Dedico este trabalho aos meus
Pais Vergílio Pioltine Filho e
Shirley Macedo Pioltine pela
ajuda, incentivo e carinho

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Dr. Frederico Fábio Mauad, pela confiança e dedicação.

Aos meus pais Vergílio Pioltine Filho e Shirley Macedo Pioltine, aos meus irmãos Andre Pioltine e Luis Flavio Pioltine e aos meus amigos Francisco Cesar Dalmo, Ivo Gilberto Duarte David da Costa e Liliane Lazzari Albertin.

Ao CNPq pela bolsa concedida e a todos os companheiros do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo.

RESUMO

PIOLTINE, V. **Análise do atendimento às demandas hídricas superficiais no reservatório da usina Bariri (SP) utilizando o simulador computacional Mike Basin**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

É indiscutível a importância da disponibilidade hídrica tanto quantitativa como qualitativa para o desenvolvimento adequado de determinada região inserida em bacias hidrográficas. Tal desenvolvimento deve ser planejado e administrado visando à minimização dos conflitos ocasionados pelos usos múltiplos da água, de modo que todas as demandas possam ter o máximo de confiabilidade em seus respectivos atendimentos e, também, possa haver a maximização dos benefícios sociais, econômicos e ambientais na região. Diante disso, este trabalho buscou analisar o atendimento às demandas hídricas superficiais para os diversos setores usuários localizados na área de drenagem do reservatório da usina Bariri (SP). Por meio da aplicação do simulador hidrológico MIKE BASIN foi analisado o desempenho do reservatório da Usina Bariri em atender às demandas hídricas superficiais para o ano de 2008 e para cenários futuros com anos horizontes de 2010, 2025 e 2050. A partir deste estudo concluiu-se que há volume de água suficiente para atender às demandas hídricas superficiais na região de estudo e também para atender a produção energética na usina Bariri. O *software* Mike Basin mostrou-se ser uma ferramenta muito útil para a gestão dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Recursos hídricos, simulação computacional, Mike Basin

ABSTRACT

PIOLTINE, V. **Analysis of the service demands on surface water reservoir of the Bariri (SP) Power Plant using the computer simulator Mike Basin.** 2009. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

It is clear the importance of water availability both qualitative and quantitative for the development of a region inserted into a catchment area. This development must be planned and managed to the minimization of conflicts caused by multiple uses of water so that all demands have the maximum reliability in their care and also may be the maximization of social, economic and environmental in the region. Thus, this study, analyzed the surface water and its demands for different sectors users located in the drainage of the reservoir of the Bariri (SP) Power Plant. Through the application of hydrological simulation MIKE BASIN was examined system performance in meeting the demands for water current conditions (year 2008) and for future scenarios with years to 2010, 2025 and 2050. From this study, it is concluded that volume of water needed to meet the demands water surface in the region of study and energy production reached its goal in every period simulated.

Keywords: Water resources, computer simulation, Mike Basin

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Arquitetura de um sistema de suporte a decisão (PORTO; AZEVEDO, 1997).	12
Figura 2 – Principais características de um SSD (TURBAN, 1993 apud PORTO; AZEVEDO, 1997).	14
Figura 3: Distribuição das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, com destaque para as UGRHI Tietê - Jacaré.	49
Figura 4 – Sub-bacias da UGRHI Tietê – Jacaré	57
Figura 5 – Descrição dos pontos de amostragem	75
Figura 6 – Resultados mensais e médias anuais do IAP – 2007	76
Figura 7 - Resultados mensais e médias anuais do IQA – 2007	76
Figura 8 – Resultados mensais e médias anual do IVA – 2007	77
Figura 9 – Resultados mensais e média anual do IET – 2007	78
Figura 10 – Localização da área de estudo dentro da UGRHI – 13	80
Figura 11 - Localização do reservatório de Bariri e seus principais tributários (Adaptado de Marciano, 2005)	82
Figura 12 – Relação entre cota e volume para o reservatório de Bariri	84
Figura 13 – Relação entre cota e área para o reservatório de Bariri	84
Figura 14 - Conceito do modelo MIKE BASIN	88
Figura 15 - Armazenamentos físicos da opção “Allocation Pool Reservoir	90
Figura 16 – Zona de armazenamento do reservatório	93
Figura 17 – Localização dos postos fluviométricos dentro da área de estudo	98
Figura 18 – Evaporação líquida (mm) mensal no reservatório de Bariri	102
Figura 19 – Rede de fluxo representativa do cenário 1	112

Figura 20 – Rede de fluxo representativa do cenário 3.....	114
Figura 21 – Comparação entre as vazões observadas e as vazões geradas pelo modelo AR (1) para a vazão média afluente ao reservatório de Bariri.....	120
Figura 22 – Comparação entre as vazões médias observadas e as vazões médias geradas pelo modelo AR (1) para o posto fluviométrico 62725000.....	120
Figura 23 – Histograma dos ruídos brancos de Z1 (t).....	122
Figura 24 – Histograma dos ruídos brancos de Z2 (t).....	122
Figura 25 - – Comparação entre as vazões observadas e as vazões geradas pelo modelo AR (1) para a vazão mínima afluente ao reservatório de Bariri	124
Figura 26 – Comparação entre as vazões mínimas observadas e as vazões mínimas geradas pelo modelo AR (1) para o posto fluviométrico 62725000.....	124
Figura 27 - Histograma dos ruídos brancos de Z1 (t).....	125
Figura 28 - Histograma dos ruídos brancos de Z2 (t).....	126
Figura 29 – Resultado da simulação para a usina Bariri – Cenário 1.....	127
Figura 30 – Resultado da simulação para o reservatório da usina Bariri – Cenário 1	128
Figura 31 – Resultado da simulação para a sub-bacia do rio Lençóis – Cenário 1.....	129
Figura 32 – Resultado da simulação para a sub-bacia do rio Bauru – Cenário 1....	129
Figura 33 – Resultado da simulação para a sub-bacia do rio Jaú – Cenário 1	130
Figura 34 - Resultado da simulação para a usina Bariri – Cenário 2	131
Figura 35 - Resultado da simulação para o reservatório da usina Bariri – Cenário 2	132
Figura 36 - Resultado da simulação para a sub-bacia do rio Lençóis – Cenário 2..	133
Figura 37 - Resultado da simulação para a sub-bacia do rio Bauru – Cenário 2	133
Figura 38 - Resultado da simulação para a sub-bacia do rio Jaú – Cenário 1	133
Figura 39 - Resultado da simulação para a usina Bariri – Cenário 3	135
Figura 40 - Resultado da simulação para o reservatório da usina Bariri – Cenário 3	136
Figura 41 - Resultado da simulação para a usina Bariri – Cenário 4	138

Figura 42 - Resultado da simulação para o reservatório da usina Bariri – Cenário 4	139
Figura 43 - Resultado da simulação para a usina Bariri – Cenário 5	141
Figura 44 - Resultado da simulação para o reservatório da usina Bariri – Cenário 5	142
Figura 45 - Resultado da simulação para a usina Bariri – Cenário 6	144
Figura 46 - Resultado da simulação para o reservatório da usina Bariri – Cenário 6	145
Figura 47- Resultado da simulação para a usina Bariri – Cenário 7	147
Figura 48 - Resultado da simulação para o reservatório da usina Bariri – Cenário 7	148
Figura 49 - Resultado da simulação para a usina Bariri – Cenário 8	150
Figura 50 - Resultado da simulação para o reservatório da usina Bariri – Cenário 8	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estados que possuem leis aprovadas sobre recursos hídricos.....	42
Tabela 2 – Constituição e leis sobre recursos hídricos no Estado de São Paulo.....	43
Tabela 3 – Decretos sobre recursos hídricos no Estado de São Paulo	44
Tabela 4 – Vegetação natural remanescente na UGRHI – 13	51
Tabela 5 – Aquíferos presentes na área da UGRHI – 13.....	55
Tabela 6 – Características da nova divisão das sub-bacias da UGRHI – 13	56
Tabela 7 – Captação de água subterrânea para a UGRHI – 13.....	60
Tabela 8 – Vazão disponível para aproveitamentos subterrâneos na UGRHI – 13 ..	61
Tabela 9 – Valores do $Q_{7,10}$ para cada sub-bacia com o total para a UGRHI – 13 ...	65
Tabela 10 – Outorga de água superficial para a UGRHI – 13 segundo dados do DAEE de setembro de 2007	66
Tabela 10 (continuação) – Outorga de água superficial para a UGRHI – 13 segundo dados do DAEE de setembro de 2007	67
Tabela 11 – Projeção da população da UGRHI – 13	69
Tabela 12 – Disponibilidade hídrica superficial para a UGRHI – 13 (m^3/s)	70
Tabela 13 – Demandas hídricas superficiais globais	71
Tabela 14 – Demandas previstas para 2010 do Cenário Tendencial ($L/s/Km^2$)	72
Tabela 15 - Demandas previstas para 2025 do Cenário Tendencial ($L/s/Km^2$).....	72
Tabela 16 - Demandas previstas para 2050 do Cenário Tendencial ($L/s/Km^2$).....	73
Tabela 17 - Demandas previstas para 2010 do Cenário Alternativo ($L/s/Km^2$)	73
Tabela 18 - Demandas previstas para 2025 do Cenário Alternativo ($L/s/Km^2$)	74
Tabela 19 - Demandas previstas para 2050 do Cenário Alternativo ($L/s/Km^2$)	74
Tabela 20 – Principais características morfométricas do reservatório de Bariri	81

Tabela 21 – Municípios presentes na área de drenagem do reservatório de Bariri ..	83
Tabela 22 – Taxa de Geométrica de Crescimento Anual e projeção populacional para os municípios pertencentes à área de drenagem do reservatório de Bariri	85
Tabela 23 – Postos fluviométricos presentes na área de estudo	97
Tabela 24 – Demandas hídricas na área de estudo em 2008	100
Tabela 25 - Demandas previstas na área de estudo em 2010 (m³/s).....	100
Tabela 26 - Demandas previstas na área de estudo em 2025 (m³/s).....	100
Tabela 27 - Demandas previstas na área de estudo em 2050 (m³/s).....	101
Tabela 28 – Principais dados da usina de Bariri que serão utilizados no modelo computacional	101
Tabela 29 – Descrição da rede de fluxo	112
Tabela 30 – Descrição da rede de fluxo do cenário 3	115
Tabela 31 – Análise estatística dos ruídos brancos das séries Z_1 e Z_2	121
Tabela 32 - Análise estatística dos ruídos brancos das séries Z_1 e Z_2	125
Tabela 33 – Índice de satisfação média no período de 1966 a 2010 para setores usuários – Cenário 3	137
Tabela 34 – Índice de satisfação média no período de 1966 a 2010 para setores usuários – Cenário 4	139
Tabela 35 - Índice de satisfação média no período de 1966 a 2025 para setores usuários – Cenário 5	143
Tabela 36 – Índice de satisfação média no período de 1966 a 2025 para setores usuários – Cenário 6	146
Tabela 37 - Índice de satisfação média no período de 1966 a 2050 para setores usuários – Cenário 7	149
Tabela 38 – Déficits hídricos ocorridos no cenário 7 – m³/s – Outubro/2003	149
Tabela 39 – Índice de satisfação média no período de 1966 a 2050 para setores usuários – Cenário 8	152

SUMÁRIO

RESUMO.....	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	ix
SUMÁRIO.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. TÉCNICAS DE ANÁLISE DE SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS	3
2.2. SISTEMAS DE SUPORTE A DECISÃO - SSD.....	10
2.2.1. APLICAÇÃO DE SISTEMAS DE SUPORTE A DECISÃO EM RECURSOS HÍDRICOS.....	14
2.3. CONFLITOS PELO USO DA ÁGUA	23
2.4. A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS	27
2.4.1. LEGISLAÇÃO FEDERAL REFERENTE À GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS	29
2.4.2. LEGISLAÇÃO ESTADUAL REFERENTE À GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS EM SÃO PAULO	41
3. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO	48
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE DE GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS TIETÊ-JACARÉ – UGRHI 13	49
3.1.1. ASPECTOS GERAIS.....	49
3.1.2. ASPECTOS DO MEIO FÍSICO E BIÓTIPO.....	50
3.1.2.1. VEGETAÇÃO.....	50
3.1.2.2. CLIMA.....	51
3.1.2.3. GEOLOGIA.....	53

3.1.2.4.	GEOMORFOLOGIA.....	53
3.1.2.5.	PEDOLOGIA.....	54
3.1.2.6.	HIDROGEOLOGIA.....	54
3.1.3.	RECURSOS HÍDRICOS.....	55
3.1.3.1.	RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS.....	57
3.1.3.2.	RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS.....	62
3.1.3.2.1.	CENÁRIOS DE OFERTA HÍDRICA	62
3.1.3.2.2.	DEMANDAS HÍDRICAS SUPERFICIAIS CADASTRADAS PARA A UGRHI – 13	65
3.1.3.2.3.	CENÁRIOS DE DEMANDA DE RECURSOS HÍDRICOS	67
3.1.4.	QUALIDADE DAS ÁGUAS	75
3.1.4.1.	ABASTECIMENTO PÚBLICO	75
3.1.4.2.	PROTEÇÃO DA VIDA AQUÁTICA	77
3.2.	CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO: BACIA DE CONTRIBUIÇÃO DO RESERVATÓRIO DE BARIRI.....	79
3.2.1.	A USINA HIDRELÉTRICA ÁLVARO SOUZA DE LIMA - BARIRI	80
3.2.2.	CARACTERIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO DE BARIRI	81
3.2.3.	ASPECTOS DEMOGRÁFICOS.....	85
3.2.4.	ASPECTOS SOCIOECONOMICOS.....	86
3.2.5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	86
4.	METODOLOGIA.....	87
4.1.	MODELO COMPUTACIONAL MIKE BASIN 2000	87
4.1.1.	RIOS.....	89
4.1.2.	RESERVATÓRIOS.....	89
4.1.3.	ABASTECIMENTO URBANO E INDUSTRIAL	94
4.1.4.	USINAS HIDRELÉTRICAS.....	95

4.2.	LEVANTAMENTO DE DADOS NECESSÁRIOS PARA AS SIMULAÇÕES.	96
4.2.1.	DADOS FLUVIOMÉTRICOS	97
4.2.2.	DEMANDAS DOS RECURSOS HÍDRICOS NA ÁREA DE ESTUDO ...	99
4.2.3.	DADOS DE PRODUÇÃO ENERGÉTICA DA USINA ALVARO SOUZA LIMA – BARIRI	101
4.2.4.	DADOS DE EVAPORAÇÃO DO RESERVATÓRIO DE BARIRI	101
4.2.5.	DADOS DE PRECIPITAÇÃO DO RESERVATÓRIO DE BARIRI.....	102
4.3.	O MODELO ESTACIONÁRIO MULTIVARIADO AUTOREGRESSIVO DE PRIMEIRA ORDEM AR (1).....	103
5.	MODELAGEM DO RESERVATÓRIO DA USINA BARIRI PARA AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS.....	111
6.	RESULTADOS	118
6.1.	GERAÇÃO DE SÉRIES DE VAZÕES UTILIZANDO O MODELO AR (1) ..	118
6.1.1.	GERAÇÃO DE SÉRIES DE VAZÕES MÉDIAS MENSAIS UTILIZANDO O MODELO AR (1)	118
6.1.2.	GERAÇÃO DE SÉRIES DE VAZÕES MÍNIMAS MENSAIS UTILIZANDO O MODELO AR (1)	123
6.2.	SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1	126
6.3.	SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 2	130
6.4.	SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3	134
6.5.	SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 4	137
6.6.	SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 5	140
6.7.	SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 6	144
6.8.	SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 7	146
6.9.	SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 8	150
7.	CONCLUSÕES.....	153
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	157

1. INTRODUÇÃO

Os recursos naturais são de suma importância para a humanidade. A água, que é um recurso finito, possui seu uso ligado diretamente ao crescimento econômico e social de um País, que associado aos seus usos múltiplos, tem sofrido permanentes pressões não somente em sua disponibilidade superficial, mas também subterrânea.

No passado, as pequenas necessidades hídricas podiam ser atendidas pelas próprias disponibilidades naturais sem maiores investimentos ou grandes projetos. O aumento populacional e, por conseguinte, o desenvolvimento econômico foram responsáveis pela redução da disponibilidade hídrica em algumas regiões, acentuando-se a necessidade de investimentos para obter água em regiões mais distante.

Embora o Brasil possua uma vazão específica média em torno de 20,9 L/s/km² (ANA, 2009), as diferentes formas de apropriação e suas conseqüências têm tornado o País problemático quanto à alocação de recursos hídricos. Diante disso, a Política Nacional de Recursos Hídricos e a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos através da lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997, tem em um de seus objetivos assegurar disponibilidade hídrica em quantidade e qualidade suficientes para as gerações futuras. Para atingir tal objetivo, a lei cita como instrumentos de gestão os planos de recursos hídricos, o enquadramento dos corpos de água em classes segundo os usos, a outorga de direito de uso dos

recursos hídricos, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos e o sistema nacional de informação sobre recursos hídricos.

Neste trabalho, aplicou-se o simulador computacional MIKE BASIN, desenvolvido pela empresa dinamarquesa DHI *Water & Environment*, de modo a auxiliar a tomada de decisão para a gestão dos recursos hídricos no reservatório da usina Bariri. Este modelo associa técnicas de otimização e simulação na modelagem em rede de fluxo para avaliação de diversos cenários. A bacia hidrográfica nesse modelo é representada em uma estrutura de arcos e de nós que são digitalizados no ambiente *ArcView* do Sistema de Informações Geográficas. Com isso, os principais objetivos desta pesquisa foram:

- Utilizar ferramenta baseado em critérios técnico-científicos que possa auxiliar a tomada de decisão em processos de alocação de recursos hídricos, visando à análise de conflitos entre os usos múltiplos da água presentes na área de estudo.
- Analisar a satisfação no atendimento às demandas para os diversos setores usuários presentes na área de estudo para cenário atual e futuro, e também, analisar a produção energética da usina Bariri.
- Analisar a capacidade da ferramenta escolhida (modelo) em representar e de fornecer resultados condizentes com a realidade.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O processo de tomada de decisão sobre recursos hídricos é uma tarefa complexa e deve ser desenvolvida a partir da interação constante do usuário e um ambiente especialmente criado para dar subsídio às decisões a serem tomadas.

Muitos são os conhecimentos necessários por parte dos gestores para o planejamento dos recursos hídricos, como por exemplo, conhecimento da legislação vigente sobre os recursos hídricos, assim como das tecnologias disponíveis para o auxílio da tomada de decisão.

Diante disso, apresentam-se neste capítulo os principais métodos utilizados para o planejamento dos recursos hídricos, assim como as diversas pesquisas realizadas no mundo sobre Sistemas de Suporte de Decisão. Apresenta-se também uma revisão sobre conflitos gerados pelo uso da água e a atual situação da gestão dos recursos hídricos no Brasil, que são temas que devem ser conhecidos pelos gestores de recursos hídricos.

2.1. TÉCNICAS DE ANÁLISE DE SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS

A Análise de Sistemas de Recursos Hídricos é uma tarefa complexa na busca de soluções para problemas da Engenharia de Recursos Hídricos, a partir de abordagem sistêmica e do uso de técnicas computacionais agregadas à modelagem

matemática. A análise de tais sistemas mostra dois propósitos referentes aos recursos hídricos: simular o comportamento da realidade que eles representam e otimizar a decisão que atuam sobre a realidade (PORTO; AZEVEDO, 1997).

A simulação é uma técnica de modelagem que é utilizada para aproximar o comportamento de um dado sistema, representando todas as suas características por meio de uma descrição matemática. Ela é diferente das técnicas de programação matemática, que encontram uma decisão ótima para a operação de um sistema, atendendo a um conjunto de restrições e maximizando ou minimizando uma função objetivo (MASS et al., 1962 apud PORTO; AZEVEDO, 1997).

A gestão integrada dos recursos hídricos contempla o aspecto do ciclo da água nas esferas ecológicas, climatológicas, hidrológicas, sociais e econômicas. A principal tarefa para uma gestão integrada dos recursos hídricos se refere à conciliação da disponibilidade hídrica qualitativa e quantitativa com as características de qualidade e quantidade requeridas por uma determinada demanda, ou seja, nem sempre o local onde há água disponível, é o local onde há uma maior necessidade hídrica. Diante disso, muitos modelos hidrológicos têm sido desenvolvidos e, nesse contexto, os modelos de simulação realizam a tarefa de representar o sistema de modo que se possa estudar o comportamento quando algumas variáveis são modificadas como, por exemplo, mudanças nas regras de operação de um reservatório aumentando ou diminuindo as vazões liberadas a jusante (KOCH; GRUNEWALD, 2000)

Muitos são os trabalhos realizados no mundo utilizando simulação computacional visando o estudo de sistemas de recursos hídricos e planejamento de bacias

hidrográficas. Estudos realizados por (PAZ; COLLISCHONN; TUCCI, 2006) apresentaram uma metodologia de modelagem integrada rio-planície por meio da combinação de um modelo hidrodinâmico unidimensional aplicado à calha principal do rio e um modelo tipo raster aplicado à planície. Foi simulado o período de dezembro de 1999 a maio de 2000, obtendo-se resultados representativos. Concluiu-se que a modelagem hidrológica-hidrodinâmica constitui uma etapa significativa para o entendimento do funcionamento de ecossistemas e, portanto, sua modelagem é fundamental para estudos ecológicos e de planejamento dos recursos hídricos.

Ferreira (2004) simulou cenários de alocação de recurso hídrico para usuários localizados na Bacia do Sapucaí - Mirim/Grande visando determinar a minimização de conflitos pelo uso da água. Foi utilizado o modelo IRAS – *Interactive River Aquifer Simulation* – para a simulação de dois cenários. O primeiro cenário considerou como afluência as vazões médias mensais e o atual esquema do sistema Sapucaí - Mirim/Grande. No segundo cenário simulou-se uma situação futura com três empreendimentos hidrelétricos considerando a afluência de vazões mínimas. Os resultados obtidos para cada cenário mostraram que o desempenho praticamente não variou entre os cenários simulados e as usinas não tiveram sua capacidade de geração comprometida.

Estudos realizados por (HILTEN; LAWRENCE; TOLLNER, 2008) analisaram a eficácia da utilização de telhados verdes para a redução do escoamento superficial em áreas altamente urbanizadas. Foram utilizados cem blocos de alumínio de dimensões 60 cm x 60 cm x 10 cm para a representação do telhado verde e, também, o *software* de simulação hidrológica HYDRUS-1D, que foi utilizado para

estudar o comportamento dos telhados verdes quanto ao escoamento superficial em termos da redução da vazão de pico e do tempo de detenção quando na presença de pequenas precipitações pluviométricas. As simulações hidrológicas mostraram que o módulo quadrado com profundidade de dez centímetros foi suficiente para uma completa retenção do escoamento superficial para chuvas de até 20 mm.

Liu et al. (2007) utilizando os modelos MIKE SHE e MIKE 11 estudaram por meio de simulações computacionais, a influência da recarga de águas subterrâneas e do fator topográfico sobre a produção hídrica superficial na sub-bacia do Rio Yingsu, localizado na Bacia Hidrográfica do Rio Tarim na China. O modelo MIKE SHE é derivado do modelo hidrológico SHE e é usado para descrever os principais processos físicos do ciclo hidrológico tais como movimento de águas superficiais em rios e lagos. Quanto ao modelo MIKE 11, este é utilizado para modelar o sistema do rio em estudo a partir das equações de Saint Venant. O desempenho da aplicação dos modelos foi avaliado estatisticamente por meio do coeficiente de eficiência E que relaciona a quantidade de água medida com aquela calculada. Os resultados mostraram que a água subterrânea varia a uma profundidade de 1 a 1,5 metros na área de estudo. A análise quantitativa da variação do gradiente indica que a variação espacial na capacidade de transmissão de água no solo é melhor na direção vertical do que na horizontal e que durante uma inundação há uma relação na resposta espacial de longo termo entre vazão superficial e a flutuação da água subterrânea. Os resultados gerados a partir da simulação da área de estudo indicaram que o procedimento metodológico é aplicável a gestão de recursos hídricos em regiões áridas, sendo que a modelagem permite a quantificação do processo que afeta os níveis da água subterrânea e fornece auxílio na gestão de exploração dessas águas.

Albano (2004) desenvolveu uma interface para integração de um Modelo Matemático de Qualidade de Água em Rede de Fluxo (Acquanet) com um modelo de Qualidade de Água em Represas (CE-QUAL-R1). A interface foi gerada a partir de linguagem de programação de modo que as vazões resultantes da simulação do Acquanet servissem como dados de entrada ao CE-QUAL-R1 com o intuito de simular a distribuição vertical das variáveis de qualidade de água em uma represa. A metodologia desenvolvida foi aplicada a represa Jaguari-Jacareí no Sistema Cantareira em São Paulo, como alternativa de gerenciamento quali-quantitativo. Apesar da dificuldade na calibração do modelo CE-QUAL-R1, os valores simulados apresentaram aderência com os valores observados em relação ao perfil térmico da represa estudada, sendo que as simulações dos demais parâmetros ficaram prejudicadas em função da qualidade dos dados de entrada e do grande número de variáveis químicas e biológicas a serem calibradas. A utilização de interfaces como metodologia de integração entre modelos mostrou-se imprescindível para a gestão dos recursos hídricos, porém faz-se necessário séries históricas das variáveis a serem simuladas de modo a balizar a escolhas dos modelos a serem integrados.

No que se refere às técnicas de otimização, esta é requerida quando se deseja otimizar o processo decisório de acordo com uma valoração estabelecida pela função-objetivo referente a um dado sistema de recurso hídrico (PORTO; AZEVEDO, 1997).

Ferramentas de otimização são utilizadas para facilitar a tomada de decisão em planejamento, projeto e operação em larga escala de sistemas de recursos hídricos. Essas ferramentas têm sido um dos principais componentes de Sistemas de Suporte a Decisão, não somente aplicado a recursos hídricos superficiais, mas também na

gestão de aquíferos, operação de reservatórios, controle de poluição no meio ambiente, geração hidrelétrica, irrigação, etc. A aplicação de otimização tem se tornado uma tarefa desafiadora em recursos hídricos devido ao grande número de variáveis de decisão envolvidas e, também, devido à natureza probabilística das múltiplas variáveis de entrada nos modelos que descrevem os processos em recursos hídricos (DATTA; HARIKRISHNA, 2004).

