

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

ANÁLISE DOS CONFLITOS PELO USO DA ÁGUA DOS RESERVATÓRIOS DO RIO TIETÊ ATRAVÉS DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO SISTEMA HÍDRICO

Liliane Lazzari Albertin¹ ; Frederico Fabio Mauad² & Tsunao Matsumoto¹

RESUMO – Este artigo apresenta um estudo que tem por objetivo diagnosticar a situação atual e futura (para os anos de 2015, 2020 e 2030) de disponibilidade hídrica superficial nos sistemas de recursos hídricos correspondentes aos reservatórios destinados a geração de energia e demais usos múltiplos localizados no rio Tietê, Estado de São Paulo, Brasil, no meio de um pólo agrícola e industrial do país.

ABSTRACT– This article presents a study that aims to diagnose the current and future situation (for the years 2015, 2020 and 2030) of surface water availability in water resources systems corresponding to reservoirs intended for multiple uses located in the Tietê River, São Paulo State, Brazil, in the middle of an agricultural and industrial hub of the country.

Palavras-Chave – Gerenciamento de recursos hídricos, modelagem computacional, balanço hídrico

MODELAGEM DO SISTEMA HÍDRICO

Com aproximadamente 1100 km, o rio Tietê atravessa o Estado de São Paulo e percorre uma das regiões mais ricas do país. A partir da década de 60, construíram-se seis reservatórios ligados em cascata com o objetivo principal de gerar energia hidrelétrica (Figura 1). Este estudo contemplou os cinco primeiros reservatórios: Barra Bonita, Bariri, Ibitinga, Promissão e Nova Avanhandava. Eles ocupam uma área de drenagem de aproximadamente 52.377 km² onde reside uma população de cerca de 5 milhões de pessoas

Com o uso de modelagem computacional foi realizado o balanço hídrico desse sistema em diferentes cenários para avaliação do atendimento da demanda de água e dos conflitos existente entre os diversos usos.

Para a realização do balanço hídrico foi necessário delimitar a bacia hidrográfica de cada reservatório. Isso foi feito a partir de cartas topográficas, totalizando uma área de 44.881,06 km². A ilustração apresentada na Figura 2 mostra a área de drenagem total dos cinco reservatórios, contabilizada na Tabela 1.

1) Departamento de Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Avenida Brasil, 56, CEP 15385-000, Ilha Solteira/SP, (18) 3743-1204, e-mail: liliane@dec.feis.unesp.br; tsunao@dec.feis.unesp.br

2) Departamento de Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. Av. Trabalhador São-carlense, 400, CEP 13566-590, São Carlos/SP, (16) 3373-8255, e-mail: mauadffm@shs.eesc.usp.br

