem esquerda além, além de porções de áreas drenadas diretamente para o Rio Tietê, no trecho situado entre a Usina Hidrelétrica de Ibitinga, a jusante, e a Usina de Barra Bonita, a montante. Ela faz limite a norte e oeste com a UGRHI Tietê/Batalha, a leste e sudeste limita-se com a UGRHI Piracicaba/Capivari/Jundiaí, a sul com as UGRHI Tietê/Sorocaba e Médio Paranapanema e a nordeste com a UGRHI Mogi-Guaçu.

Figura 3 – Localização da UGRHI-13

Fonte: Tundisi et al (2008)

A Bacia apresenta como principal via de acesso, a partir da Capital do Estado, a Rodovia Washington Luiz (SP-310), que tem início na altura do km 145 da Rodovia Anhanguera (SP-330) e que bordeja a área por nordeste, de leste para norte, passando pela cidade de Araraquara. Outros acessos importantes são: Rodovia Marechal Rondon que adentra a área da UGRHI-13 pelo extremo sul, no município de São Manuel e a malha viária SP-225 que cruza toda a extensão oeste-leste da Bacia, passando pelos municípios de Bauru, Pederneiras, Jaú, Brotas e Itirapina.

Dos 34 municípios pertencentes à BH-TJ, 16 estão totalmente inseridos dentro de sua área e 18 possuem parte de seus territórios em UGRHI adjacentes. Parte dos

territórios dos municípios de Analândia, Matão e São Pedro, com sede administrativa fora dos limites da UGRHI-13, estão inseridas dentro da Bacia como mostra a Figura

4.

Figura 4 – Municípios da BH-TJ

Fonte: CBH-TJ (IPT, 2007)

A UGRHI-13 foi dividida em sub-bacias, utilizando-se de critérios hidrológicos, e os seus limites foram definidos a partir dos divisores principais e das bacias de captação dos rios de maior porte. Também foram considerados outros aspectos dos meios físicos e sócio-econômico.

Segundo os dados da Minuta de nº 340/08 - Plano de Bacia do UGRHI 13 existe uma nova configuração de sub-bacias a ser adotada relativas à distribuição da demanda hídrica superficial. Os levantamentos das demandas hídricas superficiais tomaram como base os municípios da UGRHI-13 e as novas subdivisões fisiográficas estabelecidas entre as sub-bacias. Os nomes, áreas e porcentagens das sub-bacias em relação à bacia do Tietê Jacaré são as mesmas das apresentadas no Balanço Hídrico Subterrâneo. Da conjugação destes parâmetros, foram propostas 09 sub-bacias Figura 5, designadas com o nome do curso d'água principal ou com dois nomes das drenagens principais.

Figura 5 – Sub-bacias propostas para UGRHI-13

Fonte: Minuta 340/08 do Plano de Bacia de UGRHI-13

A Tabela 2 apresenta os números das sub-bacias, seus nomes, as respectivas áreas em km² e percentuais relativos à área total da UGRHI-13.

Tabela 2 – Números, nomes e áreas das sub-bacias propostas para a UGRHI-TJ

Número	SUB-BACIA NOVA DIVISÃO	ÁREA		
		km ²	% da UGRHI	
1	Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu e afluentes do Rio Tietê	4.183,47	35,4%	
1a	Trecho com afluentes diretos do Rio Tietê - jusante do Rio Jacaré-Guaçu	95,40	0,8%	
1b	Trecho com afluentes diretos do Rio Tietê - montante do Rio Jacaré-Guaçu	22,61	0,2%	
1c	Trecho do Rio Jacaré-Guaçu inundado	173,27	1,5%	
1d	Trecho do Rio Jacaré-Guaçu corrente	389,22	3,3%	
2	Sub-Bacia do Rio Jacaré-Pepira e afluentes diretos do Rio Tietê	2.670,28	22,6%	
2a	Trecho do Rio Jacaré-Pepira inundado	129,02	1,1%	
2b	Trecho com afluentes diretos do Rio Tietê - montante do Rio Jacaré-Pepira	75,17	0,6%	
2c	Trecho do Rio Jacaré-Pepira corrente	246,61	2,1%	
3	Sub-Bacia do Rio Jaú-Ribeirão da Ave Maria-Ribeirão do Sapé e afluentes diretos do Rio Tietê	1.527,61	12,9%	
4	Sub-Bacia do Rio Lençóis-Ribeirão dos Patos e afluentes diretos do Rio Tietê	1.436,61	12,2%	
5	Sub-Bacia do Rio Bauru-Ribeirão Grande-Ribeirão Pederneiras e afluentes diretos do Rio Tietê	826,80	7,0%	
6	Sub-Bacia do Rio Claro-Ribeirão Bonito-Ribeirão do Veado-Ribeirão da Água Limpa e afluentes diretos do Rio Tietê	1.159,10	9,8%	
TOTAL		11.803,87	100%	

Fonte: CBH-TJ 2008.

4.2.2 Aspectos quantitativos dos recursos hídricos

Os dados de demandas e ofertas de recursos hídricos bem como o cenário para oferta hídrica tendencial (CEST) foram obtidos a partir do Relatório Zero de 2000 e de Plano de Bacia da UGRHI-13 a partir da Minuta 304/08.

4.2.2.1 – Disponibilidade Hídrica da Bacia do Relatório Zero de 2000

Segundo o Relatório Zero de 2000 tendo em vista as dificuldades existentes para se dispor de informações a partir de medições diretas, o DAEE desenvolveu estudos para o Estado de São Paulo com o objetivo de permitir a avaliação da disponibilidade hídrica em qualquer curso de água, por meio da regionalização de parâmetros hidrológicos que permitam obter:

- vazão média de longo período;
- vazão mínima anual média para os intervalos de 1 a 6 meses consecutivos, associada à probabilidade de ocorrência;
- curva de permanência de vazões médias mensais;
- volume de armazenamento intra-anual, necessário para atender uma demanda associada a um risco, até o limite de 6 meses de estiagem;
- vazão mínima anual de 7 dias consecutivos associada a uma probabilidade de ocorrência.

Para o cálculo das vazões utilizaram-se as áreas totais das sub-bacias, excluindo-se apenas as suas áreas submersas. Ou seja, os dados obtidos incluem também aquelas porções de área drenadas por pequenos cursos d'água que se dirigem para reservatórios e apresentam pequena chance de serem aproveitadas, exceto nos próprios reservatórios.

Dos trabalhos realizados pode-se destacar que se faz necessário a realização de estudos de planejamento da rede hidrometeorológica da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré, tendo como objetivo principal a definição e proposição de uma rede otimizada para a medição das precipitações e do escoamento superficial na área da UGRHI-13, visando a adequação da rede

4.2.2.2 Uso Público

As demandas de água para o abastecimento público nos 34 municípios que compõem a UGRHI foram obtidas na Sabesp e nas Prefeituras Municipais, tendo como referência o mês de abril de 1999 segundo dados do Relatório Zero de 2000 do Plano de Bacia da UGRHI-13. A Tabela 3 resume as demandas totais cadastradas.

Tabela 3 – Demandas de água para abastecimento público

Manancial	Produção mensal (m ³)	Demanda (m ³ /s)	Porcentagem (%)
Superficial	5.165.707	1,993	39,8
Subterrâneo	7.813.457	3,014	60,2
TOTAL	12.979.164	5,007	100

Fonte: Minuta 340/08 do Plano de Bacia da UGRHI-13

A utilização de águas superficiais é realizada em 18 municípios, dos quais apenas Borebi, Itaju e Torrinha possuem exclusivamente captação superficial. O abastecimento exclusivamente por água subterrânea é realizado em 16 municípios. A Tabela 4 apresenta a relação de utilização de cada manancial e o número de poços ou captações por município da UGRHI.

Tabela 4 – Abastecimento publico nos municípios da UGRHI-13

Nº	Município Nome	Operação	Manancial (%)		Número de	
			Subterrâneo	Superficial	Poços	Captações
1	Agudos	Sabesp	100	0,0	12	0
2	Araraquara	DAAE	50	50	11	3
3	Arealva	Sabesp	100	0,0	3	0
4	Areiópolis	Sabesp	100	0,0	2	0
5	Bariri	SAEMBA	50	50	4	1
6	Barra Bonita	SAAE	100	0,0	10	0
7	Bauru	DAE	62,6	37,4	26	1
8	Boa Esperança do Sul	Prefeitura	100	0,0	8	0
9	Bocaina	Sabesp	98,3	1,7	2	1
10	Boracéia	Sabesp	100	0,0	1	0
11	Borebi	SAE	0	100	0	1
12	Brotas	DAE	10	90	3	2
13	Dois Córregos	SAAEDOCO	37	63	4	2
14	Dourado	Sabesp	100	0,0	3	0
15	Gavião Peixoto	Prefeitura	100	0,0	2	0
16	Iacanga	Prefeitura	100	0,0	6	0

N°	Município Nome	Operação	Manancial (%)		Número de	
			Subterrâneo	Superficial	Poços	Captação
17	Ibaté	DAE	100	0,0	4	0
18	Ibitinga	SAAE	90	10,0	9	1
19	Igarapu do Tietê	SAE	100	0,0	8	0
20	Itaju	Prefeitura	0	100,0	0	1
21	Itapuá	Prefeitura	70	30,0	5	2
22	Itirapina	DAE	99	1,0	4	1
23	Jaú	SAEMJA	15	85,0	7	4
24	Lençóis Paulista	SAAE	30	70,0	4	1
25	Macatuba	Sabesp	100	0,0	2	0
26	Mineiros do Tietê	SANECISTE	90	10,0	3	1
27	Nova Europa	Prefeitura	100	0,0	3	0
28	Pederneiras	Sabesp	100	0,0	8	0
29	Ribeirão Bonito	SAE	55	45,0	6	2
30	São Carlos	SAE	50	50,0	21	3
31	São Manuel	Sabesp	33,4	66,6	5	2
32	Tabatinga	Prefeitura	100	0,0	7	0
33	Torrinha	DAE	0	100,0	0	1
34	Trabiju	Prefeitura	100	0,0	2	0
Total			60,2	39,8	195	30

Fonte: Plano de Bacia da UGHRI-13.

O número de captações superficiais atualmente em funcionamento para o abastecimento público totaliza 30 pontos, com demanda total, calculada pela soma da vazão em cada ponto, em $2,257 \text{ m}^3/\text{s}$. Em relação à água subterrânea, foram identificados 195 poços em operação para o abastecimento público, totalizando a demanda de água de $3,087 \text{ m}^3/\text{s}$. Foi adotado o tempo de funcionamento de 20 horas por dia para os poços e de 24 horas por dia para as captações em que não foi possível

obter esta informação. Verifica-se que esta ausência de informações resulta em diferenças em relação à demanda total, calculada de acordo com a produção mensal dos municípios.

Outra forma importante de uso público dos recursos hídricos são os lançamentos de esgotos domésticos. Todos os municípios da UGRHI-13 possuem rede de coleta de esgotos, com pelo menos um ponto de lançamento. Os lançamentos em operação totalizam 132 pontos, com vazão total cadastrada de $1,553 \text{ m}^3/\text{s}$. Deve-se destacar, entretanto, que as vazões apresentadas referem-se aos valores cadastrados no banco de dados de lançamentos públicos do DAEE ou fornecidos pela Sabesp, compreendendo apenas 40 pontos (30%) do total identificado.

As vazões lançadas nos demais municípios foram estimadas multiplicando-se a população atendida pela rede de esgoto pelo consumo de água per capita e pelo fator de relação de 0,8. Para os municípios que não dispunham do consumo per capita foi adotado o valor médio calculado na UGRHI-13 de 230,9 L/habitante/dia. A vazão total estimada para os lançamentos resultou em $2,419 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.2.2.3 Uso Doméstico

Não foram identificadas captações superficiais para uso doméstico particular. Em relação ao uso das águas subterrâneas, foram identificados 111 poços equipados cadastrados no DAEE, resultando em demanda de $0,225 \text{ m}^3/\text{s}$.

Deve-se salientar, entretanto, que as vazões e períodos de funcionamento dos poços apresentados referem-se aos dados cadastrais, não sendo possível a identificação dos valores atualmente em uso. Para os poços que não apresentavam o tempo de funcionamento, foi adotado o período de 20 horas por dia.

A demanda apresentada provavelmente corresponde apenas a uma pequena parcela em relação aos dados reais, uma vez que não existe um cadastramento sistemático de todos os usuários atuais. Constata-se, portanto, que a disponibilidade de informações é ainda muito pequena, sendo possível inferir uma demanda real significativamente maior do que a cadastrada, embora a maioria dos poços para uso doméstico operem a baixas vazões e em regime curto de operação.

4.2.2.4 Uso Industrial

Foram identificadas 36 captações superficiais para uso industrial, 18 lançamentos e 54 poços na UGRHI-13. A Tabela 5 resume as demandas obtidas.

Cabe neste caso, as mesmas observações sobre a disponibilidade de informações e demandas reais destacadas no item sobre uso doméstico.

Tabela 5 – Demandas industriais cadastradas na UGRHI-13

Uso Industrial	Número de usuários	Vazões (m ³ /s)
Captações superficiais	36	6,813
Lançamentos	18	4,851
Poços	54	0,326
TOTAL	108	11,990

Fonte: Plano de Bacia da UGRHI-13

4.2.2.5 Uso na Irrigação

O total anual de chuvas na UGRHI-13, em torno de 1.355 mm por ano, é, à primeira vista, satisfatório para garantir a produção agrícola. No entanto, a precipitação pluvial durante os meses do ano não é uniforme. Nos meses de maio a setembro ocorre déficit hídrico acentuado para grande parte de culturas anuais e fruticultura e, durante a primavera/verão (meses mais propícios para o desenvolvimento de culturas), ocorrem veranicos (período de dias sem chuvas em meses mais chuvosos), que causam quebras nas safras, implicando em prejuízos para o agricultor e, indiretamente, para a população. Nestas condições justifica-se o uso da irrigação, que garante ao agricultor safras boas e seguras.

O cadastro de usuários de água para irrigação do DAEE apresenta o registro de apenas 10 captações superficiais, com vazão cadastrada de 0,218 m³/s. Apenas um

poço para uso em irrigação foi identificado na área da UGRHI, sem apresentar a demanda de água conforme apresenta a Tabela 6.

Tabela 6 – Resumo do cadastro do DAEE de usuários de água para irrigação

Uso na irrigação	Quantidade de usuários	Vazões (m ³ /s)
Captações superficiais	10	0,218
Lançamentos	0	0
Poços	1	0
TOTAL	11	0,218

Fonte: Plano de Bacia da UGHRI-13

Uma vez que a disponibilidade de informações no cadastro do DAEE é ainda muito pequena e desatualizada, esses valores provavelmente correspondem apenas a uma pequena parcela da demanda real para irrigação.

Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH (DAEE 1990), estimativas de consumo da água para irrigação por município podem ser calculadas de acordo com levantamentos de área irrigada, quantidade de irrigantes e tipos de irrigação, baseados no Censo Agropecuário quinquenal do IBGE. Embora esse trabalho saliente que os resultados têm sido questionados por técnicos do setor, foi utilizada esta metodologia para o cálculo preliminar das demandas estimadas, por ser a única alternativa com os dados disponíveis.

A área irrigada em cada município foi obtida no Censo Agropecuário de IBGE (1995/1996), sendo distribuídas de acordo com as sub-bacias, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Levantamento de áreas irrigadas			
SUB-BACIAS	Agricultura (km ²)		
	Sem irrigação	Com irrigação	TOTAL
1- Rio Tietê/Rio Claro	867,88	40	907,88
2- Rio Tietê/Rio Lençóis	1.211,14	149,03	1.360,17
3- Rio Bauru	186,94	3,97	190,91
4- Baixo Jacaré-Guaçu	877,33	12,11	889,44
5- Médio Jacaré-Guaçu	524,56	24,63	549,19
6- Alto Jacaré-Guaçu	320,2	24,15	344,35
7- Baixo/Médio Jacaré-Pepira	496	17,81	513,81
8- Alto Jacaré-Pepira	379,46	7,11	386,57
9- Rio Jaú	282,76	5,48	288,24
Total	5.146,27	284,29	5.430,56

Fonte: Censo Agropecuário – IBGE-95/96

Como resultado final do cálculo de vazões, obteve-se a demanda total de 9,30 m³/s de água para produção agrícola irrigada, sendo que as estimativas foram calculadas de acordo com as áreas irrigadas em cada município e por sub-bacia.

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos e as demandas cadastradas por sub-bacia, para comparação.