Muitos trabalhos de otimização aplicados a recursos hídricos tem sido desenvolvidos no âmbito nacional e internacional também. Schardong (2006) apresentou uma ferramenta de otimização para análise de problemas de alocação de água em bacias hidrográficas utilizando técnicas de programação linear e linear por partes, integrada a um modelo de amortecimento de ondas em canais. A ferramenta foi incorporada ao Acquanet, um Sistema de Suporte a Decisão para análise de sistemas de recursos hídricos que utiliza um algoritmo de rede de fluxo para otimização e alocação de água. Aplicando-se a metodologia desenvolvida ao sistema da bacia do Alto Tietê, chegou-se a conclusão que utilizando a função objetivo linear, conseguiu-se armazenar mais água nos reservatórios e distribuir melhor os déficits ao longo do período de otimização. Quanto à função objetivo não linear, observou que houve uma tendência em preservar ainda mais a água excedente do sistema nos reservatórios.

He et al. (2008) estudaram a simulação integrada com técnicas de otimização para remediação de águas subterrâneas contaminadas. A metodologia proposta é muito utilizada em estudos que se deseja determinar a capacidade das variáveis exploratórias de um aquífero, investigação dos efeitos de contaminantes e determinação de ações mitigatórias para remediação de áreas contaminadas. O

estudo foi desenvolvido em uma área contaminada com petróleo localizada no oeste do Canadá, com o intuito de identificar estratégias ótimas para remediação. Para examinar a relação entre tempo de bombeamento e eficiência na remoção do contaminante foram consideradas as opções de 5, 10, 15 e 20 anos de duração do bombeamento. Os resultados indicaram que a duração de bombeamento afeta diretamente no processo de otimização, sendo que o pico de contaminação por benzeno seria reduzido para padrões ambientalmente aceitáveis quando a estratégia ótima de remediação é executada.

Estudos realizados por (BRAVO et al., 2006) apresentaram uma metodologia para a otimização do processo decisório das regras de operação do reservatório de Três Marias, no Rio São Francisco, em Minas Gerais. Por meio dessa técnica, a curva-guia é apresentada por segmentos de reta que é utilizada por um modelo de simulação na operação do reservatório, e logo em seguida, o modelo de simulação é acoplado a um algoritmo evolutivo chamado SCE-UA para determinação das regras de operação otimizadas. Os resultados mostraram que o uso de seis ou mais segmentos de reta são suficientes para obter uma boa descrição da curva-guia no caso estudado. A utilização de seis segmentos de reta necessitou-se de um algoritmo com uma população de 140 indivíduos e 150 interações para atingir uma convergência com baixa probabilidade de falha ao atingir o ótimo global do problema, validando a metodologia desenvolvida e a aplicabilidade do algoritmo SCE-UA na determinação de regras de operação ótimas por meio da técnica de parametrização, simulação e otimização.

Chu et al., (2004), apresentaram um sistema para estimação do potencial do reúso de efluentes líquidos. Este estudo foi desenvolvido na China e utilizou um

modelo de programação linear para a otimização do potencial de exploração de efluentes líquido levando em conta aspectos físicos e econômicos. O estudo mostrou que a determinação do potencial de uso desses efluentes líquidos bem como análise de custos, pode ser útil na gestão dos recursos hídricos na China. Os resultados obtidos apontam que a China possui um potencial de uso de 6,3% do total de efluente líquido gerado, sendo que deste percentual, Beijing, Liaoning, Guangdong e Jiangsu possui um potencial de reuso de 44,6%.

2.2. SISTEMAS DE SUPORTE A DECISÃO - SSD

O desequilíbrio entre oferta demanda e qualidade em recursos hídricos tem requerido do Engenheiro Hídrico soluções mais elaboradas. Porém, segundo (PORTO; AZEVEDO, 1997) do ponto de vista teórico, a integração e gerenciamento da qualidade e quantidade de água não há grandes dificuldades, porém na prática tal tarefa é complexa e raramente é realizada, sendo caracterizada por ser um dos maiores desafios a ser alcançado por engenheiros e técnicos que trabalham com recursos hídricos.

A tomada de decisão a respeito de sistemas de recursos hídricos deve considerar obrigatoriamente aspectos hidrológicos, ambientais, econômico, políticos e sociais. Os conflitos pelos recursos hídricos aumentam à medida que as demandas crescem, aumentando também a complexidade dos sistemas de recursos hídricos. Ferramentas baseadas na intensa utilização de banco de dados e modelos matemáticos com interface gráfica amigável são chamadas de Sistemas de Suporte

a Decisão (SSD) e vêm sendo aplicada com sucesso para o gerenciamento dos recursos hídricos (PORTO; AZEVEDO, 1997).

Segundo (SANTOS et al., 2003), os sistemas de informação para recursos hídricos são ferramentas indispensáveis ao tratamento da complexidade, na tarefa de busca das melhores soluções para as questões hídricas, que envolvem aspectos que extrapolam a mera análise dos fatos. Estudos realizados por (MEIRELLES et al., 2005) mostraram que a utilização de Sistemas de Suporte a Decisão tem-se mostrado extremamente útil para análise de ações a serem tomadas em recursos hídricos. Tal análise é feita comparando-se cenários e são avaliadas segundo critérios técnicos.

Segundo (ALMEIDA, 2006) a partir da institucionalização das seis ferramentas para o gerenciamento e planejamento integrado dos recursos hídricos (plano de recursos hídricos, o enquadramento dos corpos d'água em classe, a outorga de direito de uso dos recursos hídricos, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, a compensação aos municípios e os sistemas de informação sobre recursos hídricos) com a promulgação da lei 9433/97, as pesquisas no Brasil começaram a focar essas ferramentas para serem utilizadas não somente por pesquisadores, mas também pelos órgãos gestores dos recursos hídricos no Brasil.

A metodologia conhecida por Sistemas de Suporte a Decisão (SSD) vem sendo aplicada com sucesso em vários problemas complexos da atividade humana, como é o caso do planejamento dos recursos hídricos. A arquitetura de um SSD é mostrada na Figura 1, onde pode-se distinguir como componentes básicos a base de dados, a base de modelos e a interface de diálogo. O conceito de suporte no

sentido de apoio ou ajuda é fundamental na definição de Sistemas de Suporte a Decisão, sendo que isto implica que o computador deve ser colocado à disposição do tomador de decisões para que ele possa formular problemas e com isso identificar quais as melhores ações a serem tomadas. É de fundamental importância por parte dos tomadores de decisão que o SSD não tem por finalidade tomar decisões e sim auxiliar a tomada de decisão.

Figura 1 – Arquitetura de um sistema de suporte a decisão (PORTO; AZEVEDO, 1997).

Segundo (PORTO; AZEVEDO, 1997) o Módulo de Diálogo realiza a comunicação entre usuário e computador sendo responsável pelo recebimento das instruções e processá-las sob a forma de consultas. Segundo (BRAGA; BARBOSA; NAKAYAMA, 1998), esta interface usuário/sistema deve ser amigável no sentido de não promover barreiras que impeça o uso interativo do sistema, pois se o decisor encontrar dificuldades, simplesmente vai deixar de utilizá-lo.

A Base de Conhecimento permite acoplar ao SSD informações que geralmente não podem ser tratados pelos outros componentes, porém são indispensáveis para a tomada de decisão. Esses conhecimentos referem-se às experiências de especialistas, normas e regulamentos (PORTO; AZEVEDO, 1997). Segundo (BRAGA; BARBOSA; NAKAYAMA, 1998) o SSD pode conter também recursos que facilitem sua utilização como, por exemplo, manuais de instruções que podem estar disponíveis “on-line”.

Os modelos presentes na Base de Modelos fornecem recursos para análise em um SSD, utilizando representações matemáticas e algoritmos especialmente desenvolvidos para um determinado problema (BRAGA; BARBOSA; NAKAYAMA, 1998).

A Base de Dados recebe, identifica e armazena as séries de informações, na qual podem ser recuperadas a qualquer instante pelo usuário para análise e modelagem de problemas. Outra característica importante é a de apresentar uma flexibilidade de modo que o usuário possa acrescentar alterar ou excluir dados de forma rápida e fácil (BRAGA; BARBOSA; NAKAYAMA, 1998).

Não existe uma metodologia generalizada para a construção de Sistemas de Suporte a Decisão que garantam resultados satisfatórios. Aspectos subjetivos podem ser acoplados em SSDs como dito anteriormente e terem grande peso na tomada de decisão. Estes Sistemas devem ser focados no problema a ser analisado e não obrigatoriamente na utilização das melhores e mais avançadas técnicas. Com isso, tem-se que o melhor Sistema de Suporte a Decisão é aquele que, independente das técnicas e tecnologia utilizadas, induzi às melhores decisões

(PORTO; AZEVEDO, 1997). Na Figura 2, (TURBAN, 1993 apud PORTO; AZEVEDO, 1997) apresenta-se as principais características de um Sistema de Suporte a Decisão, sendo que é válido ressaltar que tais características não são obrigatórias ou indispensáveis em um SSD.

Figura 2 – Principais características de um SSD (TURBAN, 1993 apud PORTO; AZEVEDO, 1997).

2.2.1. APLICAÇÃO DE SISTEMAS DE SUPORTE A DECISÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

Sistemas de Suporte a decisão aplicados ao meio ambiente e recursos hídricos devem reunir os conhecimentos de especialistas em tais áreas e analisar conflitos que ocorrem ou que possam ocorrer com a projeção de cenários e apresentar os

resultados de forma que se possa balizar a tomada de decisão por parte dos gestores (ROQUE, 2003).

No contexto internacional são várias as pesquisas relativas à SSD e suas aplicações em bacias hidrográficas. Kjelds et al. (2007) realizaram estudos com o objetivo de demonstrar as vantagens da integração entre um banco de dados, modelos de água e ferramentas de suporte a decisão para uma gestão viável e sustentável. O primeiro estudo foi realizado para o planejamento da gestão hídrica no delta do rio Okavango em Botswana. Com a utilização de modelos hidrológicos e um banco de dados representativo conseguiu-se analisar os efeitos das ações antrópicas e mudanças climáticas sobre os recursos hídricos da região. O outro estudo foi referente ao desenvolvimento de um Sistema de Suporte a Decisão para avaliação das implicações institucionais, técnicas e legais referentes à adesão da República Tcheca na União Européia. Além disso, este SSD foi usado para desenvolver planos nacionais de gestão da água, sendo geridos e aplicados pelo Instituto de Recursos Hídricos sob a tutela do Ministério do Meio Ambiente.

Fassio et al. (2004) no âmbito do projeto MULINO (*Multi-sectoral, integrated and operational decision support system for the sustainable use of water resources at the catchment scale*), desenvolveram um SSD para avaliação de alternativas para redução dos efeitos do nitrogênio proveniente da agricultura sobre os recursos hídricos à nível de bacia hidrográfica. Os resultados mostraram que a ferramenta possui um grande potencial para comparar as possíveis alternativas de solução com diferentes pontos de vista de vários empresários ou gestores envolvidos na política de implementação. Em contra partida, quando aplicados em grande escala, o Mulino SSD identificou algumas limitações na capacidade de análise espacial, que podem

ser superados através de uma eficiente ligação entre este SSD e o software GIS que esta sendo utilizado.

Feng et al. (2005) descreveram o Sistema de Suporte a Decisão para avaliação dos impactos econômicos e sociais do Projeto de Transferência de Água do Sul para o Norte da China (S2N). Este projeto tem por finalidade promover o crescimento econômico do norte da China em face da severa escassez de água sofrida pela região. Para estudar os efeitos da água refletidos no âmbito socioeconômico, o modelo WCGE foi selecionado que é um dos melhores modelos em análise quantitativa e econômica e tem sido empregado com sucesso no mundo inteiro. A meta desse SSD foi de auxiliar autoridades na avaliação de políticas de uso da água que combinem sustentabilidade do recurso natural com o crescimento econômico. Os resultados gerados utilizando o SSD mostram que a ausência desse projeto (S2N) acarretaria sérios problemas de escassez hídrica em Beijing. Apesar de haver um conflito entre o custo de implementação do projeto e os benefícios gerados da alocação otimizada da água, os resultados da simulação mostram que um incremento no suprimento de água por esse projeto associada ao desenvolvimento sustentável da cidade de Beijing e uma política adequada de alocação d'água diminuirá a lacuna existente entre demanda e fornecimento de água.

No âmbito do projeto de Sistema de Gestão Integrado de Água Subterrânea financiado pelo governo Espanhol, (RECIO et al., 2004) apresentaram o Sistema de Suporte a Decisão desenvolvido. O objetivo do SSD desenvolvido foi auxiliar as autoridades da *Eastern Mancha Central Irrigation Board* a avaliar as políticas de uso da água quem combinem sustentabilidade do recursos hídrico com o desenvolvimento econômico regional que é baseado na irrigação. Nesse SSD foi

utilizado um modelo hidrogeológico e um modelo econométrico. O modelo hidrogeológico utilizado foi o MODFLOW, que simulou a bacia hidrográfica do Rio Júcar e seu aquífero de contribuição. O modelo econométrico foi utilizado para prever de forma satisfatória a evolução da produção da agricultura. A combinação dos dois modelos foi utilizada para comparar o reservatório de água subterrânea da bacia hidrográfica em estudo com a produção gerada pela agricultura, de modo a identificar políticas ótimas que combinem os dois fatores em questão.

Estudos realizados por (CAU; PANICONI, 2007), avaliaram práticas de gestão do uso do solo associadas à opção de reutilização do efluente tratado proveniente da irrigação das culturas, usando simulação hidrológica e Sistemas de Suporte a Decisão em duas bacias hidrográficas localizadas na região central da Sardinia Itália. Foi utilizado o modelo hidrológico SWAT que inicialmente foi utilizado para a modelagem dos processos associados com o movimento d'água, crescimento da agricultura e ciclo dos nutrientes com o intuito de identificar indicadores que reflitam processos relacionados com a integridade e sustentabilidade do ecossistema em estudo. Depois disso, um Sistema de Suporte a Decisão foi usado para desenvolver e analisar a matriz que relacionava indicadores de qualidade e quantidade de água em rios, lagos e solo com as variáveis sócio-econômicas. As análises provenientes do Sistema a Suporte a Decisão utilizados mostraram que a bacia hidrográfica analisada com maior área mostrou-se ser mais favorável para realocação do uso do solo através de praticas intensivas de agricultura.

Demonstrações da avaliação de estratégias de gestão hídrica nas cidades de Berlim e Potsdam na Alemanha foram realizadas por (SIMON; BRUGGEMANN; PUDENZ, 2003). Neste estudo, foi utilizado dois Sistemas de Suporte a Decisão

para realização de comparações entre os resultados gerados. Um SSD utilizado foi o PROMETHEE, que foi desenvolvido na década de 80 e tem sido utilizado com sucesso em estudos de análise de decisão aplicados ao meio ambiente. O outro SSD utilizado foi o *Hasse diagram technique* (HDT) e também tem sido aplicado a pesquisas e avaliações ambientais. A comparação dos resultados gerados mostrou que PROMETHEE apresentou para esta situação, resultados indesejados uma vez que não validou os pesos dos indicadores ambientais determinados pelos gestores. Em contraste desses resultados, HDT não foi influenciado pela diferenciação espacial, fornecendo ferramentas úteis para avaliação dos resultados, mesmo que demande mais esforços para obter a decisão final.

Ghayoumian et al. (2004) realizaram um estudo utilizando Sistemas de Informação Geográfica e Sistemas de Suporte a Decisão para identificação de áreas adequadas para a recarga artificial na bacia hidrográfica do Rio Meimeh, Irã. Foi elaborado mapas temáticos de declividade, taxa de infiltração, sedimentação, transmissividade e qualidade da água, que posteriormente foram integrados e analisados por um Sistema de Suporte a Decisão em um Sistema de Informação Geográfica. Os resultados mostraram que a recarga artificial pode ser realizada em 70% da área de estudo utilizando a técnica *flood spreading*, que corresponde as áreas centrais. As áreas inadequadas encontram-se em pequenas porções localizadas no norte, leste e oeste da área de estudo.

Maia e Schumann. (2007) no âmbito do projeto Desenvolvimento de Estratégias para Regulação e Gestão dos Recursos Hídricos e Demandas em Regiões com Deficiência Hídrica, desenvolveram um Sistema de Suporte a Decisão para o planejamento da bacia hidrográfica do Rio Ribeiras do Algarve, em Portugal. Esta

bacia hidrográfica é marcada por conflitos de água entre os usos para turismo e para irrigação além de existir um grande déficit no suprimento das demandas urbanas e uma pobre qualidade das águas. Foram simulados cenários para diferentes opções de gestão dos recursos hídricos com o intuito de identificar escassez hídrica a nível regional e local dentro da área de estudo. Feito isso, estudou-se estratégias para otimização das demandas domésticas e de irrigação.

Estudos realizados por (SEWILAM; BARTUSSECK; NACKEN, 2007) desenvolveram um SSD para reabilitação morfológica de cursos de água. Este sistema foi aplicado em cursos d'água de pequeno e médio porte na Alemanha possibilitando gestores de estudar a viabilidade de diferentes meios de reabilitação, prever impactos ambientais e prever custos de implantação das obras. Os primeiros resultados gerados mostraram boa concordância entre as reabilitações morfológicas propostas e a implementação, bem como um desempenho satisfatório em prever a estrutura morfológica após as medidas de reabilitação.

No plano nacional, inúmeras pesquisas vêm sendo realizadas com Sistemas de Suporte a Decisão (SSD). O SSD RB (RODRIGUES, 2005) foi desenvolvido para a gestão quali-quantitativa de processos de outorga e de cobrança pelo uso da água. Nesta pesquisa, a variável de decisão foi o volume outorgado e o sistema desenvolvido leva em consideração a capacidade de autodepuração, o enquadramento em classes de uso, regime de vazão, a qualidade da água captada e os prejuízos na qualidade da água ocasionada pelos usuários-poluidores para os usuários de jusante. Os modelos utilizados foram o RM1 para outorga e cobrança da água e o QUAL2E para qualidade das águas. Tal sistema foi aplicado no Rio Jundiaí, afluente do rio Tietê, localizado no Estado de São Paulo. Dentre os

inúmeros resultados gerados, destaca-se a capacidade do SSD desenvolvido em aplicar a cobrança do uso da água de uma forma mais racional e eficaz, induzindo a uma alocação eficiente do recurso hídrico.

Giboshi (2005) desenvolveu um Sistema de Suporte a Decisão para a gestão da terra através da integração de um Sistema Especialista para determinar a capacidade de uso da terra e outro para recomendar usos adequados e as práticas de conservação e manejo do solo, um Sistema de Informações Geográficas (SIG), uma base de dados e uma interface para interpretar a entrada de dados do usuário e as mensagens passadas entre os subsistemas. O SSD desenvolvido foi capaz de determinar a capacidade de uso da terra; recomendar usos adequados para cada classe de capacidade de uso, recomendar práticas de conservação e manejo do solo e identifica áreas de conflito comparando os mapas de uso da terra da região em estudo com o mapa de capacidade de uso. A área utilizada para testar o sistema foi o Município de Santo Antonio do Jardim – SP sendo que os resultados mostraram que 36,95% das terras do município são adequadas para a utilização com cultura anual ou perene; 42,69% são adequadas para pastagem e reflorestamento e 19,51% devem ser utilizadas para preservação ambiental. Outro resultado que o SSD foi capaz de realizar foi a apresentação do mapa de intensidade de uso, que para a região de teste, mostrou que 48,50% do município estão sendo utilizada de forma adequada; 31,82% com uso inadequado e, 14,06% apresentaram subutilização.

Santos e Barp. (2005) realizaram um estudo com o intuito de verificar a utilização de metodologia informacional como instrumento de apoio a tomada de decisão, através do software *Decision Explorer*, com base no levantamento de dados sobre

as características físicas, sociais e ambientais pesquisadas na bacia do Tucunduba – Belém/PA. De acordo com os dados levantados, observou-se o conflito de uso da água quanto à disponibilidade qualitativa devido à enorme quantidade de resíduos sólidos e líquidos lançados na bacia. A aplicação do software *Decision Explorer* mostrou-se ser uma importante ferramenta de apoio a decisão, podendo ser usado para qualquer situação onde a estrutura e análise da informação qualitativa, ajudarão o usuário a organizar seu pensamento e vir a ter uma conclusão satisfatória, ou seja, pode ser usado por uma pessoa que quer entender e chegar a conclusões sobre assuntos que envolvam complexidade e/ou incerteza ou por um grupo de apoio á tomada de decisão

Estudos realizados por (SANTOS, et al., 2003) analisaram a Matriz Balanço Demanda X Disponibilidade Hídrica como instrumento de apoio a decisão para a gestão participativa dos recursos hídricos. Esta matriz foi aplicada na complexa bacia do Rio Paraguaçu e apresentou-se ser uma ferramenta de simples compreensão e aplicação, que poderá aumentar a eficiência das decisões em face de prévias análises por meio de comparação de cenários.

Meirelles et al. (2005) realizaram um estudo para fornecer subsídios para o processo de tomada de decisões relativas à mitigação dos impactos erosivos em bacias hidrográficas através da determinação de áreas prioritárias para investimento e implementação de ações de recuperação e/ou conservação ambiental, utilizando redes de dependência e lógica fuzzy. A metodologia proposta baseou-se no ambiente *Ecosystem Management Decision Support* e foi utilizada para desenvolver uma estrutura hierárquica de indicadores. Com essa metodologia, modelou-se o processo erosivo da Bacia do Alto Taquari (BAT). Os resultados

gerados mostraram que as áreas mais críticas encontram-se nas cabeceiras dos rios que formam a bacia em estudo, coincidindo com as informações de técnicos locais.

O Sistema de Suporte a Decisão para Planejamento e Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos “Riverhelp!” (LIMA, 2007) integra tecnologias avançadas em um só sistema computacional que é flexível e pode ser utilizados por gestores ou outros participantes do processo decisório. Esse sistema, totalmente integrado a um Sistema de Informação Geografia, pode ser utilizado para estudos qualitativos, de ecossistemas, de otimização e operação de reservatórios e para outorgas de direito de uso da água. Uma aplicação real foi realizada na bacia hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, porém o SSD “Riverhelp!” ainda não é genérico o suficiente para ser aplicado em outras bacias sem algumas modificações do seu código fonte. Os resultados gerados encontraram-se totalmente inseridos na realidade da área de aplicação, provando que o SSD pode ser utilizado não somente por comitês de bacias, mas também por outras instituições como agências reguladoras, secretarias de recursos hídricos e outras instituições envolvidas na área de meio ambiente e recursos hídricos.

Diante das inúmeras pesquisas em âmbito internacional e nacional referente ao desenvolvimento e aplicação de Sistemas de Suporte a Decisão, conclui-se que tal ferramenta é de grande importância para o planejamento e gerenciamento integrados dos recursos hídricos de uma região. Observou-se também a facilidade de integração entre varias metodologias de modelagem dos recursos hídricos, que permite uma tomada de decisão com maior eficácia não somente por parte dos gestores, mas também por parte de outros grupos que na sua maioria das vezes são heterogêneos e participam diretamente do processo decisório.

2.3. CONFLITOS PELO USO DA ÁGUA

Água é um recurso finito e esta intrinsecamente ligada com o crescimento econômico e social. Fins humanos, irrigação, industrial e recreação, constituem os principais usos da água que dependem de quantidades suficientes para sua realização. Tais usos associados ao crescimento demográfico e aumento do uso intensivo da água podem afetar na quantidade de água disponível para consumo. Os usos da água não dependem somente de condições socioeconômicas e fatores biofísicos, mas também de fatores geográficos. De modo a criar políticas de recursos hídricos, gestores devem avaliar todos os fatores mencionados anteriores para evitar conflitos no suprimento de água (FRANCZYK; CHANG, 2008).

A atenção pelos direitos do uso da água tem aumentado nos últimos anos em decorrência da escassez hídrica e da competição pelo uso desse recurso. A delineação dos direitos de uso dos recursos hídricos é uma tarefa que se torna complexa à medida que os gestores levam em consideração os usos múltiplos da água, como por exemplo, irrigação, consumo humano, pesca, uso industrial, etc., associados aos usuários múltiplos que podem ser diferentes vilas, grupos de pessoas, fazendeiros e etc. (DICK; BAKKER, 2001).

O conjunto de ações produzidas por atividades antrópicas aos recursos hídricos com o intuito do desenvolvimento econômico referente a indústrias, irrigação e expansão da população foi se tornando complexo ao longo da história da humanidade (TUNDISI, 2003).

Segundo (WANG, et al., 2007) aproximadamente 30% da área do planeta Terra compreendem áreas habitáveis consideradas áridas e semi-áridas com conflitos pelo uso da água provocadas pela escassez do recurso hídrico. A escassez de água tem sido um dos principais obstáculos econômico e social para o desenvolvimento de tais áreas. Segundo o mesmo autor, a distribuição racional do recurso hídrico requer um balanço hídrico complexo entre demanda e fornecimento ao longo de todo o tempo, especialmente em áreas de clima árido e semi-árido.

A gestão dos usos múltiplos dos mananciais constitui um desafio tanto para a administração pública quanto para as organizações civis, sendo que a questão consiste em saber como garantir os usos múltiplos com prioridade para o abastecimento público, quando a degradação dos recursos hídricos tem chegado a um ponto crítico, cuja origem é eminentemente social e técnica. Por isso a responsabilidade do gestor aumenta na medida em que os problemas se agravam e que a cidadania reivindica um espaço público para a gestão (DELL PRETTE, 2002)

As demandas por energia elétrica têm aumentado drasticamente, atingindo níveis críticos de comprometimento do meio ambiente. Muitos cientistas têm alertado os países para assegurarem suas fontes de suprimento de energia como por exemplo água, gás e óleo. A água em particular, considerada como essencial e insubstituível para a manutenção da vida na Terra está se tornando escassa em algumas regiões do planeta. Em consequência disso, a água tem se tornado altamente disputada em escala internacional ao longo das últimas décadas. Predominantemente nos países em desenvolvimento, a crise da água e suas várias consequências estão relacionados com sintomas de discriminação social e pobreza. A Ásia abrigando mais de 50% da população mundial possui 36% dos recursos hídricos disponíveis no

planeta, possuindo várias regiões marcadas pela presença de grandes rios que periodicamente sofrem grandes cheias e grandes secas também. Em consequência disso, grandes problemas sócio-econômicos associados à destruição de ecossistemas tem afetado essas regiões (KLOPPER, 2008).