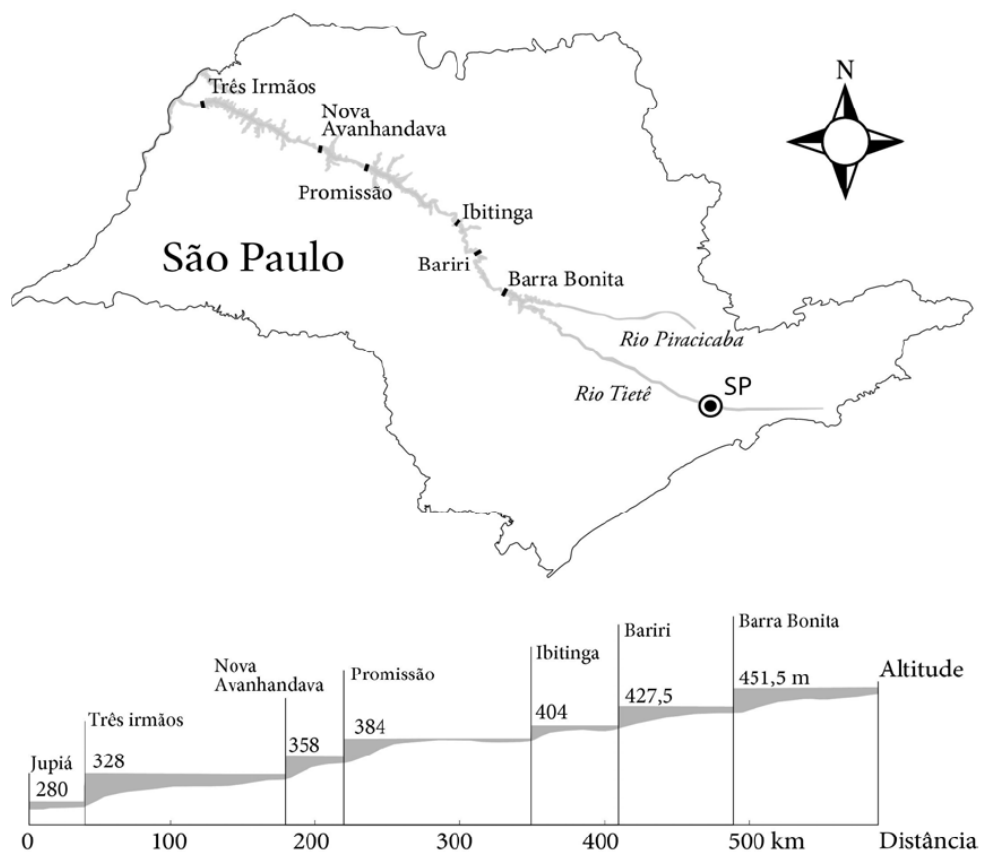


Figura 1 - Reservatórios do médio e baixo rio Tietê

Fonte: STEFANI, 2006

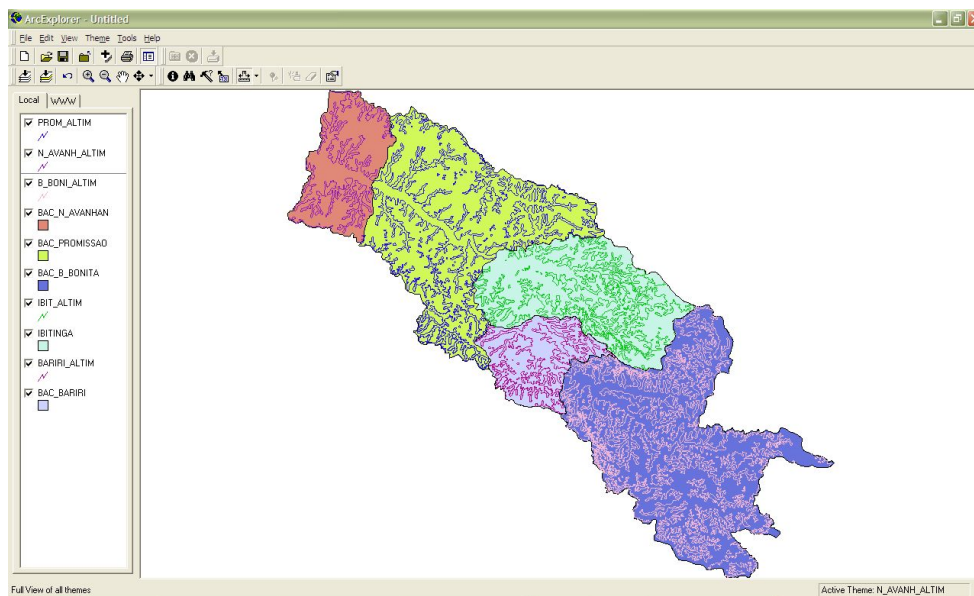


Figura 2 - Bacia de drenagem dos reservatórios

Tabela 1 - Área de drenagem dos reservatórios

Reservatório	Área de Influência (km ²)
--------------	---------------------------------------

Barra Bonita	15.436,72
Bariri	3.551,22
Ibitinga	8.125,45
Promissão	4.565,99
Nova Avandava	13.201,69
TOTAL	44.881,06

Dentro dessa área estão inseridos 130 municípios, onde reside uma população total de 4.589.046 habitantes (SEADE, 2009). A população estimada para os anos de 2015, 2020 e 2030 é de, respectivamente, 4.932.602, 5.161.029 e 5.691.365 habitantes.

