

Natalia Andricioli Periotto

**SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DO RESERVATÓRIO DA UHE CARLOS BOTELHO (LOBOBROA): UMA NOVA ABORDAGEM PARA O GERENCIAMENTO E PLANEJAMENTO DOS MÚLTIPLOS USOS DE REPRESAS.**

Orientador: Prof. Dr. José Galizia Tundisi

São Carlos-SP

2011

Universidade Federal de São Carlos

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde

Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais

**SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DO RESERVATÓRIO DA UHE CARLOS BOTELHO (LOBO-BROA): UMA NOVA ABORDAGEM PARA O GERENCIAMENTO E PLANEJAMENTO DOS MÚLTIPLOS USOS DE REPRESAS.**

**Natalia Andricioli Periotto**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais/Área de concentração - Ecologia.

São Carlos-SP

2011

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

P445se

Periotto, Natalia Andricioli.

Serviços ecossistêmicos do reservatório da UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa) : uma nova abordagem para o gerenciamento e planejamento dos múltiplos usos de represas / Natalia Andricioli Periotto. -- São Carlos : UFSCar, 2011.

60 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2011.

1. Ecologia. 2. Serviços do ecossistema. 3. Usinas hidrelétricas. 4. Água - gerenciamento. 5. Forçantes (drivers). 6. Bacias hidrográficas. I. Título.

CDD: 574.5 (20<sup>a</sup>)

Natalia Andricioli Periotto

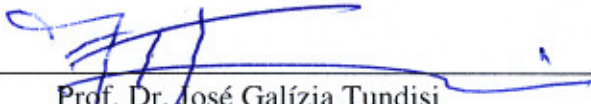
**SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DO RESERVATÓRIO DA UHE CARLOS  
BOTELHO (LOBO-BROA): UMA NOVA ABORDAGEM PARA O  
GERENCIAMENTO E PLANEJAMENTO DOS MÚLTIPLOS USOS DE  
REPRESAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais.

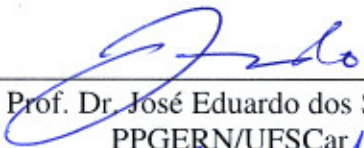
**Aprovada** em 13 de junho de 2011

**BANCA EXAMINADORA**

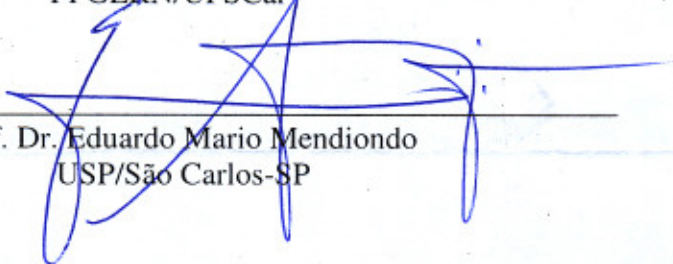
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Galízia Tundisi  
(Orientador)

1º Examinador

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Eduardo dos Santos  
PPGERN/UFSCar

2º Examinador

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Eduardo Mario Mendiando  
USP/São Carlos-SP

Dedico este trabalho aos meus pais, Maria Antonia e Antonio, ao Prof. Dr. José Galizia Tundisi, à minhas avós Júlia e Luíza, à minha irmã Márcia, ao meu sobrinho Wisley e a todos meus amigos e amigas.

“A ciência é, portanto, uma perversão de si mesma, a menos que tenha como fim último melhorar a humanidade.”

**Nikola Tesla**

## AGRADECIMENTOS

À Deus, sempre, por todas as ricas e infinitas oportunidades de crescimento.

Ao Prof. Dr. José Galizia Tundisi, por todos os ensinamentos, incentivos e paciência, que fazem muita diferença na minha vida.

Ao Dr. Marcos Cortesão Barnsley Scheuenstuhl, pelo apoio na conquista deste objetivo e cujos ensinamentos levarei sempre comigo adiante.

Ao Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CT-HIDRO), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo (processo de número 556687/2009-4).

À minha mãe, Maria Antonia Andricioli, meu grande exemplo de mulher batalhadora, independente, honesta e fiel aos seus ideais; pelo amor incondicional, por tudo o que sempre abriu mão de viver para estar integralmente ao meu lado, e por esta parceria, respeitando sempre todas as minhas escolhas de vida. Não esquecendo de agradecer pela paciência comigo nas horas mais difíceis.