Segundo (GLEICK, 2000 apud PINHEIRO; CAMPOS; STUDART, 2005), a distribuição e o uso desiguais dos recursos hídricos, às vezes decorrentes de projeto hidráulico, podem provocar disputas sobre desenvolvimento, aumentar a importância da água como objetivo estratégico ou causar uma degradação da fonte de água de outro usuário. Segundo o mesmo autor, os tipos de conflitos estão relacionados a interesses políticos, militares e/ou de desenvolvimento, motivando atos terroristas e até guerras. Estes tipos de conflitos estão incluindo o controle por recursos Hídricos, ferramenta militar, ferramenta política, terrorismo, alvo militar e disputas pelo desenvolvimento.

Lanna (1997) classifica os conflitos de uso das águas em: Conflitos de destinação de uso, Conflitos de Disponibilidade Qualitativa e Conflitos de Disponibilidade Quantitativa. O primeiro tipo acontece quando a água é utilizada para fins que não estão citados em leis ou decisões políticas fundamentadas no desejo da sociedade. Os conflitos de disponibilidade qualitativa é o caso típico de uso em corpos de água poluídos. Existe um aspecto vicioso nestes conflitos pois o consumo excessivo reduz a vazão de estiagem deteriorando a qualidade das águas já comprometidas pelo lançamento de poluentes. Os conflitos de disponibilidade quantitativa referem-se a situações decorrentes do esgotamento da disponibilidade quantitativa devido ao uso intensivo. Um exemplo típico desse conflito são os usos intensivos da água para irrigação que impedem outros usuários de captá-la. Porém,

este conflito pode ocorrer entre dois usos não-consuntivos como, por exemplo, uma central hidrelétrica que estabelece flutuações no nível do reservatório que prejudica a navegação. Segundo ainda o mesmo autor, em conjunto com esses conflitos ocorre incrementos de demandas hídricas devido ao aumento populacional, agravando o problema de abastecimento, particularmente nas regiões semi-áridas.

Segundo (DAMÁZIO, 2000 apud MACEDO e SILVA, 2003), o conflito pelo uso das águas pode apresentar alguns componentes, tais como: decisores (grupo de pessoas que podem ser beneficiadas ou prejudicadas pelas possíveis soluções do conflito), opções (ações que podem ser tomadas ou não pelo decisor), estratégias (decisão do decisor), estágios (situação que se encontra a decisão no conflito), estados ou cenários (conjunto de estratégias selecionadas por cada decisor), dentre outros. Segundo o mesmo autor ainda, acredita-se que o componente “decisores” pode ser tratada igualmente através do termo “atores sociais” representando também os agentes responsáveis pelo desencadeamento do conflito por meio de suas ações.

Para a resolução do problema de conflito, o primeiro passo é identificar o tipo do mesmo através do levantamento de suas origens (reconhecimento do tipo de uso se consuntivos ou não-consuntivo), causas (poluição, escassez hídrica), efeitos (sócio-econômicos relacionados com doenças, declínio no andamento de um processo produtivo, etc.) e os atores sociais (averiguar quem são os poluidores do curso d'água, por exemplo), e assim propor medidas para sua solução. Tais medidas podem ser estruturais, quando se vê a necessidade da construção de estruturas, buscando a modificação do rio, e as medidas que lidam não com a modificação de um rio, mas com a convivência harmoniosa junto ao mesmo, são as não-estruturais,

indispensáveis para alcance do sucesso de qualquer projeto na gestão de águas. Essa visão dos conflitos sob a ótica das medidas estruturais e não-estruturais tem o intuito de facilitar o processo decisório tornando-o mais claro e otimizado, a partir da identificação das soluções mais apropriadas e compatíveis com o conflito já devidamente identificado (MACEDO e SILVA, 2003).

Scare e Zylberzstajn (2007) realizaram um estudo com o objetivo de identificar o grau de influência que a escassez de um recurso limitado, no caso estudado a água, tem na mudança institucional e na realocação eficiente dos direitos de propriedade sobre o uso desse recurso no Brasil. Os resultados gerados mostraram a existência do relacionamento proposto e em estados em que a disputa pelo recurso hídrico é menor, menor é a tendência de os governos estruturarem sistemas amplos e complexos de gestão, seja regulando temas específicos, seja incentivando a formação de comitês de bacias. A contribuição fundamental do estudo para a literatura das organizações foi em verificar a relação existente entre a escassez dos recursos e a mudança institucional no sentido de estimular o seu uso racional

2.4.A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Novas propostas de gestão ambiental ganharam força devido ao uso intensivo dos recursos naturais e a degradação do ambiente pela poluição. No que diz respeito à gestão dos recursos hídricos, este se faz necessário de modo a disciplinar o desperdício e a poluição associada a todas as formas de utilização dos recursos hídricos. Nesse contexto, a proposta de gestão dos recursos hídricos considera a

importância da água para a manutenção da vida humana e dessedentação de animais associada a diminuição de suas características quali-quantitativas (FRACALANZA, 2002).

Segundo (THEODORO; FIGUEIREDO; BEKE, 2004), a gestão ambiental, na qual encontra-se inserido a gestão dos recursos hídricos, caracteriza-se por ser o conjunto de ações que envolvem as políticas públicas, o setor produtivo e a sociedade, visando o uso racional e sustentável dos recursos ambientais, englobando ações de caráter político, legal, administrativo, econômico, científico, tecnológico, de geração de informações e de articulação entre estes diferentes níveis de atuação. Ainda segundo o mesmo autor, as principais funções da gestão ambiental são: o Planejamento definido com o intuito de determinar ações efetivas de gestão; a Organização que trata das relações entre os atores envolvidos no processo decisório de modo a atingir os objetivos propostos; a Direção que trata do comportamento dos atores envolvidos e o Controle que tem por finalidade a comparação entre os índices de desempenho com os padrões previamente estabelecidos.

O modelo de gestão de recursos hídricos adotados para bacias hidrográficas no Brasil foi inspirado no modelo Francês. Segundo (PORTELA; BRAGA, 2006) os desafios federativos de grande porte criados pela adoção de um modelo bem sucedido na gestão dos recursos hídricos, tem se transformado em barreiras importante ao sucesso brasileiro na gestão dos recursos hídricos. Segundo os autores, tais conflitos federativos referem-se a conflitos verticais, entre as esferas governamentais – União, Estados e Municípios – e os conflitos horizontais entre governos da mesma esfera de poder e entre estes e as organizações da sociedade

civil e as organizações empresariais com assento nas instituições do sistema de gestão.

Segundo (TUNDISI, 2003), no final do século XX, novas iniciativas na legislação de recursos hídricos e na organização das instituições responsáveis direta e indiretamente pelo assunto começaram a ser implementadas em muitos países. Segundo ainda o mesmo autor, essas ações decorreram do reconhecimento de que sem evolução na legislação e sem novas formas de gestão dos recursos hídricos é impossível implantar os avanços da tecnologia e da participação dos atores sociais. Países como México, Argentina, Chile e Brasil implantaram mecanismos inovadores e criativos na gestão das águas, produzindo novos cenários e alternativas adequadas para gestão integrada, participativa, preditiva e descentralizada.

2.4.1. LEGISLAÇÃO FEDERAL REFERENTE À GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Em 8 de janeiro de 1997, foi sancionada a lei 9.433 pelo então Presidente da República Fernando Henrique Cardoso, definindo então a Política Nacional de Recursos Hídricos e a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Porém, a experiência brasileira na gestão dos recursos hídricos tem início nos anos 30 com a criação da Diretoria de Águas do Ministério da Agricultura, na qual serviu como base para o Código de Águas estabelecido pelo Decreto nº 24.643 de 10/07/1934 e cujo texto continua ainda em vigor.

Segundo (LACORTE, 1994) o código das águas veio atender as novas necessidades urbano-industriais que na época começaram a mudar o foco do meio rural para o meio urbano e para tal feito fazia-se necessário à viabilização de geração de energia elétrica por meio de hidrelétricas. Essa afirmação é verificada nas considerações do Decreto nº 24.643 que diz “Considerando que se torna necessário modificar esse estado de coisas, adotando o País de uma legislação adequada que, de acordo com a tendência atual, permita ao poder público controlar e incentivar o aproveitamento industrial das águas; Considerando que, em particular, a energia hidráulica exige medidas que facilitem e garantam seu aproveitamento racional”.

O código das águas define os tipos de propriedade da água como sendo águas públicas, comuns e particulares.

As águas públicas podem ser de uso comum ou dominiais. As de uso comum são os mares territoriais incluindo golfos, baías, enseadas e portos, os cursos de águas, canais, lagos e lagoas navegáveis ou não, as fontes e reservatórios públicos e também as nascentes. As águas públicas dominiais são todas as águas situadas em terrenos que também o sejam, quando as mesmas não forem de domínio público de uso comum ou não forem comuns. As águas comuns são os cursos de água não navegáveis ou fluviáveis e de que essas não se façam. As águas particulares são as nascentes e todas as águas situadas em terrenos que também o sejam, quando as mesmas não estiverem classificadas entre as águas comuns de todos, as águas públicas ou as águas comuns.

Apesar do código das águas ter sido sancionado em 1934, ele ainda apresenta vários artigos sobre temas atuais. A questão sobre os usos múltiplos é tratado no artigo n° 51 ao dizer que as condições de derivação do recursos hídrico em regulamento administrativo, devera ser realizado de modo a conciliar com outros usos que a água possa ser utilizada. O artigo n° 71, parágrafo 3° completa esse artigo ao determinar que o uso da água para fins de necessidades humanas terá sempre prioridade em relação aos outros usos.

Outro tema bastante atual é retratado no artigo n° 36, parágrafo 2° referente ao conceito de usuário-pagador, que diz “O uso comum das águas pode ser gratuito ou retribuído, conforme as leis e regulamentos da circunscrição administrativa a que pertencerem”. A questão referente aos maus usuários é retratada no artigo n° 109 que deixa claro que a ninguém é lícito contaminar as águas que não consomem acarretando prejuízos a terceiros. O artigo n° 110 trata da punição dos usuários poluidores deixando claro que “os trabalhos para a salubridade das águas serão executados à custa dos infratores, que, além da responsabilidade criminal, se houver, responderão pelas perdas e danos que causarem e pelas multas que lhes forem impostas nos regulamentos administrativos”.

Outra questão importante que o Código das Águas retrata, refere-se ao regime de concessões que é claramente entendido no artigo n°43 que diz que “As águas públicas não podem ser derivadas para as aplicações da agricultura, da indústria e da higiene, sem a existência de concessão administrativa, no caso de utilidade pública e, não se verificando, de autorização administrativa, que será dispensada, todavia, na hipótese de derivações insignificantes”. Ainda no mesmo artigo, o parágrafo 2° diz que toda concessão ou autorização terá um prazo de trinta anos. O

artigo nº 46 deixa bem claro que a concessão ou autorização não dá a propriedade da água para o usuário, e sim apenas o direito do usuário em utilizar um determinado volume de água por um prazo determinado.

O artigo nº 62 estabelece que as concessões e autorizações de usos da água que não se destinarem para geração de energia hidrelétrica, poderá ser outorgado pela União, Estados ou Municípios. O artigo nº 63 completa o artigo nº 62 dizendo que “As concessões ou autorizações para derivação que se destinem à produção de energia hidroelétrica serão outorgadas pela União”.

O código das Águas deixa bem claro a relação entre as Águas Públicas e os seus proprietários. As águas públicas pertencem à união quando estas forem marítimas, quando situadas no Território do Acre, ou em qualquer outro território que a União venha a adquirir enquanto o mesmo não se constituir em Estado ou for incorporado a algum Estado; quando servem de limites da República com as nações vizinhas ou se estendam a território estrangeiro; quando situadas na zona de 100 quilômetros contígua aos limites da República com estas nações; quando sirvam de limites entre dois ou mais Estados; quando percorram parte dos territórios de dois ou mais Estados. Estão sob poder dos Estados, as águas públicas que sirvam de limites a dois ou mais municípios ou que percorram parte dos territórios de dois ou mais municípios. Por fim, as águas pertenceram aos municípios quando exclusivamente, situados em seus territórios, respeitados as restrições que possam ser impostas pela legislação dos Estados.

Analisando o Código das Águas, percebe-se que tal decreto teve por objetivo regular o uso do recurso hídrico de uma forma que atendesse mais a realidade da

época no setor industrial e de geração de energia como dito anteriormente. Nessa época a água era considerada um recurso natural renovável e que jamais sairia do planeta, mas apenas mudaria de estado e local que poderia ser encontrada.

A Constituição Federal de 1988 faz menção a dominialidade da água já no artigo n° 20, parágrafo 3°, onde que é dito que é de domínio da União “os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais”. Completando essa questão, o artigo n° 26, parágrafo 1°, deixa bem claro que é de domínio dos Estados às águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito.

O artigo n° 24 enumera uma série de itens que compete a União, aos Estados e ao Distrito Federal legislar corretamente. No item 6° desse artigo, é citado a questão do meio ambiente na qual os recursos hídricos estão inseridos, dizendo que as florestas, caça, pesca, fauna, conservação da natureza, defesa do solo e dos recursos naturais, proteção do meio ambiente e controle da poluição são de responsabilidades dos citados acima. No parágrafo 3° feito uma ressalva importante sobre esse tema, dizendo que “Inexistindo lei federal sobre normas gerais, os Estados exercerão a competência legislativa plena, para atender a suas peculiaridades”.

Segundo a Constituição Federal de 1988, compete a União, a implantação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos e definir critérios de outorga de direitos de uso, tema retratado no seu artigo n° 21.

Com o intuito do cumprimento de obrigações impostas pela Constituição Federal de 1988, em 8 de janeiro de 1997 através da promulgação da lei 9.433, é instituído a Política Nacional de Recursos Hídricos, criando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Essa lei também regulamentou o inciso XIX do artigo nº 21 da Constituição Federal citado anteriormente, e também altera o artigo nº 1 da Lei 8.001/1990, que modificou a Lei nº 7.990/1989. Para que se possa entender melhor, a Lei 7.990/1989 Institui, para os Estados, Distrito Federal e Municípios, compensação financeira pelo resultado da exploração de petróleo ou gás natural, de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica, de recursos minerais em seus respectivos territórios, plataforma continental, mar territorial ou zona econômica exclusiva, e dá outras providências. Já a Lei 8.001/1990 definiu os percentuais da distribuição da compensação financeira de que trata a Lei nº 7.990/1989.

Já em seu artigo nº 1 da lei 9.433/97 são ditos os fundamentos na qual a Política Nacional de Recursos Hídricos é baseada. São eles:

- I. A água é um bem de domínio público;
- II. A água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- III. Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- IV. A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar os usos múltiplos da água;

- V. A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos;
- VI. A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

O item I enfatiza a água representando o direito à vida e ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, sendo de uso comum do público, logo é impossível a apropriação privada, condicionando o seu uso à concessão ou autorização (outorga) pelo poder público representado por um órgão ambiental. Há ainda a extinção de águas públicas dominiais, tendo em vista que esse em essencial à vida não pode ser alienável.

A Política Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos dispõe dos seguintes instrumentos de gestão para atingir seus objetivos, conforme artigo nº 5:

- Planos de Recursos Hídricos

São planos diretores que visam fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e o gerenciamento dos mesmos. Devem conter, por exemplo, os seguintes temas: diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos análise de alternativas de crescimento demográfico, de evolução de atividades produtivas e de modificações dos padrões de ocupação do solo; balanço

entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, critérios de cobrança pelo uso dos recursos hídricos, etc.

A elaboração do Plano Nacional é de responsabilidade da Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério de Meio Ambiente, e a sua aprovação do Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Os Planos Estaduais deverão ser elaborados pelos órgãos ou entidades gestoras estaduais e aprovados pelos respectivos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos. Finalmente, a elaboração do Plano de Bacia Hidrográfica é de responsabilidade da Agência de Águas (ou de Bacia) ou, na sua ausência, do órgão gestor, de acordo com a dominialidade do rio, devendo ser aprovado pelo respectivo Comitê de Bacias.

- Enquadramento dos corpos de água em classes segundo os usos preponderantes da água

O enquadramento tem por objetivo assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes.

O artigo nº 10 previa que as classes de corpos de água seriam estabelecidas pela legislação ambiental. Diante disso, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos aprovou a Resolução nº. 12, de 19 de julho de 2000, que estabeleceu procedimentos para o enquadramento de corpos de água.

- Outorga de direito de uso dos recursos hídricos

A outorga de direito de uso da água, instrumento de política previsto em praticamente todas as leis atuais do setor, é um mecanismo que permite o conhecimento e o controle por parte do administrador público das quantidades de água utilizadas pelos usuários. Sua importância reside na capacidade de atenuar, ou mesmo eliminar, os conflitos de uso, via de regra motivados pela escassez de água em algumas bacias ou regiões hidrográficas. A outorga consiste em um ato administrativo e fundamental para disciplinar o uso desse bem escasso. Entretanto, a outorga por si só não é suficiente para garantir o direito de todos aos recursos hídricos. Faz-se necessário a conjugação da outorga com outros instrumentos que corrijam as distorções que costumam ocorrer nas decisões individuais de utilização desse recurso para consumo ou produção, como forma de fazer com que cada usuário internalize, aos custos privados, os custos sociais que tais decisões impõe aos outros setores usuários (FERNANDEZ; GARRIDO, 2002).

O artigo nº 12 estabelece os usos que são passivos de outorga de direito do uso da água pelo Poder Público: derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo; extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo; lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com fim de sua diluição, transporte ou disposição final; aproveitamento dos potenciais hidrelétricos e outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

Os critérios gerais para outorga dos recursos hídricos são delineados pela resolução nº 16 de 8 de maio de 2001, deliberado pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

- Cobrança do Uso de Recursos Hídricos

A cobrança pelo uso de Recurso Hídrico é citada inicialmente no Código das Águas que estabeleceu que “o uso comum das águas pode ser gratuito ou retribuído, conforme as leis e regulamentos da circunscrição administrativa a que pertencerem”.

Tal cobrança tem por objetivos básicos: o reconhecimento da água como bem econômico dando ao usuário uma indicação do seu real valor; incentivar o uso racional dos recursos hídricos e obter dinheiro para investimentos em projetos e pesquisas contemplados pelos Planos de Recursos Hídricos.

A responsabilidade por estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a serem cobrados é competência dos Comitês de Bacia Hidrográfica conforme dito no artigo nº 38.

- Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos

O Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos – SNIRH – é um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informação sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão. Possui como objetivos os seguintes itens: reunir, dar consistência e divulgar os dados e informações sobre a situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos no Brasil; atualizar permanentemente as informações sobre disponibilidade e demanda de recursos hídricos em todo o território nacional e fornecer subsídios para a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos. O SNIRH é citado na lei 9.984, lei de criação da Agência Nacional de Águas - ANA, em seu artigo nº 4, item 14°.

Os dispositivos legais referentes ao SNIRH foram regulamentados pela Resolução nº 13, de 25 de Setembro de 2000, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

Quanto ao Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, citado anteriormente pelo artigo nº 21 da Constituição Federal de 1988 que dizia que sua implantação competia às esferas Federais, este é citado na Lei 9.433/97 em seu artigo nº 32, possuindo os seguintes objetivos: coordenar a gestão integrada das águas; arbitrar administrativamente os conflitos relacionados com os recursos hídricos; implementar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos e promover a cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

O artigo nº 33 estabelece os integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, sendo eles: o Conselho Nacional de Recursos Hídricos; a

Agência Nacional de Águas; os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal; os Comitês de Bacia Hidrográfica; os órgãos dos poderes públicos federal, estaduais, dos Distrito Federal e municipais cujas competências se relacionem com a gestão dos recursos hídricos e as Agências de Água.

Para a implementação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos criado pela lei 9.433/97, o Governo Federal sancionou a Lei nº 9.984 em 7 de julho de 2000, que dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas – ANA, que conforme o artigo nº 3, é uma autarquia sob regime especial, com autonomia administrativa e financeira, vinculada ao Ministério do Meio Ambiente, com a finalidade de implementar, em sua esfera de atribuições, a Política Nacional de Recursos Hídricos, integrando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

A Agência Nacional de Águas obedece aos fundamentos, objetivos, diretrizes e instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos e é desenvolvida em articulação com órgãos e entidades públicas e privadas integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Dentre as suas atribuições explicitadas no artigo nº 4, destaca-se a outorga, por intermédio de autorização, o direito de uso de recursos hídricos em corpos de água de domínio da União; a fiscalização dos usos de recursos hídricos nos corpos de água de domínio da União; implementar, em articulação com os Comitês de Bacia Hidrográfica, a cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio da União; definir e fiscalizar as condições de operação de reservatórios por agentes públicos e privados, visando a garantir o uso múltiplo dos recursos hídricos e organizar, implantar e gerir o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos.

2.4.2. LEGISLAÇÃO ESTADUAL REFERENTE À GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS EM SÃO PAULO

Dotado de grande extensão territorial, o Brasil é caracterizado por grandes variações climatológicas, fisiográficas, hidrológicas, geológicas, sociais, econômicas, etc. Esta grande diversidade associada à indefinição do governo federal até 1994, estimulou alguns estados federados a criarem suas próprias leis, estabelecendo uma política hídrica específica com o intuito de minimizar os problemas que já vinham enfrentando em relação à gestão dos recursos hídricos (FERNANDEZ; GARRIDO, 2002).

A Assessoria Parlamentar da Agência Nacional de Águas (ANA) tem como função coordenar e desenvolver as atividades concernentes à relação da Agência Nacional de Águas - ANA com o Congresso Nacional e com as Assembléias Legislativas, especialmente no acompanhamento de projetos de interesse da Agência, em articulação com o Ministério do Meio Ambiente (MMA). Diante disso, atualmente existem 22 Estados e o Distrito Federal possuindo legislação sobre Política e Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Estados que possuem leis aprovadas sobre recursos hídricos

Estados	Lei nº	Data
Alagoas	5.965	11/11/1997
Acre	1.500	15/7/2003
Amazonas	2.712	28/10/2001
Amapá	686	7/7/2002
Bahia	6.855	12/5/1995
Ceará	11.996	24/7/1992
Distrito Federal	2.725	13/7/2001
Espírito Santo	5.818	30/12/1998
Goiás	13.123	16/7/1997
Maranhão	8.149	15/6/2004
Mato Grosso	6.945	5/11/1997
Mato Grosso do Sul	2.406	29/1/2002
Minas Gerais	13.199	29/1/1999
Pará	6.381	25/7/2001
Paraíba	6.308	2/7/1996
Paraná	12.726	29/11/1999
Pernambuco	11.426	17/1/1997
Piauí	5.165	17/8/2000
Rio de Janeiro	3.239	2/8/1999
Rio Grande do Norte	6.908	1/7/1996
Rio Grande do Sul	10.350	30/12/1994
Rondônia	255	25/1/2002
Santa Catarina	9.748	30/11/1994
São Paulo	7.663	30/12/1991
Sergipe	3.870	25/7/1997
Tocantins	1.397	22/3/2002

No que se refere à legislação sobre os recursos hídricos e o meio ambiente, muitas são as leis aprovadas no Estado de São Paulo. A Tabela 2 e a Tabela 3 apresentam as leis e decretos disponíveis no web site do Departamento de Águas e Energia Elétrica. Cabe salientar que algumas leis e decretos foram revogados assim como foram modificados por outras leis e decretos.

Tabela 2 – Constituição e leis sobre recursos hídricos no Estado de São Paulo

Item	Número	Data	Objetivo
Constituição do Estado de São Paulo	Seção II - art. 205 a 213	5/10/1989	Dos Recursos Hídricos
Leis	12.183	29/12/2005	Cobrança pela utilização dos recursos hídricos do domínio do Estado de São Paulo
	11.364	28/3/2003	Altera a denominação da Secretaria de Estado de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras
	11.216	22/7/2002	Altera a Lei nº 1.172/76 – Delimita as áreas de proteção dos mananciais
Leis	10.843	5/7/2001	Altera a Lei nº 7.663/91, da política de recursos hídricos
	10.020	3/7/1998	Autoriza o Poder Executivo a participar da constituição de Agência de Bacias
	6.134	2/6/1988	Preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas
	9.952	22/4/1998	Altera a Lei nº 8.275/93 – Criou a Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras
	9.866	28/11/1977	Proteção e recuperação de mananciais
	9.034	27/12/1994	Plano Estadual de Recursos Hídricos - 94/95
	8.275	29/3/1993	Cria a Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras
	7.964	16/7/1992	Nova denominação ao Fundo de Expansão Agropecuária – Art. 2º, VII – 30% da compensação financeira
	3.286	18/5/1982	Nova redação do inciso XV do artigo 2º da Lei nº 898/75, uso do solo para a proteção de mananciais
	7.750	31/3/1992	Política Estadual de Saneamento

Fonte: www.daee.sp.gov.br

Tabela 2 (continuação) – Constituição e leis sobre recursos hídricos no Estado de São Paulo

Item	Número	Data	Objetivo
	7.663	30/12/1991	Política Estadual de Recursos Hídricos
	1.563	28/03/1978	Proíbe a instalação nas estâncias hidrominerais, climáticas e balneárias de indústrias que provoquem poluição ambiental
	1.172	17/11/1976	Delimita as áreas de proteção dos mananciais
	997	31/5/1976	Fica instituído o Sistema de prevenção e controle da Poluição do Meio – Ambiente
	898	18/12/1975	Disciplina o uso do solo para a proteção dos mananciais
Lei complementar	837	30/12/1997	Acrescenta dispositivo ao Decreto-lei Complementar nº 7/69, sobre entidades descentralizadas

Fonte: www.daee.sp.gov.br

Tabela 3 – Decretos sobre recursos hídricos no Estado de São Paulo

Decreto nº	Data	Objetivo
51450	29/12/2006	Valores a serem cobrados pela utilização dos recursos hídricos de domínio do Estado de São Paulo nas Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul
51449	29/12/2006	Valores a serem cobrados pela utilização dos recursos hídricos de domínio do Estado de São Paulo nas Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí - PCJ
50667	30/03/2006	Regulamenta dispositivos da Lei da cobrança
48896	26/08/2004	Regulamenta o FEHIDRO
47906	24/6/2003	Organiza a Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento, extingue a Secretaria de Energia
47696	7/3/2003	Regulamenta o artigo 37-A da Lei nº 1.172/76, área de proteção dos mananciais
43594	27/10/1998	Inclui dispositivos no Decreto nº 8.468/76, que aprova o Regulamento da Lei nº 997/76, a prevenção e o controle da poluição

Fonte: www.daee.sp.gov.br

Tabela 3 (continuação) – Decretos sobre recursos hídricos no Estado de São Paulo

Decreto nº	Data	Objetivo
43265	30/06/1998	Nova redação de dispositivos do Decreto nº 36.787/93, sobre o CRH
43022	07/04/1998	Regulamenta dispositivos ao Plano Emergencial de Recuperação dos Mananciais, a Lei nº 9.866/97.
41679	31/3/1997	Composição e funcionamento do CONESAN.
41258	31/10/1996	Regulamenta os artigos 9º a 13 da Lei 7.663, de 30/12/1991 - Outorga
40815	7/5/1996	Inclui dispositivo no Decreto nº 8.468/76, que aprova o Regulamento da Lei nº 997/76, a prevenção e controle da poluição
39742	23/12/1994	Adapta o CRH do Decreto nº 36.787/93
38455	21/03/1994	Nova redação do artigo 2º do Decreto nº 36.787/93, que adapta o CRH
37300	25/8/1993	Regulamenta o FEHIDRO
36787	18/5/1993	Adapta o Conselho Estadual de Recursos Hídricos
32954	07/02/1991	Aprova o Primeiro Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH 90/91
32955	07/02/1991	Regulamenta a Lei nº 6.134/88, de águas subterrâneas
28489	9/6/1988	Considera como modelo básico a Bacia do rio Piracicaba
27576	11/11/1987	Cria o Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CRH
26665	27/1/1987	Nova redação da alínea “a” do inciso V do art.62 do Decreto nº 26.479/86, que descentraliza o DAEE
10755	22/11/1977	Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468/76
8.468	8/9/1976	Aprova o Regulamento da Lei nº 907/76, sobre a prevenção e o controle da poluição

Fonte: www.dae.sp.gov.br

Os recursos hídricos são citados na constituição do Estado de São Paulo na Seção II dos artigos 205 a 213. No artigo nº 205 é assegurado à utilização do uso racional dos recursos hídricos com prioridades primeiras para o consumo humano, como decretado anteriormente pelo Código das Águas. Ainda no mesmo artigo, os usos múltiplos e a gestão descentralizada já são citados também. No artigo nº 208

estabelece a proibição de lançamento de efluentes urbanos e industriais em corpos de água sem os corretos tratamentos, já se referindo a questão de manter uma boa qualidade da água para as atuais e futuras gerações. Visando o incentivo dos Estados sobre os municípios na proteção e conservação dos recursos hídricos, o artigo nº 210 enumera uma série de itens que para a concretização de tal medida, dentre eles pode-se destacar o “zoneamento de áreas inundáveis, com restrições a usos incompatíveis nas sujeitas a inundações freqüentes e da manutenção da capacidade de infiltração do solo” e também da “instituição de programas permanentes de racionalização do uso das águas destinadas ao abastecimento público e industrial e à irrigação, assim como o combate a inundações e à erosão”.