A projeção populacional referentes aos anos de 2009, 2015 e 2020 foram obtidas de acordo com os dados estimados pelo SEADE (2009). Para o ano de 2030, foi feita a projeção da população de cada município de acordo com a curva logística, ou seja, elaborou-se um gráfico de população versus tempo (para os anos 2009, 2015 e 2020) e ajustou-se uma curva logarítmica que demonstrasse o comportamento dos dados. Com a equação obtida, calculou-se o valor da população para o ano de 2030.

Os dados relativos às demandas ou usos dos recursos hídricos foram obtidos por meio de levantamento dos dados do sistema de outorga do DAEE (2009) para cada município com sede contida na bacia de cada reservatório. Os dados foram classificados de acordo com as principais formas de uso dos recursos hídricos, incluindo-se as captações e lançamentos superficiais. As classes de uso são definidas como: industrial; urbano; irrigação; rural, que inclui uso da água nas atividades de aquicultura, pecuária, dentre outros; e demais usos (mineração, recreação e paisagismo, comércio e serviço e utilização da água em atividades que não se enquadram em nenhuma das anteriores.

Os usuários de água, constantes no cadastro de outorgas do DAEE, foram localizados e foram quantificadas as vazões por município, separadas por tipo de uso, de modo a possibilitar a elaboração do balanço hídrico, visando formular políticas e diretrizes com maior precisão e efetividade.

O aumento populacional causa aumento do consumo de água, principalmente para o uso de abastecimento urbano. Para cada município contido nas bacias hidrográficas, calculou-se a demanda per capita, a partir da vazão captada atualmente. Este valor serviu para o cálculo da demanda futura para abastecimento urbano.

Os diferentes cenários simulados representaram diversas condições hidrológicas do curso d'água, quais sejam, normal, seca e cheia, sendo possível, dessa forma, estudar a dinâmica do sistema de reservatórios para diferentes situações. Para a criação dos cenários, tomou-se como base 70 anos de séries históricas de vazões afluentes aos reservatórios, obtidas em ONS (2009).

O software que foi utilizado para a modelagem do sistema e simulações foi o modelo de planejamento de bacias hidrográficas MIKE BASIN 2009. Ele é um modelo de rede de fluxo e aplica balanço de massa e energia em toda a rede, encontrando soluções estacionárias para cada intervalo de simulação.

Os resultados das simulações foram avaliados através dos índices de satisfação, confiabilidade, vulnerabilidade e resiliência. Estes indicadores de desempenho podem representar as características de falhas do sistema (individual, por exemplo, apenas um usuário, ou por completo). Em outras palavras, esses índices caracterizam risco no contexto de operação e planejamento de reservatório. Um sistema é considerado robusto quando apresenta alta confiabilidade e baixa vulnerabilidade.

Foram simulados doze cenários. Para o período atual, curto prazo (2015), médio prazo (2020) e longo prazo (2030), considerando em todos os tempos a ocorrência das três condições hidrológicas: seco, médio e úmido.

RESULTADOS

De acordo com as simulações, para os anos 2015, 2020 e 2030 todas as demandas para os diversos usos que se utilizam da captação de água superficial das bacias foram atendidas na totalidade do tempo e em todas as condições hidrológicas (período seco, médio e chuvoso). Será avaliado, então, o desempenho de cada reservatório.

As usinas hidrelétricas desse estudo fazem parte do Sistema Interligado Nacional (SIN) que por sua vez é operado e coordenado pelo Operador Nacional do Sistema (ONS). O ONS atualiza e divulga informações sobre restrições hidráulicas (regras operacionais) que se referem às informações de vazões máximas e mínimas em seções e trechos de rio, limitações de vazões máximas e mínimas efluentes dos aproveitamentos, limites para os níveis máximos e mínimos nos reservatórios, dentre outras. Para cada reservatório, as regras operacionais são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Regras operacionais dos reservatórios

Regra Operacional	Barra Bonita	Bariri	Ibitinga	Promissão	Nova Avanhandava
Cota para controle de cheias (m)	453	427,5	404,5	385,5	358
Cota operacional máxima (m)	451,5	427,5	404	384	358
Cota operacional mínima (m)	439,5	426,5	403,5	379,7	356
Cota mínima de fundo (m)	422	404	384	341	322
Nível operacional mínimo (m)	446,5 [*]	*****	*****	381 [*]	357,7
Vazão mínima de liberação (m ³ /s)	76 ^{**}	*****	*****	160 ^{**}	*****
Vazão máxima de liberação (m ³ /s)	2000 ^{***}	*****	*****	1400 ^{***}	*****