Tabela 8 – Comparação entre as demandas cadastradas e estimadas por sub-bacias

Sub-bacia	Número cadastrado		Demandas (m ³ /s)	
	Captações	Poços	Cadastradas	Estimadas
1- Rio Tietê/Rio Claro	0		0	1,31
2- Rio Tietê/Rio Lençóis	7		0,105	4,87
3- Rio Bauru	0		0	0,13
4- Baixo Jacaré-Guaçu	0		0	0,40
5- Médio Jacaré-Guaçu	1		0,0004	0,81
6- Alto Jacaré-Guaçu	1		0,0017	0,79
7- Baixo/Médio Jacaré-Pepira	1		0,0042	0,58
8- Alto Jacaré-Pepira	0	1	0	0,23
9- Rio Jaú	0		0	0,18
TOTAL	10	1	0,1113	9,30

Fonte: Plano de Bacia da UGRHI-13

Verifica-se que a demanda cadastrada corresponde a apenas 1% do total estimado para toda a UGRHI-13, confirmando-se a deficiência do cadastro de usuários obtidos no DAEE.

4.2.2.6 Cenários de Oferta Hídrica

Segundo a Minuta 340/08 do Plano de Bacia da UGRHI-13 os cenários de oferta hídrica adotados são denominados de “tendencial” (CCT) e “alternativo” (CCA), propostos inicialmente por Macedo (2005). Em síntese, ambos cenários incluem variabilidade climática de longo-prazo, com características distintas: o primeiro, com variabilidade moderada e o segundo com uma variabilidade de maior impacto.

Ainda para o Plano de Bacia, ambos os cenários foram consubstanciados com metodologia de regionalização hidrológica proposta pelo DAEE (1988), onde foi possível estimar as seguintes variáveis hidrológicas:

- (1) Vazão média de longo período (Q_{lp}),
- (2) Vazão mínima associada à permanência de vazões maiores em 95% de duração anual ($Q_{95\%}$), e
- (3) Vazão mínima anual média de 7 dias consecutivos com 10 anos de período de retorno estimada estatisticamente a partir de amostras de dados observados ($Q_{7,10}$).

4.2.2.6.1 Vazão média de longo período (Q_{lp})

Estudos realizados pelo DAEE (1988) verificaram que a descarga média pluri-anual, numa dada seção de um curso de água, pode ser obtida com boa aproximação, por meio de relação linear dessa vazão, denominada vazão média de longo período, com o total anual médio precipitado na bacia hidrográfica $\bar{P}$:

$$Q_{lp} = (-4,62 + 0,0098 \cdot \bar{P}) \cdot A \quad (1)$$

onde a e b são parâmetros da reta de regressão, $\bar{P}$ é a precipitação média anual [mm], A é a área [km²] da UGRHI-13 e Q_{lp} em [L/s].

4.2.2.6.2 Vazão mínima de “d” meses consecutivos ($Q(d.Tr)$)

Para obter a vazão mínima de “d” meses de duração associada à probabilidade de ocorrência em um ano qualquer, foram utilizadas as séries de vazões médias mensais observadas para derivação dos resultados.

A partir dessas séries observadas de vazões médias mensais o DAEE obteve séries de vazões mínimas anuais de vários meses consecutivos, para diferentes durações, para cada posto fluviométrico estudado, selecionando-se as vazões mínimas dessas durações para cada ano civil.

Essas novas séries foram padronizadas dividindo-se os valores originais da série pela média das vazões mínimas de cada duração. Assim, pode-se obter o valor da vazão de “d” meses de duração e probabilidade de ocorrência $1/T$ a partir da vazão média pluri-anual, com os parâmetros X_{Tr} , A e B regionalizados, por meio da equação:

$$Q_{d.Tr} = X_{Tr}(A + B \cdot d)Q_{lp} \quad (2)$$

sendo “d” [meses]. Para a UGHRI 13, e para uma probabilidade que corresponda a um tempo de retorno de 10 anos, o coeficiente é $X_{Tr} = 0,759$ e os coeficientes são $\hat{A} = 0,6141$, e $\hat{B} = 0,6141$, respectivamente.

4.2.2.6.3 Vazões mínimas da curva de permanência ($Q_p\%$)

A obtenção da curva de permanência de vazões numa seção é a resposta para a amplitude das vazões para os regimes hidrológicos, associada a frequência (ou número de vezes) que ela é excedida. Para que os resultados pudessem ser comparados, as séries originais foram padronizadas dividindo-se as vazões mensais pela média de longo período da série. Assim, a variável padronizada é definida pela seguinte equação: $Q_{p\%}$

$$Q_{p\%} = \frac{Q_{p\%}}{Q_{tp}} \quad (3)$$

Para a UGHRI-13 estes valores adimensionais variam conforme a probabilidade de excedência, sendo , $\hat{q}_{50\%} = 0,874$, $\hat{q}_{95\%} = 0,516$ e $\hat{q}_{100\%} = 0,429$., respectivamente.

4.2.2.6.4 Vazão mínima de sete dias consecutivos (Q_{7dias} , $Tr=10$)

A vazão mínima de sete dias consecutivos, quando analisada de forma adimensional, e conforme DAEE (2001) teve um comportamento similar as distribuições adimensionais para vazões mínimas de “d” meses consecutivos; portanto, pode-se utilizar o(s) mesmo(s) coeficientes estatísticos (X_{Tr}). No entanto, deve-se corrigir com um coeficiente empírico que relaciona as médias das mínimas de duração de sete dias e a média das mínimas anuais para duração de 1 mês (d=1), isto é:

$$C = \frac{\bar{Q}_{7dias}}{\bar{Q}_{1mes}} \quad (4)$$

chegando na expressão de:

$$\bar{Q}_{7dias,Tr=10anos} = X_{Tr}(A + B.1).C \quad (5)$$

sendo $\hat{C} = 0,85$ regionalizado para a UGHRI-13.

Na Tabela 9 aparece uma síntese dos coeficientes estimados a partir da regionalização de vazões para a UGHRI-13.

Tabela 9 – Variáveis e coeficientes de regionalização utilizados na sub-divisão de bacias para o Plano de Bacia da UGHRI-13

$A \text{ [km}^2\text{]}$	$P \text{ [mm]}$	$\hat{a}$	$\hat{b}$	$\hat{X}_{Tr=10}$	$\hat{A}$	$\hat{B}$	$\hat{q}_{50\%}$	$\hat{q}_{95\%}$	$\hat{q}_{100\%}$	$\hat{C}$
variável	variável	-4,62	0,0098	0,759	0,6141	0,0257	0,874	0,516	0,429	0,85

Fonte: Plano de Bacia da UGHRI-13

4.2.2.7 Demanda hídrica superficial cadastrada

Tendo em vista o grande número de rios e córregos que atendem o abastecimento das populações e rebanhos em vilas, povoados, sítios e fazendas, na zona rural dos municípios, faz com que a quantidade total de água superficial utilizada na UGRHI 13 seja difícil de estimar. Contudo, com a informação da estrutura do uso da água na UGRHI 13, uma estimativa geral pode ser obtida através de dados do órgão outorgante.

Os dados de setembro de 2007, do Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, mostram 677 pontos de captação superficial de água cadastrados na UGRHI 13.

Destes 677 pontos de captação superficial, 83 estão cadastrados sem coordenadas e 25 estão com suas coordenadas inconsistentes, ou seja, estão fora da área abrangida pela UGRHI 13.

O número de pontos de captação superficial de água, cadastrados pelo DAEE, com coordenadas inconsistentes é maior. Para este trabalho foram feitas correções para ajustar os dados que possivelmente foram digitados errados.

Dos 677 pontos de captação superficial citados, pelo DAEE, como estando na UGRHI 13, 310 possuem dados de vazão e 367 pontos de captação superficial estão cadastrados com vazão zero.

Dos pontos de captação superficial com dados de vazão (45,8%), a média geral de vazão é 415,6 m³/h, o que apresenta maior vazão registra 108.000,0 m³/h e o que possui menor vazão registra 0,3 m³/h.

A vazão total na UGRHI 13, contando pontos de captação superficial com coordenadas corretas, com coordenadas inconsistentes e sem coordenadas, é de 132.965,3 m³/h em uma área de 11.804 km².

Para os pontos de captação superficial com coordenada correta (após os dados corrigidos), a vazão total é de 132.102,7 m³/h para um total de 569 pontos de captação superficial. Destes 569 pontos de captação superficial, 256 (45,0%) apresentam dados de vazão e 313 (55,0%) estão sem dados de vazão.

Para os pontos de captação superficial com coordenadas inconsistentes, a vazão total é de 218,9 m³/h para um total de 25 pontos de captação superficial.

Destes 25 pontos de captação superficial, 13 (52,0%) apresentam dados de vazão e 12 (48,0%) estão sem dados de vazão.

Dos pontos de captação superficial, que apresentam dados de vazão, com as coordenadas inconsistentes, a vazão média é de 16,8 m³/h, o ponto de captação superficial com maior vazão registra 54,0 m³/h e o poço de menor vazão 0,5 m³/h.

Para os pontos de captação superficial sem coordenadas, a vazão total é de 643,7 m³/h para um total de 83 pontos de captação superficial.

Destes 83 pontos de captação superficial, 41 (49,4%) apresentam dados de vazão e 42 (50,6%) estão sem dados de vazão.

Dos pontos de captação superficial que apresentam dados de vazão, sem coordenadas, a vazão média é de 15,7 m³/h, o ponto de captação superficial com

maior vazão registra 150,0 m³/h e o ponto de captação superficial de menor vazão 1,0 m³/h. Os dados citados acima podem ser observados na Tabela 10.

Tabela 10 – Dados da captação de água superficial, por sub-bacia, na UGRHI 13

Nº	Sub-Bacia - Nova Divisão	Vazões (m ³ /s)		Número de Captações		Total	Pontos Com Vazão %
		Vazão total	Vazão média	Com dados de vazão	Sem dados de vazão		
1	Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu e afluentes do Rio Tietê	131286	776,8	169	72	241	70,1%
1a	Trecho com afluentes diretos do Rio Tietê - jusante	3	3	1	0	1	100,0%
1b	Trecho com afluentes diretos do Rio Tietê - montante	-	-	-	2	2	
1c	Trecho do Rio Jacaré-Guaçu inundado	13	6,5	2	3	5	40,0%
1d	Trecho do Rio Jacaré-Guaçu corrente	131270	790,8	166	67	233	71,2%
2	Sub-Bacia do Rio Jacaré-Pepira	204,4	57,2	37	91	128	28,9%
2a	Trecho do Rio Jacaré-Pepira inundado	*	*	*	*	*	
2b	Trecho com afluentes diretos do Rio Tietê	152,8	450	3	6	9	33,3%
2c	Trecho do Rio Jacaré-Pepira corrente	51,6	620	34	85	119	28,6%
3	Sub-Bacia do Rio Jaú	444,9	6250	19	60	79	24,1%
4	Sub-Bacia do Rio Lençóis	57,2	354	17	48	65	26,2%
5	Sub-Bacia do Rio Bauru	48,6	400	7	30	37	18,9%
6	Sub-Bacia do Rio Claro	61,6	239	7	12	19	36,8%
	Captação na UGRHI 13 com Coordenadas Consistidas	132103	482,4	256	313	569	45,0%
	Captação na UGRHI 13 com Coordenadas Inconsistentes	218,9	16,8	13	12	25	52,0%
	Captação na UGRHI 13 sem Coordenadas	643,7	15,7	41	42	83	49,4%
Total na UGRHI 13 - Captação Superficial		132965	415,6	310	367	677	45,8%

Fonte: Plano de Bacia da UGRHI-13.

Foram analisados dois cenários sócio-econômicos quantitativos de referencia para as demandas: o Cenário Sócio-Econômico Tendencial (CSET) e o Cenário Sócio-Econômico Alternativo (CSEA).

Segundo Macedo (2005), o Cenário Tendencial (CSET) é definido como sendo aquele em que se supõe que não ocorrerão mudanças substanciais nos padrões históricos de evolução das variáveis socioeconômicas e dos parâmetros tecnológicos intervenientes ao uso da água, portanto trabalhado como cenário padrão.

Por outro lado, o Cenário Alternativo (CSEA) é definido como sendo aquele em que os padrões históricos de evolução das variáveis sócio-econômicas e dos parâmetros tecnológicos, intervenientes no uso da água, das sub-bacias do Tietê-Jacaré, podem ser alterados para projeções futuras.

Para a construção desses cenários quantitativos toma-se como base os valores, das variáveis sócio-econômicas e dos parâmetros tecnológicos supracitados, os últimos registros dos órgãos públicos gestores e instituições de coleta e tratamento de dados estatísticos.

Para elaboração desta pesquisa utilizou apenas os dados do Cenário Sócio-econômico Tendencial apresentado pelo Plano de Bacia da UGRHI-13.

4.2.2.7.1 Cenário Sócio-econômico Tendencial

Para o CSET, supõe-se que as projeções de mudanças regionais nas estruturas social, econômica, institucional e cultural, causadas pelo fenômeno macro-econômico da globalização, não terão efeitos significativos sobre os padrões históricos de evolução das variáveis e dos parâmetros tecnológicos aqui estudados. Portanto, este cenário sócio-econômico é um cenário de desenvolvimento eminentemente regional.

Para o Cenário CSET, as tendências históricas, levantadas nas fontes de dados do Relatório Zero de 2000 de evolução destas variáveis se perpetuam para as projeções futuras dos anos horizonte de 2010, 2025 e 2050. A construção dos cenários tendenciais é feita em duas etapas: estudos prospectivos das variáveis e parâmetros mencionados e projeção destes para os anos horizonte supracitados.

Na etapa de estudos prospectivos, os registros históricos, de evolução das variáveis sócio-econômicas e dos parâmetros tecnológicos de interesse, das sub-bacias do Tietê-Jacaré, foram coletados em publicações de órgãos gestores públicos e instituições de coleta e tratamento de dados estatísticos. A estes dados foram ajustadas curvas polinomiais de tendência pelo método dos mínimos quadrados.

Na etapa de projeção são usadas curvas polinomiais de tendência, ajustadas na etapa dos estudos prospectivos, para a extrapolação dos valores, das variáveis

sócioeconômicas, para os anos horizonte de 2010, 2025 e 2050. Em cada sub-bacia são construídos cenários tendenciais para os anos horizonte mencionados.

Observa-se que o cenário CSET é uma conjectura de desenvolvimento eminentemente regional, uma vez que se supõe que as atividades econômicas irão crescer às mesmas taxas projetadas de crescimento das populações humanas. Esta suposição é necessária uma vez que não foram encontrados registros consistentes da evolução dos setores produtivos da região ora em estudo.

4.2.2.7.2 Demandas Hídricas Setoriais

Os estudos setoriais de usos da água são realizados para os setores usuários da indústria, lançamento de efluentes industriais, irrigação, pecuária, abastecimento público, lançamento de efluentes domésticos e geração de energia hidroelétrica. Foram realizados para a primeira sub-divisão de sub-bacias (nove) e refeitos para a nova sub-divisão proposta no Plano de Bacia (seis) que compõem a UGRHI 13 do Tietê-Jacaré. As demandas do cenário CSET são quantificadas com auxílio do modelo setorial de demandas MDSA (Macedo, 2005), cujas variáveis aparecem no Quadro 1.

Esses estudos dividem-se em duas etapas. A primeira etapa é a dos estudos prospectivos da evolução dos fatores intervenientes nos usos da água. A segunda

etapa é a da projeção destes fatores intervenientes, para os anos horizonte de 2010, 2025 e 2050, segundo as narrativas do CEST.

Uma vez que toda a simulação do balanço hídrico foi efetuada em escala espacial de sub-bacia e para efeito de avaliação dos conflitos de demanda por água, entre setores usuários concorrentes e sub-bacias dispostas ao longo de um mesmo curso d'água principal, os resultados das demandas hídricas, tanto por captação como pelo lançamento de efluentes, foram agrupados de forma concentrada por sub-bacia. Essa admissão, proposta por Macêdo (2005), é satisfatória para uma fase inicial do Plano de Bacia em termos de avaliação de oferta e demanda para auxiliar o planejamento de cada sub-bacia.