Ao meu pai, Antonio Roque Periotto, meu exemplo de força, trabalho, honestidade, simplicidade, fé e serenidade, e cujos maiores ensinamentos entendo cada dia mais e me esforço para alcançar: disciplina, silêncio, calma, coragem, confiança e bom humor.

Ao Instituto Internacional de Ecologia pela possibilidade de usufruir da sua biblioteca e outras facilidades.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da UFSCar, por todos os ensinamentos e ajuda.

Aos meus amigos José Jesuel da Silva (Jota) e Guilherme Ruas Medeiros, cujos incentivos diários, foram de extrema e decisiva importância para esta conquista. Agradeço muito pela coragem que me deram. Nunca me esquecerei disto.

Aos meus amigos Gabriel Vilardi e Rodrigo Pepino por compartilharem comigo tantos ricos momentos durante o mestrado.

Aos meus amigos Cássio Matos, Vitor Moreno, Carlos Zorzenon, Gabriel Krieger, Robson Caffé; e amigas, Simone Sundermann César, Francine Günther, Daniela Chumi, Bruna Bennati, Melissa Baffi, Mariana Ragona, Priscila Vieira, Anna Paula Luzia e Renata Buffa, entre outros também muito importantes, pela torcida pelo sucesso deste trabalho.

À Nedenia Bonvino Stafuzza pelas preciosas dicas, apoio, ajuda na obtenção de artigos e amizade incondicional durante todos estes anos.

À Ana Flávia Marques, pela vivência durante o mestrado, apoio, ensinamentos e amizade incondicional.

À minha prima Ana Carolina Andricioli pela companhia e apoio em todos os momentos. Seu apoio nesta etapa foi um grande combustível.

À Regis Bennett por haver me presenteado com a epígrafe deste trabalho; não haveria outra mais adequada que expressasse a importância do direcionamento da ciência para o bem geral.

À Marleni Campese, Kátia Farah, Maria Aparecida Barbosa, Paulo da Silva, e aos outros queridos amigos de jornada pelo apoio, amizade e pensamentos positivos, que fizeram toda a diferença neste trabalho.

À Gustavo Rincón Mazão pela ajuda com as figuras e estrutura do trabalho e pela paciência e apoio muito importantes em todos os momentos.

À todos os colegas do PPGERN: Fernanda Tibério, Talita Sampaio, Aline Ghilardi, Lidiane Silva, Jussara de Souza, Danilo Iha, Marcelo Paulino e todos os outros que me incentivaram.

À toda minha família.

Enfim, a todos que vibram positivamente pela minha caminhada.



## SUMÁRIO

Lista de tabelas.....	vii
Lista de figuras.....	viii
Resumo.....	1
Abstract.....	2
1. Introdução	
1.1. Visão da economia ecológica.....	3
1.1.1. Como a economia ecológica difere das abordagens convencionais.....	3
1.1.2. Alguns termos e conceitos utilizados na abordagem da economia ecológica.....	3
1.1.2.1. O conceito de <i>valor</i> .....	3
1.1.2.2. O conceito ecológico de <i>valor</i> .....	4
1.1.2.3. Os conceitos <i>funções, bens, capital e serviços</i> .....	4
1.1.2.4. O conceito de valor monetário marginal.....	8
1.2. A visão econômica tradicional e a ecológica-econômica.....	9
1.3. A importância e necessidade da valoração dos serviços do ecossistema.....	12
1.4. Abordagem para a valoração dos serviços ecossistêmicos.....	14
1.4.1. Métodos de valoração ambiental.....	14
1.4.1.1. Métodos baseados nas teorias de análise econômica...15	
a. Gastos preventivos (custo evitado).....	15
b. Custo de reposição.....	15
c. Fator rendimento (mudança na produtividade).....	17
d. Custo de viagem.....	17
e. Preço hedônico (valor de propriedade).....	17
f. Valor contingente.....	18
1.5. Relação dos valores quantitativos e qualitativos dos serviços ecossistêmicos com seus valores ecológicos, econômicos e sociais.....	18