Outra legislação importante para os recursos hídricos no Estado de São Paulo é a Lei nº 7.663 de 30 de dezembro de 1991 que estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Esta lei foi alterada pelas leis 9.034/1990, 10.843/2001 e 12.183/1998 e que tratam respectivamente das disposições sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH a ser implantado no período de 1994 a 1995, das entidades públicas e privadas que poderão receber recursos do Fundo Estadual dos Recursos Hídricos – FEHIDRO e por fim da cobrança pela utilização dos recursos hídricos do domínio do Estado de São Paulo, os procedimentos para fixação dos seus limites, condicionantes e valores.

Muitos artigos da Lei 7.663/1991 foram contemplados mais tarde pela Lei Federal 9.433/1997. Já no artigo nº 3 a lei enumera os princípios da Política Estadual dos Recursos Hídricos cabendo destacar o gerenciamento descentralizado, a adoção da

bacia hidrográfica como unidade de gestão e planejamento e o reconhecimento dos recursos hídricos como sendo um bem público dotado de valor econômico.

A referida Lei também define os Instrumentos da Política Estadual de Recursos Hídricos, cabendo destacar a: Outorga de Direitos de uso dos Recursos Hídricos e a Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos, mencionados respectivamente no artigo nº 9 e 10 e no artigo nº14.

O artigo nº 21 explicita os objetivos do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SIGRH – deixando bem claro que a sua função é a de execução da Política Estadual de Recursos Hídricos e a formulação, atualização e aplicação do Plano Estadual de Recursos Hídricos.

Diante das leis comentadas neste capítulo, percebe-se que a Lei Federal 9.433 de 8 de janeiro de 1997 conhecida como Lei das Águas, foi uma evolução de outras leis e decretos aprovados anteriormente pela União e pelos Estados. Isto é observado no Decreto nº 24.643/1934, na Lei nº7.663/1991, dentre outras, pois estes apresentam muitos artigos atuais e que são contemplados pela atual legislação referente recursos hídricos.

3. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

Á área de estudo compreende a bacia de drenagem entre a usina hidrelétrica Álvaro de Souza Lima mais conhecida como Bariri e a usina de Barra Bonita, ambos presentes no Estado de São Paulo e na UGRHI – 13.

Inicialmente foi feito uma caracterização geral da UGRHI – 13, na qual a área de estudo esta inserida, mostrando suas principais características e, em seguida, foi realizado uma revisão detalhada sobre a área na qual o reservatório da usina Bariri esta inserida.

As informações contidas neste capítulo foram retiradas dos seguintes documentos:

- Plano de Bacia da Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos N° 13 – UGRHI 13 (Relatório – Minuta 340/08).
- Elaboração da Revisão do Plano de Bacia da UGRHI -13 – Relatório Técnico 402/08.

Para a caracterização da qualidade das águas dentro da área de estudo foi utilizado o seguinte documento:

- Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo (CETESB, 2007).

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE DE GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS TIETÊ-JACARÉ – UGRHI 13

3.1.1. ASPECTOS GERAIS

A Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré teve o seu Comitê de Bacia Hidrográfica – CBH-TJ – instalado em 10/11/1995 e foi definida como a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 13 (UGRHI – 13) pela Lei nº 9.034/94. Sua localização é mostrada na Figura 3.

Figura 3: Distribuição das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, com destaque para as UGRHI Tietê - Jacaré.

Fonte: <http://www.comitepcj.sp.gov.br>

Pela Figura 3 tem-se que a UGRHI – 13 (Tietê/Jacaré) localiza-se na porção central do Estado, fazendo parte da Diretoria Regional do DAEE da Bacia do Baixo Tietê, na divisa com a Bacia do Médio Tietê. Ela faz limite a norte e oeste com UGRHI – 16 (Tietê/Batalha), a leste e sudeste limita-se com a UGRH I – 5 (Piracicaba/Capivari/Jundiaí), a sul com as UGRHI – 10 e 17 (Tietê/Sorocaba e Médio Paranapanema, respectivamente) e a nordeste com a UGRHI – 9 (Mogi-Guaçu).

A UGRHI – 13 possui 34 municípios, sendo 16 totalmente inseridos dentro de sua área (Areiópolis, Bariri, Boa Esperança do Sul, Bocaina, Boracéia, Brotas, Dourado, Gavião Peixoto, Itaju, Itapuí, Jaú, Macatuba, Nova Europa, Pederneiras, Ribeirão Bonito e Trabiju) e 18 com parte de seu territórios em UGRHI adjacentes. Parte dos territórios dos municípios de Analândia, Matão e São Pedro, com sede administrativa fora dos limites da UGRHI, estão inseridas dentro da Bacia.

3.1.2. ASPECTOS DO MEIO FISICO E BIÓTIPO

3.1.2.1. VEGETAÇÃO

A Tabela 4 apresenta dados sobre a vegetação remanescente da UGRHI – 13

Tabela 4 – Vegetação natural remanescente na UGRHI – 13

Bacia Hidrográfica	Floresta Estacional Semidecidual (ha)	Savana (ha)	Estacional Semidecidual (ha)	TOTAL (ha)
Tietê – Jacaré	27809	25149	24106	77064
(*) (%)	36,09	32,63	31,28	100,00
(**) (%)	2,57	0,74	1,10	4,41

(*) Em relação ao total da cobertura vegetal da UGRHI-TJ.

(**) Em relação à superfície total do Estado de São Paulo.

Fonte: Elaboração da Revisão do Plano de Bacia da UGRHI -13 – Relatório Técnico 402/08

Os municípios de Agudos, Bocaina, Dourado, Itirapina, Ribeirão Bonito, São Carlos e Trabiju apresentam os maiores índices de áreas de vegetação remanescente preservada em função da área total do território do município, sendo que estes valores variaram de 11 a 14%.

O extremo de degradação das áreas de vegetação remanescente apresenta-se nos municípios de Barra Bonita, Itapuí, Igaraçu do Tietê e Macatuba, com valores inferiores a 1,5% de áreas preservadas em função da área total do município.

3.1.2.2. CLIMA

O clima predominante na UGRHI é o tropical, caracterizado por apresentar períodos secos e úmidos definidos. As Massas Equatoriais e Tropicais são as que mais atuam na área da Bacia.

Foram identificados três grandes conjuntos através da análise da variabilidade espacial pluviométrica no período 1971-1993. O primeiro com chuvas médias anuais

superiores a 2.000 mm; o segundo com médias anuais entre 1.500 e 2.000 mm; e o terceiro com chuvas anuais entre 1.100 e 1.500 mm. A UGRHI – 13 está inserida no segundo conjunto, que abrange entre outras áreas, a linha cuestas passando por Fartura, Botucatu, São Pedro, São Carlos e Cássia dos Coqueiros – Altinópolis.

De acordo com as classificações climáticas e dados de postos pluviométricos, o Estado de São Paulo possui oito “unidades regionais” e vinte e cinco “subunidades homogêneas”, sendo que a UGRHI – 13 esta compreendida na unidade Cuestas Basálticas, subunidade São Carlos/São Pedro; e na unidade Oeste, subunidade Vale médio do Rio Tietê:

- Unidade Cuestas Basálticas: região mais elevada do centro oeste paulista, localizada entre a Depressão Periférica e o Planalto Ocidental. Nesta região encontra-se a subunidade São Carlos/São Pedro, com altitudes entre 700 e 900 metros, que apresenta totais de chuvas médias anuais entre 1.500 e 1.800 mm. A chuva máxima anual registrada foi de 2.000 mm. Cerca de 40 a 50% das chuvas anuais localizam-se no trimestre mais chuvoso;
- Unidade Oeste, subunidade Vale Médio do Rio Tietê: localizada na região central do Estado, onde está situada a cidade de Bauru, têm altitudes entre 300 e 500 metros e totais pluviométricos anuais entre 1.300 e 1.500 mm. Caracteriza-se por apresentar forte estiagem no inverno e grande variação de ano para ano. Cerca de 75 a 80% das chuvas ocorrem no período mais chuvoso, e 20 a 25% no período mais seco.

Na UGRHI 13, o período mais chuvoso ocorre entre outubro e março, sendo que as chuvas se concentram mais entre dezembro e fevereiro. O período mais seco vai de abril a setembro, apresentando picos entre junho e agosto.

3.1.2.3. GEOLOGIA

As unidades geológicas que afloram na área da UGRHI – 13 são os sedimentos clásticos predominantemente arenosos, os sedimentos pertencentes à Formação Itaqueri, as rochas ígneas basálticas pertencentes ao Grupo São Bento (formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral), as rochas sedimentares do Grupo Bauru (formações Vale do Rio do Peixe – Adamantina, e Marília), os depósitos das Serras de São Carlos e Santana e os depósitos aluvionares associados à rede de drenagem, além dos eluviões e coluviões.

3.1.2.4. GEOMORFOLOGIA

A UGRHI – 13 localiza-se numa área de abrangência da Província Geomorfológica do Planalto Ocidental Paulista e das Cuestas Basálticas, possuindo os seguintes sistemas de relevos: planícies fluviais; colinas amplas; colinas médias, morros amplos; morrotes alongados e espigões; morros arredondados; mesas basálticas; encostas sulcadas por vales subparalelos; encostas não escarpadas com cânions locais e escarpas festonadas.

3.1.2.5. PEDOLOGIA

Os tipos de solos têm relação direta com o relevo regional e com o substrato rochoso, relação esta que se manifesta por meio da interação entre as formas de relevo e a dinâmica da água.

Observar-se seis grupos principais de solos na UGRHI – 13: Latossolo Roxo e Terra Rocha Estruturada; Latossolo Vermelho-Escuro textura média e Latossolo Vermelho-Amarelo textura média; Podzólico Vermelho-Amarelo abrupto e não abrupto textura média; Areias Quartzosas; Solos Litólicos e Cambissolos e Planossolos

3.1.2.6. HIDROGEOLOGIA

Os recursos hídricos subterrâneos na UGRHI – 13 ocorrem em um sistema formado por 4 aquíferos: o Cenozóico, o Bauru, o Serra Geral e o Guarani, conforme mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Aquíferos presentes na área da UGRHI – 13

Aquífero	Unidade Geológica	Características Hidrogeológicas
Cenozóico	Formação Itaqueri, coberturas da Serra de São Carlos e similares	Extensão limitada, porosidade granular; livre, descontínuo, heterogêneo e anisotrópico
Bauru	Grupo Bauru (Formação Vale do Rio do Peixe)	Extensão regional, porosidade granular, livre a semi-confinado, descontínuo, heterogêneo e anisotrópico
Serra Geral	Formação Serra Geral	Extensão regional com caráter eventual, porosidade por fraturas, livre a semi-confinado, descontínuo, heterogêneo e anisotrópico
Guarani	Formações Pirambóia e Botucatu	Extensão regional, porosidade granular, livre, contínuo, homogêneo e isotrópico

Fonte: Elaboração da Revisão do Plano de Bacia da UGRHI -13 – Relatório Técnico 402/08

3.1.3. RECURSOS HÍDRICOS

Quanto às características hidrológicas, a UGRHI – 13 é definida pelas bacias dos rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira e seus tributários, 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. A Tabela 6 mostra as características de cada sub-bacia proposta pelo plano de bacia da UGRHI – 13. As divisões das sub-bacias propostas pelo plano apresentam-se um pouco diferente daquela proposta pelo relatório zero (IPT, 2000), sendo que no relatório zero a UGRHI – 13 apresentava-se com 11.784, 62 km² e agora segundo o plano de bacia apresenta 11.803,87 km². É importante ressaltar que as sub-bacias englobam os rios citados anteriormente.

Tabela 6 – Características da nova divisão das sub-bacias da UGRHI – 13

Nº	Sub-Bacia - Nova Divisão	Área	
		km²	%
1	1ª Trecho com afluentes diretos do Rio Tietê - jusante do Rio Jacaré-Guaçu	95,4	0,81
	1b Trecho com afluentes diretos do Rio Tietê - montante do Rio Jacaré-Guaçu	22,61	0,19
	1c Trecho do Rio Jacaré-Guaçu inundado	173,27	1,47
	1d Trecho do Rio Jacaré-Guaçu corrente	3892,19	32,97
	Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu e afluentes do Rio Tietê	4183,47	35,44
2	2ª Trecho do Rio Jacaré-Pepira inundado	129,02	1,09
	2b Trecho com afluentes diretos do Rio Tietê - montante do Rio Jacaré-Pepira	75,17	0,64
	2c Trecho do Rio Jacaré-Pepira corrente	2466,09	20,89
	Sub-Bacia do Rio Jacaré-Pepira e afluentes diretos do Rio Tietê	2670,28	22,62
3	Sub-Bacia do Rio Jaú-Ribeirão da Ave Maria-Ribeirão do Sapé e afluentes diretos do Rio Tietê	1527,61	12,94
4	Sub-Bacia do Rio Lençóis-Ribeirão dos Patos e afluentes diretos do Rio Tietê	1436,61	12,17
5	Sub-Bacia do Rio Bauru-Ribeirão Grande-Ribeirão Pederneiras e afluentes diretos do Rio Tietê	826,8	7,00
6	Sub-Bacia do Rio Claro-Ribeirão Bonito-Ribeirão do Veado-Ribeirão da Água Limpa e afluentes diretos do Rio Tietê	1159,1	9,82
Total:		11803,87	100

Fonte: Plano de bacia da UGRHI – 13

O mapa da Figura 4 mostra a localização de cada sub-bacia conforme citado pela Tabela 6.

Figura 4 – Sub-bacias da UGRHI Tietê – Jacaré

Fonte: Plano de baciada UGRHI – 13

3.1.3.1. RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

A sub-bacia do Rio Jacaré-Guaçu onde está localizado os municípios de Araraquara e São Carlos, abrange 35,4% de toda área da UGRHI – 13 e é a maior consumidora de água subterrânea, enquanto que a do Rio Bauru que possui apenas 7,0% de toda a área da UGRHI – 13 é a segunda maior consumidora de água subterrânea por englobar a maior parte do município de Bauru.

O plano de bacia da UGRHI – 13 traz uma explanação sobre as atuais condições dos poços subterrâneos cadastrados pelo Departamento Águas e Energia Elétrica – DAEE – cujas informações encontram-se disponíveis para consulta on-line em seu web site. Segundo dados de setembro de 2007 do DAEE, existem 1682 poços cadastrados na UGRHI – 13.

Destes 1682 poços, 69 estão cadastrados sem coordenadas e 169 estão com suas coordenadas inconsistentes, estando fora da área de abrangência pela UGRHI 13. O número de poços cadastrados pelo DAEE com coordenadas inconsistentes é maior o que levou o plano de bacia a realizar correções para ajustar os dados que possivelmente foram digitados equivocadamente. As coordenadas dos poços, disponibilizados pelo DAEE, estão em UTM, referenciados em relação aos meridianos 45 e 51. No meridiano central 45, a UGRHI – 13 está entre a UTM 190.000 e 229.900, e no meridiano central 51, ela está entre a UTM 691.000 e 810.000 (dados aproximados). Verificou-se que dados de um meridiano foram digitados como sendo do outro, e vice-versa. A maioria dos erros de longitude pode ser corrigida, ficando poucos que não se enquadravam em erros de digitação. Os erros de latitude não puderam ser corrigidos.

Dos 1682 poços citados pelo DAEE pertencentes à UGRHI – 13, 1315 possuem dados de vazão e 367 poços estão descritos com vazão zero. Dos poços com dados de vazão (78,2%), a média geral de vazão é 29,48 m³/h, o que apresenta maior vazão registra 564 m³/h e o que possui menor vazão registra 0,04 m³/h. Dentro dos 1315 poços com dados de vazão, há os poços com coordenadas corretas, inconsistentes (referente a coordenadas que não estão dentro da UGRHI – 13) e os poços sem coordenadas, que somados dão o valor de 10,58 m³/s.

Para os poços com coordenadas corretas (após os dados corrigidos), a vazão total é de 31007,50 m³/h para um total de 1444 poços. Destes 1444 poços, 1123 (77,8%) apresentam dados de vazão e 321 (22,2%) estão sem dados de vazão. Dos poços que apresentam dados de vazão e estão com a coordenada correta, a vazão média é de 27,61 m³/h, o poço com maior vazão registra 511,50 m³/h e o poço de menor vazão 0,18 m³/h.

Para os poços com coordenadas inconsistentes, a vazão total é de 3295,45 m³/h para um total de 169 poços. Destes 169 poços, 128 (75,7%) apresentam dados de vazão e 41 (24,3%) estão sem dados de vazão. Para esses poços, a vazão média é de 25,75 m³/h, o poço com maior vazão registra 488,00 m³/h e o poço de menor vazão 0,30 m³/h.

Para os poços sem coordenadas, a vazão total é de 4496,04 m³/h para um total de 69 poços. Destes 69 poços, 64 (92,8%) apresentam dados de vazão e 5 (7,2%) estão sem dados de vazão. Dos poços que apresentam dados de vazão sem coordenadas, a vazão média é de 70,25 m³/h, o poço com maior vazão registra 564,00 m³/h e o poço de menor vazão 0,04 m³/h.

As informações sobre demandas subterrâneas dito anteriormente são sumarizadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Captação de água subterrânea para a UGRHI – 13

Nº	Sub-Bacia - Nova Divisão	Vazão total m³/h	Vazão média m³/h	Número de Poços		Total
				Com dados de vazão	Sem dados de vazão	
1	Sub-Bacia do Rio Jacaré- Guaçu e afluentes do Rio Tietê	15743,11	28,62	550	140	690
1a	Trecho com afluentes diretos do Rio Tietê - jusante	5,80	2,90	2	0	2
1b	Trecho com afluentes diretos do Rio Tietê - montante	-	-	0	1	1
1c	Trecho do Rio Jacaré-Guaçu inundado	262,75	20,21	13	8	21
1d	Trecho do Rio Jacaré-Guaçu corrente	15474,56	28,92	535	131	666
2	Sub-Bacia do Rio Jacaré- Pepira	2277,10	26,17	87	8	95
2a	Trecho do Rio Jacaré-Pepira inundado	36,00	9,00	4	0	4
2b	Trecho com afluentes diretos do Rio Tietê	456,50	152,17	3	1	4
2c	Trecho do Rio Jacaré-Pepira corrente	1784,60	22,31	80	7	87
3	Sub-Bacia do Rio Jaú	2615,83	33,97	77	18	95
4	Sub-Bacia do Rio Lençóis	3374,94	35,16	96	42	138
5	Sub-Bacia do Rio Bauru	6627,77	22,54	294	103	397
6	Sub-Bacia do Rio Claro	368,75	19,41	19	10	29
	Poços na UGRHI 13 com Coordenadas Consistidas	31007,50	27,61	1123	321	1444
	Poços na UGRHI 13 com Coordenadas	3295,45	25,75	128	41	169
	Poços na UGRHI 13 sem Coordenadas	4496,04	70,25	64	5	69
	Total na UGRHI 13 - Poços	38798,99	29,48	1315	367	1682

Fonte: Plano de bacia da UGRHI – 13

Fez-se necessário uma análise dos dados disponibilizados pelo DAEE de modo a realizar uma atualização, verificação e correção de todos dados cadastrais dos diferentes tipos de usuários de água subterrânea frente à nova divisão de sub-bacia da UGRHI – 13, de modo a consistir os dados que por ventura possam ter sido digitados incorretamente ou que possua algum tipo de erro, como por exemplo, coordenadas geográficas.

Quanto ao potencial de disponibilidade hídrica subterrânea, o Plano de Bacia da UGRHI – 13 estimou o valor conforme mostrado na Tabela 8.

Tabela 8 – Vazão disponível para aproveitamentos subterrâneos na UGRHI – 13

Vazão subterrânea disponível - Q_{sub}	
10,58 m ³ /s	38075,43 m ³ /h

Fonte: Plano de bacia da UGRHI – 13

Para uma melhor determinação da disponibilidade hídrica subterrânea, o Plano de Bacia da UGRHI – 13, sugeriu que alguns parâmetros hidráulicos como a potenciometria, o sistema de fluxo e as taxas de recarga do sistema aquífero da Bacia devem ser melhor avaliados, o que requer estudos específicos.

A vazão disponível para aproveitamento subterrâneo refere-se a uma disponibilidade solicitada pela realidade das captações subterrâneas, além da $Q_{7,10}$ (vazão mínima anual média de 7 dias consecutivos com período de retorno de 10 anos) que é um valor utilizado somente para cálculos de captações superficiais e refere-se à disponibilidade de água superficial da Bacia. Logo a disponibilidade total

é a soma da $Q_{7,10}$ com a vazão subterrânea disponível. Os valores de $Q_{7,10}$ para cada sub-bacia e para o total da UGRHI – 13 será mostrada na Tabela 9.

De acordo com a Tabela 7, a demanda subterrânea na UGRHI – 13 é de 10,78 m³/s (38799 m³/h) e a vazão disponível subterrânea, de acordo com a Tabela 8, é de 10,58 m³/s (38088 m³/h), logo se observou um déficit de 0,19 m³/s (711 m³/h). Há a necessidade de se atentar ao fato de que as demandas subterrâneas poderem estar defasadas em relação à realidade praticada na bacia, uma vez que há imprecisão das estimativas das demandas devido à falta de dados cadastrais dos usuários dentre outros erros associados.

3.1.3.2. RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS

O plano de bacia da UGRHI – 13 utilizou como ponto de partida o Relatório Zero (IPT, 2000) para a determinação de aspectos do balanço hídrico superficial em complemento com os recursos hídricos subterrâneos conforme mostrado no item 3.1.3.1.

3.1.3.2.1. CENÁRIOS DE OFERTA HÍDRICA

O plano de bacia da UGRHI – 13 apresenta os cenários de oferta hídrica consubstanciados com metodologias de regionalização hidrológica propostas pelo DAEE, sendo que foram estimados as seguintes variáveis hidrológicas:

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

Descreve a relação entre a descarga média plurianual (vazão média de longo período Q_{lp} [L/s]) com o total anual médio precipitado na bacia hidrográfica ($\bar{P}$ [mm]) de área A [km²]. Para a URGHI – 13, a vazão média de longo período é dada pela seguinte equação:

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

- Vazão mínima de “d” meses consecutivos ($Q_{d,Tr}$)

Para a obtenção da vazão mínima de “d” meses de duração associada à probabilidade de ocorrência em um ano qualquer, utilizaram-se as séries de vazões médias mensais onde que a partir dessas séries 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. A partir daí, as novas séries foram padronizadas dividindo-se os valores originais da série pela média das vazões mínimas de cada duração. Logo, pode-se obter o valor da vazão de “d” meses de duração e probabilidade de ocorrência $1/T$ a partir da vazão média plurianual, com os parâmetros X_{Tr} , A e B regionalizados.

Para a UGRHI – 13, a vazão mínima de “d” meses consecutivos é dada pela seguinte equação:

$$Q_{d,Tr} = 0,759 \cdot (0,6141 + 0,0257 \cdot d) \cdot Q_{lp} \quad \text{Eq. 2}$$

- Vazões mínimas da curva de permanência ($Q_{p\%}$)

A curva de permanência de vazões numa seção é a resposta para a amplitude das vazões para os regimes hidrológicos, associada à frequência (ou número de vezes) que ela é excedida. A vazão mínima da curva de permanência é obtida através da divisão as vazões mensais pela média de longo período da série (Q_{lp}).

Para a UGHRI-13 estes valores adimensionais possuem os seguintes valores: $q_{50\%} = 0,874$, $q_{95\%} = 0,516$ e $q_{100\%} = 0,429$.