Setor	Variáveis do modelo
Abastecimento Público	X ₁ : População Urbana e Rural
	X ₂ : Eficiência do Sistema de Captação e Distribuição
	X ₃ : Consumos per-Cápita das Populações Urbanas e Rurais
	X ₄ : População Conectada ao Sistema de Abastecimento
	X ₅ : População não-Conectada ao Sistema de Abastecimento
Diluição de Efluentes Domésticos	X ₆ : Fator de Correlação entre Consumo d'Água Potável e Lançamento de Águas Servidas
	X ₇ : Percentual da População Atendida pela Rede de Coleta de Esgotos
Diluição de Efluentes Domésticos	X ₈ : Percentual do Esgoto Coletado que é Tratado
	X ₉ : Carga Orgânica Potencial do Esgoto Sanitário não Tratado
	X ₁₀ : Eficiência Média dos Processos de Tratamento de Esgotos
	X ₁₁ : Comprimentos dos corpos fluviais receptores de efluentes domésticos
Irrigação	X ₁₂ : Áreas Irrigadas
	X ₁₃ : Consumo Intensivo de Água das Áreas Irrigadas
	X ₁₄ : Sazonalidade da Atividade da Irrigação
Pecuária	X ₁₅ : Espécies de Rebanhos
	X ₁₆ : População dos Rebanhos
	X ₁₇ : Consumo (per-cápita do rebanho)
Indústria e Diluição de Efluentes Industriais	X ₁₈ : Tipos de Indústrias
	X ₁₉ : Produção Industrial
	X ₂₀ : Consumo Intensivo da Produção Industrial
	X ₂₁ : Fator de Correlação entre Consumo d'Água Potável e Lançamento de Águas Servidas
	X ₂₂ : Carga Orgânica Potencial do Efluente Industrial
	X ₂₃ : Remanescente Orgânico após o Tratamento

Quadro 1 – Modelo Setorial de Recursos Hídricos e Variáveis Sócio-Econômicas e Parâmetros Tecnológicos para Estimativas de Demanda Hídrica. (Macedo 2005.)

Uma vez que a distribuição espacial dos municípios não concorda com os limites das sub-bacias do Tietê-Jacaré e em decorrência da adoção da escala espacial

citada anteriormente, o critério adotado para o agrupamento por sub-bacia, das variáveis sócio-econômicas, parâmetros tecnológicos e resultados de projeções de demanda por água, foi o da localização geográfica das sedes municipais.

4.2.2.7.2.1 Abastecimento Público

Os estudos prospectivos de evolução histórica das populações urbanas e rurais, das sub-bacias que compõem a bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré, são feitos com base nos dados no censo demográfico do IBGE (2000), do relatório do CBH-TJ (2000) e do relatório estatístico do SEADE (1998). Todos os dados apurados de evolução das populações urbanas e rurais dos municípios que compõe a UGRHI do Tietê-Jacaré, para os anos de 1970, 1980, 1991, 1996 e 2000 são compilados por Macedo (2005) e adaptados neste relatório para a nova sub-divisão de sub-bacias.

Com relação às parcelas das populações que se utilizam ou não da rede pública de abastecimento são feitas duas suposições. A primeira de que todas as populações urbanas estariam conectadas à rede pública de abastecimento. A segunda de que todas as populações rurais não estariam conectadas a rede pública de abastecimento.

Com relação ao consumo per capita, das populações conectadas à rede pública de abastecimento, foram adotados os valores apurados pelo CBH-TJ (2000) em cada município. Para os municípios sem dados de consumo per capita associou-se o valor

de 230,9 L/hab/dia, correspondente à média dos consumos per capita dos municípios com tais registros.

Para as populações rurais, não conectadas à rede pública de abastecimento, adotou-se como suposição de consumo per capita o valor de 100 L/hab/dia. Embora a Organização Mundial da Saúde (OMS) recomende um consumo per capita mínimo de 50 L/hab/dia para as populações rurais (MACEDO, 2005), a percepção é de que o padrão de vida das comunidades rurais, da região ora em estudo, é mais elevado, tendo como consequência um maior consumo.

Para a eficiência dos sistemas de captação e distribuição d'água, adotaram-se os valores de perdas apurados pelo CBH-TJ (2000) em cada um dos municípios estudados. Para aqueles municípios sem dados, ou estimativas de perdas, dos sistemas de distribuição, associou-se o valor de 35%, equivalente à média dos municípios com dados.

A Tabela 11 apresenta a população estimada para efeitos de estimativas de demandas hídricas.

Tabela 11 – População estimada para cenários de plano de bacia (em habitantes)

Sub-bacia	Cenário Tendencial (CSET)		
	2010	2025	2050
1	620.604	757.723	987.274
2	68.402	106.893	201.416
3	279.208	361.357	524.365
4	77.634	94.179	120.073
5	475.112	596.053	806.236
6	22.706	28.415	40.248
Total UGRHI - 13	1.543.666	1.944.620	2.679.612

Fonte: Plano de Bacia da UGHRI-13

4.2.2.7.2.2 Cálculo de Demanda de Abastecimento Doméstico

Para a projeção das demandas futuras por água para o abastecimento público, segundo as narrativas do cenário CSET, para os anos horizonte de 2010, 2025 e 2050, é executada a seqüência de passos dos parágrafos subsequentes. Para o cenário CSET admite-se que o padrão de evolução do crescimento populacional futuro será igual ao padrão histórico. Para isto foram somados os dados populacionais urbanos e rurais, dos municípios componentes de suas respectivas sub-bacias, em cada ano recenseado pelo IBGE, e então ajustadas curvas polinomiais de tendência, pelo método dos mínimos quadrados, a estas seqüências de dados históricos.

A partir dos dados do ano base de 2000, foram projetadas, para os anos horizonte de 2010, 2025 e 2050, os tamanhos das populações urbanas e rurais, das respectivas sub-bacias.

No cenário CSET, tendencial, as taxas médias de crescimento populacional anual, entre as sub-bacias, variaram para cada período sendo de 2,18%, 1,92% e 1,58% para os períodos 2000-2010, 2010-2025 e 2025-2050, respectivamente. Para o cenário CSEA, alternativo, as taxas de crescimento anual da população para todas as sub-bacias são de 1,31%, 0,98% e 0,40%.

O cálculo das projeções de demanda bruta por água foi feito segundo os dados projetados das populações dos municípios e dos respectivos consumos per capita e eficiências dos sistemas de captação e distribuição d'água. Define-se demanda bruta por água o volume captado no manancial considerando as perdas dos sistemas de captação e distribuição. O cálculo da demanda bruta diária por água, para as populações urbanas, foi feito de acordo com a seguinte equação:

$$Durb = ((Purb \cdot CPCurb) (1-Perdas)^{-1}) / 1000 \quad (6)$$

onde $Durb$ é a demanda bruta diária por água pela população urbana (m^3 /dia), $Purb$: população urbana, $CPCurb$: consumo per-cápita da população urbana (L/hab/dia),

Perdas: perdas, no sistema de captação e distribuição (%). O cálculo da demanda bruta diária por água, para as populações rurais, foi feito de acordo com a seguinte equação:

$$Drur = (Prur \cdot CPCrur)/1000 \quad (7)$$

na qual *Drur* é a demanda bruta diária por água pela população rural (m³/dia), *Prur*: população rural, *CPCrur*: consumo per-cápita da população rural (L/hab/dia). Os parâmetros tecnológicos, como o consumo per-cápita e a eficiência dos sistemas de captação e distribuição de água, intervenientes à demanda por água para o abastecimento público, permanecerão os mesmos daqueles registrados nos estudos prospectivos.

4.2.2.7.2.3 Diluição de Efluentes Domésticos

Define-se a diluição de efluentes domésticos como sendo uma demanda por água em termos da vazão alocada, num corpo d'água fluvial, para a diluição das cargas poluidoras das águas servidas provenientes do abastecimento público. Também pode-se interpretar a vazão alocada para a diluição dos efluentes domésticos como sendo a vazão indisponível para outros usos (KELMAN, 1997). O cálculo da demanda

para a diluição de efluentes domésticos foi feito em termos das estimativas de concentração da demanda biológica de oxigênio de 5 dias (DBO_5).

Uma vez que a quantidade de efluentes domésticos é uma função direta da quantidade de água para o abastecimento público, são levados em consideração, para este setor usuário, todos os dados prospectivos apurados para o abastecimento público.

Portanto, os estudos prospectivos, para a estimativa de demanda por água para a diluição de efluentes domésticos, analisaram das variáveis sócio-econômicas e parâmetros tecnológicos para os setores do abastecimento público e diluição de efluentes domésticos.

Para o fator de correlação entre o volume d'água potável consumido e o volume de águas servidas lançadas nos corpos d'água superficiais adotou-se o valor médio teórico de 80% segundo recomendações de Von Sperling (1995).

Para o percentual da população, conectada à rede pública de abastecimento, que tem seus esgotos coletados e tratados utilizam-se os valores apurados pelo CBH-TJ (2000).

Para a carga orgânica potencial per-cápita do esgoto sanitário não tratado, usou-se o valor teórico médio de 54 g DBO_5 hab/dia, segundo recomendações de Von Sperling (1995).

Para a eficiência dos processos de tratamento de esgotos se supôs um nível de tratamento secundário, segundo a classificação de Sperling (1995), com um valor médio de 80% na remoção da carga orgânica, com algum tipo de tratamento de esgotos, segundo informações do CBH-TJ (2000).

Baseado em informações do relatório do CRH (1999), supôs-se que, em média, os corpos d'água fluviais, receptores dos esgotos domésticos, têm uma concentração mínima de 4,0 mg/L de oxigênio dissolvido e uma concentração máxima de 10 mg/L de DBO_5 no corpo d'água receptor.

Os comprimentos dos corpos fluviais receptores de efluentes domésticos, são levantados a partir da base cartográfica, da UGRHI do Tietê-Jacaré, elaborada pelo CBH-TJ (2000).

As projeções de demanda por água, para a diluição de efluentes domésticos, segundo as narrativas dos cenários CSEA e CSET têm diferenças com respeito ao padrão de evolução das populações e aos respectivos consumos de água para o

abastecimento público. Uma vez que o volume de efluentes é diretamente proporcional ao volume de água para o abastecimento público, a demanda por recursos hídricos para a diluição de efluentes domésticos será diferente para cada cenário.

O cálculo das projeções de demanda por água, alocada nas correntes fluviais receptoras, em termos de vazão, para a diluição dos esgotos domésticos lançados, é feito segundo os dados projetados das populações urbanas e respectivos componentes tecnológicos listados no Quadro 1. Observa-se que este cálculo foi feito em termos da DBO_5 e somente para as populações urbanas, uma vez que, supõe-se no modelo, as populações rurais não têm seus efluentes coletados pelo sistema público de esgotamento sanitário nem lançados nos corpos fluviais.

O cálculo da estimativa da demanda por água para a diluição de efluentes domésticos é uma tarefa difícil uma vez que esta demanda não é consuntiva, ou seja, o recurso hídrico para atender esta demanda é alocado temporariamente. Esta suposição se deve ao fato de que o corpo fluvial, receptor da carga poluidora, consegue assimilar esta carga ao longo do tempo, ou ao longo do seu percurso de escoamento, através de processos de autodepuração, recuperando o seu poder de diluição, ou vazão alocável, de novos efluentes.

4.2.2.7.2.4 Cálculo de demandas por diluição de esgotos domésticos

A vazão disponível para outros usos é a diferença entre a vazão do curso d'água e a vazão alocada para a diluição dos efluentes domésticos, na forma $Q_{dis}(x,t) = Q_{rio}(x,t) - Q_{diluição}$, sendo x: distância ao longo do curso d'água e t: tempo. Esta vazão $Q_{dis}(x,t)$ varia ao longo do curso d'água e depende da depleção de oxigênio dissolvido conforme a degradação bacteriana que assimila cargas orgânicas lançadas no corpo fluvial (SPERLING, 1995).

Para o cálculo da vazão alocada para diluir efluentes de águas servidas, em escala concentrada por sub-bacia, supõe-se:

(1) o montante lançado de cargas é distribuído ao longo do total de comprimentos de cursos d'água da sub-bacia; através da divisão da vazão total dos esgotos e da carga poluidora total, produzida na sub-bacia, pelo número e pontos de lançamentos dessa sub-bacia, estimado com base do CBH-TJ (2000), na forma:

$$Q_{EFLUENTE, j} = Q_{TOTAL.EFLUENTES} \cdot N_{PONTOS}^{-1} \quad (8)$$

$$DBO_{5 EFLUENTE, j} = DBO_{5 TOTAL} \quad (9)$$

$$Q_{TOTAL.EFLUENTES} = ((P_{urb} \cdot CPC_{urb} \cdot R) / 1000) \cdot PEC \quad (10)$$

$$CDBO_{5 dom} = (PCDBO_{5} \cdot P_{urb}) / NPONTOS \quad (11)$$

$$DBO_5 \text{ TOTAL} = (CDBO_5 \text{ dom} / Q_{\text{esg.dom.}}) \cdot (1 - (E/100)^{\text{PECT}}),$$

sendo j: indicador do ponto de lançamento do efluente doméstico; $Q_{\text{EFLUENTE},j}$: vazão

do efluente lançado no j-éssimo ponto (m^3/s); $DBO_{5 \text{ EFLUENTE},j}$: concentração de DBO5

do efluente lançado no j-éssimo ponto (mg/L); $Q_{\text{TOTAL.EFLUENTES}}$: vazão total dos

efluentes domésticos na sub-bacia em análise (m^3/s); $DBO_{5 \text{ TOTAL}}$: concentração de

DBO_5 de todos os efluentes lançados na sub-bacia; N_{PONTOS} : número de pontos de

lançamento de efluentes na sub-bacia em análise; P_{urb} : população urbana; CPC_{urb} :

consumo per-capita de água da população urbana (L/hab/dia); R : fator de correlação

entre consumo d'água potável e lançamento de águas servidas; PEC : percentual dos

esgotos domésticos que são coletados; $CDBO_5 \text{ dom}$: carga doméstica de DBO5

(g/dia); $PCDBO_5$: carga doméstica per-capita de DBO5 (g/hab/dia); E : eficiência

média dos processos de tratamento de esgotos; $PECT$: percentual do esgoto coletado

que é tratado;

(2) todos os pontos de lançamentos estão uniformemente distribuídos ao longo do

comprimento do curso d'água equivalente da sub-bacia. Esta hipótese é relevante

para a UGRHI 13, para considerar os efeitos de autodepuração e recuperação da

vazão disponível para outros usos, ao longo dos cursos d'água e o efeito cumulativo das vazões alocadas para a diluição de efluentes. O cálculo da vazão demandada $Q_{DIL,J}$, do corpo fluvial receptor, para a diluição dos efluentes domésticos, no ponto de lançamento do efluente, foi feito através da seguinte equação de diluição obtida do manual do SIAGUA (SRH/MMA, 2000) e de KELMAN (1997):

$$Q_{DIL,J} = Q_{EFLUENTE,J} \cdot \left(\frac{DBO_{5,EFLUENTE,J}}{DBO_{5,MIST,J}} - \frac{DBO_{5,MIST,J}}{DBO_{5,RIO}} \right)^{-1} \quad (12)$$

sendo $Q_{DIL,J}$: vazão de diluição do efluente alocada no corpo d'água fluvial receptor no

ponto de lançamento j do efluente ($m^3 s^{-1}$); $Q_{EFLUENTE,J}$: vazão do efluentes lançado no

ponto "j" (m^3/s); $DBO_{5,EFLUENTE,J}$: concentração de DBO_5 do efluente lançado no ponto

"j" (mg/L); $DBO_{5,MIST,J}$: concentração de DBO_5 da mistura no ponto de lançamento

"j" (mg/L); $DBO_{5,RIO}$: concentração de DBO_5 do curso d'água antes do lançamento da

carga poluidora (mg/L). Cabe ressaltar que a vazão de diluição $Q_{DIL,J}$ somada com a

vazão de lançamento $Q_{EFLUENTE,J}$ resulta numa vazão indisponível $Q_{IND,J}$, para qualquer

outro uso, no ponto de lançamento do efluente;

$$Q_{IND,J} = Q_{DIL,J} + Q_{EFLUENTE,J} \quad (13)$$

O cálculo da vazão indisponível ($Q_{\text{IND.J+1}}$), do corpo fluvial receptor, para a diluição de novas cargas de DBO5 e qualquer outro uso, no ponto de lançamento de jusante, foi feito através da seguinte equação obtida do manual do SIAGUA (SRH/MMA, 2000) e de KELMAN (1997):

$$Q_{\text{IND.J+1}} = Q_{\text{IND.J}} e^{-K \cdot T} + \text{de lançamento N+1 do efluente (m}^3/\text{s)}, Q_{\text{EFLUENTE.J+1}} : \text{vazão do}$$

efluentes lançado no ponto N+1 (m^3/s), K: coeficiente de desoxigenação (dia^{-1}), T:

tempo de percurso (dias) de um ponto de lançamento ao outro, $VMÉDIA$:

Velocidade média dos cursos d'água da sub-bacia em análise (m/s), $DTOTAL$:

Distância entre dois pontos de lançamento de efluentes (m).

Normalmente, há uma seqüência de pontos de lançamento de efluentes ao longo do comprimento total de cursos d'água na bacia, podendo ocorrer uma sobreposição de vazões indisponíveis para outros usos. O objetivo então é avaliar esta sobreposição de vazões, em cada ponto de lançamento, e determinar, então, a máxima vazão acumulada indisponível na sub-bacia (MACÊDO, 2005). É este valor máximo, da vazão indisponível acumulada, que é definido como sendo a demanda para a diluição de efluentes na sub-bacia em análise. Os parâmetros tecnológicos, intervenientes à demanda por água para a diluição de efluentes domésticos,

permanecem constantes, daqueles registrados nos estudos prospectivos, para as estimativas futuras.