1.6. Forçantes (“drivers”) de alterações dos serviços ecossistêmicos.....	19
1.7. Valoração ecológica e reservatórios de hidrelétricas: justificativa do estudo.....	19
1.8. Objetivos.....	22
2. Materiais e métodos	
2.1. Caracterização da área de estudo.....	23
2.1.1. Bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré.....	23
2.1.2. Usina Hidrelétrica de Energia (UHE) Carlos Botelho – represa do Lobo-Broa.....	24
2.2. Análises dos serviços ecossistêmicos.....	26
3. Resultados.....	28
4. Discussão	
4.1. Considerações específicas.....	33
4.1.1. (a) Fixação de energia solar (fotossíntese) e produção de biomassa, (b) regulação da composição química da atmosfera, (c) produção de oxigênio.....	33
4.1.2. (d) Regulação do clima local, (e) estoque de água e recarga subterrânea, (f) recreação, (g) ciclagem da água, (h) conversão de energia e (i) regulação dos fluxos de água e prevenção de enchentes, (j) transporte.....	36
4.1.3. (k) Retenção de nutrientes e interferência nos ciclos biogeoquímicos.....	41
4.1.4. (l) <i>Retenção de sedimentos, formação de solo e manutenção de sua fertilidade</i> .....	43
4.1.5. (m) Manutenção da biodiversidade biológica, (n) manutenção de habitats de reprodução; (o) recursos genéticos, (p) recursos medicinais, (q) alimento, (r)* cultivo (aquacultura).....	43
4.1.6. Valores de (s) Estética e (t) Culturais.....	45
4.1.7. (u) Ciência e educação.....	46
4.2. Síntese.....	48
5. Conclusões.....	53
6. Referências bibliográficas.....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela I. Classificação dos serviços e funções do ecossistema.....	6
Tabela II. Tecnologias que substituem alguns serviços dos ecossistemas.....	16
Tabela III. Características gerais e disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré.....	23
Tabela IV. Porcentagem do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré.....	24
Tabela V. Características morfométricas do reservatório da UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa).....	26
Tabela VI. Matriz de identificação dos serviços ecossistêmicos das áreas alagadas do Rio Itaqueri e Ribeirão do Lobo, e do reservatório da UHE Carlos Botelho.....	28
Tabela VII. Gêneros e/ou espécies identificados por Delello (2008) e revisados por e Matsumura-Tundisi (2008) presentes na represa da UHE Carlos Botelho, cuja produção primária foi revisada por Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008).....	34
Tabela VIII. Valores dos custos dos loteamentos construídos no entorno do reservatório da UHE Carlos Botelho.....	37
Tabela IX. Valores referentes ao cálculo anual da função de emprego, embutida no serviço ecossistêmico de recreação.....	38

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.	Tipos de capitais e suas interações na geração do bem-estar humano.....	5
Fig. 2.	Visão geral das relações entre os serviços do ecossistema e o bem-estar humano.....	8
Fig. 3.	Visão da economia tradicional.....	9
Fig. 4.	Visão do sistema ecológico-econômico.....	10
Fig. 5.	Localização do reservatório da UHE Carlos Botelho no estado de São Paulo, Brasil, e seus tributários.....	25
Fig. 6.	Forçantes diretas e indiretas de influência nos serviços ecossistêmicos das áreas alagadas e reservatório da UHE Carlos Botelho.....	32

## RESUMO

Reservatórios de usinas de geração de energia hidrelétrica são de importância estratégica para múltiplos fins incluindo geração de energia renovável, abastecimento de água, inúmeras oportunidades de trabalho para a população humana e novos desenvolvimentos sociais e econômicos, entre outros, a partir do início da sua construção, que também causa impactos negativos. A avaliação dos serviços do ecossistema é uma abordagem que complementa o Estudo de Impacto Ambiental e torna-se ferramenta para a análise de custo-benefício. Este trabalho identificou 20 serviços ecossistêmicos da represa da UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa), Itirapina-SP, e as áreas alagadas a montante, pertencentes ao Rio Itaqueri e Ribeirão do Lobo, e estimou valores qualitativos e quantitativos iniciais, em adição à análise das forças (“drivers”) de alterações nos serviços. As avaliações qualitativas mostram as influências diretas e indiretas dos serviços no bem-estar humano. A análise preliminar quantitativa resultou em **USD 120.445.657,87.ha<sup>-1</sup>** ou **USD 45.623,35.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>** e indicou que a perda dos serviços de uso indireto, como recarga hídrica subterrânea, pode ser expressiva, refletindo na economia local e regional. A análise das forças indicou que é necessário o gerenciamento ambiental adequado e eficiente em toda a bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré, especialmente em relação à recuperação da heterogeneidade espacial, a fim de evitar a perda dos serviços, destacando-se o turismo e a recreação, importantes na economia local e bem-estar humano.