^{*} para garantir navegação

^{**} garantia da vazão ecológica

^{***} garantia do controle de cheias

^{****} valor não especificado

Em todos os horizontes de planejamento e para todas as condições hidrológicas os níveis dos reservatórios de Bariri, Ibitinga e Nova Avanhandava se mantiveram dentro dos valores recomendados. Em todas as simulações os níveis do reservatório de Barra Bonita apresentaram valores abaixo do nível recomendado pelo ONS para navegação. Situação semelhante acontece com o reservatório de Promissão.

Apesar dos reservatórios de Barra Bonita e Promissão apresentarem níveis abaixo do recomendado, existe uma alta satisfação, alta confiabilidade e uma baixa vulnerabilidade para que os níveis estejam dentro dos valores estipulados (Tabelas 3 e 4).

Percebe-se que a vulnerabilidade diminui, a confiabilidade e a resiliência aumentam à medida que o cenário hidrológico muda para normal e para chuvoso. Não ocorrem mudanças significativas em nenhum dos anos simulados.

Tabela 3 – Índice de desempenho dos níveis de água do reservatório de Barra Bonita

	2015			2020			2030		
Índice	Seco	Normal	Chuvoso	Seco	Normal	Chuvoso	Seco	Normal	Chuvoso
Satisfação (%)	99,76	99,90	99,95	99,74	99,90	99,95	99,74	99,90	99,95
Confiabilidade (%)	30,00	63,33	78,33	30,00	63,33	78,33	30,00	63,33	78,33
Vulnerabilidade (%)	0,34	0,26	0,23	0,37	0,26	0,23	0,37	0,26	0,24
Resiliência (%)	23,81	27,27	46,15	23,81	27,27	46,15	23,81	27,27	46,15

Tabela 4 – Índice de desempenho dos níveis de água do reservatório de Promissão

	2015			2020			2030		
Índice	Seco	Normal	Chuvoso	Seco	Normal	Chuvoso	Seco	Normal	Chuvoso
Satisfação (%)	99,65	99,96	99,99	99,65	99,93	99,99	99,65	99,93	99,99
Confiabilidade (%)	10,00	75,00	85,00	10,00	56,67	85,00	10,00	56,67	85,00
Vulnerabilidade (%)	0,38	0,16	0,05	0,39	0,15	0,05	0,39	0,16	0,05
Resiliência (%)	5,56	40,00	55,56	5,56	23,08	55,56	5,56	23,08	55,56

Os índices de desempenho do atendimento da vazão das eclusas de cada reservatório são mostrados nas Tabelas 5 e 6 . São baixos os valores de confiabilidade, altos os valores da vulnerabilidade e baixos os valores de resiliência. Esses dados indicam que o sistema apresenta um grande risco de não atendimento da vazão necessária para eclusagem. Esse resultado foi obtido porque foi considerado que o reservatório deve dar prioridade ao atendimento da usina hidrelétrica, sempre respeitando as restrições operativas da ONS. Há melhora significativa nos índices quando se analisa o cenário chuvoso.

Tabela 5 – Índice de desempenho do atendimento das vazões das eclusas de Barra Bonita, Bariri e Ibitinga

	Barra Bonita			Bariri			Ibitinga		
Índice	Seco	Normal	Chuvoso	Seco	Normal	Chuvoso	Seco	Normal	Chuvoso
Satisfação (%)	44,50	65,54	77,63	12,65	41,14	60,50	7,19	32,61	57,98
Confiabilidade (%)	1,67	25,00	40,00	6,67	26,67	46,67	3,33	20,00	41,67
Vulnerabilidade (%)	56,44	45,95	37,29	93,59	80,26	74,06	96,06	84,60	72,92
Resiliência (%)	3,39	13,33	22,22	5,36	13,64	21,88	3,51	14,89	29,41