É importante salientar que para a demanda de diluição de esgotos na UGRHI 13 recebem os esgotos pluviais aos esgotos domésticos, em virtude de não existir plantas de pré-tratamento dos esgotos pluviais. Existem cargas expressivas de poluição difusa e de sólidos em suspensão acarretados no período de chuvas intensas e por um escasso ordenamento territorial de fiscalização das áreas ribeirinhas. Esse quadro tem alta incerteza quantitativa. No entanto, quando observado o mapa de uso e ocupação do solo ao longo dos cursos de água, é evidente que entre 60 e 70% do comprimento total dos córregos apresentam-se com sinais de degradação ambiental, falta de proteção de margens, erosão laminar e remontante.

4.2.2.7.2.5 Agricultura Irrigada

Os estudos dos fatores intervenientes ao uso dos recursos hídricos pelo setor da agricultura irrigada analisam as variáveis econômicas e parâmetros tecnológicos relatados no Quadro 1. No processo de coleta de informações, a base de informação é incompleta quanto a fatores tipos de culturas irrigadas, dos tipos de sistemas de irrigação, intensidades de irrigação das culturas, turnos e períodos de cultivo e colheita. O censo agropecuário quinquenal do IBGE (1996) fornece bases

preliminares, ainda não-consolidadas. Para o uso intensivo de água para a irrigação é adotado um valor médio anual de 0,327 L/s/ha (0,11 mm/h) obtido a partir do relatório de situação dos recursos hídricos do estado de São Paulo (CRH, 1999).

O caráter sazonal desta atividade que exerce uma demanda maior de recursos hídricos entre os meses de maio a setembro é estimado através da metodologia do programa CROPWAT (FAO, 1992) que estipula uma seqüência de fases e coeficientes de demanda que variam de acordo com a fase de desenvolvimento das culturas. Uma vez que há predomínio da atividade sucro-alcooleira na região ora em estudo, a sazonalidade inferida, para todas as atividades de irrigação na região, foi a mesma do setor

$$Peso_i = DI_i \div DM \quad (14)$$

$$DM = (\sum_{i=1}^{12} DI_i) \div 12 \quad (15)$$

$$DI_i = ETPM_i \cdot KC_{i,F} - PM_i \quad (16)$$

$$UI_i = Peso_i \cdot UIM \quad (17)$$

sendo i : índice indicativo do mês, UI_i uso intensivo de água para a irrigação no mês

“ i ” (L/s/ha), UIM : uso intensivo médio de água para a irrigação (L/s/ha), DI_i :

demanda consuntiva intensiva média no mês “ i ” (mm/mês), DM : média das

demandas consuntivas intensivas médias (mm/mês), $ETPM_i$: evapotranspiração média mensal no mês (mm/mês),

PMI : precipitação média mensal (mm/mês), KC_i : coeficiente da cultura irrigada. Os dados de evapotranspiração média mensal são obtidos a partir dos registros das estações climatológicas e contrastados com a estação de referencia do CHREA/USP (2005) e dos dados do Boletim Agrometeorológico da EMBRAPA (2005); os dados dos coeficientes da cultura irrigada (KCi) foram obtidos e adaptados da FAO (1992).

Como base de valores para projeções futuras de demanda por água pelo setor da irrigação segundo as narrativas dos cenários CSET e CSEA são adotados os do último censo agropecuário (IBGE, 1996) e o consumo intensivo médio anual de 0,33 L/s/ha (CERH, 1999).

Como padrões de evolução das áreas irrigadas, das sub-bacias do Tietê-Jacaré, para as projeções do cenário CSET, adotaram-se os mesmos padrões históricos, de evolução das populações das sub-bacias. Portanto, supõe-se que haja uma relação direta entre o crescimento populacional e o crescimento da economia agrícola. Essa suposição foi necessária uma vez que, em estudos prospectivos, os registros históricos

de evolução das áreas irrigadas na região são falhos, pois os censos agropecuários do IBGE são quinquenais e os censos anteriores ao último, do ano de 1996, não têm registros das áreas irrigadas de vários municípios da região ora em estudo.

Para a inferência do comportamento sazonal, da atividade da irrigação, aumenta-se a taxa de consumo intensivo médio mensal em 2,5 vezes nos três meses de maior escassez relativa de chuvas e pelo coeficiente de 0,5 nos 9 meses de maior abundância relativa de chuvas, segundo a metodologia adotada no plano Nacional de Recursos Hídricos (SRH/MMA, 2003), de tal forma que o consumo anual total permanecesse o mesmo. Os meses de maior escassez de chuvas e os meses de maior abundância de chuvas foram escolhidos segundo os resultados dos estudos prospectivos da sazonalidade do regime histórico de precipitações.

4.2.2.7.2.6 Pecuária

Os estudos prospectivos, dos fatores intervenientes ao uso dos recursos hídricos, pelo setor da pecuária, analisam as variáveis econômicas e parâmetros tecnológicos relatados no Quadro 1. Nestes estudos são encontrados dados acerca das espécies e das populações dos rebanhos no censo agropecuário quinquenal do IBGE (1996). Para os consumos per capita, das espécies de rebanhos, foram adotados os

valores obtidos de HAUSCHILD e DOELL (2000), EMBRAPA (1984) e MACEDO (2005).

Para a projeção de demanda por água pelo setor da pecuária, para a narrativa do cenário CSET, são tomados, como base de valores, os registros do censo agropecuário quinquenal do IBGE (1996) e os consumos per-capita registrados por EMBRAPA (1984) e HAUSCHILD e DOELL (2000): valores medianos de 68 L/dia para bovinos, 11 L/dia para suínos, 54,5 L/dia para eqüinos, 8,5 L/dia para caprinos, e 0,3 L/dia para galináceos.

Para o padrão de evolução das populações dos rebanhos, segundo as projeções do cenário CSET, também foram adotados os mesmos padrões históricos de evolução das populações humanas das sub-bacias, cabendo, neste caso, as mesmas considerações e suposições quanto ao setor da agricultura irrigada. Para o consumo per capita dos rebanhos, adotou-se a suposição de que o mesmo permaneça constante ao longo do tempo, ou seja, que não haverá melhorias da eficiência no uso dos recursos hídricos. Somente são feitas simulações das demandas dos rebanhos de bovinos, suínos e galináceos por premência de dados das outras espécies de rebanhos.

4.2.2.7.2.7 Indústria e Diluição de Efluentes Industriais

Como base de informações, dos tipos e quantidades de plantas industriais e respectivos parâmetros de consumos d'água e efluentes de cargas poluidoras, para as projeções de demanda por água para este setor, foram usados o cadastro de consumidores industriais e o inventário de efluentes industriais elaborado pelo CBH-TJ (2000).

Observa-se que são só consideradas nas simulações de demanda por água para a diluição de efluentes as cargas orgânicas que têm como parâmetro característico a concentração de DBO_5 . Há registros escassos dos parâmetros característicos da poluição provocada pelos dejetos inorgânicos.

Para as projeções futuras de demanda por água, segundo a narrativa do cenário CSET, para o abastecimento das atividades industriais e diluição das respectivas cargas poluidoras, são tomados como padrões de evolução, da atividade industrial, aqueles adotados para a evolução das populações humanas das sub-bacias. Portanto, é feita a suposição de que exista uma relação direta entre o crescimento populacional e o crescimento da atividade industrial evidenciando uma conjuntura de desenvolvimento econômico eminentemente regional.

Para o consumo de água e a produção de dejetos orgânicos são feitas suposições de que haja uma relação direta com a evolução da produção industrial, ou seja, que estes dois parâmetros irão crescer às mesmas taxas de crescimento da produção industrial. As projeções de demanda por água, alocada nos corpos fluviais receptores, em decorrência do lançamento de efluentes orgânicos industriais, são realizadas segundo a mesma metodologia adotada para a diluição dos esgotos domésticos.

4.2.2.7.3 Considerações sobre balanços calculados

Observa-se que o cenário sócio-econômico tendencial, representativo das demandas hídricas consuntivas e não consuntivas são uma conjectura da demanda total dos recursos hídricos, sem levar em consideração o tipo de manancial supridor desta demanda. Portanto, a parcela da demanda consuntiva que é suprida por mananciais subterrâneos, foi suprimida da demanda consuntiva total, para se chegar a uma estimativa da demanda consuntiva suprida pelos mananciais superficiais. Toda a demanda não-consuntiva, representativa neste trabalho para a alocação temporária de recursos hídricos para a diluição de efluentes, é projetada sobre os mananciais de superfície.

4.2.2.7.4 Dados de Demandas de Recursos Hídricos Superficiais do Relatório Zero

O Relatório Zero (IPT, 2000) contém um levantamento preliminar de usuários de recursos hídricos cadastrados em diferentes órgãos e empresas públicas da UGRHI

13. As demandas da UGRHI 13 são apresentadas no Relatório Zero para: 1) abastecimento público (demanda doméstica), 2) uso industrial, 3) dessedentação animal (demanda pecuária), 4) aquicultura, 5) energia hidrelétrica e outros, como turismo, recreação e navegação, explicados a seguir.

1. Abastecimento público – O Relatório Zero da UGRHI 13 apresenta poucos

estudos de demandas de água. Baseia-se nos dados cadastrais do uso de água, da SABESP e Prefeituras Municipais, complementados com informações de vazões captadas Segundo Cadastro de Usuários de Recursos Hídricos do DAEE. Segundo o Relatório Zero da UGRHI 13, o valor total de águas superficiais captadas pelos municípios, em 1999, varia entre 1,99 e 2,26 m³/s, segundo diferentes trechos do Relatório Zero. No entanto, a falta de dados sistemáticos e as fontes diversas de informações levantavam questionamentos sobre a certeza desses valores.

2. Uso industrial - Da mesma forma que os usos para o abastecimento público, o

uso industrial também foi baseado no Cadastro de Usuários de Recursos

Hídricos do DAEE. Segundo esse Cadastro, o total captado para indústria é de $6,81 \text{ m}^3/\text{s}$ de águas superficiais. Esses dados têm forte dependência dos critérios de fiscalização e atualização do cadastro, sujeito a incertezas.

3. Irrigação, aquíicultura e dessedentação animal

- a. *Uso na irrigação:* A estimativa da demanda total da água para irrigação na UGRHI 13, baseada em áreas irrigadas e consumos unitários de água encontra-se em fase de elaboração. No Cadastro de Usuários de Recursos Hídricos do DAEE consta (JMR & ENGECORPS, 2006) de $0,111 \text{ m}^3/\text{s}$ como uso de águas superficiais na irrigação. Deve-se mencionar que o Relatório Zero do Estado de São Paulo (SRHSO & DAEE, 2002) apresenta a estimativa de área irrigada de 38.885 ha para o ano 1995/96 com demanda de água estimada em $12,71 \text{ m}^3/\text{s}$. Entretanto, há uma alta incerteza final sobre esses valores devido às fontes de informações utilizadas e as metodologias aplicadas para sua quantificação.
- b. Aquíicultura e dessedentação animal: Na UGRHI 13, na maioria das informações do cadastro de uso doméstico no abastecimento público,

está englobado também outros usos, como para criação animal, recreação e usos particulares. Quanto à aquíicultura, o banco de dados do DAEE registra 38 pontos de captação superficial com demanda total de $0,260 \text{ m}^3/\text{s}$. Mas, programas específicos como o LUPA de 1997, apresentam estimativas de mais de 200 propriedades rurais que possuem tanques de piscicultura e de ranicultura. Estima-se que o número de captações cadastradas no DAEE representa apenas 18% do total de usuários levantados.

4. **Geração hidrelétrica:** Da análise do Relatório Zero da UGRHI 13 (IPT, 2000)

e do relatório de situação dos recursos hídricos do Estado de São Paulo,

Relatório Zero, (SRHSO & DAEE, 2002) pode-se relacionar as seguintes usinas

hidrelétricas existentes com as respectivas vazões regularizadas (Q_r) e vazões

médias turbinadas (Q_t): Barra Bonita: $Q_r = 222 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_t = 398 \text{ m}^3/\text{s}$, Bariri:

$Q_r = 238 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_t = 477 \text{ m}^3/\text{s}$ e Ibitinga: $Q_r = 286 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_t = 428 \text{ m}^3/\text{s}$. A

barragem da Usina de Barra Bonita se constitui no limite da UGRHI 13 com a

UGRHI 10-Tietê/Sorocaba, que se situa a montante, e é mencionada para

ilustrar as vazões turbinadas que afluem à UGRHI 13 na sua extremidade sudeste e, ao mesmo tempo, entrada do Rio Tietê na mesma.

5. Outros usos

- a. *Navegação:* Todo o trecho do rio Tietê na UGRHI 13, de 140 km entre Ibitinga e Barra Bonita, é navegável e integra a hidrovia Tietê-Paraná.
- b. *Turismo e Recreação:* Na UGRHI 13 existe potencial instalado para ecoturismo de diversas modalidades. No entanto, não se dispõe de estudos ou informações sistematizadas acerca desse setor.
- c. *Diluição de Esgotos:* As sub-bacias da UGRHI 13 utilizam a diluição de esgotos domésticos e industriais nos corpos d'água superficiais, situação que compromete a disponibilidade da qualidade e quantidade hídrica superficial para outros usos localizados a jusante do(s) lançamento(s). Esta demanda é pouco analisada até a presente data, embora estima-se que sua magnitude seja significativa.

No Relatório Zero (IPT, 2000) são apontadas diversas fontes de incerteza nesses dados, especialmente dos usos dos recursos hídricos superficiais para múltiplos propósitos, situação que pode sobrepor os usos.

As considerações sobre a situação de demanda na UGRHI 13 demonstram a necessidade de:

- Aprimorar horizontes de planejamento de curto, médio e longo prazos;
- Incluir cenários prospectivos de oferta e de demanda para o planejamento;
- Aprimorar a setorialização das demandas por uso e por sub-bacia afluenta; e
- Comparar balanços a demanda e oferta com critérios simples.

A existência de cursos d'água inter-comitês na UGRHI-13 (p.ex. rio Tietê), as ofertas hídricas devem ter por base a bacia de afluência local de maneira de poder propor programas de ação, controle e conservação dos recursos hídricos.

Devido à peculiaridade fisiográfica da UGRHI-13, as demandas de navegação e hidroeletricidade são locadas fundamentalmente sobre o Rio Tietê e não sobre as bacias afluentes e adjacentes.

Assim, o levantamento de demandas tem como base aprimorar os elementos de usos consuntivos de abastecimento público, irrigação, abastecimento industrial e pecuária, e não-consuntivos de diluição de esgotos domésticos e industriais.

4.2.2.8 Oferta hídrica superficial

A apresenta a disponibilidade hídrica superficial para cenários de planejamento, em função da vazão média de longo período (Q_{lp}), a vazão com 95% de permanência ($Q_{95\%}$) e a vazão característica de $Q_{7,10}$.

Tabela 12 – Disponibilidade hídrica superficial para cenários de planejamento da UGRHI 13 (em m^3/s)

	Vazão média de longo período				Vazão com 95% de permanência				Vazão	Característica		
	(Q _{lp})				(Q _{95%})				Q _{7,10}			
Ano	2000	2010	2025	2050	2000	2010	2025	2050	2000	2010	2025	2050
Bacia	Cenário Tendencial											
1	39,59	39,34	34,44	32,74	20,43	20,3	17,77	16,89	16,34	16,24	14,21	13,51
2	25,3	25,46	23,59	23,49	13,06	13,14	12,17	12,12	10,44	10,51	9,74	9,69
3	14,31	12,29	10,13	9,43	7,39	6,34	5,22	4,86	5,91	5,07	4,18	3,89
4	11,65	11,48	11	10,83	6,01	5,93	5,67	5,59	4,81	4,74	4,54	4,47
5	7,89	7,78	6,84	6,47	4,07	4,02	3,53	3,34	3,26	3,21	2,82	2,67
6	9,99	9,86	9,32	9,2	5,16	5,09	4,81	4,75	4,12	4,07	3,85	3,8

Fonte: Plano de Bacia da UGHRI-13

4.2.2.9 Demandas hídricas superficiais setoriais

As demandas hídricas superficiais globais aparecem na Tabela 13.

No detalhe, para cada setor usuário, as demandas específicas, aparecem na Tabela 14, para horizonte de 2010,

Tabela 15, para o horizonte de 2025 e Tabela 16 para o horizonte de 2050.

As discussões a seguir focam o horizonte de planejamento de 2010. Para o CEST, o total de uso consuntivo na UGRHI 13 representa aproximadamente 64% do total de demandas. Os principais setores, praticamente empatados no uso de recursos hídricos superficiais para 2010, são a irrigação (1,01 L/s/km) e a diluição de esgotos (0,99 L/s/km). Neste horizonte de planejamento, as possíveis mudanças de oferta hídrica ainda não são evidentes nas vazões de longo período e na de $Q_{7,10}$.