**PALAVRAS-CHAVE:** reservatórios, usinas de geração de energia hidrelétrica, áreas alagadas, serviços ambientais, forças (“drivers”), bacia hidrográfica.

## ABSTRACT

Reservoirs of hydroelectric power generation plants are of strategic importance due to its multiple uses as generation of clean energy, water supply, and other social economic opportunities since the beginning of construction, which may also cause negative impacts. Assessing ecosystem services is an approach to complement Environmental Impact Assessment and a tool for cost-effectiveness analysis. This study identified 20 ecosystem services of Carlos Botelho (Lobo-Broa) hydroelectric power plant reservoir (Itirapina, São Paulo, Brazil) and its upstream wetlands, from Itaqueri River and Lobo Stream. It has also assigned qualitative and quantitative values for these services and analyzed their drivers of change. Qualitative valuation indicated direct and indirect influence of ecosystem services on human well-being. Preliminary quantitative valuation resulted in **USD 120,445,657.87.ha<sup>-1</sup>** or **USD 45,623.35.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup>**, highlighting that losses on indirect use ecosystem services, as groundwater recharge, may reflect on local and regional economy. Analysis of drivers indicated that adequate and efficient environmental management along Tietê-Jacaré hydrographic basin, especially concerning the recovery of spatial heterogeneity, is necessary to avoid ecosystem services losses, especially tourism and recreation that provide local economic fluxes and human well-being.

KEY WORDS: reservoirs, hydroelectric power generation plant, wetlands, ecosystem services, hydrographic basin.

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. Visão da Economia Ecológica**

#### **1.1.1. Como a Economia Ecológica difere das abordagens convencionais**

A visão de como a economia humana se relaciona com a natureza está se transformando, partindo de uma era em que o fator limitante no desenvolvimento econômico era a infra-estrutura produzida pelo ser humano para uma era na qual o fator limitante são os recursos naturais remanescentes (Costanza *et al.*, 1997). A lógica econômica estabelece que é preciso aumentar a produtividade do fator limitante – neste caso, os recursos naturais (Costanza, 2001). A conservação, recuperação e uso planejado destes recursos a fim de que não sejam exauridos, ou seja, o uso sustentável destes recursos para a manutenção do nosso sistema natural de suporte e a conseqüente garantia de oferta constante de matéria-prima para os processos de produção seria uma opção para o sistema econômico. Mas apesar de depender do sistema de suporte natural, a economia tradicional não incorpora o conceito de sustentabilidade em suas relações. Em vista disto, uma visão diferente de economia, a economia ecológica, mostra-se sendo uma alternativa a esta problemática. Junto a esta nova abordagem, a economia ecológica incorpora novas denominações aos fatores de produção econômicos e novos conceitos em suas relações. Os tópicos a seguir explicam estas novas denominações e comparam de maneira simplificada o sistema econômico tradicional e a nova abordagem da economia ecológica.

#### **1.1.2. Alguns termos e conceitos utilizados na abordagem da economia ecológica**

##### **1.1.2.1. O conceito de *valor***

Farber *et al.* (2002) definiram os conceitos de *sistema de valor*, *valor*, *valoração*, *valor intrínseco* e *valor instrumental*. O termo *sistemas de valor* refere-se ao arcabouço intrapsíquico de normas e preceitos através dos quais as pessoas atribuem importância e necessidade às suas crenças, julgamentos e ações. *Valor* significa a contribuição de uma ação ou objeto a um objetivo ou condições específicas do usuário. Um valor específico atribuído a um objeto ou ação está diretamente relacionado ao sistema de valor de um usuário, porque seu sistema de valor é que determina a importância relativa de uma ação ou objeto em relação a outros. Portanto, *valoração* pode ser definida como o processo de expressar um valor para uma ação ou objeto particular.

Há ainda a distinção entre *valor intrínseco* e *valor instrumental*. *Valor intrínseco* compõe o sistema de valores de indivíduos no qual os ecossistemas e as espécies possuem direitos intrínsecos de condições saudáveis e sustentáveis semelhantes aos

direitos humanos. Por outro lado, os *valores instrumentais* são essencialmente antropocêntricos em relação à natureza, como, por exemplo, os valores econômicos. As políticas ambientais tendem a basear-se em uma mistura destes dois tipos de valores.