- Vazão mínima de sete dias consecutivos ($Q_{7,10}$)

O Plano de Bacia da UGHRI – 13 efetuou o cálculo do $Q_{7,10}$ utilizando-se dados da área total da Bacia, coordenadas UTM e longitude do Meridiano Central referentes à UGRHI. Os resultados são mostrados na Tabela 9.

Tabela 9 – Valores do $Q_{7,10}$ para cada sub-bacia com o total para a UGRHI – 13

Sub-bacia	$Q_{7,10}$ - m³/s
1	16,30
2	10,40
3	5,90
4	4,80
5	3,30
6	4,10
TOTAL	44,80

Fonte: Elaboração da Revisão do Plano de Bacia da UGRHI -13 – Relatório Técnico 402/08

3.1.3.2.2. DEMANDAS HÍDRICAS SUPERFICIAIS CADASTRADAS PARA A UGRHI – 13

Segundo dados de setembro de 2007, do DAEE, existem 677 pontos de captação superficial de água cadastrada 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 plano de bacia da UGRHI – 13 realizou correções para ajustar os dados que possivelmente foram digitados errados.

Por outro lado, 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 108000 m³/h e o que possui menor vazão registra 0,3 m³/h.

Dos pontos de captação superficial que apresentam dados de vazão e estão com a coordenada correta, a vazão média é de 482,4 m³/h, o ponto de captação superficial com maior vazão registra 108000,0 m³/h e de menor vazão 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 132965,3 m³/h em uma área de 11804 km².

As informações sobre demandas superficiais dito anteriormente são sumarizadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Outorga de água superficial para a UGRHI – 13 segundo dados do DAEE de setembro de 2007

Nº	Sub-Bacia - Nova Divisão	Vazão total m ³ /h	Vazão média m ³ /h	Número de Captações		Total
				Com dados de vazão	Sem dados de vazão	
1	Sub-Bacia do Rio Jacaré-Guaçu e afluentes do Rio Tietê	131285,9	776,8	169	72	241
1a	Trecho com afluentes diretos do Rio Tietê - jusante	3,0	3,0	1	0	1
1b	Trecho com afluentes diretos do Rio Tietê - montante	-	-	-	2	2
1c	Trecho do Rio Jacaré-Guaçu inundado	13,0	6,5	2	3	5
1d	Trecho do Rio Jacaré-Guaçu corrente	131269,9	790,8	166	67	233
2	Sub-Bacia do Rio Jacaré-Pepira	204,4	57,2	37	91	128
2a	Trecho do Rio Jacaré-Pepira inundado	-	-	-	-	-

Fonte: Plano de Bacia da UGRHI – 13 – Relatório Técnico MINUTA 340/08

Tabela 11 (continuação) – Outorga de água superficial para a UGRHI – 13 segundo dados do DAEE de setembro de 2007

Nº	Sub-Bacia - Nova Divisão	Vazão total m³/h	Vazão média m³/h	Número de Captações		
				Com dados de vazão	Sem dados de vazão	Total
2b	Trecho com afluentes diretos do Rio Tietê	152,8	450,0	3	6	9
2c	Trecho do Rio Jacaré-Pepira corrente	51,6	620,0	34	85	119
3	Sub-Bacia do Rio Jaú	444,9	6250,0	19	60	79
4	Sub-Bacia do Rio Lençóis	57,2	354,0	17	48	65
5	Sub-Bacia do Rio Bauru	48,6	400,0	7	30	37
6	Sub-Bacia do Rio Claro	61,6	239,0	7	12	19
	Captação na UGRHI 13 com coordenadas consistidas	132102,7	482,4	256	313	569
	Captação na UGRHI 13 com coordenadas inconsistentes	218,9	16,8	13	12	25
	Captação na UGRHI 13 sem coordenadas	643,7	15,7	41	42	83
	Total na UGRHI 13 - Captação Superficial	132965,3	415,6	310	367	677

Fonte: Plano de Bacia da UGRHI – 13 – Relatório Técnico MINUTA 340/08

3.1.3.2.3. CENÁRIOS DE DEMANDA DE RECURSOS HÍDRICOS

O plano de bacia da UGRHI – 13 fez análises de cenários de demanda hídrica utilizando o Cenário Sócio-Econômico Tendencial (CSET) e o Cenário Sócio-Econômico Alternativo (CSEA).

Para o Cenário Sócio-econômico Tendencial (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 (uma vez que se supõe que as atividades econômicas irão crescer às mesmas taxas projetadas de crescimento das populações humanas).

Para o Cenário Sócio-econômico Alternativo (CSEA), supõe-se que as projeções de mudanças regionais nas estruturas social e econômica, causadas pela evolução de fenômenos globais como o fenômeno macro-econômico da globalização, terão efeito significativo entre 2010 e 2050 sobre os padrões históricos de evolução das variáveis sócio-econômicas da UGRHI – 13 e sobre os parâmetros tecnológicos intervenientes nos diversos usos dos recursos hídricos de cada sub-bacia.

As demandas de recursos hídricos para os cenários CSET e CSEA foram realizadas para os diversos setores usuários do recurso hídrico dentro da UGRHI - 13, sendo que as metodologias utilizadas para as projeções (simulações) encontram-se no capítulo 8 do plano de bacia da UGRHI – 13. Como parte integrante das simulações de cenários, o plano de bacia apresenta a projeções populacionais para os anos horizontes de 2010, 2025 e 2050 para a UGRHI – 13. Os resultados encontram-se na Tabela 12 e foram determinados a partir de dados no censo demográfico do IBGE (2000), do relatório do CBH-TJ (2000) e do relatório estatístico do SEADE (1998)

Tabela 12 – Projeção da população da UGRHI – 13

Sub-bacia	Cenário Tendencial (CSET)			Cenário Alternativo (CSEA)		
	2010	2025	2050	2010	2025	2050
1	620,6	757,7	987,3	599,7	694,5	767,7
2	68,4	106,9	201,4	56,97	65,97	72,92
3	279,2	361,4	524,4	263	304,5	336,6
4	77,63	94,18	120,1	74,6	86,39	95,5
5	475,1	596,1	806,2	449,5	520,5	575,4
6	22,71	28,42	40,25	22,02	25,5	28,19
Total UGRHI - 13	1.543.666	1.944.620	2.679.612	1.465.806	1.697.451	1.876.333

Fonte: Plano de Bacia da UGRHI – 13 – Relatório Técnico MINUTA 340/08

A seguir encontram-se os resultados das projeções para os setores usuários e características hidrológicas da UGRHI – 13.

- Oferta hídrica superficial

No item 3.1.3.2.1 foram apresentadas as formulações que caracterizam as variáveis hidrológicas da UGRHI – 13.

A Tabela 13 apresenta a projeção da oferta 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 13 – Disponibilidade hídrica superficial para a UGRHI – 13 (m³/s)

Ano	Vazão média de longo período (Q _{lp})				Vazão com 95% de permanência (Q _{95%})				Vazão Característica Q _{7,10}			
	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	20,30	17,77	16,89	16,34	16,24	14,21	13,51
2	25,30	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	11,00	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	9,20	5,16	5,09	4,81	4,75	4,12	4,07	3,85	3,80
	Cenário Alternativo											
1	39,59	34,87	28,02	22,61	20,43	17,99	14,46	11,67	16,34	14,39	11,56	9,33
2	25,30	18,95	15,37	13,50	13,06	9,78	7,93	6,97	10,44	7,82	6,35	5,57
3	14,31	10,74	7,80	5,79	7,39	5,54	4,02	2,99	5,91	4,43	3,22	2,39
4	11,65	9,86	8,69	7,29	6,01	5,09	4,48	3,76	4,81	4,07	3,59	3,01
5	7,89	6,87	5,51	4,41	4,07	3,54	2,84	2,28	3,26	2,84	2,28	1,82
6	9,99	8,84	7,51	6,41	5,16	4,56	3,88	3,31	4,12	3,65	3,10	2,64

Fonte: Plano de Bacia da UGRHI – 13 – Relatório Técnico MINUTA 340/08

- Demanda hídrica superficial por setores usuários

As demandas hídricas superficiais globais aparecem na Tabela 14 para os dois cenários utilizados.

Tabela 14 – Demandas hídricas superficiais globais

Ano Setor Usuário	Demanda Global (m³/s)					
	2010		2025		2050	
	CSET	CSEA	CSET	CSEA	CSET	CSEA
Abastecimento Público	6,92	5,88	8,75	6,81	12,06	7,53
Irrigação	11,92	17,55	15,12	21,58	21,22	26,33
Pecuária	1,42	2,23	1,78	2,85	2,44	3,3
Indústria	3,44	4,36	4,72	5,89	7,42	8,32
Total de Uso Consuntivo	23,7	30,02	30,37	37,13	43,14	45,47
Efluentes Domésticos	11,79	9,97	15,43	11,65	22,36	12,86
Efluentes Industriais	1,38	1,69	2,01	2,28	3,44	3,22
Total não Consuntivo:	13,17	11,66	17,44	13,93	25,8	16,08
Total de demandas:	36,87	41,68	47,81	51,06	68,94	61,55

Fonte: Plano de Bacia da UGRHI – 13 – Relatório Técnico MINUTA 340/08

Analisando a Tabela 14 tem-se que para o ano de 2010, o total dos usos consuntivos corresponde a 64% das demandas para o cenário tendencial (CSET) enquanto que este valor pode ser de 72% para o mesmo período no cenário alternativo (CSEA). Isto se deve ao fato do aumento de áreas irrigáveis associado a um cenário favorável de etanol a partir de cana de açúcar.

Similar a Tabela 14, a Tabela 15, Tabela 16 e Tabela 17 apresentam as projeções de demandas hídricas superficiais do Cenário Tendencial por setores dentro de cada sub-bacia conforme a nova divisão proposta pelo plano de bacia da UGRHI – 13.

Tabela 15 – 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)
1	0,73	1,05	1,18	0,12	0,60	0,26
2	0,13	0,59	0,77	0,05	0,03	0,02
3	0,78	1,73	0,39	0,04	0,25	0,30
4	0,23	0,27	2,49	0,01	0,33	0,04
5	2,36	2,95	0,34	0,86	0,00	0,11
6	0,12	0,22	0,42	0,03	0,01	0,01
Total	0,59	0,99	1,01	0,12	0,29	0,15

Fonte: Plano de Bacia da UGRHI – 13 – Relatório Técnico MINUTA 340/08

Tabela 16 - 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)
1	0,90	1,30	1,49	0,14	0,85	0,39
2	0,21	0,98	1,18	0,07	0,04	0,03
3	1,02	2,28	0,50	0,06	0,30	0,38
4	0,28	0,33	2,96	0,01	0,38	0,05
5	2,97	3,74	0,42	1,07	0,00	0,14
6	0,14	0,28	0,52	0,03	0,01	0,02
Total	0,75	1,30	1,30	0,15	0,40	0,21

Fonte: Plano de Bacia da UGRHI – 13 – Relatório Técnico MINUTA 340/08

Tabela 17 - 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)
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
3	1,48	3,31	0,68	0,08	0,43	0,49
4	0,36	0,42	3,54	0,02	0,47	0,06
5	4,02	5,05	0,53	1,45	0,02	0,17
6	0,20	0,40	0,69	0,05	0,02	0,02
Total	1,05	1,90	1,79	0,21	0,64	0,34

Fonte: Plano de Bacia da UGRHI – 13 – Relatório Técnico MINUTA 340/08

Na Tabela 18, Tabela 19 e Tabela 20 são apresentados as projeções de demandas hídricas superficiais para o Cenário Alternativo.

Tabela 18 - Demandas previstas para 2010 do Cenário Alternativo (L/s/Km²)

Sub-bacia	Abast. público (1)	Diluição de Esgotos Domésticos (2)	Irrigação (3)	Pecuária (4)	Indústria (5)	Diluição de Esgotos Industriais (6)
1	0,63	0,86	1,77	0,20	0,73	0,31
2	0,10	0,61	1,03	0,06	0,03	0,00
3	0,66	1,41	0,59	0,07	0,33	0,40
4	0,20	0,22	3,92	0,02	0,44	0,02
5	2,00	2,39	0,52	1,31	0,01	0,15
6	0,10	0,19	0,68	0,05	0,02	0,02
Total	0,50	0,84	1,52	0,19	0,36	0,18

Fonte: Plano de Bacia da UGRHI – 13 – Relatório Técnico MINUTA 340/08

Tabela 19 - Demandas previstas para 2025 do Cenário Alternativo (L/s/Km²)

Sub-bacia	Abast. público (1)	Diluição de Esgotos Domésticos (2)	Irrigação (3)	Pecuária (4)	Indústria (5)	Diluição de Esgotos Industriais (6)
1	0,72	1,00	2,18	0,25	1,03	0,42
2	0,11	0,74	1,26	0,08	0,04	0,01
3	0,77	1,63	0,73	0,08	0,46	0,53
4	0,23	0,25	4,82	0,02	0,63	0,05
5	2,32	2,79	0,63	1,67	0,01	0,20
6	0,11	0,22	0,83	0,06	0,02	0,03
Total	0,58	0,98	1,87	0,24	0,51	0,24

Fonte: Plano de Bacia da UGRHI – 13 – Relatório Técnico MINUTA 340/08

Tabela 20 - Demandas previstas para 2050 do Cenário Alternativo (L/s/Km²)

Sub-bacia	Abast. público (1)	Diluição de Esgotos Domésticos (2)	Irrigação (3)	Pecuária (4)	Indústria (5)	Diluição de Esgotos Industriais (6)
1	0,80	1,11	2,66	0,29	1,45	0,59
2	0,12	0,81	1,54	0,09	0,04	0,02
3	0,85	1,79	0,89	0,10	0,65	0,75
4	0,26	0,28	5,88	0,03	0,88	0,07
5	2,57	3,08	0,77	1,93	0,01	0,29
6	0,13	0,23	1,02	0,07	0,03	0,04
Total	0,64	1,08	2,28	0,28	0,72	0,34

Fonte: Plano de Bacia da UGRHI – 13 – Relatório Técnico MINUTA 340/08

Somente serão utilizados nas simulações computacionais os dados referentes às sub-bacias presentes na área de estudo referente ao reservatório da usina Bariri.

3.1.4. QUALIDADE DAS ÁGUAS

3.1.4.1. ABASTECIMENTO PÚBLICO

A Figura 6 e a Figura 7 contêm os resultados do IAP – Índice de qualidade das águas para fins de abastecimento público e do IQA – Índice de qualidade das águas, respectivamente. A descrição dos pontos de amostragem é mostrada na Figura 5

Código Cetesb	Latitude	Longitude	Projeto	Corpo Hídrico	Local de amostragem	Município
JCGU 03400	21 51 57	48 16 42	RB	Rio Jacaré-Guaçu	Ponte na rodovia SP-255, no trecho que liga Boa Esperança do Sul a Araraquara.	ARARAQUARA
JCGU 03900	21 49 33	48 49 57	RB	Rio Jacaré-Guaçu	Ponte na rodovia SP-304, no trecho que liga Ibitinga a Itajú.	BARIRI
IPEP 03500	22 04 44	48 26 30	RB	Rio Jacaré-Guaçu	Ponte na rodovia SP-255, no trecho que liga Jaú a Boa Esperança do Sul.	BARRA BONITA
LENS 02500	22 35 49	48 48 14	MR	Rio Lençóis	Na Rua Quinze de Novembro, 1111, na captação do município de Lençóis Paulista.	DOURADO
TIBA 02800	22 10 17	48 43 45	SED	Res. Bariri	A cerca de 4 Km da Usina Hidroelétrica de Bariri	IBITINGA
TIET 02491	22 30 51	48 32 29	BAL	Rio Tietê	Na Praia de Igarapé do Tietê	IGARAPU DO TIETÊ
TIET 02500	22 30 26	48 32 46	RB	Rio Tietê	Ponte na rodovia SP-255 que liga São Manuel a Jaú, a jusante do Res. de Barra Bonita.	LENÇÓIS PAULISTA

RB = Rede Básica de Monitoramento

BAL = Balneabilidade de Rios e Lagos

MR = Monitoramento Regional

SED = Rede de Sedimento

MA = Monitoramento automático

Figura 5 – Descrição dos pontos de amostragem

Fonte: Relatório da Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo (CETESB, 2007)

Figura 6 – Resultados mensais e médias anuais do IAP – 2007

Fonte: Relatório da Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo (CETESB, 2007)

Figura 7 - Resultados mensais e médias anuais do IQA – 2007

Fonte: Relatório da Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo (CETESB, 2007)

A qualidade média anual enquadrou-se na categoria Boa em todos os pontos monitorados, tanto em relação ao IAP quanto ao IQA, com exceção do LENS 02500.

Segundo o Relatório da Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo (CETESB, 2007), esse ponto, que coincide com a captação da cidade de Lençóis Paulistas, é monitorado duas vezes ao ano e apresentou, nas duas amostragens de 2007, qualidade Péssima em relação ao IAP, mostrando uma redução da qualidade em relação a 2006. A qualidade Péssima verificada em maio deveu-se às elevadas

concentrações de cádmio e de chumbo e, em novembro, ao elevado potencial de formação de trihalometanos.

3.1.4.2. PROTEÇÃO DA VIDA AQUÁTICA

Na Figura 8 e na Figura 9 são mostrados os resultados do IVA – Índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática e do IET – Índice de estado trófico, respectivamente.

Ponto	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Média
JCGU03400		5,6		3,2		4,2		4,2		4,2		4,2	4,3
JCGU03900		5,6		4,2		4,2		3,2		3,2		4,2	4,1
JPEP03500		4,4		3,2		3,2		4,4		3,2		2,2	3,4
LENS02500					5,4						4,4		4,9
TIET02500	5,6		4,4		4,4		3,2		3,2		5,4		4,4

Classificação

Ótima	Bom	Regular	Ruim	Péssima
-------	-----	---------	------	---------

Figura 8 – Resultados mensais e médias anual do IVA – 2007

Fonte: Relatório da Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo (CETESB, 2007)

Figura 9 – Resultados mensais e média anual do IET – 2007

Fonte: Relatório da Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo (CETESB, 2007)

O IVA médio anual foi Regular para todos os pontos monitorados a exceção do ponto LENS 02500 (Rio Lençóis) que teve qualidade de água Ruim. Esse ponto, além de apresentar condição eutrófica, teve ocorrências de baixa concentração de oxigênio dissolvido e concentrações de cádmio e chumbo na água acima do estabelecido para Classe 2 pela Resolução CONAMA 357/05. O Rio Jacaré-Guaçu apresentou melhora com relação a 2006, sobretudo com o aumento das concentrações de oxigênio dissolvido, a exceção do mês de fevereiro.

Foi verificada toxicidade crônica à *Ceriodaphnia dubia* nos pontos TIET 02500 (maio) e JPEP 03500 (agosto). Os efeitos tóxicos observados, nos pontos mencionados, não se correlacionaram com os resultados das análises químicas efetuadas, sendo que a ocorrência de tais efeitos pode estar associada a outras substâncias não avaliadas.

O Índice de Estado Trófico foi calculado somente com os valores de fósforo total. O ponto no Rio Tietê (TIET 02500) está à jusante do Reservatório Barra Bonita e apresentou moderada concentração de fósforo total ao longo do ano, com classificação anual mesotrófica. No que se refere ao ponto no Rio Jacaré-Pepira

(JPEP 03500), que se localiza a jusante da cidade de Brotas, o IET indicou média anual mesotrófica.

Nos pontos do Rio Jacaré-Guaçu (JCGU 03400 e JCGU 03900), ambos à jusante da cidade de Araraquara, ocorreram variações no estado trófico ao longo do ano e a média anual indicou estado mesotrófico. Nestes dois pontos constatou-se, em alguns meses, valores de coliformes termotolerantes acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água doce da Classe 3 (4.000 NMP/100mL), indicando presença de esgoto doméstico. Com relação ao ponto do Rio Lençóis (LENS 02500), à jusante da cidade de Lençóis Paulista, a média das duas amostragens anuais indicou tratar-se de ambiente eutrófico. No mês de maio, o valor de coliformes termotolerantes esteve acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 para corpos d'água doce enquadrados na Classe 2 (1.000 NMP/100mL), sugerindo entrada de esgoto doméstico.

3.2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO: BACIA DE CONTRIBUIÇÃO DO RESERVATÓRIO DE BARIRI

A região de estudo onde se realizou as simulações computacionais para análise de atendimento as demandas requeridas compreende a área de drenagem referente ao reservatório da UHE Álvaro de Souza Lima, mais conhecida como Bariri, que é formado pelos rios Jau, Bauru, Lençóis e Tietê, conforme mostrado na Figura 10. Esta usina é propriedade da Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL.

48° 30" W

+ 22° 45" S

Figura 10 – Localização da área de estudo dentro da UGRHI – 13

Fonte: Elaboração da Revisão do Plano de Bacia da UGRHI -13 – Relatório Técnico 402/08

3.2.1. A USINA HIDRELÉTRICA ÁLVARO SOUZA DE LIMA - BARIRI

O reservatório de Bariri é o segundo da série em cascata do rio Tietê, é o menor de todos os seis do sistema. Medindo um total de 846 metros de comprimento, este reservatório foi concluído em 1969. Está situado entre as coordenadas 22° 06' S e 48° 45' W, no trecho a jusante do reservatório de Barra Bonita e a montante do

reservatório de Ibitinga. As principais características morfométricas deste reservatório estão apresentadas na Tabela 21.

Tabela 21 – Principais características morfométricas do reservatório de Bariri

Características	
Área alagada (km ²)	64
Profundidade média (m)	8,6
Volume total (10 ⁶ m ³)	544
Tempo de residência (dias)	7-24
Vazão média anual (m ³ /s)	443
Ano de conclusão	1969

Fonte: Adaptado de Minillo (2005)

3.2.2. CARACTERIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO DE BARIRI

O reservatório possui como principais tributários as sub-bacias do rio Jaú, Bauru e Lençóis, além do rio Tietê. A Figura 11 mostra a localização do reservatório de Bariri e seus principais tributários.

Figura 11 - Localização do reservatório de Bariri e seus principais tributários
(Adaptado de Marciano, 2005)

Segundo (REZENDE, 2003), a área de drenagem do reservatório de Bariri possui aproximadamente 3621,5 km², possuindo o equivalente a 1,8% destas áreas inundadas (aproximadamente 64 km²), envolvendo 18 municípios. Possuindo cerca de 60 quilômetros de extensão, possui uma capacidade de armazenamento de aproximadamente quinhentos e quarenta e quatro milhões de metros cúbicos (544.000.000 m³). Os municípios presentes na área de drenagem são listados na Tabela 22.

Tabela 22 – Municípios presentes na área de drenagem do reservatório de Bariri

Município	Área de drenagem - km²	Área submersa - km²
Agudos	300.28	0.12
Areiópolis	89.34	-
Bariri	22.54	1
Barra Bonita	107.51	1.25
Bauru	172.15	-
Bocaina	44.91	-
Boracéia	45.74	8.96
Borebi	85.52	-
Dois Córregos	213.09	-
Igaraçu do Tietê	68.82	2.42
Itapuí	138.28	14.93
Jaú	621.57	11.63
Lençóis Paulista	539.66	0.42
Macatuba	225.16	8.86
Mineiros do Tietê	85.82	0.14
Pederneiras	658.57	13.97
São Manuel	194.85	0.24
Torrinha	7.67	-
Total	3621.48	63.94

Fonte: Adaptado de Rezende (2003)

Na Figura 12 e na Figura 13 são mostradas as curvas que relacionam a cota altimétrica com o volume do reservatório e a cota altimétrica com a área do reservatório respectivamente

O reservatório possui como cota máxima operacional e mínima operacional 427,0 m e 427,5 m respectivamente. Isto se deve ao fato de haver restrições de montante para não prejudicar a travessia do *Ferry-Boat* Boracéia-Itapuí, localizada a montante da barragem (ONS, 2008).

Figura 12 – Relação entre cota e volume para o reservatório de Bariri

Fonte: Levantamento batimétrico e geração da curva cota-área-volume da Represa de Bariri –
Convenio USP – AES Tietê

Figura 13 – Relação entre cota e área para o reservatório de Bariri

Fonte: Levantamento batimétrico e geração da curva cota-área-volume da Represa de Bariri –
Convenio USP – AES Tietê

3.2.3. ASPECTOS DEMOGRÁFICOS

A Tabela 23 apresenta a Taxa Geométrica de Crescimento Anual e a projeção populacional para os anos horizontes de 2009, 2012, 2015 e 2020, que corresponde aos prazos de ações e financiamentos previstos para a UGRHI – 13.

Tabela 23 – Taxa de Geométrica de Crescimento Anual e projeção populacional para os municípios pertencentes à área de drenagem do reservatório de Bariri

População Municipal	TGCA	Total 2007	2009	Projeção		
				2012	2015	2020
Agudos	0,76	34,221	34736	35524	36329	37712
Areiópolis	0,46	10,63	10728	10877	11028	11284
Bariri	1,37	30,995	31850	33177	34559	36993
Barra Bonita	-0,14	35,09	34992	34845	34699	34457
Bauru	1,39	347,601	357331	372440	388188	415927
Bocaina	1,28	10,299	10564	10975	11402	12151
Boracéia	1,44	4,128	4248	4434	4628	4971
Borebi	1,72	2,172	2174	2177	2180	2185
Dois Córregos	1,17	24,384	24958	25844	26762	28365
Igaraçu do Tietê	0,31	23,085	23228	23445	23664	24033
Itapuí	1,64	11,605	11989	12588	13218	14338
Jaú	1,65	125,469	129644	136167	143020	155215
Lençóis Paulista	1,11	59,366	60727	62828	65001	68792
Macatuba	0,40	16,173	16303	16499	16698	17034
Mineiros do Tietê	0,46	11,76	11868	12033	12200	12483
Pederneiras	1,39	40,27	41422	43212	45079	48371
São Manuel	0,50	37,797	38176	38751	39336	40329
Torrinha	0,15	8,918	8945	8985	9026	9093
TOTAL		1.436.710	1.470.235	1.521.995	1.575.577	1.669.105

Fonte: Elaboração da Revisão do Plano de Bacia da UGRHI -13 – Relatório Técnico 402/08

3.2.4. ASPECTOS SOCIOECONOMICOS

Segundo (MINILLO, 2005), pode-se destacar como usos no entorno do reservatório, aqueles relacionados com atividades urbanas, industriais e agropecuárias, com grandes áreas de pastagens e de cultivo de cana-de-açúcar, café, milho e citrus. Vale ressaltar também que suas águas são utilizadas não somente para irrigação, mas também como transporte hidroviário, turismo e geração de energia hidroelétrica.