Tabela 13 - Demandas hídricas superficiais totais entre 2010 e 2050 para cenário tendencial “A” e em toda a UGRHI-13

Demanda Global (m3/s)			
Ano	2010	2025	2050
Sector Usuário	CSET	CSET	CSET
Abastecimento Público	6,92	8,75	12,06
Irrigação	11,92	15,12	21,22
Pecuária	1,42	1,78	2,44
Indústria	3,44	4,72	7,42
Total de Uso Consuntivo	23,7	30,37	43,14
Efluentes Domésticos	11,79	15,43	22,36
Efluentes Industriais	1,38	2,01	3,44
Total não Consuntivo:	13,17	17,44	25,8
Total de demandas:	36,87	47,81	68,94

Fonte: Plano de Bacia da UGHRI-13

A título de exemplificação, as Figuras 6, 7 e 8 apresentam, respectivamente, a setorização da demanda para as sub-bacias 1, 2 e 6.

Na sub-bacia 1, do Jacaré-Guaçú, o cenário alternativo cria uma demanda extra total $+2,3 \text{ m}^3/\text{s}$, fundamentado por demanda de irrigação entre 30% e 39% do total, com uma mudança absoluta prevista para o ano 2010, entre cenários, de $+0,59 \text{ L/s/Km}^2$ ($= 1,77-1,18$, coluna (3)). Nesta sub-bacia 1, o cenário alternativo diminui a demanda por abastecimento público e por diluição de esgotos domésticos; no entanto, os setores de pecuária, indústria e irrigação aumentam. Este comportamento é previsto devido a que o cenário está voltado especialmente para o mercado global. O uso não-consuntivo desta bacia, para o cenário alternativo, diminui de 33% da demanda para 26%.

Tabela 14 - Demandas previstas para 2010 do Cenário Tendencial (L/s/km²)

Sub-bacia	Abast. público (1)	Diluição de Esgotos Domésticos (2)	Irrigação (3)	Pecuária (4)	Indústria (5)	Diluição de Esgotos Industriais (6)	Uso Consuntivo (2+6)	Não- Uso Consutivo (1+3+4+5)
<u>1</u>	<u>0,73</u>	<u>1,05</u>	<u>1,18</u>	<u>0,12</u>	<u>0,6</u>	<u>0,26</u>	<u>1,31</u>	<u>2,63</u>
<u>2</u>	<u>0,13</u>	<u>0,59</u>	<u>0,77</u>	<u>0,05</u>	<u>0,03</u>	<u>0,02</u>	<u>0,59</u>	<u>0,98</u>
3	0,78	1,73	0,39	0,04	0,25	0,3	2,03	1,47
4	0,23	0,27	2,49	0,01	0,33	0,04	0,31	3,06
5	2,36	2,95	0,34	0,86	0	0,11	3,06	3,56
<u>6</u>	<u>0,12</u>	<u>0,22</u>	<u>0,42</u>	<u>0,03</u>	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,24</u>	<u>0,58</u>
Total	0,59	0,99	1,01	0,12	0,29	0,15	1,14	2,02

Fonte: Plano de Bacia da UGHRI-13

Tabela 15 - Demandas previstas para 2025 do Cenário Tendencial (L/s/km²)

Sub-bacia	Abast. público (1)	Diluição de Esgotos Domésticos (2)	Irrigação (3)	Pecuária (4)	Indústria (5)	Diluição de Esgotos Industriais (6)	Uso Consuntivo (2+6)	Uso Não-Consutivo (1+3+4+5)
<u>1</u>	<u>0,9</u>	<u>1,3</u>	<u>1,49</u>	<u>0,14</u>	<u>0,85</u>	<u>0,39</u>	<u>1,69</u>	<u>3,37</u>
<u>2</u>	<u>0,21</u>	<u>0,98</u>	<u>1,18</u>	<u>0,07</u>	<u>0,04</u>	<u>0,03</u>	<u>0,98</u>	<u>1,49</u>
3	1,02	2,28	0,5	0,06	0,3	0,38	2,66	1,88
4	0,28	0,33	2,96	0,01	0,38	0,05	0,38	3,64
5	2,97	3,74	0,42	1,07	0	0,14	3,88	4,47
<u>6</u>	<u>0,14</u>	<u>0,28</u>	<u>0,52</u>	<u>0,03</u>	<u>0,01</u>	<u>0,02</u>	<u>0,3</u>	<u>0,71</u>
Total	0,75	1,3	1,3	0,15	0,4	0,21	1,52	2,6

Fonte: Plano de Bacia da UGHRI-13.

Tabela 16 - Demandas previstas para 2050 do Cenário Tendencial (L/s/km²)

Sub-bacia	Abast. público (1)	Diluição de Esgotos Domésticos (2)	Irrigação (3)	Pecuária (4)	Indústria (5)	Diluição de Esgotos Industriais (6)	Uso Consuntivo (2+6)	Uso Não-Consutivo (1+3+4+5)
<u>1</u>	<u>1,18</u>	<u>1,73</u>	<u>1,97</u>	<u>0,16</u>	<u>1,43</u>	<u>0,69</u>	<u>2,43</u>	<u>4,75</u>
<u>2</u>	<u>0,39</u>	<u>1,85</u>	<u>2,06</u>	<u>0,14</u>	<u>0,06</u>	<u>0,04</u>	<u>1,89</u>	<u>2,64</u>
3	1,48	3,31	0,68	0,08	0,43	0,49	3,8	2,67
4	0,36	0,42	3,54	0,02	0,47	0,06	0,48	4,39
5	4,02	5,05	0,53	1,45	0,02	0,17	5,22	6,01
<u>6</u>	<u>0,2</u>	<u>0,4</u>	<u>0,69</u>	<u>0,05</u>	<u>0,02</u>	<u>0,02</u>	<u>0,42</u>	<u>0,96</u>
Total	1,05	1,9	1,79	0,21	0,64	0,34	2,24	3,68

Fonte: Plano de Bacia da UGHRI-13

Os valores nas tabelas 14, 15 e 16 que estão sublinhados correspondem as sub-bacias de estudo em questão, onde 1 – Jacararé-Guaçu, 2 – Jacaré-Pepira e 6 – Rio Claro.

Na sub-bacia 2, do Jacaré-Pepira, a diminuição do uso não-consuntivo entre cenário tendencial e alternativo é menos significativa, conforme a Figura 6, passando de 37% (CSET) para 33% (CSEA). Esta variação menor entre cenários pode ser devida à matriz de demanda rural. A mudança absoluta, prevista até 2010, entre cenários de demanda é de $0,68 \text{ m}^3/\text{s}$ ($=4,87-4,19 \text{ m}^3/\text{s}$) ou de $1,82-1,57 \text{ L/s/km}^2$. A irrigação, no cenário alternativo, detém 57% da demanda total, enquanto no cenário tendencial ela não supera os 49% do total demandado. O segundo setor que mais consome água nesta sub-bacia é para a diluição de esgotos, situando-se entre 34% (CSEA) e 37% (CSET) do total de água demandada.

Finalmente, para a sub-bacia 6, de Tietê-Claro (margem esquerda), a irrigação é prioridade, entre 52% e 65% do total das demandas, o que corresponde a mais de 70% do total de uso consuntivo na bacia (entre $0,42$ e $0,68 \text{ L/s/km}^2$). A diferença entre cenários é significativa para esta sub-bacia, variando $+0,30 \text{ m}^3/\text{s}$ na demanda superficial total.

Figura 6 – Demanda Hídrica prevista para 2010 no Cenário Tendencial para Sub-Bacia 1

Figura 7 – Demanda hídrica prevista para 2010 no Cenário Tendencial para Sub-Bacia 2

Figura 8 – Demanda hídrica prevista para 2010 no Cenário Tendencial para Sub-Bacia 6

6 METODOLOGIA

6.1 Balanço de Massa

A variação da disponibilidade hídrica dentro de água dentro de uma bacia hidrográfica pode ser contabilizada através de um balanço que obedece a lei de conservação de massa. De um modo bastante simplificado conforme Soares e Renno (2003), o balanço de água pode ser resumido segunda a equação (18):

$$Q_i - Q_0 = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (18)$$

Em que Q_i corresponde à vazão de entrada, Q_0 corresponde à vazão de saída, ΔV corresponde ao volume de água armazenado na bacia e Δt corresponde ao tempo de análise. O volume de água armazenada na bacia é equivalente ao volume de água retido em superfície correspondendo ao volume infiltrado, volume escoado e volume retido em reservatórios artificiais.

Esta equação do balanço hídrico, conforme Soares e Renno (2003) pode ser utilizada para eventos simples de simulações precipitações, séries temporais, embora a escala de cada um dos processos possam ser consideravelmente diferentes.

6.2 Caracterização do Modelo computacional Mike Basin

O MIKE BASIN é um pacote de software profissional de engenharia desenvolvido pelo Danish Hydraulic Institute (DHI) da Dinamarca e uma poderosa ferramenta de planejamento e gestão através da modelação integrada de bacias hidrográficas. Ele acomoda uma ampla representação da bacia, disponibilidade de água, água exigida fins de usos múltiplos, reservatório e operação, transferência/desvio de esquemas de água, e eventuais restrições ambientais.

O pacote de software é especialmente útil, pois, permite conclusões de estudos originários de cada um dos aspectos que devem ser reunidos num quadro capaz de realizar uma análise integrada. Ele pode ajudar os tomadores de decisão na identificação de um desenvolvimento sustentável, na escassez dos recursos hídricos, usos conflitantes, levando em conta as prioridades específicas, características rurais e urbanas, e sócio-econômicas.

O MIKE BASIN fornece uma representação matemática das bacias hidrográficas abrangendo a configuração dos principais rios e seus afluentes, a hidrologia da bacia no espaço e no tempo já existente, bem como, potenciais de grandes esquemas e as suas diversas demandas de água.

O programa está estruturado como um modelo de rede fluvial de acordo com a Figura 9 no qual estão representados os sistemas fluviais constituídos por uma rede de arcos e nós. Os arcos representam o fluxo de seções individuais, enquanto que os nós representam as confluências e locais onde certas atividades (retiradas ou lançamentos) da água podem ocorrer, ou locais importantes onde os resultados do modelo são necessários.

Os resultados do modelo incluem informações sobre o desempenho de reservatórios individuais e esquemas de demanda, bem como as condições em qualquer parte do sistema da rede de fluxo do rio.

Figura 9 – Exemplo de rede de fluxo do MIKE BASIN

Fonte: <http://www.crrw.utexas.edu/gis/gishyd98/dhi/mikebas/Mbasmain.htm>.

6.2.1 Interface Gráfica do Usuário

A interface gráfica do usuário é baseada no ArcView GIS. O código do MIKE BASIN é integrado dentro ArcView GIS.

A análise espacial está bem adaptada para projetos de recursos hídricos, porque as informações geográficas de recursos nacionais estão disponíveis em bases de dados e podem ser utilizadas diretamente, fornecendo bases para visualização da futura evolução dos recursos hídricos.

A interface gráfica do usuário, que liga o MIKE BASIN com ArcView GIS usa todas as funcionalidades do ArcView GIS e inclui muitos programas personalizados. Ele representa o estado da arte em tais tipos de modelagem.

Um modelo funciona na base de uma rede fluvial "digitalizada" estabelecida diretamente sobre a tela do computador no ArcView, sendo que todas as informações relacionadas com a configuração da rede fluxo, simulação, localização dos usuários de água, reservatórios e aportes e saídas do fluxo, também são definidas por edição na tela do computador.

A base de dados de entrada no modelo consiste de séries temporais de captação dos escoamentos superficiais (incrementos de fluxo naturalizado) para cada ramo.

A entrada de arquivos adicionados define as características do reservatório e as regras de funcionamento de cada reservatório, as séries temporais meteorológica, e os dados pertinentes aos direitos de uso da água (abastecimento de água ou irrigação), tais como, os desvio e outras informações sobre fluxos de retorno.

O MIKE BASIN usa o Time Series Editor (TSEdit) da própria DHI para a entrada de séries de dados. Os dados podem ser importados para o TSEdit delimitados de arquivos ASCII ou diretamente a partir de Excel usando o padrão do Windows da Microsoft para recortar e colar funções. O TSEdit é também utilizado para a apresentação dos resultados.

Na sequência, alguns exemplos da utilização da interface gráfica do usuário ArcView com o MIKE BASIN.

6.2.2 Rede de Fluxo do Rio

O sistema natural do rio é esquematizado e representado com uma estrutura nó-ramo. Os influxos do rio são calculados em cada nó. O fluxo em um nó a jusante no fim de uma determinada ligação será em função de diversas variáveis:

- O fluxo no nó mais próximo a montante;
- Estimar o escoamento de uma sub-bacia hidrográfica pertencente à seção de jusante;

- Retorno do fluxo e / ou extração de água, a ser retirada no nó do rio.

Os nós são automaticamente georreferenciados em relação a outros nós e descrito por montante e a jusante dos possíveis nós de referências através da interface com o ArcView.

O primeiro passo na bacia hidrográfica é a criação de um modelo e definição de modelos subjacentes de rede fluvial em que o nó é colocado como base. A digitalização de uma rede pelo usuário pode ser baseada em uma imagem importada, que ilustra o sistema fluvial natural, ou simplesmente usar uma tela em branco.

Superposições com outros recursos utilizados no ArcView fora do MIKE BASIN também podem ser feitas, por exemplo, *shape files* de sistemas fluviais, mapas temáticos, etc.

6.2.3 Demandas de Água

Demandas de água são processos e ou atividades que podem ser incorporados em um modelo como na Figura 10. Existem dois tipos de atividades disponíveis:

- Área de Irrigação;
- Abastecimento de água Público / industrial

Figura 10 – Exemplo de extração de água

Fonte: <http://www.cwrw.utexas.edu/gis/gishyd98/dhi/mikebas/Mbasmain.htm>

Se um determinado sistema de retirada de água tem sido atribuído a um nó, serão envidados esforços no sentido de fazê-lo, desde que o permita a disponibilidade da água e, conseqüentemente, transferindo apenas o restante de água para jusante do nó. Sob escassez da água todos os recursos hídricos disponíveis serão extraídos, não deixando qualquer fluxo de água chegar à jusante.

O modelo permite definir as prioridades dos rios desviados e as extrações de água dos reservatórios de usos múltiplos, bem como as prioridades para a atribuição de usos múltiplos da água de cada extração nos pontos.

O nó de abastecimento de água poderá ser colocado em qualquer lugar da tela do computador próximo a rede de fluxo. Os arcos entre o fornecimento de água e à rede fluvial são especificados através da entrada no menu para cada sistema de abastecimento de água. A ligação entre os pontos e procura regimes serão feitas automaticamente na tela e a cores indicaram a ordem de prioridade.

6.2.4 Reservatórios

O MIKE BASIN pode favorecer os usos múltiplos em sistemas de reservatórios. A finalidade de cada um dos reservatórios é o de simular o desempenho de funcionamento especificado através curvas de regras operacionais. As curvas de regras operacionais definem os volumes de armazenamento desejado, o nível e a vazão liberada das águas a qualquer momento em função do volume de armazenagem já existente, e eventuais afluxos esperados.

As curvas de regras operacionais são muitas vezes definidas por incluir não só o nível de armazenamento, mas também as diversas zonas de armazenamento atribuídas. Por exemplo, as seguintes zonas podem ser consideradas como ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – Zonas de armazenamento dos reservatórios

Fonte: Guide to Getting Started Tutorial (2003)

As demandas de água dos usuários do reservatório estão automaticamente aumentadas em função das perdas. Isto significa que as demandas especificadas dos usuários ainda serão cumpridas se existir água suficiente disponível no reservatório.

Os sistemas de múltiplos reservatórios permitem a extração de água especificando uma demanda de um regime específico em qualquer ordem de prioridade.

O modelo matemático MIKE BASIN vem sendo apresentado como uma nova e versátil ferramenta de suporte a decisões no planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, entre as suas principais características podemos citar a capacidade de associar as técnicas de simulação e otimização –mesmo que limitada - através de uma rede de fluxo, além de permitir a integração com sistemas de informações geográficas através do software ArcView GIS. Outras características do modelo são

seu rápido tempo de processamento, sua flexibilidade e facilidade na representação dos sistemas hídricos. Devido a estas e outras potencialidades que foram descritas, o modelo foi considerado ideal para a pesquisa sendo que, o software está disponível no Núcleo de Hidrometria do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo e foi adquirido no Danish Hydraulic Institute.

6.3 Levantamento de Dados de Vazão

6.3.1 Postos Fluviométricos

O principal rio da região em estudo é o trecho médio do Rio Tietê. Neste trecho, dois afluentes de ordem de grandeza consideráveis deságuam em sua margem direita e um na margem esquerda. Os rios que afluem na margem direita do médio Tietê são: Jacaré-Pepira e Jacaré-Guaçu e o que deságua na margem esquerda é o Rio Claro. A Figura 12 apresenta o mapa da região em estudos e a relação dos postos fluviométricos.