Tabela 6 – Índice de desempenho do atendimento das vazões das eclusas de Promissão e Nova Avanhandava

	Promissão			Nova Avanhandava		
Índice	Seco	Normal	Chuvoso	Seco	Normal	Chuvoso
Satisfação (%)	43,11	79,18	94,51	14,14	96,68	98,88
Confiabilidade (%)	8,33	45,00	78,33	11,67	90,00	96,67
Vulnerabilidade (%)	62,16	38,39	26,98	97,41	39,18	66,05
Resiliência (%)	5,56	18,75	50,00	3,85	40,00	100,00

Os índices de desempenho de geração de energia foram calculados e estão descritos nas Tabelas 7 e 8. Eles foram calculados considerando-se que seria desejável que as usinas produzissem

a sua capacidade instalada. O valor de confiabilidade é baixo e o de vulnerabilidade é alto, uma vez que as usinas nunca trabalham na sua capacidade instalada.

Tabela 7 – Índice de desempenho da geração de energia das usinas de Barra Bonita, Bariri e Ibitinga

	Barra Bonita			Bariri			Ibitinga		
Índice	Seco	Normal	Chuvoso	Seco	Normal	Chuvoso	Seco	Normal	Chuvoso
Satisfação (%)	20,67	40,22	54,50	32,85	50,57	62,60	34,81	53,27	66,80
Confiabilidade (%)	1,67	11,67	20,00	1,67	13,33	18,33	0,00	0,00	0,00
Vulnerabilidade (%)	80,68	67,67	56,88	68,29	57,03	45,80	65,19	46,73	33,20
Resiliência (%)	3,39	11,32	12,50	3,39	11,54	12,24	1,67	1,67	1,67

Tabela 8 – Índice de desempenho da geração de energia das usinas de Promissão e Nova Avanhandava

	Promissão			Nova Avanhandava		
Índice	Seco	Normal	Chuvoso	Seco	Normal	Chuvoso
Satisfação (%)	22,48	47,58	63,34	33,03	49,04	51,75
Confiabilidade (%)	1,67	8,33	18,33	0,00	0,00	3,33
Vulnerabilidade (%)	78,83	57,18	44,88	66,97	50,96	49,91
Resiliência (%)	3,39	7,27	12,24	1,67	1,67	3,45

CONCLUSÕES

Todas as simulações mostraram que há disponibilidade hídrica para suprir os diversos usos consuntivos da água (abastecimento urbano e industrial, irrigação, uso rural, mineração, lazer, comercial, dentre outros), todavia é necessário que seja sempre incentivada a outorga dos usuários, para que se possa obter um valor mais confiável.

Os resultados mostraram que nos períodos hidrológicos secos, há competição entre a geração de energia e a navegação.

Em todos os cenários a demanda para a eclusa também concorre com a geração de energia, porém esta competição é diminuída no período hidrológico normal e chuvoso, principalmente nos reservatórios de Promissão e de Nova Avanhandava. Porém, a demanda para a eclusa deve ser revista.

Os resultados também indicaram condições suficientes para melhor aproveitamento do potencial hidrelétrico.

O local de estudo se trata de um complexo sistema de recursos hídricos, sendo importante uma análise da operação e do desempenho dos reservatórios segundo a ótica dos usos múltiplos da

água. Dado que em muitos sistemas há uma competição pela água entre os diversos usuários, este tipo de enfoque leva inevitavelmente à determinação de regras para partilha deste recurso natural. Essas regras são geralmente definidas a partir de métodos e critérios de alocação do recurso hídrico para cada setor usuário.

BIBLIOGRAFIA

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. *Séries Históricas de Vazões*. Disponível em: <http://www.ons.org.br/operacao/vazoes_naturais.aspx>. Acesso em: 13 jan. 2009.

SEADE. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. *Projeções Populacionais*. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/produtos/projpop/>>. Acesso em: 20 jan. 2009.

STEFANI, P. M. (2006). *Ecologia trófica de espécies alóctones (Cichla cf. ocellaris e Plagioscion squamosissimus) e nativa (Geophagus brasiliensis) nos reservatórios do rio Tietê*. 2006. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à AES Tietê pela possibilidade e financiamento deste estudo.