3.2.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

No item 3.1 que caracterizou de forma geral a UGRHI – 13, apresentaram-se as projeções demográficas e de demanda de água para os diversos setores usuários para cada sub-bacia presente na UGRHI – 13. No item 3.2 que caracterizou de forma mais específica a bacia de contribuição do reservatório de Bariri, apresentou-se dados específicos sobre os municípios e usos em torno do reservatório além, de dados técnicos sobre a usina de Bariri e seu reservatório.

O Plano de Bacia da UGRHI – 13, como dito anteriormente, apresenta os dados de projeção de consumo de água para os diversos setores usuais para cada sub-bacia segundo a nova divisão proposta pelo plano, sendo que não apresenta os dados específicos para cada cidade.

4. METODOLOGIA

4.1. MODELO COMPUTACIONAL MIKE BASIN 2000

O *software* Mike Basin 2000 foi desenvolvido pela empresa *DHI Water & Environment* da Dinamarca, e é uma representação de uma bacia hidrográfica, incluindo os rios principais e tributários, a hidrologia da bacia no espaço e no tempo e os vários esquemas de demanda de água, sendo que o modelo é estruturado em uma rede de arcos e nós digitalizada no ambiente do *ArcView* do Sistema de Informações Geográficas.

Neste modelo, os nós representam as nascentes e confluências de rios, postos fluviométricos, pontos de captação e de lançamento de águas residuárias, enquanto que os arcos representam rios, canais, linhas de adução, etc.

O esquema da Figura 5.1 mostra os principais dados de entrada e a resposta do modelo de simulação.

Figura 14 - Conceito do modelo MIKE BASIN

Fonte: Adaptado do Guide to Getting Started Tutorial (2003)

Freqüentemente, vários usuários recebem água da mesma fonte. Em situações de escassez, o meio de distribuir a água disponível entre os usuários é solucionado pelo modelo por duas alternativas: *local priority rules* e *global priority rules*. O usuário define sua opção no início da simulação. O primeiro estabelece que quando mais de um usuário retira água do mesmo nó, deve-se estabelecer prioridades entre eles. O segundo estabelece as prioridades do usuário, ou seja, a água é distribuída de acordo com certas regras que podem afetar qualquer nó de todo o sistema, ou seja, a demanda de um usuário mais a jusante pode ser prioritária do que outro usuário a montante deste.

4.1.1. RIOS

Os rios são representados por arcos, que por sua vez realizam a conexão entre os nós.

Os arcos são desenhados automaticamente entre os usuários dos recursos hídricos (abastecimento urbano e industrial, irrigação, usinas hidrelétricas) e os nós podem indicar captação ou lançamento de efluente.

4.1.2. RESERVATÓRIOS

O Mike Basin 2000 pode simular sistemas de reservatórios destinados aos usos múltiplos da água. O desempenho de políticas operacionais é simulado para reservatórios individuais através das curvas de regras operacionais. Curvas de regra operacional que definem volume de armazenamento, nível da água e vazão como função do nível do reservatório e do tempo.

Há dois tipos de reservatórios que podem ser modelados pelo *software*: *Standard Reservoir* e *Allocation Pool Reservoir*. O primeiro considera o reservatório como um único armazenamento físico e todos os usuários captam água do mesmo volume disponível.

O *Allocation Pool Reservoir* tem um armazenamento físico, mas os usuários da água possuem, individualmente, certos volumes de armazenamento destinados a eles e outro volume que tem a finalidade de garantir uma liberação mínima que

garanta à sustentabilidade do rio a jusante do reservatório, conforme mostrado na Figura 15.

Figura 15 - Armazenamentos físicos da opção "Allocation Pool Reservoir"
 Fonte: Adaptado do Guide to Getting Started Tutorial (2003)

Todos esses volumes são puramente conceituais e usados internamente no programa. Para cada intervalo de tempo da simulação, o reservatório é simulado na seguinte sequência:

1. A afluência do reservatório é adicionada no armazenamento principal;

2. O nível do reservatório e sua área superficial são calculados baseados nas curvas cota-área-volume;
3. A precipitação é adicionada ao armazenamento principal (baseado na área superficial atual do reservatório);
4. Perdas por evaporação são extraídas do armazenamento principal (baseado na área superficial atual do reservatório).
5. Infiltração, baseado na área superficial atual do reservatório e na velocidade de infiltração, é retirada do armazenamento principal.
6. Os volumes individuais dos usuários e da qualidade são contabilizados por uma fração do armazenamento total do reservatório. Se a soma das perdas por evaporação e infiltração for maior que as afluências adicionadas com a precipitação, esses volumes de água irão diminuir. Qualquer contribuição de água maior que a capacidade individual destes volumes irá para o armazenamento comum.
7. Se houver água no volume comum, ela será distribuída entre os volumes de conservação. Se todos os volumes individuais forem preenchidos, o nível do

reservatório estará na curva guia ou acima dela. Esta água estará disponível para o uso comum.

8. A liberação mínima requerida para manter a sustentabilidade ecológica a jusante do reservatório será subtraída, se possível, do armazenamento comum e, se necessário, no volume reservado para a qualidade da água. O mesmo é válido para atender as outras demandas.
9. Se, após liberar a vazão mínima requerida e atender às demandas, o nível do reservatório estiver acima do volume de controle de inundação, a água será vertida para o rio e a vazão máxima deverá ser especificada pelo usuário.

Definido o tipo de reservatório, deve-se fornecer o nível do reservatório, em metros, existente no início da simulação. Deve ser estabelecida a prioridade dos diversos usos que captam água do reservatório e é possível definir se há perdas no trajeto entre o reservatório e os usuários.

As regras de operação, que devem ser fornecidas, são definidas para várias zonas de armazenamento e podem variar com o tempo (Figura 5.6).

Figura 16 – Zona de armazenamento do reservatório

Fonte: Adaptado do Guide to Getting Started Tutorial (2003)

De acordo com a Figura 16 tem-se os seguinte elementos:

1. Zona de controle de inundação – *Flood Control zone*: serve para diminuir o impacto de grandes inundações. Em circunstâncias normais, o nível do reservatório é mantido no nível de controle de inundação para proteger contra enchentes e armazenar água para abastecimento. Se o nível da água estiver nesta zona, a água é liberada segundo uma vazão máxima definida pelo usuário;
2. Zona operacional normal – *Normal operating zone*: reserva de água para todas as demandas;

3. Zona operacional reduzida – *Reduced operating zone*: se o nível de água estiver nesta zona, as demandas são atendidas parcialmente. Em períodos de seca, a liberação do reservatório pode ser reduzida de acordo com uma certa fração definida para cada usuário. Se o reservatório estiver em um nível reduzido 1, a demanda para determinado usuário é reduzida por um fator de redução 1. Se o reservatório estiver em um nível 2 abaixo de 1, a demanda será reduzida por um fator de redução 2;
4. Zona de conservação – *Conservation zone*: se a água estiver nesta zona, só será liberada para manutenção da vazão mínima especificada;
5. Zona inativa - *Inactive*: volume morto do reservatório. Apenas evaporação, precipitação e infiltração influenciarão nesta zona.

4.1.3. ABASTECIMENTO URBANO E INDUSTRIAL

Há três tipos de esquemas para abastecimento urbano e industrial: captação, lançamento e a combinação dos dois. Os dados necessários são as séries de demanda, em m^3/s , a fração de água captada nos aquíferos (quando se trabalha com água subterrânea) e a fração de água que retorna aos rios.

4.1.4. USINAS HIDRELÉTRICAS

O modelo pode calcular geração de energia em conexão com a operação de reservatórios. Os principais dados necessários são a potência gerada pela usina, nível da água a jusante da usina (necessário para calcular o desnível geométrico) e a eficiência das turbinas. A potência gerada é calculada pela seguinte fórmula:

$$P = \Delta h \cdot Q \cdot \eta \cdot g \cdot \rho \quad \text{Eq. 3}$$

Sendo que:

- P: potência gerada – [W]
- Δh : carga hidráulica ($N.A._{montante} - N.A._{jusante}$) – [m]
- Q: vazão turbinada – [m³/s]
- η : eficiência das turbinas – []
- g: constante de aceleração da gravidade – [m/s²]

- ρ : massa específica da água – [kg/m³]

A demanda de água para geração de energia é calculada através da resolução iterativa da eq. (3) para Q . Quando a diferença de altura é pequena, as turbinas são desligadas, primeiro porque a operação se torna ineficiente e segundo porque um grande volume de água seria requerido. Deste modo, pode ser fixado um Δh mínimo para operação das turbinas e se, Δh for menor que $\Delta h_{\text{mínimo}}$, nenhuma água passará pelas turbinas.

O *software Mike Basin* tem uma opção para produzir mais energia que a demanda, dependendo da capacidade instalada, no momento em que houver um excedente de água no reservatório. Quando o reservatório estiver acima do nível de controle de inundação, a água que seria vertida passa pelas turbinas. O que não passar devido à capacidade delas é então vertido.

4.2. LEVANTAMENTO DE DADOS NECESSÁRIOS PARA AS SIMULAÇÕES

Uma das etapas desta pesquisa consta do levantamento e a análise das informações necessárias à realização das análises ao atendimento as demandas requeridas na área de estudo. Essas informações são muito importantes, pois serão utilizadas para a modelagem da área de estudo.

Um dos principais requisitos à utilização de modelos de planejamento e gestão de recursos hídricos são a quantidade e representatividade das informações sobre o

sistema a ser simulado. Fornecer parâmetros autênticos para o modelo de simulação é fundamental para permitir resultados confiáveis (LIMA, 2002).

4.2.1. DADOS FLUVIOMÉTRICOS

As simulações para análise de atendimento as demandas requeridas serão realizadas considerando que todos os usos nas sub-bacias dos Rios Jaú, Lençóis e Bauru ocorram diretamente no reservatório da usina Bariri formado pelo rio Tietê.

Inicialmente levantaram-se todos os postos fluviométricos localizados diretamente no rio Tietê dentro da área de estudo, sendo que estes são listados na Tabela 24.

Tabela 24 – Postos fluviométricos presentes na área de estudo

Código	Nome	Área - km²	Lat	Long	Tipo
62725000	Barra Bonita	32860	-22,500	-48,567	Vazão
-	Vazão afluente a Bariri ¹	35430	-22,153	-48,753	Vazão

1 – Série de vazões divulgadas por ONS (2009)

Fonte: Relatório Zero (IPT, 2000); Sistema de Informações Georreferenciadas de Energia e Hidrologia – HIDROGEO (ANEEL, 2000)

A localização de cada um dos postos citados na Tabela 24 é mostrada na Figura 17.

Figura 17 – Localização dos postos fluviométricos dentro da área de estudo

O posto 62725000 possuía dados fluviométricos do período de 1930 a 1966, logo, fez-se necessário a geração de séries sintéticas para que o mesmo possuísse dados atuais de vazão. A geração de séries sintéticas também se faz necessários para as simulações nos anos horizontes de 2010, 2015 e 2025.

Para a utilização do modelo de geração de séries sintéticas, fez-se necessário que os postos escolhidos tenham dados de vazão em períodos coincidentes, com isso, foi utilizado todos os dados do posto 62725000 (1930 a 1965) e também foi utilizado os dados de vazão da série de vazões afluentes à Bariri para o mesmo período que o posto 62725000, apesar da mesma possuir dados entre os períodos 1931 a 2006.

O modelo utilizado para gerar as séries sintéticas será explicado no item 4.3.

4.2.2. DEMANDAS DOS RECURSOS HÍDRICOS NA ÁREA DE ESTUDO

Os dados de demandas dos recursos hídricos na área de estudo foram retirados do Relatório Técnico MINUTA 340/08 – Plano de Bacia da UGRHI – 13, sendo que estes dados já foram apresentados de uma forma geral no item 3.1.3 que tratava dos recursos hídricos na UGRHI - 13. Porém, neste item, será apresentado às demandas dos recursos hídricos somente para aquelas áreas presentes no local onde será feito as simulações de atendimento as demandas hídricas requeridas.

Os dados de demandas hídricas fornecidas pelo Plano de Bacia da UGRHI – 13 referem-se a dados totais de demandas hídricas por setor usuário para cada sub-bacia, conforme mostrado nas tabelas abaixo.

Os dados de demandas hídricas são apresentados pelo Plano de Bacia segundo os cenários Sócio-econômico Tendencial e Sócio-econômico Alternativo, como mostrado no item 3.1.3. Para as simulações realizadas, foram utilizados dados de demandas hídricas do cenário Sócio-econômico Alternativo, haja vista que nesse cenário ocorre a situação mais crítica para a UGRHI 13, combinando um maior aumento da demanda por água, por efeito do aumento da atividade produtiva, com uma maior diminuição da disponibilidade hídrica, por efeito da maior redução nas precipitações, para os anos horizonte de 2010, 2025 e 2050.

As projeções das demandas apresentadas pelo Plano de Bacia e mostradas no item 3.1.3 eram em litros por segundo por quilometro quadrado. As tabelas a seguir possuem os valores de demandas em m^3/s , sendo que estes valores foram obtidos multiplicando-se a vazão especifica pela área da sub-bacia. É valido ressaltar que a

área utilizada da sub-bacia do rio Jaú foi de 1271,53 km² que corresponde à parcela da área da sub-bacia do rio Jaú presente na área de estudo. As áreas das sub-bacias do rio lençóis e bauru encontram-se na Tabela 6.

Tabela 25 – Demandas hídricas na área de estudo em 2008

Nº	Sub-Bacia	Vazão total – m³/s
3	Sub-Bacia do Rio Jaú	4,90
4	Sub-Bacia do Rio Lençóis	5,60
5	Sub-Bacia do Rio Bauru	5,20

Fonte: Elaboração da Revisão do Plano de Bacia da UGRHI -13 – Relatório Técnico 402/08

Tabela 26 - Demandas previstas na área de estudo em 2010 (m³/s)

Sub-bacia	Abast. público (1)	Diluição de Esgotos Domésticos (2)	Irrigação (3)	Pecuária (4)	Indústria (5)	Diluição de Esgotos Industriais (6)
3	0,839	1,793	0,750	0,089	0,420	0,509
4	0,287	0,316	5,632	0,029	0,632	0,029
5	1,654	1,976	0,430	1,083	0,008	0,124

Fonte: Plano de Bacia da UGRHI – 13 – Relatório Técnico MINUTA 340/08

Tabela 27 - Demandas previstas na área de estudo em 2025 (m³/s)

Sub-bacia	Abast. público (1)	Diluição de Esgotos Domésticos (2)	Irrigação (3)	Pecuária (4)	Indústria (5)	Diluição de Esgotos Industriais (6)
3	0,979	2,073	0,928	0,102	0,585	0,674
4	0,330	0,359	6,924	0,029	0,905	0,072
5	1,918	2,307	0,521	1,381	0,008	0,165

Fonte: Plano de Bacia da UGRHI – 13 – Relatório Técnico MINUTA 340/08

Tabela 28 - Demandas previstas na área de estudo em 2050 (m³/s)

Sub-bacia	Abast. público (1)	Diluição de Esgotos Domésticos (2)	Irrigação (3)	Pecuária (4)	Indústria (5)	Diluição de Esgotos Industriais (6)
3	1,081	2,276	1,132	0,127	0,826	0,954
4	0,374	0,402	8,447	0,043	1,264	0,101
5	2,125	2,547	0,637	1,596	0,008	0,240

Fonte: Plano de Bacia da UGRHI – 13 – Relatório Técnico MINUTA 340/08

4.2.3. DADOS DE PRODUÇÃO ENERGÉTICA DA USINA ALVARO SOUZA LIMA – BARIRI

Os dados de produção energética que serão utilizados nas simulações computacionais encontram-se na Tabela 29.

Tabela 29 – Principais dados da usina de Bariri que serão utilizados no modelo computacional

Dados	
Cota Máxima Útil (m)	427,5
Cota Mínima Útil (m)	426,5
Área do reservatório (km²)	63
Volume acumulado total (hm³)	6,07
Potência instalada (MW)	136,8

4.2.4. DADOS DE EVAPORAÇÃO DO RESERVATÓRIO DE BARIRI

Levantou-se a evaporação líquida estimada para o reservatório de Bariri. De acordo com os dados publicados pela ONS (2004), o reservatório de Bariri possui

uma evaporação líquida anual de 481 mm, distribuídos mensalmente conforme o gráfico apresentado na Figura 18.

Figura 18 – Evaporação líquida (mm) mensal no reservatório de Bariri
Fonte: Evaporação líquida nas usinas hidrelétricas (ONS, 2004)

4.2.5. DADOS DE PRECIPITAÇÃO DO RESERVATÓRIO DE BARIRI

Conforme explicado no item 3.1.2.2 e também segundo Castro (2008) será utilizado uma precipitação média anual de 1300 mm considerando que 75% dessa precipitação ocorra de forma equitativa entre outubro e março e 25% dessa precipitação ocorra também de forma equitativa entre abril e setembro.

4.3. O MODELO ESTACIONÁRIO MULTIVARIADO AUTOREGRESSIVO DE PRIMEIRA ORDEM AR (1)

A análise de séries temporais que possuem comportamento periódico de suas propriedades probabilísticas tais como média, variância, assimetria e estrutura de auto-correlação, podem ser feitas por formulações auto-regressivas cujos parâmetros apresentam um comportamento periódico, denominados modelos auto-regressivos periódicos (CEPEL, 1999).

A modelagem de séries temporais tem por objetivo reproduzir o comportamento estocástico das séries de vazões naturais, de forma que as séries sintéticas de vazões geradas sejam dependentes de vazões passadas e obedecem a um comportamento periódico ao longo do ano, semelhante às vazões naturais.

Para a geração de séries sintéticas de vazão foi utilizado o 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:

- $X_1(t)$: série de vazões no Posto Fluviométrico 1;
- $X_2(t)$: série de vazões no Posto Fluviométrico 2;

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:

$$Y_i(t) = \ln X_i(t) \quad i = 1, 2 \quad \text{Eq. 4}$$

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

A normalização das variáveis foi feita através da seguinte expressão:

$$Z_i(t) = \frac{Y_i(t) - \overline{Y_i(t)}}{\overline{\sigma_i(t)}} \quad i = 1, 2 \quad \text{Eq. 5}$$

Onde:

- $Y_i(t)$, $i = 1, 2$, definidas anteriormente,
- $\overline{Y_i(t)}$, $i = 1, 2$, são as médias de cada variável,
- $\overline{\sigma_1(t)}$, $\overline{\sigma_2(t)}$, são os desvios padrões das variáveis

- $Y_i(t)$ e $Z_1(t)$, $Z_2(t)$ 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 apud ALBERTIN, 2004) 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:

$$\mathbf{Z}(t) = \mathbf{A} \cdot \mathbf{Z}(t-1) + \mathbf{B} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}(t) \quad \text{Eq. 6}$$

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;
- $\boldsymbol{\varepsilon}(t)$ é um $(n \times 1)$ vetor independente de números aleatórios com distribuição normal, média zero e desvio padrão um.

O vetor de números aleatórios $\varepsilon(t)$ é não-correlacionado no tempo e espaço, isto é, $E[\varepsilon_i(t) \varepsilon_j(t)] = 0$ para $i \neq j$ ou $E[\varepsilon_i(t) \varepsilon_i^T(t)] = I$ onde T denota a matriz transposta e I é a matriz identidade. A equação 6 pode ser escrita na seguinte forma expandida:

$$\begin{bmatrix} Z_1(t) \\ Z_2(t) \\ \vdots \\ Z_n(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Z_1(t-1) \\ Z_2(t-1) \\ \vdots \\ Z_n(t-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & & & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_1(t) \\ \varepsilon_2(t) \\ \vdots \\ \varepsilon_n(t) \end{bmatrix} \quad \text{Eq. 7}$$

A estrutura de correlação de $Z(t)$ evidenciadas nas equações 6 e 7 indicam uma correlação de ordem zero e um no espaço, e uma correlação serial de ordem um no tempo.

Os parâmetros matriciais A e B foram obtidos através do método dos momentos (MATALAS 1967 apud ALBERTIN, 2004).

Multiplicando a equação 6 por $Z^T(t)$ e rearranjando, obtém-se:

$$E[Z(t) \cdot Z^T(t)] = A \cdot E[Z(t-1) \cdot Z^T(t)] + B \cdot E[\varepsilon(t) \cdot Z^T(t-1) \cdot A^T + \varepsilon^T(t) \cdot B^T] \quad \text{Eq. 8}$$

Define-se matriz de covariância, M_0 , como:

$$M_0 = E[Z(t) \cdot Z^T(t)] \quad \text{Eq. 9}$$

e M_1 , como:

$$\mathbf{M}_1^T = E[\mathbf{Z}(t-1) \cdot \mathbf{Z}^T(t)] \quad \text{Eq. 10}$$

Explorando as propriedades de $\varepsilon(t)$, a equação 7 pode ser reduzida para:

$$\mathbf{M}_0 = \mathbf{A} \cdot \mathbf{M}_1^T + \mathbf{B} \cdot \mathbf{B}^T \quad \text{Eq. 11}$$

A equação 12 relaciona os momento M_0 e M_1 com as matrizes paramétricas A e B . Multiplicando-se a equação 7 por $\mathbf{Z}^T(t-1)$, os valores esperados definem a covariância de atraso 1:

$$E[\mathbf{Z}(t) \cdot \mathbf{Z}^T(t-1)] = \mathbf{A} \cdot E[\mathbf{Z}(t-1) \cdot \mathbf{Z}^T(t-1)] + \mathbf{B} \cdot E[\varepsilon(t) \cdot \mathbf{Z}^T(t-1)] \quad \text{Eq. 12}$$

Novamente, com as propriedades de $\varepsilon(t)$, a equação 12 passa a ser:

$$\mathbf{M}_1 = \mathbf{A} \cdot \mathbf{M}_0 \quad \text{Eq. 13}$$

Onde a estacionariedade do sistema estabelece que:

$$E[\mathbf{Z}(t) \cdot \mathbf{Z}^T(t)] = E[\mathbf{Z}(t-1) \cdot \mathbf{Z}^T(t-1)] = \mathbf{M}_0 \quad \text{Eq. 14}$$

Desta forma, a matriz A pode ser determinada pela equação 15:

$$\mathbf{A} = \mathbf{M}_1 \cdot \mathbf{M}_0^{-1} \quad \text{Eq. 15}$$

Para calcular o parâmetro B, foi utilizada a metodologia descrita por (BRAS et al., 1985 apud ALBERTIN, 2004) a partir da equação 11:

$$\mathbf{B} \cdot \mathbf{B}^T = \mathbf{M}_0 - \mathbf{A} \cdot \mathbf{M}_1^T = \mathbf{D} \quad \text{Eq. 16}$$

Onde B é uma matriz triangular inferior que, no caso desta pesquisa, onde foram trabalhadas 4 variáveis, pode ser representado como se segue:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} b_{11} & 0 \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} \quad \text{Eq. 17}$$

Multiplicando-se B, exposto na equação 17, pela sua transposta, tem-se:

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} b_{11}b_{11} & b_{11}b_{21} \\ b_{21}b_{11} & b_{21}b_{21} \end{bmatrix} \quad \text{Eq. 18}$$

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

Após a determinação das matrizes paramétricas A e B, foram geradas as séries sintéticas para cada posto fluviométrico através das seguintes equações, deduzidas da equação 7:

$$\mathbf{Z}_1 = a_{11}\mathbf{Z}_1(t-1) + a_{12}\mathbf{Z}_2(t-1) + b_{11}\boldsymbol{\varepsilon}_1(t) \quad \text{Eq. 19}$$

$$\mathbf{Z}_2 = a_{21}\mathbf{Z}_1(t-1) + a_{22}\mathbf{Z}_2(t-1) + b_{21}\boldsymbol{\varepsilon}_1(t) + b_{22}\boldsymbol{\varepsilon}_2(t) \quad \text{Eq. 20}$$

Para calcular os parâmetros do modelo, $Z_i(t-1)$, $i = 1, 2$, foram obtidos dos valores das séries históricas. Agora, para a geração das séries, foi dado o valor zero como valor inicial para $Z_1(t-1)$ e $Z_2(t-1)$. Ainda, por razões práticas, foram descartados os dez primeiros anos gerados. Os valores de $\varepsilon_i(t)$, $i = 1, 2$, foram gerados com o auxílio da ferramenta Análise de Dados (opção Geração de Números

Aleatórios) da planilha eletrônica Excel (Microsoft), na qual também foi feita toda a geração das séries.

Os resíduos das séries $Z_1(t)$ e $Z_2(t)$ foram determinados através das expressões:

$$\varepsilon_1(t) = \frac{Z_1(t) - a_{11}Z_1(t-1) - a_{12}Z_2(t-1)}{b_{11}} \quad \text{Eq. 21}$$

$$\varepsilon_2(t) = \frac{Z_2(t) - a_{21}Z_1(t-1) - a_{22}Z_2(t-1) - b_{21}\varepsilon_1(t)}{b_{22}} \quad \text{Eq. 22}$$

Os resíduos calculados foram testados quanto a sua normalidade através do cálculo dos seus coeficientes de assimetria, média e desvio padrão. Foram geradas 4 séries de 86 anos cada, 2 para vazões médias mensais e 2 para vazões mínimas mensais.

5. MODELAGEM DO RESERVATÓRIO DA USINA BARIRI PARA AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS

Utilizando o modelo MIKE BASIN o reservatório de Bariri com as suas respectivas sub-bacias foram modeladas por meio de uma rede de fluxo. Foram modelados oito cenários de modo a simular as condições atuais da bacia (ano de 2008) e as condições futuras para os anos horizontes de 2010, 2025 e 2050. As descrições de cada cenário modelado são mostradas a seguir.

- **CENÁRIO 1**

Este cenário representa as condições da área de estudo para o ano de 2008 que foi considerado o cenário que descreve as condições atuais. Como dito no item 4.2.1 foram consideradas que as captações realizadas nas sub-bacias dos rios Jau, Bauru e Lençóis ocorriam diretamente no Rio Tietê.

A Figura 19 expressa a rede de fluxo utilizada pelo modelo MIKE BASIN para a realização das simulações, sendo que sua respectiva discriminação pode ser conferida na Tabela 30.