Figura 12 – Localização dos postos fluviométricos

O próximo passo da pesquisa foi consultar os dados hidrológicos a partir dos seguintes órgãos: ANA, DAEE; ANEEL. A Tabela 17 apresenta a relação dos postos fluviométricos que possuem dados de vazão parcialmente ou no todo.

Tabela 17 – Relação dos postos fluviométricos

CODIGO	NOME	LAT.	LONG.	AD (km ²)	INÍCIO OPERAÇÃO	FIM OPERAÇÃO
62750000	PORTO TAQUARAL	-22 01 00	-48 53 00	36580		
62751000	SITIO BRAGA	-22 18 00	-48 08 00	537	abr-39	abr-58
62751100	BROTAS	-22 17 31	-48 06 59	442	out-80	jul-99
62752000	INVERNADA RECREIO-INR	-22 05 00	-48 29 00	1640		
62754000	FAZENDA PAU D'ALHO	-21 53 00	-48 44 00	2395	dez-70	jan-79
62760005	RIBEIRAO DO FEIJAO	-22 09 20	-47 52 53	233	jan-77	dez-07
62760050	SIRIEMA	-22 16 00	-47 54 00	25	jan-77	fev-90
62760070	MINERACAO	-22 15 00	-47 52 00	47	jan-77	abr-85
62760110	CORREGO DAS PERDIZES	-22 11 19	-47 54 22	10	jan-77	dez-95

CODIGO	NOME	LAT.	LONG.	AD (km²)	INÍCIO OPERAÇÃO	FIM OPERAÇÃO
62760130	JACARE-ACU 1	-22 09 57	-47 54 06	211	jan-77	dez-07
62760150	JACARE-ACU 2	-22 09 30	-47 54 01	0	mar-77	dez-07
62763000	PONTE PRETA	-22 05 00	-48 03 00	511	mar-78	jan-79
62763500	VALE DA FERTILIDADE	-22 07 00	-47 59 00	0	jun-78	dez-89
62765000	FAZENDA PAINEIRA FAZENDA	-22 05 00	-47 59 00	603	set-69	dez-74
62767500	SANTO INACIO	-22 03 47	-48 05 24	0	fev-78	dez-07
62768000	ALFREDO MAFFEI	-22 01 00	-47 54 00	0	fev-80	mai-84
62768500	SITIO DO SWAMI	-22 02 00	-47 58 00	128	fev-78	dez-91
62770500	FAZENDA SAO JOSE	-22 03 31	-48 05 20	0	mai-87	dez-07
62772500	FAZENDA PALMEIRAS	-21 51 54	-48 16 49	1867	jun-69	set-04
62775100	USINA ZANIN	-21 52 00	-48 11 00	0	out-81	set-89
62776600	FAZENDA DO PORTO	-21 53 26	-48 23 22	2314	jan-80	nov-07
62776900	BOA ESPERANCA DO SUL	-21 59 30	-48 23 17	190	nov-80	dez-03
62777000	FAZENDA CANDOCA	-21 55 00	-48 28 00	2418	jan-60	nov-61
62777100	ESTANCIA RECREIO	-21 57 00	-48 26 00	0	jun-78	set-89
62777300	PESQUEIRO	-21 51 00	-48 32 00	0	ago-79	mar-89
62777500	MEIA LEGUA FAZ.BOA	-21 47 15	-48 33 40	334	jun-81	dez-99
62778000	VISTA DE JACARE	-21 48 46	-48 48 12	3519	nov-70	jul-93
62781000	SITIO ESPERANCA	-21 47 00	-48 27 00	338	nov-80	ago-04

Fonte: Relatório Zero de 2000 do Plano de Bacia da UGHRI-13

Apesar dos postos apresentados na Tabela 17 apresentarem dados de vazão, muitos deles apresentam falhas que foram corrigidas através do método da regionalização de vazão pelas médias mensais.

Após o tratamento para corrigir as falhas nos dados de vazão os mesmo foram consistidos e foi desenvolvido um modelo estocástico de vazão autoregressivo que gerou diversas séries sintéticas apresentadas a seguir, sendo que o sistema hídrico será simulado para diversos entradas e períodos com suas respostas quantificadas e analisadas.

Segundo Tucci (2002) a qualidade dos dados hidrológicos é essencial para a regionalização. Por isso é de grande importância que se conheça a qualidade dos dados históricos a serem utilizados em todo estudo relacionado com vazões hidrológicas.

O primeiro passo foi escolher com quais postos dever-se-ia trabalhar. Devido a grande maioria deles possuírem um grande número de falhas nas medidas, ocorrendo que não existe dados de vazão de vários meses e em alguns até anos.

Escolheram-se, então, postos com maior consistência de dados e cuja localização abrangesse todo o local de estudo, e para a utilização dos dados atuais dos postos, resolveu-se gerar séries sintéticas.

Para a geração de séries temporais, escolheram-se postos que continham medidas em períodos coincidentes. Portanto, foram selecionados os postos fluviométricos Fazenda Pau D'alto, Fazenda Boa Vista de Jacaré, UHE Bariri e UHE Ibtinga.

As séries históricas de vazões observadas dos postos escolhidos da bacia são apresentadas nas Figuras 12 a 15.

Figura 13 – Séries Mensais de Vazões no Posto Fazenda Pau d'alto

Fonte: DAEE (2008)

Figura 14 – Séries Mensais de Vazões no Posto Fazenda Boa Vista do Jacaré

Fonte: DAEE (2008)

Figura 15 – Séries Mensais de Vazões no Posto da UHE Bariri

Fonte: DAEE (2008)

Figura 16 – Séries Mensais de Vazões no Posto da UHE Ibitinga

Fonte: DAEE (2008)

6.3.2 Tratamento dos dados Fluviométricos

Segundo Angnes (2004) nas situações em que se necessita realizar preenchimento de falhas dos dados de vazão, ou mesmo extensão de sua série de dados observados para uma melhor caracterização, os modelos hidrológicos também trazem grandes contribuições. Estes modelos têm como objetivo principal a geração de séries de vazões a partir de dados de precipitação e evaporação. Entretanto, a maioria destes, não considera que a falta de saneamento básico, em locais urbanizados sem a implantação de infra-estrutura básica, acrescente um aporte exógeno de água ao balanço hídrico.

Ainda de acordo Angnes (2004) na insuficiência de dados observados e preenchimento de falhas (dias não monitorados), uma saída é o uso de processos de estimativa de vazões pelo método de proporção de áreas ou proporção de vazões, onde se tem como referência seções nas quais se têm informações.

No método de proporção de áreas, a vazão de um posto com dados falhos é obtida com base na vazão existente de um posto existente, respeitando a proporcionalidade de áreas drenadas de cada sub-região, seguindo a seguinte relação:

$$Q_1 = \frac{A_1}{A_2} * Q_2, \quad (19)$$

onde:

Q_1 – Vazão do posto a ser preenchido;

Q_2 – Vazão do posto existente;

A_1 – Área de drenagem do posto a ser preenchido;

A_2 – Área do posto com dados de vazão existente.

Os postos (Brotas, Fazenda Palmeiras e Fazenda Boa Vista de Jacaré) que apresentavam poucas falhas foram correlacionados com o Posto Ribeirão do Feijão, já o posto Fazenda Pau D’alho foi relacionado com o posto Ribeirão do Feijão (01/2004 a 12/2006) e com o posto Palmeiras (01/1979 a 12/2005). O posto Ribeirão

do Feijão foi relacionado com o Posto Palmeiras devido apresentar um pequeno número de falhas e o mesmo atende-lo no período correspondente.

Nas Tabela 18 e Tabela 19 são apresentadas as falhas nas séries de vazões dos postos fluviométricos utilizados na restituição do regime natural.

Tabela 18 – Meses com Falhas no Posto Fazenda Pau D'alto (Dez 1970 - Jan 1979)

Anos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Incompletos												
1970												x
1978									x			

Tabela 19 – Meses com Falhas no Posto Fazenda Boa Vista de Jacaré (Nov 1970 - Jul 1993)

Anos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Incompletos												
1970											x	
1976												x
1977	x											
1978	x											
1983		x	x									
1986			x									
1987		x										
1989		x										
1992				x	x							
1993		x					x					

6.4 – Séries Sintéticas

Uma série sintética é o resultado da associação de séries de dados reais com números aleatórios produzidos por algoritmos computacionais a fim de gerar

seqüências de variáveis aleatórias que se assemelham aos dados climáticos reais WILKS (1999).

De acordo com SALAS (1980), dados estocásticos gerados através da modelagem de séries temporais podem ser usados em alguns estudos da mesma forma que os dados históricos. Ainda, esses dados possuem as mesmas propriedades estatísticas e diferentes valores dependentes da série original.

A modelagem de séries temporais é usada para: (1) reproduzir séries históricas, de forma que as principais características estatísticas das séries geradas sejam “parecidas” com as da série original. Em outras palavras, gerar-se-á eventos equiprováveis, ou séries sintéticas. (2) previsão de séries hidrológicas futuras.

Os vários métodos para geração de séries sintéticas foram largamente difundidos nos anos 60 e têm sido utilizados em vários estudos, pois permitem testar a solução ótima obtida a partir da série histórica para diversos cenários hidrológicos equiprováveis.

Segundo SALAS (1980), para se modelar séries temporais é preciso definir um modelo matemático que represente séries com propriedades semelhantes. Os modelos podem ser: Modelo Autoregressivo (AR), Modelo Autoregressivo Média Móvel (ARMA), Modelo Autoregressivo Integrado Média Móvel (ARIMA), Fraction

Gaussian Noise (FGN), Broken Line (BL), Shifting Level (SL). Os modelos mais comumente utilizados são os modelos autoregressivos.

A geração das variáveis de vazão do rio foi feita através do modelo estacionário multivariado autoregressivo de primeira ordem AR(1).

Os modelos autoregressivos são atrativos em hidrologia principalmente porque consideram em sua formulação a dependência da variável no tempo (o valor da variável no tempo presente depende do valor da mesma em tempos posteriores) e são de fácil aplicação. Já os modelos multivariados consideram a dependência das variáveis no espaço.

6.4.1 Modelo Estacionário Multivariado Autoregressivo de Primeira Ordem AR (1)

Em um processo estacionário, as propriedades estatísticas não se alteram com o tempo, embora as séries temporais correspondentes possam ser diferentes entre si. Deste modo, o primeiro passo para a aplicação do modelo AR (1) é a sazonalização da série histórica. As variáveis a serem consideradas são:

X1 (t): série de vazões no Posto Fluviométrico 1

X2 (t): série de vazões no Posto Fluviométrico 2

X3 (t): série de vazões no Posto Fluviométrico 3

X4 (t): série de vazões no Posto Fluviométrico 4

O comportamento periódico das séries históricas originais foi descrito através do ajuste à função logarítmica neperiana para que pudessem ser empregadas na normalização das variáveis. Portanto:

$$Y_i(t) = \ln X_i(t) \quad i=1,2,3,4 \quad (20)$$

onde $Y_i(t)$ é a série uniforme das variáveis $X_i(t)$.

A normalização das variáveis foi feita através da seguinte expressão:

$$Z_i(t) = \frac{Y_i(t) - \bar{Y}_i(t)}{\bar{\sigma}_i(t)} \quad i=1,2,3,4, \quad (21)$$

onde $Y_i(t)$, $i = 1, 2, 3, 4$, já foram definidas anteriormente, $\bar{Y}_i(t)$, $i = 1, 2, 3, 4$, são as médias de cada variável, $\bar{\sigma}_1(t)$, $\bar{\sigma}_2(t)$, $\bar{\sigma}_3(t)$, $\bar{\sigma}_4(t)$, são os desvios padrões das variáveis $Y_i(t)$ e $Z_1(t)$, $Z_2(t)$, $Z_3(t)$, $Z_4(t)$ são as variáveis de vazão normalizada, média zero e desvio padrão um, para o mês t , a serem utilizadas no modelo AR (1).

O modelo AR (1) foi primeiramente proposto por MATALAS (1967) para ser aplicado em hidrologia. Considerar uma série multivariada estacionária $z_i(t)$, $i = 1, \dots, n$ onde n é o número de séries temporais ou variáveis. Sem perda de generalidade, assumir que $z_i(t)$ possui todos os valores normalizados com média zero

e desvio padrão um, ou $E \{z_i(t)\} = 0$ e $\text{Var} \{z_i(t)\} = 1$ para $i = 1, \dots, n$. O modelo

AR (1) das séries $z_i(t)$ pode ser expresso na forma matricial por:

$$\mathbf{Z}(t) = \mathbf{A} \cdot \mathbf{Z}(t-1) + \mathbf{B} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}(t) \quad (22)$$

onde $\mathbf{Z}(t)$ são $(n \times 1)$ vetores dos elementos $z_i(t)$ da série histórica, $\mathbf{A}$ e $\mathbf{B}$ são $(n \times$

$n)$ matrizes paramétricas, e $\boldsymbol{\varepsilon}(t)$ é um $(n \times 1)$ vetor independente de números

aleatórios com distribuição normal, média zero e desvio padrão um. O vetor de

números aleatórios $\boldsymbol{\varepsilon}(t)$ é não correlacionado no tempo e espaço, isto é, $E[\boldsymbol{\varepsilon}_i(t)\boldsymbol{\varepsilon}_j(t)]$

$= 0$ para $i \neq j$ ou $E[\boldsymbol{\varepsilon}_i(t)\boldsymbol{\varepsilon}_i^T(t)] = 1$ onde T denota a matriz transposta e I é a matriz

identidade. A eq. (22) pode ser escrita na seguinte forma expandida:

$$\begin{bmatrix} Z_1(t) \\ Z_2(t) \\ \vdots \\ Z_n(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Z_1(t-1) \\ Z_2(t-1) \\ \vdots \\ Z_n(t-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_1(t) \\ \varepsilon_2(t) \\ \vdots \\ \varepsilon_n(t) \end{bmatrix} \quad (23)$$

A estrutura de correlação de $Z(t)$ evidenciadas nas eq. (22) e eq. (23) indicam

uma correlação de ordem zero e um no espaço, e uma correlação serial de ordem um

no tempo.

Os parâmetros matriciais $\mathbf{A}$ e $\mathbf{B}$ foram obtidos através do método dos

momentos (MATIAS, 1967).

Multiplicando a eq. (23) por $Z^T(t)$ e rearranjando, obtém-se:

$$E[Z(t) \cdot Z^T(t)] = \mathbf{A} \cdot E[Z(t-1) \cdot Z^T(t)] + \mathbf{B} \cdot E[\boldsymbol{\varepsilon}(t) \cdot Z^T(t-1)] \cdot \mathbf{A}^T + \boldsymbol{\varepsilon}^T(t) \cdot \mathbf{B}^T \quad (24)$$

Define-se matriz de covariância, M_0 , como:

$$M_0 = E[Z(t).Z^T(t)] \quad (25)$$

e M_1 , como:

$$M_1^T = E[Z(t-1).Z^T(t)] \quad (26)$$

Explorando-se as propriedades de $\varepsilon(t)$, a eq. (24) pode ser reduzida para:

$$M_0 = A.M_1^T + B.B^T \quad (27)$$

A eq. (27) relaciona os momentos M_0 e M_1 com as matrizes paramétricas A e B . Multiplicando-se a eq. (22) por $Z^T(t-1)$, os valores esperados definem a covariância de atraso 1:

$$E[Z(t).Z^T(t-1)] = A.E[Z(t-1).Z^T(t-1)] + B.E[\varepsilon(t).Z^T(t-1)] \quad (28)$$

Novamente, com as propriedades de $\varepsilon(t)$, a eq. (28) passa a ser:

$$M_1 = A.M_0 \quad (29)$$

onde a estacionidade do sistema estabelece que:

$$E[Z(t).Z^T(t)] = E[Z(t-1).Z^T(t-1)] = M_0 \quad (30)$$

Desta forma, a matriz A pode ser determinada pela eq. (31)

$$A = M_1.M_0^{-1} \quad (31)$$

Para calcular o parâmetro B , foi utilizada a metodologia descrita por BRAS e Rodriguez-Iturbe (1985). A partir da eq. (27):

$$B.B^T = M_0 - A.M_1^T = D \quad (32)$$

Onde B é uma matriz triangular inferior que, no caso desta pesquisa foram trabalhadas 5 variáveis, pode ser representado como se segue:

$$= \begin{bmatrix} 11 & 0 & 0 & 0 \\ 21 & 22 & 0 & 0 \\ 31 & 32 & 33 & 0 \\ 41 & 42 & 43 & 44 \end{bmatrix} \quad (33)$$

Multiplicando-se B, exposto na eq. (33), pela sua transposta, ter-se-

$$\acute{a} = \begin{bmatrix} b_{11}b_{11} & b_{11}b_{21} & b_{11}b_{31} & b_{11}b_{41} \\ b_{21}b_{11} & b_{21}^2 + b_{21}^2 & b_{21}b_{31} + b_{22}b_{32} & b_{21}b_{41} + b_{22}b_{42} \\ b_{31}b_{11} & b_{31}b_{21} + b_{32}b_{22} & b_{31}^2 + b_{32}^2 + b_{33}^2 & b_{31}b_{41} + b_{32}b_{42} + b_{33}b_{43} \\ b_{41}b_{11} & b_{41}b_{21} + b_{42}b_{22} & b_{41}b_{31} + b_{42}b_{32} + b_{43}b_{33} & b_{41}^2 + b_{42}^2 + b_{43}^2 + b_{44}^2 \end{bmatrix} \quad (34)$$

Os valores de B são então obtidos através de uma sequência de equações algébricas.

Após a determinação das matrizes paramétricas A e B, foram geradas as series sintéticas para cada posto fluviométrico através das seguintes equações, deduzidas da eq. (33):

$$Z_1 = a_{11}Z_1(t-1) + a_{12}Z_2(t-1) + a_{13}Z_3(t-1) + a_{14}Z_4(t-1) + a_{15}Z_5(t-1) + b_{11}\varepsilon_1(t) \quad (35)$$

$$Z_2 =$$

$$a_{21}Z_1(t16) + a_{22}Z_2(t26) + a_{23}Z_3(t36) + a_{24}Z_4(t46) + a_{25}Z_5(t56) + b_{21}\varepsilon_1(t) + b_{22}\varepsilon_2(t) \quad (36)$$

$$Z_3 = a_{31}Z_1(t12) + a_{32}Z_2(t22) + a_{33}Z_3(t32) + a_{34}Z_4(t42) + a_{35}Z_5(t52) + b_{31}\varepsilon_1(t) + b_{32}\varepsilon_2(t) + b_{33}\varepsilon_3(t) \quad (37)$$

$$Z_4 = a_{41}Z_1(t-1) + a_{42}Z_2(t-1) + a_{43}Z_3(t-1) + a_{44}Z_4(t-1) + a_{45}Z_5(t-1) + b_{41}\varepsilon_1(t) + b_{42}\varepsilon_2(t) + b_{43}\varepsilon_3(t) + b_{44}\varepsilon_4(t) \quad (38)$$

Os parâmetros do modelo, $Z_i(t-1)$, $i = 1, 2, 3$ e 4 , foram obtidos dos valores das séries históricas. Agora, para a geração das séries, foi dado valor zero como um valor inicial para $ZZ_1(tt-1)$, $ZZ_2(tt-1)$, $ZZ_3(tt-1)$ e $ZZ_4(tt-1)$. Ainda por razões práticas, foram descartados os dez primeiros anos gerados. Os valores de $\varepsilon_i(t)$, $i = 1, 2, 3, 4$, foram gerados com o auxílio da ferramenta de Análise de Dados (opção Geração de Números Aleatórios) da planilha eletrônica Excel (Microsoft), na qual também foi feita toda a geração das séries.

Os resultados das séries $Z_1(t)$, $Z_2(t)$, $Z_3(t)$, $Z_4(t)$, foram determinadas através das expressões:

$$\varepsilon_1(tt) = \frac{Z_1(t) - a_{11}Z_1(t-1) - a_{12}Z_2(t-1) - a_{13}Z_3(t-1) - a_{14}Z_4(t-1)}{b_{11}} \quad (39)$$

$$\varepsilon_2(t) = \frac{Z_2(t) - a_{21}Z_1(t-1) - a_{22}Z_2(t-1) - a_{23}Z_3(t-1) - a_{24}Z_4(t-1) - b_{21}\varepsilon_1(t)}{b_{22}} \quad (40)$$

$$\varepsilon_3(t) = \frac{Z_3(t) - a_{31}Z_1(t-1) - a_{32}Z_2(t-1) - a_{33}Z_3(t-1) - a_{34}Z_4(t-1) - b_{31}\varepsilon_1(t) - b_{32}\varepsilon_2(t)}{b_{33}} \quad (41)$$

$$\varepsilon_4(t) = \frac{Z_4(t) - a_{41}Z_1(t-1) - a_{42}Z_2(t-1) - a_{43}Z_3(t-1) - a_{44}Z_4(t-1) - b_{41}\varepsilon_1(t) - b_{42}\varepsilon_2(t) - b_{43}\varepsilon_3(t)}{b_{44}} \quad (42)$$

Os resíduos calculados foram testados quanto a sua normalidade através do cálculo dos seus coeficientes de assimetria, média e desvio padrão. Foram geradas 8 séries de 30 anos cada, 4 para vazões médias mensais e 4 para vazões mínimas

mensais. As figuras 17 a 20 mostram a relação entre a série real a as séries geradas a partir do Modelo AR (1) para as vazões médias mensais.

Figura 17 - Comparação das séries de vazões médias observadas e geradas do posto Ibitinga

Figura 18 - Comparação das séries de vazões médias mensais observadas e geradas do posto Fazenda Boa Vista do Jacaré

Figura 19 – Comparação das séries de vazões médias mensais observadas e geradas do posto Fazenda Pau D'alho

Figura 20 – Comparação das séries de vazões médias mensais observadas e geradas do posto Bariri

As figuras 21 a 24 mostram a relação entre a série real e as séries geradas a partir do Modelo AR (1) para as vazões mínimas.

Figura 21 – Comparação das séries de vazões mínimas mensais observadas e geradas do posto Ibitinga

Figura 22 – Comparação das séries de vazões mínimas mensais observadas e geradas do posto Fazenda Boa Vista do Jacaré

Figura 23 – Comparação das séries de vazões mínimas observadas e geradas do posto Fazenda Pau D'alho

Figura 24 - Comparação das séries de vazões mínimas observadas e geradas do posto Bariri

6.5 – Dados do Reservatório

A precipitação média no reservatório de Ibitinga foi obtida do Relatório Zero de 2000 e os dados estão apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 – Precipitação média no reservatório de Ibitinga

Precipitação	
Mês	mm
jan	220
fev	190
mar	140
abr	70
mai	65
jun	45
jul	40
ago	30
set	65
out	115
nov	130
dez	225

Fonte: Relatório Zero de 2000 da UGRHI-13

Os níveis de entrada para simulação do reservatório foram adotados a partir dos dados disponibilizados pela AES Tiete que variam entre 404 m e 403,5 m por causa da UHE Ibitinga operar a fio d'água, esses dados são parâmetros de entrada do software MIKE BASIN

Para os dados da curva cotaxárea×volume utilizados nas simulações adotou-se o resultado do levantamento realizado no reservatório de Ibitinga pelo Núcleo de Hidrometria da EESC/USP através do convênio realizado com a AES Tietê em 2005.

Tabela 21 – Dados da Curva cotexáreaaxvolume

Cota(m)	Área (km ²)	Volume
370	0	0
375	0,00013	8,6E-06
376	0,00983	0,00356
377	0,04998	0,02866
378	0,12542	0,11286
379	0,44638	0,6757
380	0,67649	0,92748
381	1,25887	1,83906
382	2,10442	3,53871
383	3,60364	6,23073
384	5,93343	10,82
385	8,02347	17,8166
386	10,4647	26,9391
387	13,6219	38,886
388	17,3779	53,8025
389	22,1982	73,1376
390	25,298	96,3005
391	29,0442	123,086
392	33,5995	153,829
393	37,3537	188,519
394	41,4936	227,485
395	45,9711	270,774
396	50,4756	318,714
397	57,2029	371,633
398	61,0641	430,512
399	69,3469	495,592
400	74,3909	566,809
401	81,8079	644,677
402	88,4323	729,73
403	94,1759	820,975
404	100,682	918,368
405	107,55	1022,62
406	114,658	1134,22
407	122,045	1253,56

Fonte: Convênio USP/Núcleo de Hidrometria – AES Tietê (2005)

7 RESULTADOS E CENÁRIOS

7.1 Topologia do Sistema

O fluxograma abaixo apresenta a topologia do sistema que foi simulado para os diversos cenários e a Figura 25 representa graficamente a simulação do sistema no programa MIKE BASIN e suas interface com o Arcview.

Figura 25 – Representação do sistema no programa MIKE BASIN e sua interface com o Arcview

Para simulação do Cenário 1 e 2 utilizou-se os seguintes dados da Tabela 22 referentes às demandas para o ano de 2008 e que foram obtidos a partir da minuta 340/08 referente ao plano de bacia da UGRHI-13, que teve como participante na elaboração o Núcleo de Hidrometria do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada de USP de São Carlos.

Tabela 22 – Demandas Hídricas Superficiais para 2008

Sub-Bacia	Nome	Demanda (m ³ /s)
1	Jacaré-Guaçu	16,2
2	Jacaré-Pepira	3,9
6	Rio Claro	0,9
Demanda Total		21,00

Fonte: *Adaptado da Tabela 8.12 da minuta 340/08 do plano de bacia da UGHI-13

7.2 Simulação do Cenário 1

Para a simulação do Cenário 1 utilizou-se como dado de entrada as vazões mínimas mensais obtidas através da geração da série sintética, e que foram simuladas entre o período de 1977 a 2008 (prazo atual). Neste Cenário 1 utilizou-se a demanda total do cenário tendencial das três sub-bacias em estudo, que possui uma demanda de 21,00 (m³/s) obtida a partir da minuta 340/08 do plano de bacia da UGRHI 13.

7.3 Simulação do Cenário 2

Já para a simulação do Cenário 2 foi utilizado como dado de entrada as vazões médias mensais obtidas através da geração da série sintética, que foram simuladas

entre o período de 1977 a 2008 (prazo atual). Neste cenário também utilizou a demanda total global do cenário tendencial das três bacias de contribuição do trecho em estudo, que possui uma demanda total de 21,00 (m³/s) e que foram obtidas a partir da minuta 340/08 do plano de bacia da UGRHI 13.

Como resultados destas simulações as Figuras de 26 a 28 também ilustram o índice de satisfação 100% obtidos tanto pela utilização das vazões mínimas quanto pelas vazões médias mensais.

Figura 26 – Simulação do Cenário para a demanda de 16,2 (m³/s) da Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu

Figura 27 - Simulação do Cenário para a demanda de 3,9 (m³/s) da Sub-Bacia do Rio Jacaré-Pepira

Figura 28 – Simulação do Cenário para a demanda de 0,9 (m³/s) da Sub-Bacia do Rio Claro

Na simulação do Cenário 1 e 2 também considerou a demanda para o atendimento da Geração da UHE Ibitinga, sendo que nos dois cenários também obteve um índice de satisfação de 100%, como demonstra a Figura 29.

Figura 29 – Resultado das simulações dos Cenários 1 e 2 para a geração da UHE Ibitinga

Ainda como resultados para a simulação dos Cenários 1 e 2 têm os seguintes resultados para o balanço de massa realizado no reservatório com os dados da série de vazões mínimas mensais Figura 30 e vazões médias Figura 31:

Figura 30 – Simulação do Cenário 1 com vazões mínimas para o reservatório

Figura 31 – Simulação do Cenário 2 com vazões médias para o reservatório

Os dados de entrada para simulação dos Cenários de 3 a 8 também foram obtidos através da minuta 340/08 do plano de Bacia da UGRHI-13, e se encontra na Tabela 23.

Tabela 23 – Demandas Hídricas Superficiais para 2010

Sub-Bacias	Demanda prevista para 2010 (L/s/km ²)					
	Abastecimento Público	Diluição de Esgoto Doméstico	Irrigação	Pecuária	Indústria	Diluição de Esgoto Industrial
1	0,73	1,05	1,18	0,12	0,6	0,26
2	0,13	0,59	0,77	0,05	0,03	0,02
6	0,12	0,22	0,42	0,03	0,01	0,01

*Adaptado da Tabela 8.12 da minuta 340/08 do plano de bacia da UGHI-13

Semelhante a simulação realizada no Cenários 1 e 2, todos os próximos seis cenários foram simulados da seguinte forma, primeiramente simulou-se o período de 1977 a 2010 (curto prazo – Cenário 3) com os dados de vazões mínimas mensais obtidas através da série sintética gerada, e em seguida simulou o mesmo período agora com os dados de vazões médias mensais (Cenário 4). O mesmo procedimento foi adotado para a simulação do período de 1977 a 2025 (médio prazo – Cenário 5 e 6), e para o período de 1977 a 2050 (longo prazo – Cenário 7 e 8).

Para a simulação dos Cenários de 3 a 8 utilizou-se a demanda específica total de cada um dos usos, e respeitando a legislação atual dos recursos hídricos que descreve sobre a utilização de usos prioritários, sendo assim, a seguinte ordem foi utilizada para cada uso, respeitando a prioridade de um uso sobre o outro:

1. Abastecimento Público;
2. Pecuária (dessedentação);
3. Irrigação;
4. Indústria;
5. Diluição de esgoto doméstico e;
6. Diluição de esgoto industrial.

7.4 Simulação do Cenário 3

Para a simulação do Cenário 3 utilizou-se os dados da Tabela 23 como entrada, para o período de 1977 a 2010 (curto prazo) e os mesmos foram simulados através das vazões mínimas obtidas para período de 1977 a 2010.

Como resultado desta simulação e utilizando como dado de entrada as vazões mínimas obtivemos um índice de 100% de satisfação para o atendimento de cada demanda. Para exemplificar graficamente os resultados optou-se por plotar todas as demandas em uma única figura de maneira que as mesmas fossem melhores ilustradas como mostrado na Figura 32.

Figura 32 – Simulação do Cenário 3 com vazões mínimas para os usos

Os resultados da simulação para atendimento da Usina de Ibatinga também foi atendido com um índice de satisfação de 100% como mostra o Figura 33:

Figura 33 – Simulação do Cenário 3 com vazões mínimas para a UHE Ibatinga

O balanço de massa resultante desta simulação com utilização da série gerada através das vazões mínimas também se mostrou a atender os usos do reservatório para o período em questão como podemos observar no Figura 34.

Figura 34 – Simulação do Cenário 3 com vazões mínimas para o reservatório

7.5 Simulação do Cenário 4

Na simulação do Cenário 4, os mesmos dados referentes às demandas para o ano de 2010, e que constam na Tabela 23 foram utilizados, sendo que neste caso foi utilizado a série de vazões médias mensais para o período de 1977 a 2010. Respeitou-se também a ordem de prioridade de cada uso e em cada Sub-Bacia de acordo com a legislação referente a recursos hídricos.

Como resultado, todos os usos foram atendidos com índice de 100% de satisfação como mostra a Figura 35.

Figura 35 – Simulação do Cenário 4 com vazões médias para os usos

Da mesma maneira que para as vazões mínimas, para a simulação com as vazões médias a UHE de Ibitinga, também teve sua demanda atendida em 100%. A Figura 36, ilustra os resultados desta simulação.

Figura 36 – Simulação do Cenário 4 com vazões médias para a UHE Itaipava

O reservatório não apresentou nenhuma alteração no atendimento de suas demandas e nenhuma alteração relativamente grande no balanço de massa, conforme

Figura 37

Figura 37 – Simulação do Cenário 4 com vazões médias para reservatório

Para a simulação dos Cenários 5 e 6 considerou um horizonte de médio prazo, que foi estabelecido até o ano de 2025, onde foram utilizados os seguintes dados de entrada de demanda específica, para cada uso nas sub-bacias, conforme Tabela 24.

Tabela 24 – Demandas Hídricas Superficiais para 2025

Sub-Bacias	Demanda prevista para 2025 (L/s/km ²)					
	Abastecimento Público	Diluição de Esgoto Doméstico	Irrigação	Pecuária	Indústria	Diluição de Esgoto Industrial
1	0,9	1,3	1,49	0,14	0,85	0,39
2	0,21	0,98	1,18	0,07	0,04	0,03
6	0,14	0,28	0,52	0,03	0,01	0,02

Fonte: *Adaptado da Tabela 8.12 da minuta 340/08 do plano de bacia da UGHI-13

7.6 Simulação do Cenário 5

Na simulação do Cenário 5 utilizaram-se como dado de entrada as vazões mínimas obtidas através da geração série sintética entre o período de 1977 a 2025 (médio prazo). Neste cenário foi considerada a demanda específica total obtida a partir da Tabela 2, referente a cada uso e a casa trecho das sub-bacias em estudo para o ano de 2025.

A Figura 38 ilustra o Simulação do Cenário 5 para o atendimento das demandas do ano de 2025.

Figura 38 – Simulação do Cenário 5 com vazões mínimas para os usos

A Figura 39 ilustra o Simulação do Cenário 5 com vazões mínimas para o atendimento da UHE Ibitinga, que também obteve um índice de 100% de satisfação.