Figura 19 – Rede de fluxo representativa do cenário 1

Tabela 30 – Descrição da rede de fluxo

Símbolo	Descrição	Representação
N1	Nó simples	Início da Rede de fluxo - Jusante de Barra Bonita
N2	Nó de bacia	Posto fluviométrico 62725000
N3	Nó simples	Ponto de captação de água
N4	Nó simples	Ponto de captação de água
N5	Nó simples	Ponto de captação de água
N6	Nó de bacia	Vazão afluente ao reservatório de Bariri
N7	Nó simples	Fim da rede de fluxo
D1	Abastecimento de água	Demanda hídrica na sub-bacia do rio Lençol
D2	Abastecimento de água	Demanda hídrica na sub-bacia do rio Bauru
D3	Abastecimento de água	Demanda hídrica na sub-bacia do rio Jau
R1	Reservatório	Reservatório de Bariri
H1	Hidrelétrica	Usina Hidrelétrica Álvaro Souza Lima - Bariri

Os dados de demanda para este cenário foram retirados da Tabela 25, sendo que os valores representam a soma de todas as demandas por setor usuário. O modelo considera que a água é desviada para H1, fato que não acontece, uma vez que a usina de Bariri está localizada no eixo do rio e não possuem canal de derivação, logo o trecho R1 – H1 – N7 é fictício.

Os nós de bacia são locais onde existem dados de vazões observadas (postos fluviométricos) e representam ponto de entrada do escoamento, sendo que a área em verde representa a área de drenagem das vazões observadas. Neste cenário foi utilizada a série sintética de vazões médias mensais para o período simulado. Como a usina Álvaro de Bariri trabalha a fio d'água, considerou-se o volume dos reservatórios constantes, ao longo de todo período de simulação, com o volume de 6,07 hm³, sendo que foi escolhida a opção *Standard Reservoir* com o nível do reservatório em 427,5 m no início da simulação. Neste cenário a usina opera 24 horas e deve gerar 136,8 MW.

Quanto aos dados de evaporação e precipitação, os valores que foram utilizados serão os mesmo descritos nos itens 4.2.4 e 4.2.5 respectivamente. A simulação foi realizada para o período de janeiro de 1966 até dezembro de 2008.

- **CENÁRIO 2**

A rede de fluxo utilizada no cenário 2 foi a mesma utilizada no cenário 1, a única diferença foi que utilizou-se a série sintética de vazões mínimas mensais com o intuito de avaliar o desempenho do sistema em situações críticas.

- **CENÁRIO 3**

A rede de fluxo do cenário 3 é mostrada na Figura 20.

Figura 20 – Rede de fluxo representativa do cenário 3

Neste cenário os usos foram divididos para cada setor usuário sendo que as simulações foram realizadas para o horizonte ano de 2010 conforme valores mostrados na Tabela 26. Foram utilizadas as séries de vazões médias mensais para o período de janeiro de 1966 a dezembro de 2010 e considerou-se que a produção energética da usina de Bariri e todas as outras características são as mesma do

cenário 1. A Tabela 31 mostra a discriminação da rede de fluxo utilizada nesse cenário.

Tabela 31 – Descrição da rede de fluxo do cenário 3

Símbolo	Descrição	Representação
N1	Nó simples	Início da Rede de fluxo - Jusante de Barra Bonita
N2	Nó de bacia	Posto fluviométrico 62725000
N3 a N19	Nó simples	Ponto de captação de água
N20	Nó de bacia	Vazão afluente ao reservatório de Bariri
N21	Nó simples	Final da rede de fluxo
D1	Abastecimento de água	Demanda hídrica para abastecimento humano na sub-bacia do rio Lençóis
D2	Abastecimento de água	Demanda hídrica para a pecuária na sub-bacia do rio Lençóis
D3	Abastecimento de água	Demanda hídrica para a irrigação na sub-bacia do rio Lençóis
D4	Abastecimento de água	Demanda hídrica para a indústria na sub-bacia do rio Lençóis
D5	Diluição	Demanda hídrica para a diluição de esgotos domésticos na sub-bacia do rio Lençóis
D6	Diluição	Demanda hídrica para a diluição de esgotos industriais na sub-bacia do rio Lençóis
D7	Abastecimento de água	Demanda hídrica para abastecimento humano na sub-bacia do rio Bauru
D8	Abastecimento de água	Demanda hídrica para a pecuária na sub-bacia do rio Bauru
D9	Abastecimento de água	Demanda hídrica para a irrigação na sub-bacia do rio Bauru
D10	Abastecimento de água	Demanda hídrica para a indústria na sub-bacia do rio Bauru na sub-bacia do rio Bauru
D11	Diluição	Demanda hídrica para a diluição de esgotos domésticos na sub-bacia do rio Bauru
D12	Diluição	Demanda hídrica para a diluição de esgotos industriais na sub-bacia do rio Bauru
D13	Abastecimento de água	Demanda hídrica para abastecimento humano na sub-bacia do rio Jau
D14	Abastecimento de água	Demanda hídrica para a pecuária na sub-bacia do rio Jau
D15	Abastecimento de água	Demanda hídrica para a irrigação na sub-bacia do rio Jau

Tabela 30 (continuação) – Descrição da rede de fluxo do cenário 3

Símbolo	Descrição	Representação
D16	Abastecimento de água	Demanda hídrica para a indústria na sub-bacia do rio Bauru na sub-bacia do rio Jau
D17	Diluição	Demanda hídrica para a diluição de esgotos domésticos na sub-bacia do rio Jau
D18	Diluição	Demanda hídrica para a diluição de esgotos industriais na sub-bacia do rio Jau
R1	Reservatório	Reservatório de Bariri
H1	Hidrelétrica	Usina Hidrelétrica Álvaro Souza Lima - Bariri

- **CENÁRIO 4**

O cenário 4 é igual ao cenário 3, sendo que a única diferença foi que se utilizou as séries de vazões mínimas mensais para o mesmo período de simulação, visando analisar o atendimento as demandas futuras quando o sistema estiver na presença de situações críticas.

- **CENÁRIO 5**

Neste cenário analisou-se o atendimento as demandas hídricas para o ano horizonte de 2025 para os diversos setores usuários. Os dados de consumo de água utilizados são os mesmos mostrados na Tabela 27. Foram utilizadas as séries de vazões médias mensais para o período de janeiro de 1966 a dezembro de 2025. Ainda considerou-se que a produção energética da usina de Bariri e todas as outras características são as mesma do cenário 1.

- **CENÁRIO 6**

O cenário 6 é igual ao cenário 5, sendo que a única diferença foi que se utilizou as séries de vazões mínimas mensais para o mesmo período de simulação (janeiro de 1966 a dezembro de 2025), visando analisar o atendimento as demandas futuras quando o sistema estiver na presença de situações críticas.

- **CENÁRIO 7**

Neste cenário analisaram-se o atendimento as demandas hídricas para o ano horizonte de 2050 para os diversos setores usuários. Os dados de consumo de água utilizados são os mesmos mostrados na Tabela 28. Foram utilizadas as séries de vazões médias mensais para o período de janeiro de 1966 a dezembro de 2050. Ainda considerou-se que a produção energética da usina de Bariri e todas as outras características são as mesma do cenário 1

- **CENÁRIO 8**

O cenário 8 é igual ao cenário 7, sendo que a única diferença foi que se utilizou as séries de vazões mínimas mensais para o mesmo período de simulação (janeiro de 1966 a dezembro de 2050), visando analisar o atendimento as demandas futuras quando o sistema estiver na presença de situações críticas.

6. RESULTADOS

6.1. GERAÇÃO DE SÉRIES DE VAZÕES UTILIZANDO O MODELO AR (1)

6.1.1. GERAÇÃO DE SÉRIES DE VAZÕES MÉDIAS MENSAIS UTILIZANDO O MODELO AR (1)

Como dito no item 4.3, foram geradas 4 séries de 86 anos cada, 2 para vazões médias mensais e 2 para vazões mínimas mensais utilizando a planilha eletrônica do Microsoft Office Excel.

Inicialmente, determinou-se a partir dos dados de vazão dos postos fluviométricos selecionados, os parâmetros do modelo AR (1) que são a matriz M_0 , M_1 , A, D e B.

Após a normalização das variáveis foram calculados as covariâncias das séries com atraso zero e com atraso um, segundo as equações 9 e 10 para a montagem das matrizes M_0 e M_1 , conforme mostradas a seguir:

$$M_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0,8577 \\ 0,8577 & 1 \end{bmatrix}$$

$$M_1 = \begin{bmatrix} 0,6798 & 0,6057 \\ 0,6084 & 0,7114 \end{bmatrix}$$

Pela equação 15 da página 108, obteve-se a matriz A:

$$A = \begin{bmatrix} 0,6063 & 0,0857 \\ -0,0065 & 0,7170 \end{bmatrix}$$

Utilizando a matriz A e a equação 16 da página 108, obteve-se a matriz D:

$$D = \begin{bmatrix} 0,5359 & 0,4278 \\ 0,4278 & 0,4939 \end{bmatrix}$$

Finalmente, a matriz paramétrica B da página 108 é obtida pela equação 18 que é uma decomposição da matriz D e é mostrada abaixo:

$$B = \begin{bmatrix} 0,7320 & 0 \\ 0,5844 & 0,3903 \end{bmatrix}$$

Após a determinação dos parâmetros do modelo AR (1) gerou-se a série de vazões médias para o posto fluviométrico 62725000 e para as séries de vazões afluente ao reservatório de Bariri, conforme mostrado na Figura 21 e na Figura 22.

Figura 21 – Comparação entre as vazões observadas e as vazões geradas pelo modelo AR (1) para a vazão média afluyente ao reservatório de Bariri

Figura 22 – Comparação entre as vazões médias observadas e as vazões médias geradas pelo modelo AR (1) para o posto fluviométrico 62725000

Observa-se pela Figura 21 e pela Figura 22 que as séries de vazões geradas (vazão calculada) acompanharam o comportamento da série de vazões observadas para cada posto fluviométrico.

Depois de gerados as séries sintéticas, calculou-se os ruídos brancos das séries $Z_1(t)$ e $Z_2(t)$ denominados ϵ_1 e ϵ_2 , utilizando as equações 21 e 22 mostradas na página 110.

Segundo (YEVJEVICH; 1971 apud ALBERTIN, 2004) a verificação de fidedignidade do modelo em relação às variáveis em estudo pode ser analisada através da média, desvio padrão e coeficiente de assimetria das séries dos resíduos. Os resultados são mostrados na Tabela 32.

Tabela 32 – Análise estatística dos ruídos brancos das séries Z_1 e Z_2

Parâmetros	$\epsilon_1(t)$	$\epsilon_2(t)$
Média	-0,00976	0,072477
Desvio padrão	1,03048	1,005155
Coeficiente de assimetria	-0,1447	-0,17596

Pelos resultados da Tabela 32, os resíduos das duas séries geradas apresentam tendência à normalidade, uma vez que os coeficiente de assimetria apresentam valores próximos à zero, as médias tendem a zero e os desvios padrões tendem a um. Os gráficos da Figura 23 e da Figura 24 mostram a distribuição normal dos resíduos brancos para as duas séries geradas.

Figura 23 – Histograma dos ruídos brancos de Z1 (t)

Figura 24 – Histograma dos ruídos brancos de Z2 (t)

6.1.2. GERAÇÃO DE SÉRIES DE VAZÕES MÍNIMAS MENSAIS UTILIZANDO O MODELO AR (1)

A geração da série de vazões mínimas mensais foi realizada segundo os mesmos procedimentos adotados para a geração das séries de vazões médias mensais, conforme descrito no item 6.1.1. Logo, os parâmetros M_0 , M_1 , A , D e B calculados são mostrados a seguir:

$$M_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0,7217 \\ 0,7217 & 1 \end{bmatrix}$$

$$M_1 = \begin{bmatrix} 0,7395 & 0,5828 \\ 0,5700 & 0,7850 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0,6656 & 0,1024 \\ -0,0073 & 0,7797 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 0,4479 & 0,2618 \\ 0,2618 & 0,3836 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0,6693 & 0 \\ 0,3911 & 0,4802 \end{bmatrix}$$

Os gráficos da Figura 25 e da Figura 26 mostram as séries de vazões mínimas geradas, sendo que é válido ressaltar que as séries de vazões geradas acompanham o comportamento da série de vazões observadas para cada posto fluviométrico.

Figura 25 - – Comparação entre as vazões observadas e as vazões geradas pelo modelo AR (1) para a vazão mínima afluente ao reservatório de Bariri

Figura 26 – Comparação entre as vazões mínimas observadas e as vazões mínimas geradas pelo modelo AR (1) para o posto fluviométrico 62725000

Para as séries de vazões mínimas também calculou-se os ruídos brancos ϵ_1 e ϵ_2 das séries $Z_1(t)$ e $Z_2(t)$ conforme mostrado na Tabela 33.

Tabela 33 - Análise estatística dos ruídos brancos das séries Z_1 e Z_2

Parâmetros	ϵ_1	ϵ_2
Média	-0,00976	0,072477
Desvio padrão	1,03048	1,005155
Coeficiente de assimetria	-0,1447	-0,17596

Pelos resultados da Tabela 33, os resíduos das duas séries geradas apresentam tendência à normalidade, uma vez que os coeficiente de assimetria apresentam valores próximos à zero, as médias tendem a zero e os desvios padrões tendem a um. Os gráficos da Figura 27 e da Figura 28 mostram a distribuição normal dos resíduos brancos para as duas séries geradas.

Figura 27 - Histograma dos ruídos brancos de $Z_1(t)$

Figura 28 - Histograma dos ruídos brancos de Z2 (t)

6.2. SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1

O cenário 1 representa as condições atuais da área de estudo. O sistema foi simulado para o período de janeiro de 1966 a dezembro de 2008, a partir das vazões médias mensais dos postos fluviométricos e, também, utilizando as demandas hídricas de 2008 (consideradas como atuais) para as sub-bacias dos rios Lençóis, Bauru e Jaú.

O gráfico da Figura 29 mostra os resultados da simulação na usina Bariri. Nesse gráfico são apresentados os índices de satisfação da meta de produção energética (136,8 MW), a energia gerada durante o período da simulação e o déficit hídrico que ocorreu durante esse período e que acarretou alterações na produção energética.

Figura 29 – Resultado da simulação para a usina Bariri – Cenário 1

Pelo gráfico da Figura 29 tem-se que em outubro de 2003 houve um déficit hídrico de 5,0 m³/s que ocasionou uma produção energética de 123 MW, fazendo com que a satisfação do sistema fosse de aproximadamente 90%.

Com exceção de outubro de 2003, não houve falhas no sistema para o ano horizonte de 2008, sendo que a produção energética na usina Bariri foi de 136,8 MW ao longo de todo período simulado nesse cenário.

O gráfico da Figura 30 mostra os resultados da simulação para o reservatório da usina Bariri.

Figura 30 – Resultado da simulação para o reservatório da usina Bariri – Cenário 1

Pelo gráfico da Figura 30 tem-se que em novembro de 2003 houve uma diminuição da porcentagem de armazenamento no reservatório de 100% para 0%, fato explicado pela ocorrência de vazão de entrada de 6,815 m³/s em outubro de 2003 que associada a valores de precipitação, evaporação e uso para geração elétrica provocou uma diminuição do nível da água da cota 427,5 m para a cota 427,0 m, sendo que é válido ressaltar que devido a restrições, o reservatório possui como nível máximo e mínimo operacional os valores 427,5 m e 427,0 m respectivamente, e o programa computacional Mike Basin considera como 0% de armazenamento quando o nível de água encontra-se na cota 427,0 m. Neste mesmo período, a vazão utilizada pela usina foi de 44,462 m³/s, fazendo com que houvesse uma diminuição na produção energética conforme mostrado na Figura 29, sendo que a vazão necessário para produzir toda a potencia instalada na usina é de 49,497 m³/s.

Com exceção de novembro de 2003, o reservatório manteve-se em 100% de sua capacidade de armazenamento para o ano horizonte de 2008, fornecendo volume de água suficiente para gerar 136,8 MW que é a capacidade instalada da usina

Os resultados das simulações para os usos hídricos das sub-bacias do rio Lençóis, Bauru e Jaú são mostrados a seguir.

Figura 31 – Resultado da simulação para a sub-bacia do rio Lençóis – Cenário 1

Figura 32 – Resultado da simulação para a sub-bacia do rio Bauru – Cenário 1

Figura 33 – Resultado da simulação para a sub-bacia do rio Jaú – Cenário 1

Pelos gráficos, percebe-se que todas as demandas foram atendidas com uma satisfação de 100% em todo o período simulado. Vale ressaltar que essas demandas foram fornecidas pelo plano de bacia e não foram separadas por cada setor usuário e, sim, utilizadas como o valor total demandado por cada sub-bacia.

6.3. SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 2

O cenário 2 simulado é igual ao cenário 1. A única diferença é que se foi utilizado à série de vazões mínimas mensais para o período de janeiro de 1966 a dezembro de 2008, sendo que as demandas hídricas por setores usuários continuaram a mesma. O gráfico da Figura 34 mostra o resultado da simulação na usina Bariri.

Figura 34 - Resultado da simulação para a usina Bariri – Cenário 2

Pelo gráfico da Figura 34 tem-se que a produção energética, mesmo na presença de vazões mínimas, teve sua meta de 136,8 MW atendida em 100% do tempo.

O gráfico da Figura 35 mostra os resultados da simulação para o reservatório da usina Bariri.

Figura 35 - Resultado da simulação para o reservatório da usina Bariri – Cenário 2

Pelo gráfico da Figura 35 tem-se que o reservatório permaneceu 100% cheio e conseguiu fornecer ao longo de todo o período simulado a vazão necessária para atingir a meta de produção energética, não ocorrendo em nenhum período déficits hídricos mesmo quando na presença de vazões mínimas.

Os resultados das simulações para os usos hídricos das sub-bacias do rio Lençóis, Bauru e Jaú são mostrados a seguir.

Figura 36 - Resultado da simulação para a sub-bacia do rio Lençóis – Cenário 2

Figura 37 - Resultado da simulação para a sub-bacia do rio Bauru – Cenário 2

Figura 38 - Resultado da simulação para a sub-bacia do rio Jaú – Cenário 1

Pelos gráficos percebe-se que todas as demandas foram atendidas com satisfação de 100% em todo o período simulado mesmo na presença de vazões mínimas que representa o sistema em situação crítica.

O cenário 2 representa o cenário 1 quando em situação crítica, ou seja, quando na presença de vazões mínimas mensais. Entretanto, o déficit causado no armazenamento do reservatório no cenário 1 devido a uma vazão de $6,815 \text{ m}^3/\text{s}$ não ocorreu no cenário 2 como esperado, pois no mesmo período, a vazão afluyente ao reservatório foi de $35,589 \text{ m}^3/\text{s}$.

6.4. SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3

A rede de fluxo do cenário 3 é mostrada na Figura 20. Neste cenário, utilizou-se a série de vazões médias mensais e os usos dos recursos hídricos foram separados por setores usuários e simulados para o ano horizonte de 2010.

O gráfico da Figura 39 mostra o resultado para a simulação na usina Bariri.

Figura 39 - Resultado da simulação para a usina Bariri – Cenário 3

Pelo gráfico da Figura 39 tem-se que em outubro de 2003 houve um déficit hídrico de 5,935 m³/s que ocasionou uma produção energética de 120,485 MW, fazendo com que a satisfação do sistema fosse de aproximadamente 88%.

Com exceção de outubro de 2003, não houve falhas no sistema para o ano horizonte de 2010, sendo que a produção energética na usina Bariri foi de 136,8 MW ao longo de todo período simulado neste cenário.

O gráfico da Figura 40 mostra os resultados da simulação para o reservatório da usina Bariri.

Figura 40 - Resultado da simulação para o reservatório da usina Bariri – Cenário 3

Pelo gráfico da Figura 40 tem-se que em novembro de 2003 houve uma diminuição da porcentagem de armazenamento no reservatório de 100% para 0%, fato explicado pela ocorrência de vazão de entrada de 5,915 m³/s em outubro de 2003 que associado a valores de precipitação, evaporação e uso para geração elétrica provocou uma diminuição do nível da água da cota 427,5 m para a cota 427,0 m. Neste mesmo período, a vazão utilizada pela usina foi de 43,562 m³/s, fazendo com que houvesse uma diminuição na produção energética conforme mostrado na Figura 39.

Com exceção de novembro de 2003, o reservatório manteve-se em 100% de sua capacidade de armazenamento para o ano horizonte de 2010, fornecendo volume de água suficiente para gerar 136,8 MW que é a capacidade instalada da usina

A satisfação média do atendimento as demandas por setores usuários nas sub-bacias do rio Lençóis, Bauru e Jaú são mostradas na Tabela 34.

Tabela 34 – Índice de satisfação média no período de 1966 a 2010 para setores usuários – Cenário 3

Sub-bacia	Abastecimento público	Pecuária	Irrigação	Indústria	Diluição de esgotos domésticos	Diluição de esgotos industriais
Jaú	100	100	100	100	100	100
Bauru	100	100	100	100	100	100
Lençóis	100	100	100	100	100	100

Com relação aos setores usuários, em 2010, há um total atendimento as demandas requeridas para as sub-bacias do rio Jaú, Bauru e Lençóis quando na presença de vazões médias.

6.5. SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 4

O cenário 4 simulado é igual ao cenário 3. A única diferença é que se foi utilizado à série de vazões mínimas mensais para o período de janeiro de 1966 a dezembro de 2010, sendo que as demandas hídricas por setores usuários continuaram a mesma

O gráfico da Figura 41 mostra o resultado para a simulação na usina Bariri.

Figura 41 - Resultado da simulação para a usina Bariri – Cenário 4

Pelo gráfico da Figura 41 tem-se que a usina consegue manter 100% de satisfação na produção energética ao longo de todo período simulado, ou seja, durante a simulação a produção energética atingiu a meta de 136,8 MW em todo período mesmo na presença de vazões mínimas afluindo ao reservatório.

O gráfico da Figura 30 mostra os resultados da simulação para o reservatório da usina Bariri.

Figura 42 - Resultado da simulação para o reservatório da usina Bariri – Cenário 4

Pelo gráfico da Figura 42 tem-se que o reservatório permaneceu 100% cheio e conseguiu fornecer ao longo de todo o período simulado a vazão necessária para atingir a meta de produção energética, não ocorrendo em nenhum período déficits hídricos mesmo quando na presença de vazões mínimas.

A satisfação média do atendimento as demandas por setores usuários nas sub-bacias do rio Lençóis, Bauru e Jaú são mostradas na Tabela 34.

Tabela 35 – Índice de satisfação média no período de 1966 a 2010 para setores usuários – Cenário 4

Sub-bacia	Abastecimento público	Pecuária	Irrigação	Indústria	Diluição de esgotos domésticos	Diluição de esgotos industriais
Jaú	100	100	100	100	100	100
Bauru	100	100	100	100	100	100
Lençóis	100	100	100	100	100	100

Com relação aos setores usuários, em 2010, há um total atendimento as demandas requeridas para as sub-bacias do rio Jaú, Bauru e Lençóis quando na presença de vazões mínimas.

O cenário 4 representa o cenário 3 em situação crítica, ou seja, quando na presença de vazões mínimas mensais. Entretanto, o déficit causado no armazenamento do reservatório 3 devido a uma vazão de $5,915 \text{ m}^3/\text{s}$ não ocorreu no cenário 4 como esperado, pois no mesmo período, a vazão afluente ao reservatório foi de $34,689 \text{ m}^3/\text{s}$.

6.6. SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 5

A rede de fluxo do cenário 5 é a mesma do cenário 3. Foi-se simulado o atendimento as demandas para os setores usuários no ano horizonte de 2025 utilizando a série de vazões medias mensais.

O gráfico da Figura 43 mostra o resultado para a simulação na usina Bariri.

Figura 43 - Resultado da simulação para a usina Bariri – Cenário 5

Pelo gráfico da Figura 43 tem-se que em outubro de 2003 houve um déficit hídrico de 8,2 m³/s, que ocasionou uma produção energética de 114,3 MW, fazendo com que a satisfação do sistema fosse de aproximadamente 83,5%.

Com exceção de outubro de 2003, não houve falhas no sistema para o ano horizonte de 2025, sendo que a produção energética na usina Bariri foi de 136,8 MW ao longo de todo período simulado neste cenário.

O gráfico da Figura 44 mostra os resultados da simulação para o reservatório da usina Bariri.

Figura 44 - Resultado da simulação para o reservatório da usina Bariri – Cenário 5

Pelo gráfico da Figura 44 tem-se que em novembro de 2003 houve uma diminuição da porcentagem de armazenamento no reservatório de 100% para 0%, fato explicado pela ocorrência de vazão de entrada de 3,662 m³/s em outubro de 2003 que associada a valores de precipitação, evaporação e uso para geração elétrica provocou uma diminuição do nível da água da cota 427,5 m para a cota 427,0 m. Neste mesmo período, a vazão utilizada pela usina foi de 41,3 m³/s, fazendo com que houvesse uma diminuição na produção energética conforme mostrado na Figura 43.

Com exceção de novembro de 2003, o reservatório manteve-se em 100% de sua capacidade de armazenamento para o ano horizonte de 2025, fornecendo volume de água suficiente para gerar 136,8 MW que é a capacidade instalada da usina

A satisfação média do atendimento as demandas por setores usuários nas sub-bacias do rio Lençóis, Bauru e Jaú são mostradas na Tabela 36.

Tabela 36 - Índice de satisfação média no período de 1966 a 2025 para setores usuários – Cenário 5

Sub-bacia	Abastecimento público	Pecuária	Irrigação	Indústria	Diluição de esgotos domésticos	Diluição de esgotos industriais
Jaú	100	100	100	100	99,951	99,861
Bauru	100	100	100	100	100	100
Lençóis	100	100	100	100	100	100

Pela Tabela 36 tem-se que houve um déficit no volume de água utilizado para diluição de esgotos domésticos. Esse déficit ocorreu em outubro de 2003 devido a uma vazão de 1,341 m³/s que ocasionou um déficit hídrico de 0,732 m³/s fazendo com que houvesse uma satisfação de 64,6% no atendimento a essa demanda para o referido mês. Como a tabela anterior mostra uma média da satisfação ao longo do período simulado, o déficit ocorrido em outubro de 2003 fez com que a satisfação no período simulado fosse de 99,951%.

O déficit hídrico que também ocorreu para a demanda de diluição de esgotos industriais foi em outubro de 2003 devido à falta de água necessária para atender a demanda requerida. Nesse mês a satisfação de atendimento a esse uso foi de 0%, sendo que quando feito a média durante todo o período simulado, a satisfação média foi de 99,861%.

Com a análise do cenário 5, tem-se que mesmo ocorrendo um déficit hídrico somente em outubro de 2003 para o corpo hídrico na presença de vazões médias, o

atendimento as demandas no ano horizonte de 2025 não foram comprometidas, sendo que o sistema consegue atender as demandas ao longo do período simulado com quase 100% de satisfação.

6.7. SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 6

O cenário 6 simulado é igual ao cenário 5. A única diferença é que se foi utilizado à série de vazões mínimas mensais para o período de janeiro de 1966 a dezembro de 2025, sendo que as demandas hídricas por setores usuários continuaram a mesma.

O gráfico da Figura 45 mostra o resultado para a simulação na usina Bariri.

Figura 45 - Resultado da simulação para a usina Bariri – Cenário 6

Pelo gráfico da Figura 45 tem-se que a usina consegue manter 100% de satisfação na produção energética ao longo de todo período simulado, ou seja, durante a simulação a produção energética atingiu a meta de 136,8 MW em todo período, mesmo na presença de vazões mínimas afluindo ao reservatório.

O gráfico da Figura 46 mostra os resultados da simulação para o reservatório da usina Bariri.

Figura 46 - Resultado da simulação para o reservatório da usina Bariri – Cenário 6

Pelo gráfico da Figura 46 tem-se que o reservatório permaneceu 100% cheio e conseguiu fornecer ao longo de todo o período simulado a vazão necessária para atingir a meta de produção energética, não ocorrendo em nenhum período déficits hídricos mesmo quando na presença de vazões mínimas.

A satisfação média do atendimento as demandas por setores usuários nas sub-bacias do rio Lençóis, Bauru e Jaú são mostradas na Tabela 37.

Tabela 37 – Índice de satisfação média no período de 1966 a 2025 para setores usuários – Cenário 6

Sub-bacia	Abastecimento público	Pecuária	Irrigação	Indústria	Diluição de esgotos domésticos	Diluição de esgotos industriais
Jaú	100	100	100	100	100	100
Bauru	100	100	100	100	100	100
Lençóis	100	100	100	100	100	100

Com relação aos setores usuários, em 2025, há um total atendimento às demandas requeridas para as sub-bacias do rio Jaú, Bauru e Lençóis quando na presença de vazões mínimas.

O cenário 6 representa o cenário 5 quando em situação crítica, ou seja, quando na presença de vazões mínimas mensais. Entretanto, o déficit causado no armazenamento do reservatório no cenário 5 devido a uma vazão de 3,662 m³/s não ocorreu no cenário 4 como esperado, pois no mesmo período, a vazão afluyente ao reservatório foi de 31,029 m³/s.

6.8. SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 7

A rede de fluxo do cenário 7 é a mesma do cenário 3. Foi-se simulado o atendimento às demandas para os setores usuários no ano horizonte de 2050 utilizando a série de vazões médias mensais.

O gráfico da Figura 47 mostra o resultado para a simulação na usina Bariri.

Figura 47- Resultado da simulação para a usina Bariri – Cenário 7

Pelo gráfico da Figura 47 tem-se que em outubro de 2003 houve um déficit hídrico de 8,18 m³/s que ocasionou uma produção energética de 114,25 MW, fazendo com que a satisfação do sistema fosse de aproximadamente 83,4%.

Com exceção de outubro de 2003, não houve falhas no sistema para o ano horizonte de 2050, sendo que a produção energética na usina Bariri foi de 136,8 MW ao longo de todo período simulado neste cenário.

O gráfico da Figura 48 mostra os resultados da simulação para o reservatório da usina Bariri.

Figura 48 - Resultado da simulação para o reservatório da usina Bariri – Cenário 7

Pelo gráfico da Figura 48 tem-se que em novembro de 2003 houve uma diminuição da porcentagem de armazenamento no reservatório de 100% para 0%, fato explicado pela ocorrência de vazão de entrada de 3,662 m³/s em outubro de 2003 que associada a valores de precipitação, evaporação e uso para geração elétrica provocou uma diminuição do nível da água da cota 427,5 m para a cota 427,0 m. Neste mesmo período, a vazão utilizada pela usina foi de 41,3³/s, fazendo com que houvesse uma diminuição na produção energética conforme mostrado na Figura 47.

Com exceção de novembro de 2003, o reservatório manteve-se em 100% de sua capacidade de armazenamento para o ano horizonte de 2050, fornecendo volume de água suficiente para gerar 136,8 MW que é a capacidade instalada da usina

A satisfação média do atendimento às demandas por setores usuários nas sub-bacias do rio Lençóis, Bauru e Jaú é mostrada na Tabela 38.

Tabela 38 - Índice de satisfação média no período de 1966 a 2050 para setores usuários – Cenário 7

Sub-bacia	Abastecimento público	Pecuária	Irrigação	Indústria	Diluição de esgotos domésticos	Diluição de esgotos industriais
Jaú	100	99,907	99,902	99,902	99,902	99,902
Bauru	100	100	100	100	100	100
Lençóis	100	100	100	100	100	100

Pela Tabela 38 tem-se que houve um déficit no volume de água utilizado para pecuária, irrigação, usos industriais e diluição de esgotos domésticos e industriais. A Tabela 39 mostra os déficits hídricos ocorridos para tais setores usuários, sendo que tais déficits só ocorreram em outubro de 2003.

Tabela 39 – Déficits hídricos ocorridos no cenário 7 – m³/s – Outubro/2003

Sub-bacia	Abastecimento público	Pecuária	Irrigação	Indústria	Diluição de esgotos domésticos	Diluição de esgotos industriais
Jaú	0	0,120	1,132	0,826	2,276	0,954
Bauru	0	0	0	0	0	0
Lençóis	0	0	0	0	0	0

A Tabela 39 mostrou os déficits hídricos ocorridos em outubro de 2003. Nesse mês, os setores usuários da pecuária, irrigação, usos industriais, diluição de esgotos domésticos e diluição de esgotos industriais tiveram uma satisfação de atendimento de 5,171%, 0%, 0%, 0% e 0% respectivamente. Os resultados mostrados na Tabela

38 referem-se às médias das satisfações mensais no período simulado que foi de janeiro de 1966 a dezembro de 2050, logo mesmo havendo um único mês de falhas ao longo de todo período simulado, o sistema conseguiu atender as demandas requeridas com quase 100% de satisfação.

6.9. SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 8

O cenário 8 simulado é igual ao cenário 7. A única diferença é que utilizou-se a série de vazões mínimas mensais para o período de janeiro de 1966 a dezembro de 2050, sendo que as demandas hídricas por setores usuários continuaram a mesma.

O gráfico da Figura 49 mostra o resultado para a simulação na usina Bariri.

Figura 49 - Resultado da simulação para a usina Bariri – Cenário 8

Pelo gráfico da Figura 49 tem-se que a usina consegue manter 100% de satisfação na produção energética ao longo de todo período simulado, ou seja, durante a simulação a produção energética atingiu a meta de 136,8 MW em todo período, mesmo na presença de vazões mínimas afluindo ao reservatório.

O gráfico da Figura 50 mostra os resultados da simulação para o reservatório da usina Bariri.

Figura 50 - Resultado da simulação para o reservatório da usina Bariri – Cenário 8

Pelo gráfico da Figura 50 tem-se que o reservatório permaneceu 100% cheio e conseguiu fornecer ao longo de todo o período simulado a vazão necessária para atingir a meta de produção energética, não ocorrendo em nenhum período déficits hídricos mesmo quando na presença de vazões mínimas.

A satisfação média do atendimento às demandas por setores usuários nas sub-bacias do rio Lençóis, Bauru e Jaú é mostrada na Tabela 40.

Tabela 40 – Índice de satisfação média no período de 1966 a 2050 para setores usuários – Cenário 8

Sub-bacia	Abastecimento público	Pecuária	Irrigação	Indústria	Diluição de esgotos domésticos	Diluição de esgotos industriais
Jaú	100	100	100	100	100	100
Bauru	100	100	100	100	100	100
Lençóis	100	100	100	100	100	100

Com relação aos setores usuários, em 2050, há um total atendimento às demandas requeridas para as sub-bacias do rio Jaú, Bauru e Lençóis quando na presença de vazões mínimas.

O cenário 8 representa o cenário 7 quando em situação crítica, ou seja, quando na presença de vazões mínimas mensais. Entretanto, o déficit causado no armazenamento do reservatório no cenário 7 devido a uma vazão de 3,662 m³/s não ocorreu no cenário 8 como esperado, pois no mesmo período, a vazão afluyente ao reservatório foi de 27,127 m³/s.

7. CONCLUSÕES

Neste estudo de simulação computacional, avaliou-se o atendimento às demandas hídricas requeridas para os diversos setores usuários presentes no reservatório da usina Bariri, mais especificamente no trecho represado do rio Tietê entre a usina Bariri e a usina Barra Bonita.

Inicialmente nesta pesquisa fez-se uma revisão bibliográfica sobre Sistemas de Suporte a Decisão e qual o seu campo de aplicação dentro de recursos hídricos. Sistemas de Suporte a Decisão são ferramentas que utilizam banco de dados e modelos matemáticos com o intuito de estudar o comportamento de um dado problema, e tal tecnologia tem grande aplicação para o planejamento integrado dos recursos hídricos não somente a nível nacional, mas também a nível internacional.

Utilizou-se o simulador computacional MIKE BASIN como ferramenta de suporte a decisão para análise da satisfação ao atendimento hídrico dos setores usuários presente no reservatório da Usina Bariri. O *software* MIKE BASIN foi escolhido por ter sua validação comprovada por diversos autores, como por exemplo, Albertin (2004) que aplicou o *software* para avaliação da quantidade e qualidade dos recursos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do Rio Sapucaí, Lima (2007) que utilizou o *software* para modelar a bacia hidrográfica do rio Piracicaba, Capivari e Jundiaí, Estigoni (2008) que utilizou o *software* para identificação de regiões de *stress* hídrico na bacia dos rios Tietê-Jacaré, Dalmo (2009) que utilizou o *software*

para simular o atendimento as demandas hídricas no reservatório de Ibitinga, dentre outros pesquisadores.

Para a realização das simulações houve a necessidade de dados de entrada no *software* como, por exemplo, características de geração de energia da usina Bariri, dados fluviométricos da área de estudos e dados de demandas hídricas dos setores usuários.

As características de geração de energia como, por exemplo, níveis de água operacionais, potência gerada, dados de evaporação e precipitação e curvas que relacionam a área e o volume do reservatório foram levantadas de trabalhos realizados pelo Núcleo de Hidrometria da Escola de Engenharia de São Carlos através de um convênio entre a AES Tietê e a Fundação para o Incremento da Pesquisa e do Aperfeiçoamento Industrial – FIPAI.

Os dados fluviométricos foram retirados de postos fluviométricos presentes na área de estudo. As séries de vazões encontravam-se com muitas falhas e em muitas das vezes sem consistência, o que dificultou a utilização desses dados, sendo que foi necessário o preenchimento de falhas a partir de postos fluviométricos vizinhos aos escolhidos. Nas simulações foram utilizados as séries de vazões médias e mínimas. Foi realizado a geração de séries sintéticas de vazões com o intuito de gerar dados de vazão para que se pudesse realizar as simulações para cenários futuros.

Os dados de demandas foram retirados do Relatório Zero, Plano de Bacia da UGRHI-13 e da Elaboração da Revisão do Plano de Bacia da UGRHI-13. As

demandas hídricas foram utilizadas segundo cada setor usuário e não foi utilizado outro documento contendo as demandas hídricas senão aqueles citados acima.

As simulações foram realizadas para 8 cenários diferentes tanto para as séries de vazões mínimas quanto para as séries de vazões médias. Foi simulado a área de estudo para o ano de 2008 considerando que tal ano representou as condições atuais de demandas hídricas da área de estudo. Os cenários futuros foram para os anos horizontes de 2010, 2025 e 2050. Os resultados obtidos mostraram que para todos os anos simulados, a usina produziu praticamente toda a sua potência instaladas e todos os setores usuários tiveram suas demandas hídricas atendidas tanto para as vazões médias quanto para as vazões mínimas, mostrando que há quantidade de água superficial suficiente para atender as demandas hídricas presentes na área de estudo, conforme dados apresentados pelo Relatório Zero, Plano de Bacia da UGRHI – 13 e a revisão do Plano de Bacia da UGRHI – 13.

É importante ressaltar que foi simulado as demandas hídricas presentes no documentos citados acima sendo que se faz necessário para pesquisas futuras na área de estudo, um levantamento de todos os usuários outorgados e não outorgados que utilizam água do reservatório da usina Bariri a fim de fornece resultados mais confiáveis e representativos sobre a real situação no atendimento as demandas hídricas para os setores usuários na área de estudo.

O programa computacional MIKE BASIN mostrou-se ser uma ferramenta poderosa para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. A simulação de cenários atuais e futuros mostrou-se muito importante para análise hídrica da área de estudo escolhida. Porém é válido ressaltar que métodos computacionais são

extremamente úteis para a gestão dos recursos hídricos, porém este, apenas auxilia na tomada de decisão, haja vista que aspectos sociais e econômicos não são englobados pelo mesmo.

A presente pesquisa pode ser utilizada para auxiliar o gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos na área de estudo. Estudos futuros podem ser realizados não somente com um levantamento mais minucioso dos usuários de recurso hídrico na região, mas também, considerando toda a cascata de usinas hidrelétricas da AES Tietê de modo balizar o planejamento dos recursos hídricos em toda Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº 13. Outros *softwares* de simulação aplicados a recursos hídricos também podem ser utilizados de modo a comparar com os resultados gerados pelo MIKE BASIN.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas – ANA. Disponível em http://conjuntura.ana.gov.br/conjuntura/abr_nacional.htm. Acessado em 20 jul. 2009.

ALBANO, G. D. **Integração de um modelo matemático de quantidade de água em rede de fluxo (ACQUANET) com um modelo matemático de qualidade de água em represas (CE-QUAL-R1). Estudo de caso da represa do rio Jaguari-Jacaréi – Sistema Cantareira**. 2004. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

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. 160p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2004.

ALMEIDA C. N. **Modelagem integrada de recursos hídricos com apoio de um sistema de informações geográficas**. 2006. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.

ANEEL (2000). **Sistema de Informações Georreferenciadas de Energia e Hidrologia – HIDROGEO**.

AZEVEDO, L. G. T., PORTO, R. L. L., MONICA P. (1998). **Sistema de apoio a decisão para o gerenciamento integrado de quantidade e qualidade da água: metodologia e estudo de caso**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 3.

BRAGA B., BARBOSA, P. S. F., NAKAYAMA, P. T. (1998). **Sistemas de suporte a decisão em recursos hídricos**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 3, 73-95.

BRASIL, 1991. Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991. **Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Disponível em <<http://www.rekursoshidricos.sp.gov.br/Legislacao/LEI7663.htm>>. 2005.

BRASIL. 2006. Lei Nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. **Disponível em: BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil: 1988**. 22.ed. Brasília: Câmara dos Deputados, Centro de Documentação e Informação, 2004. ISBN 85.7365-347-7.

BRASIL. Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. **Decreta o Código de Águas do Brasil**. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d24643.htm>. Acessado em 10 abr. 2009.

BRAVO, J. M., COLLISCHONN, W., PILAR, J. V., TUCCI, C. E. M. (2006). **Otimização de regras de operação de reservatórios utilizando um algoritmo evolutivo**, in Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste.

CARRERA-FERNANDEZ, J.; GARRIDO, R. S. **Economia dos recursos hídricos**. Salvador: Edufba, 2002. 458p.

CAU, P., PANICONI, C. (2007). **Assessment of alternative land management practices using hydrological simulation and a decision support tool: Arborea agricultural region, Sardinia**. Hydrol. Earth Syst. Sci., 1811–1823

CENTRO DE PESQUISA DE ENERGIA ELÉTRICA – CEPEL. **Manual de Referência do Modelo DECOMP**, Rio de Janeiro, out. 2004.

CENTRO DE PESQUISA DE ENERGIA ELÉTRICA – CEPEL. **Manual de Referência do Modelo NEWAVE**, Rio de Janeiro, 2006.

CHU, J., CHEN, J., WANG, C., FU, P. (2004). **Wastewater reuse potential analysis: implications for China's water resources management**. Water Research 2746–2756.

DATTA, B., HARIKRISHNA, V. (2004). **Optimization Applications in Water Resources Systems Engineering**.

DEL PRETTE (2002). **Gestão de recursos hídricos e conflitos sociais**. Espaço & Geografia, Vol.5, 135:151

DICK, R., BAKKER, M. (2001). **Water rights and multiple water uses**. Irrigation and Drainage Systems 15: 129–148.

Elaboração da Revisão do Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Tietê/Jacaré (UGHRI 13) (2008). Relatório Técnico nº 402/08.

FASSIO, A., GIUPPONI, C., HIEDERER, R., SIMOTA, C., (2004). **A decision support tool for simulating the effects of alternative policies affecting water resources: an application at the European scale**. Journal of Hydrology 462-476.

FENG, S., LI, L., X., DUAN, Z., G., ZHANG, J., L., (2005). **Assessing the impacts of South-to-North Water Transfer Project with decision support systems**. Science Direct. Decision Support System, v42.

FERREIRA, A. P.S. (2004). **Análise de conflitos de usos múltiplos da água auxiliada por simulação computacional: bacia do rio Sapucaí-Mirim/Grande**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo

FIPAI. Fundação para o Incremento da Pesquisa e do Aperfeiçoamento Industrial. **Sistema de Suporte a Decisão para as UHEs da AES no Rio Tietê. Etapa 1 – Caracterização das UHEs**. Convênio FIPAI/AES Tietê. 54 p. São Carlos, 2009.

FRACALANZA, A. P. **Reservatório Billings: apropriação da água, conflitos e gestão**. In: I Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, 2002, Indaiatuba. Anais, 2002. p. 1-24.

FRANCZYK, J., CHANG, H. (2008). **Spatial Analysis of water use in Oregon, USA, 1985-2005**. Water Resource Manage 11269-008-9298-9.

GHAYOUMIAN, J., GHERMEZCHESHME, B., FEIZNIA S., NORROIZ, A. A. (2005). **Integrating GIS and DSS for identification of suitable areas for artificial recharge, case study Meimeh Basin, Isfahan, Iran**. Environ Geol 493–500

GIBOSHI, M., L. **Sistema de apoio ao processo de decisão para a gestão do uso agrícola da terra**. 2005. Tese (Doutorado). Engenharia Agrícola. Campinas/SP, 2005.

Guide to Getting Started Tutorial (2003).
<http://dhi.dk/gishydro/mikebas/Mbasbody.htm> (acessado em 10/05/2008)

HE, L., HUANG, G., ZENG, G., LU, H. (2008). **An integrated simulation, inference, and optimization method for identifying groundwater remediation strategies at petroleum-contaminated aquifers in western Canada**. Water Research 2629 – 2639

HILTEN, R. N., LAWRENCE, T. M., TOLLNER, E. W. (2008). **Modeling stormwater runoff from green roofs with HYDRUS-1D**. Journal of Hydrology 358, 288– 293.

KJELDS, J., JACOBSEN, T., HUGHES, J., KREJCIK, J., (2007). **Decision support tools for integrated water resources management**. Basin Water Management.

KOCH, H., GRUNEWALD, U. (2008). **A Comparison of Modeling Systems for the Development and Revision of Water Resources Management Plans**. Water Resource Manage DOI 10.1007/s11269-008-9333-x.

LACORTE, A. C. **Gestão de Recursos Hídricos e Planejamento Territorial: As experiências brasileiras no gerenciamento de bacias hidrográficas**. 1994. Dissertação (Mestrado). Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

LANNA, A. E. **Introdução**. In: Porto, R. L. et al. **Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos**. Porto Alegre: ABRH, Editora da Universidade/URRGs, 1997. p.15-40.

LIMA G. **“Riverhelp!”: sistema de suporte a decisões para planejamento e gerenciamento integrado de recursos hídricos**. 2007. 272p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2007.

LIMA, G. (2002). **Aplicação de simulação computacional na análise dos conflitos entre os usos múltiplos da água na bacia do rio Atibaia no Estado de São Paulo**. São Carlos. 141 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

LIU H., CHEN, X., BAO, A., WANG, L. (2007). **Investigation of groundwater response to overland flow and topography using a coupled MIKE SHE/MIKE 11 modeling system for an arid watershed**. Journal of Hydrology 347, 448– 459.

MACEDO E SILVA, A. **Gestão de conflitos pelo uso da água em bacias hidrográficas urbanas**. 2003. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, 2003.

MAIA, R., SCHUMANN, A. H. (2007). **DSS Application to the Development of Water Management Strategies in Ribeiras do Algarve River Basin**. Water Resource Manage 21:897–907

MARCIANO, F. T. **Composição, abundância e aspectos reprodutivos das espécies de peixes do reservatório Álvaro de Souza Lima (Bariri, SP) e sua relação com as características ambientais do sistema.** 2005. 236p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003.

MEIRELLES, M. S. P., BUENO, M. C. D., DIAS, T. C. S., COUTINHO, H. L. C. (2005). **Sistema de suporte a decisão para avaliação do risco de impactos ambientais em bacias hidrográficas por redes de dependência e lógica fuzzy**, in Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, p. 2259 – 2266.

MINILLO, A. **Análise da distribuição, densidade e toxicidade de florações de cianobactérias em reservatórios do médio e baixo rio Tietê (SP) e relação com as características limnológicas do sistema.** 2005. 400p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005.

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Inventário das restrições operativas hidráulicas dos aproveitamentos hidrelétricos.** ONS RE 3/201/208. Revisão 3-2008. 143 p. Rio de Janeiro, 2008.

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Séries Históricas de Vazões.** Disponível em: <http://www.ons.org.br/operacao/vazoes_naturais.aspx>. Acesso em: 10 jan. 2009.

PAZ, A. R., COLLISHONN, W., TUCCI, C., E., M. (2006). **Simulação hidrodinâmica integrada rio-planície em ambiente SIG: aplicação ao rio Aquidauana**, in anais do I Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, Brasil, /nov. 2006, p. 116-125.

PEIXOTO, L. S. (2002). **A utilização de simulação computacional no gerenciamento de usos múltiplos da água na Bacia do Sapucaí-Grande no Estado de São Paulo.** São Carlos. 130p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

PINHEIRO, M. I. T., CAMPOS, J. N. B., STUDART, T. M. C., SILVA, A. P. **Conflitos Pelo Uso Da Água No Estado Do Ceará: O Estudo De Caso Do Vale Do Rio Carás**. In: 7º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Português, 2005, Evora. SILUSBA, 2005.

Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Tietê/Jacaré (UGRHI 13) (2007). Relatório Técnico nº 340/08 – Minuta

PORTELA, N. F., BRAGA, T. M. (2006). **Conflitos Federativos em Gestão de Recursos Hídricos no Brasil: reflexões a partir do caso da bacia do Macaé (RJ)**. III Encontro Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Ambiente e Sociedade, Brasília, Maio, 2006

PORTO, R. L. L.; AZEVEDO, L. G. T. **Sistemas de Suporte à Decisões aplicadas a problemas de recursos hídricos**. In: Porto R. L. L.. Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. ABRH. Porto Alegre: Ed. Universidade UFRGS. 1997.

RECIO, B., IBÁÑES, J., RUBIO, F., CRIADO, J., A., (2004). **A decision support system for analyzing the impact of water restriction policies**. ScienceDirect. Decision Support System (39), 385 – 402.

Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo (2007). Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB

Relatório Zero do Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Tietê/Jacaré (2000). Diagnóstico da situação atual dos Recursos Hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré

REZENDE, J.H. **Um estudo sobre a gestão de resíduos e efluentes em marinas, terminais hidroviários de passageiros e embarcações de turismo e lazer no Reservatório de Bariri / Hidrovia Tietê – Paraná.** 2003. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica de São Paulo, 2003.

RODRIGUES, R., B. **SSDRB – Sistema de suporte a decisão proposto para a gestão quali-quantitativa dos processos de outorga e cobrança pelo uso da água.** 2005. Tese (Doutorado). Escola Politécnica de São Paulo, 2005.

ROQUE W., SALLES, P., STRUSS, P., HELLER, U. (2003). **Sobre o design de um sistema de suporte a decisão para estações de tratamento de água** in Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba, Brasil.

SANTOS, A. M. S., BARBOSA, M., SILVA, E. R., TOURINHO, A. O., FARIA, A. S., CASTRO, M. Q. O., MEDEIROS, Y. D. P. (2003). **Matriz de recursos hídricos como instrumento do gerenciamento participativo** in Anais do XV Simpósio Nacional de Recursos Hídricos, Curitiba, Nov. 2003.

SANTOS, V., J., C., BARP, A., R., B., (2003). **Instrumento de apoio à decisão aplicado à gestão dos recursos hídricos: bacia hidrográfica do igarapé tucunduba – Belém/PA,** in Anais do XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

SCARE, R. F., ZYLBERZSTAJN D. (2007). **Escassez de Água e Mudança Institucional: Análise da Regulação dos Recursos Hídricos nos Estados Brasileiros.** RAC-Eletrônica, p. 31-46.

SCHARDONG, A. **Aplicação de técnicas de Programação Linear e extensões para otimização da alocação de Água em Sistemas de Recursos Hídricos, utilizando métodos de Pontos Interiores.** 2006. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

SEWILAM, H., BARTUSSEK, S., NACKEN, H. (2007). **Rule-based Decision Support System for the Morphological Rehabilitation of Watercourses.** Water Resource Manage 21:2037–2047

SIMON, U., BRUGGEMANN, R., PUDENZ, S. (2004). **Aspects of decision support in water management—example Berlin and Potsdam (Germany) I—spatially differentiated evaluation.** Water Research 1809–1816

THEODORO, S. H., FIGUEIREDO, P. M., BEKE, Z. (2004). **Gestão ambiental: uma prática para mediar conflitos socioambientais.** II Encontro Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Ambiente e Sociedade, Indaiatuba, Maio, 2004.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: Enfrentando a escassez.** São Carlos. RiMA, Instituto Internacional de Ecologia IIE, 2003. 248p.

WANG, J. F., CHENG, G. D., GAO, Y. G., LONG, A. H., XU, Z. M., LI, X., CHEN, H., BARKER, T. (2007). **Optimal Water Resource Allocation in Arid and Semi-Arid Areas.** Water Resour Manage 22:239–258