Figura 39 – Simulação do Cenário 5 com vazões médias para a UHE Ibitinga

A Simulação do Cenário das vazões mínimas para o balanço de massa do reservatório também teve suas necessidades atendidas para o horizonte de 2025, com indica a Figura 40.

Figura 40 – Simulação do Cenário 5 com vazões médias para o reservatório

7.7 Simulação do Cenário 6

A simulação do Cenário 6 apresentou como resultado um índice de satisfação de 100% de atendimento para todos os as demandas específicas os usos, sendo que a simulação foi realizadas com a série de vazões médias. A Figura 41 ilustra o resultado destas simulações.

Figura 41 – Simulação do Cenário 6 com vazões médias para os usos

A demanda da UHE Ibitinga também teve um atendimento de 100% referente à sua demanda para o horizonte de 2025 e com a utilização da série de vazões médias. A seguir, a Figura 42 ilustra os resultados.

Figura 42 – Simulação do Cenário 6 com vazões mínimas para a UHE Ibitinga

O resultado do balanço de massa do reservatório também se mostrou muito positivo, atendo de forma adequada para o horizonte de 2025 as demandas que dele necessitam. Da mesma maneira que para as vazões mínimas a Figura 43 ilustra o resultado para as vazões médias.

Figura 43 – Simulação do Cenário 6 com vazões médias para o reservatório

Para as simulações do cenário 7 e 8 foram utilizados os seguintes dados da

Tabela 25 obtidos a partir do Plano de Bacia da UGRHI-13.

Tabela 25 – Demandas Hídricas Superficiais para 2050

Demanda prevista para 2050 (L/s/km ²)						
Sub-Bacias	Abastecimento Público	Diluição de Esgoto Doméstico	Irrigação	Pecuária	Indústria	Diluição de Esgoto Industrial
1	1,18	1,73	1,97	0,16	1,43	0,69
2	0,39	1,85	2,06	0,14	0,06	0,04
6	0,2	0,4	0,69	0,05	0,02	0,02

Fonte: *Adaptado da Tabela 8.12 da minuta 340/08 do plano de bacia da UGH-13

7.8 Simulação do Cenário 7

Para a simulação do Cenário 7 foi utilizado como dado de entrada as vazões

mínimas obtidas através da série sintética para o horizonte de 2050. Da mesma

maneira que outras simulações com entrada de dados de vazões mínimas, todos os

usos específicos apresentaram um índice de satisfação de 100% referente ao

atendimento de suas demandas. Também de forma a simplificar o entendimento do resultado, optou-se por plotar todos os dados conforme a Figura 44.

Figura 44 – Simulação do Cenário 7 com vazões mínimas para os usos

A UHE Ibitinga também obteve um índice de satisfação de 100% para o atendimento de sua demanda conforme a Figura 45.

Figura 45 – Simulação do Cenário 7 com vazões mínimas para a UHE Ibitinga

O reservatório também não apresentou nenhuma alteração no que se refere ao atendimento de suas demandas e nenhuma alteração relativamente grande no que se refere o balanço de massa, conforme Figura 46.

Figura 46 – Simulação do Cenário 7 com vazões mínimas para o reservatório

7.9 Simulação do Cenário 8

Na simulação do Cenário 8, levou-se em consideração as vazões médias obtidas pela geração da série sintética para o horizonte de longo prazo de 2050. Da mesma maneira que a Simulação do Cenário dos outros cenários com os dados de vazões médias, aqui também não se observa a falta de atendimento às demandas específicas de cada uso conforme ilustrado claramente no Figura 47.

Figura 47 – Simulação do Cenário 8 com vazões médias para os usos

A UHE Ibitinga também obteve um índice de satisfação de 100% para o atendimento de sua demanda conforme a Figura 48.

Figura 48 – Simulação do Cenário 8 com vazões médias para a UHE Ibitinga

O reservatório também não apresentou nenhuma alteração no que se refere ao atendimento de suas demandas e nenhuma alteração relativamente grande no que se refere o balanço de massa, conforme Figura 49.

Figura 49 - Simulação do Cenário 8 com vazões médias para o reservatório

8 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O Cenário 1 e o Cenário 2 foram simulados a partir das série geradas no intervalo de tempo entre 1977 e 2008, sendo que o Cenário 1 foi simulado com os dados de vazões mínimas mensais, e o Cenário 2 com os dados de vazões médias mensais. Através dos resultados observados nas figuras relativas a cada cenário ficou nítido que as demandas de 16,2 (m^3/s) da Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu, 3,9 (m^3/s) da Sub-Bacia do Rio Jacaré-Pepira e 0,9 (m^3/s) da Sub-Bacia do Rio Claro foram atendidas com um índice de satisfação de 100%.

É importante destacar também que o balanço ocorrido no reservatório atendeu de forma adequada tanto os usos das demandas atuais quanto a demanda para a geração de energia da UHE Ibitinga, valor este de energia, que foi obtido através da AES Tietê empresa concessionária da UHE, que também obteve um índice de satisfação de 100% para sua geração de energia com os dados de entrada de vazões mínimas e vazões médias. Nota-se também na simulação destes dois cenários que não houve nenhum desvio de água no balanço de massa ocorrido nas simulações, o que confirma que a UGRHI-13 se enquadra dentro do Estado de São Paulo como uma bacia que ainda possui uma oferta considerável de água para atendimento dos usos

múltiplos ainda que a sua demanda da vazão mínima consuma entre 51% a 100% da oferta disponível conforme o Relatório Zero de 2000.

Os resultados das simulações para os Cenários 3 e 4 para o horizonte de 2010 (curto prazo) também se mostraram 100% satisfatório no que se refere aos atendimentos do seus usos das sub-bacias, do reservatório e para a demanda da UHE Ibatinga. Por não apresentarem valores muito superiores se comparado com as demandas atuais, tanto a simulação com a série de vazões mínimas quanto à simulação com a série de vazões médias foram capazes de atender as demandas de 2010.

Mais uma vez para os Cenários 5 e 6 simulados para 2025 (médio prazo) as demandas estabelecidas como dado de entrada para os diversos usos, o reservatório e a UHE Ibatinga foram atendidas com um índice de 100 % de satisfação.

Finalmente para simulação dos Cenários 7 e 8 (longo prazo) para o horizonte de 2050 os resultados são semelhantes aos resultados das simulações anteriores, não havendo discrepância em relação à satisfação dos atendimentos.

Por fim cabe ressaltar que os dados de entrada para realização das simulações levaram em consideração somente dados de águas superficiais, não levou em consideração também os lançamentos que ocorrem nas sub-bacias, que de maneira

preliminar através das demandas dos usos consuntivos podemos averiguar que o resultado não seria diferente o que diz respeito à satisfação do atendimento, já que no trabalho ficou claro que a oferta de água disponível na bacia é considerável.

Um dado importe que têm que ser levado em consideração é a qualidade dos dados fluviométricos disponíveis nos postos da região, um vez que o Relatório Zero da UGRHI-13 descreve que pode haver inconsistência em alguns postos ou mesmo a falta de dados em outros, fazendo com que tenhamos que escolher os postos com critérios que sejam relevantes com, por exemplo, a quantidade de dados disponível em cada série de vazões.

De maneira geral, a utilização do programa MIKE BASIN mostrou-se um ferramenta de grande importância de suporte para o tomador de decisões, pois, se mostrou de fácil interação entre o usuário e a plataforma de dados, interação essa de grande importância principalmente nos dias atuais, em que decisões são tomadas em um curto espaço de tempo para que se possam solucionar conflitos locais ou regionais por causa da escassez, ou para que se possa planejar a utilização do bem comum que é água de maneira mais eficiente e que possa atender aos diversos usos múltiplos minimizando a existência de conflitos.

Durante a revisão bibliográfica sobre o tema do trabalho confirmou-se a originalidade, relevância e oportunidade do mesmo, pois existem vários trabalhos que aplicam sistema de suporte a decisão no planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, sendo assim, o trabalho buscou aplicar uma metodologia com o intuito de reafirmar e apoiar o processo de decisão

Por fim, o trabalho proposto é uma ferramenta de decisão generalizada de apoio para o planejamento e gestão dos usos dos recursos hídricos. Ele inclui muitas inovações, coma a aplicação do MIKE BASIN na gestão dos recursos hídricos. Emprega uma abordagem de simulação que reduz de forma considerável o número de parâmetros aplicados na operação, introduzindo regras e utilizando seus parâmetros de controle variáveis. Com a saída de dados do modelo podemos prever o funcionamento do sistema de recursos hídricos para o trecho em estudo da Bacia do Tiete-Jacaré, e garantir um conjunto de metas a ser alcançadas pelo planejamento, para que a gestão possa garantir um nível confiável de água capaz de atender as demandas requeridas pelos os usos múltiplos da bacia.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTIN, L. L. **Avaliação da Quantidade e Qualidade dos Recursos Hídricos Superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí – Mirim (SP) Através do Simulador Computacional Mike Basin**. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

ALMEIDA, C.C. (2002). Outorga dos Direitos de Uso de Recursos Hídricos. Aluna da FESMPDFT. In: **JUS Navigandi**. Disponível em <http://jus2.uol.com.br/doutrina/texto.asp?id=3680&p=2>. Acesso em 17/09/2007.

ANDREU, J.; CAPILLA, J.; SANCHÍS, E. AQUATOOL, a Generalized Decision-Support System for Water-Resources Planning an Operational Management. **Journal of Hydrology**, v. 177, n. 3-4, p. 269-291.1996.

ANGNES, F. B.. **Prospecção de instrumentos hidrológicos para apoio à gestão em ambientes urbanos**. 2004. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

AZEVEDO, L.G.T.; BALTAR, A.M.; RÊGO, M.; PORTO, R.L.L. **Sistemas de Suporte à Decisão para a Outorga de Direitos de Uso da Água no Brasil – 1º edição**. Brasília: Banco Mundial, 2003. p5-6.

BATCHELOR, C., (1999), Improving water use efficiency as part of integrated catchment management. **Agricultural Water Management**. v 40, p249–263.

BARRETEAU, O (2003). "The joint use of role-playing games and models regarding negotiation processes: characterization of associations". In **Journal of Artificial Societies and Social Simulation** 6(2)3.

BARROS, A. B. Na Gestão de Bacias Hidrográficas, é preciso respeitar o espírito da Lei 9433: a descentralização das decisões e a participação efetiva da sociedade civil. **Águas do Brasil**, Vol. 2 abril/junho de 2000, p. 38 e 39.

BRANDÃO, J. L. B. **Modelo para operação de sistemas de reservatórios com usos múltiplos**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica) – Escola de Politécnica de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

BRAGA, B. P. F.; YEH, W. W-G.; BECKER, L.; BARROS, M. T. L. Stochastic Optimization of Multiple-Reservoir-System Operation. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 117, n. 4, p. 471-481, July/August.1991.

BRASIL (1997) Lei nº 9.344 de 8 de janeiro de 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Legislativo. Brasília, DF, 08 de jan.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A., (1998). **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford University Press.

CARRERA, J. F. & GARRIDO, J. R. **Economia dos Recursos Hídricos**. Salvador Editora da Universidade Federal da Bahia – EDUFBA, 2002. 458p.

CBH-TJ. Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê – Jacaré Diagnóstico da situação atual dos Recursos Hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Tietê- Jacaré **Relatório Zero** – Relatório Final n.º 40.674, 528p.

CRUZ, J. C. **Metodologias Para apoio a Outorga de Recursos Hídricos**. Projeto CNPq, GERHI- Grupo de Pesquisa: Gestão de Recursos Hídricos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

COIMBRA, R.; ROCHA, C.L.; BEEKEMAN, G.B.; (1991). **Recursos hídricos: conceitos, desafios e capacitação**. Brasília, ANEEL.

DAEE. Plano Estadual de Recursos Hídricos: 2004/2007 Resumo. Estado de São Paulo, 2007.

GRIGG, N. S. (1996), **Water Resources Management: Principles, Regulations, and Cases**, McGraw-Hill, New York.

FREITAS, M. A. V. (Organizador) (2003). “Instrumentos para gestão de recursos hídricos” in **O Estado das Águas no Brasil**, 2001-2002. Agência Nacional de Águas, Brasília, pp. 285 – 358.

GOODCHILD, M. F.; HAINING, R.; WISE, S. Integrating GIS and spatial data analysis: **Problems and possibilities**. Int. J. Geographical Information Systems 6(5): p. 407-423, 1992.

HALL, W. A.; BUTCHER, W. S.; ESOGBUE, A. (1968). Optimization of the Operation of a Multiple-Purpose Reservoir by Dynamic Programming. **Water Resources Research**, v. 4, n. 3, p. 471-477, June.

IRESON, A.; MAKROPOULOS, C.; MAKSIMOVIC, C. (2006). Water Resources Modelling under Data Scarcity: Coupling MIKE BASIN and ASM Groundwater Model. **Water Resources Management** v. 20: p. 567–590 September.

LANNA, A. E. (1997). “Modelos de gerenciamento das águas”. **A água em revista**, Belo Horizonte, nº8, p. 24-33, ano V.

LIMA, G. **Aplicação de Simulação Computacional na Análise dos Conflitos entre os usos Múltiplos da Água na Bacia do Rio Atibaia no Estado de São Paulo**. 2002 Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

LIMA, G.; PEIXOTO, L. S.; MAUAD, F. F. (2001). **Aplicação do Modelo de Simulação MIKE BASIN 2000 no Planejamento e Gerenciamento de Recursos**

Hídricos. 22nd IBERIAN LATIN-AMERICAN CONGRESS ON COMPUTATIONAL METHODS IN ENGINEERING. Campinas – SP, 2001.

LOUCKS, D., STEDINGER, J., HAITH, D. **Water resource systems planning and analysis.** New Jersey: Prentice-Hall/Englewood Cliffs, 1981.

MARGULIS,S; HUGHES, G.; GAMBRIL, BRASIL L.G.: (2002) *A Gestão da Qualidade da Água.* Inserção de Temas Ambientais na Agenda do Setor Hídricos. Banco Mundial – Brasil.

MAYS, L.W., and TUNG, Y-K. (1992), **Hydrosystems Engineering and Management**, McGraw-Hill, 1992.

McKINNEY, D. C.; CAI, X. Linking GIS and water resources management models: an object-oriented method. **Environmental Modelling & Software** 17:p. 413–425, 2002.

MENDES,C.A.B.; CIRILO, J. A.,**Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação**, 1^o Edição, Editora ABRH, 2001,536p.

PEIXOTO, L. S. **Derivação de regras operacionais de proteção de sistemas de reservatórios via Algoritmos Genéticos.** 2006. Tese (Doutorado em hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

PORTO, R.L.L. e AZEVEDO, L.G.T. (1997). **Sistemas de Suporte a Decisões Aplicados a Problemas de Recursos Hídricos.** In: Porto, R.L.L. (Ed.). Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos. Editora Universidade/UFRGS/ABRH, Porto Alegre, Brasil, 43-95.

ROBERTO, A. N. e PORTO, R. L. (1999), **Alocação da Água entre Múltiplos Usos em uma Bacia Hidrográfica**, Décimo Terceiro Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, ABRH.

RODRIGUES, R. S. **As Dimensões legais e Institucionais do Reuso de Água no Brasil: Proposta de Regulamentação do reuso no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Sanitária) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ROSA, R. (1990). **Introdução a Sensoriamento Remoto**, 3º Edição, Editora da Universidade Federal de Uberlândia, 1995, 117p.

SALIM, F. P. C. (2004) **Desenvolvimento de Sistema de Suporte à Decisão Para Subsídio à Outorga de Múltiplas Fontes de Poluição Pontual**. Dissertação – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória – ES, 120 p.

SCHÖNE, C.M.A. **Processo de Criação e Implementação dos Organismos de Gestão de Água e Solo na Região Metropolitana de Curitiba**. 2004. Dissertação (Engenharia Ambiental) – Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2004.

SIMACHAYA, W. **Integrated Approaches to Water Quality Management Using Geographic Information Systems and the WASP5 Simulation Model: Application to the Tha Chin River Basin, Thailand**. Thesis (Doctor in Philosophy) – The University of Guelph, Ontario, 1999.

WILKS, D.S. Simultaneous stochastic simulation of daily precipitation, temperature and solar radiation at multiple sites in complex terrain. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.96, n.1-3, p.85-101, 1999

YEH, W. W-G. (1985). Reservoir Management and Operations Models: A State-of-the-Art Review. **Water Resources Research**, v.21, n.12, p.1797-1818.

YEN, J. H.; CHEN, C. Y. (2001). **Allocation Strategy Analysis of Water Resources in South Taiwan**. Water Resources Management, v. 15, n. 5, p. 283-297, October.

Zamberlan, P. C.; Binatti, J.; Lima, F.A.; Piffer, D. S.; Thomal, J. T.; Peixoto, L. S. **A Importância da Implantação Integrada dos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, 2008.