### 1.1.2.2. O conceito ecológico de valor

Farber *et al.* (2002) afirmam que, pressupostamente, as espécies não humanas e os ecossistemas não estão perseguindo nenhuma meta consciente. Portanto, não possuem um *sistema de valores* e não se pode falar em *valor* neste contexto. Mas o termo *valor* é comumente utilizado nas ciências naturais. Se considerarmos *valor* como contribuição de um item a um objetivo de um sistema, podemos falar no valor de uma espécie particular de árvore no controle da erosão do solo ou no valor do fogo na reciclagem de nutrientes em uma floresta. Biólogos evolucionistas falam sobre o *valor de sobrevivência* de características específicas de organismos, como se a meta de sobreviver estivesse embutida na função objetiva da seleção natural. Os modelos de seleção natural que maximizam o *fitness* de espécies são muito similares aos modelos de maximização econômica (Low apud Farber *et al.*, 2002).

Ainda, de acordo com Farber *et al.* (2002), na co-evolução de um grupo de espécies que interagem entre si, uma espécie é *valiosa* à sobrevivência das outras espécies. Portanto, ao observarmos a co-evolução da espécie humana e outras espécies, podemos falar do “*valor dos ecossistemas naturais e seus componentes em termos da sua contribuição à sobrevivência humana*”.

### 1.1.2.3. Os conceitos *funções, bens, capital e serviços*

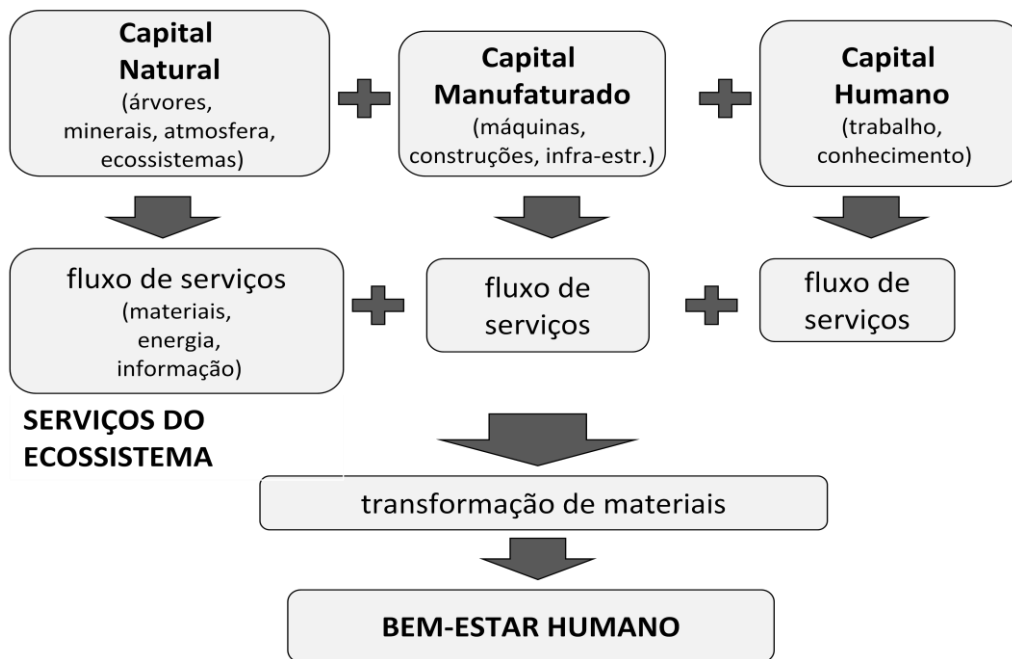
O conceito de *funções do ecossistema* pode ser expresso como as propriedades ou processos do ecossistema referentes ao habitat, à biologia ou ao sistema. *Bens* (alimentos, etc.) e *serviços* (assimilação de resíduos, etc.) representam os benefícios diretos ou indiretos oferecidos às populações humanas, mas geralmente os bens e serviços são denominados juntos como *serviços* (Costanza *et al.*, 1997).

Costanza *et al.* (1997) ainda definiram os conceitos de “capital natural” e “serviços do ecossistema”. “Capital” é definido como qualquer estoque de materiais, energia, informações, etc., existente em um dado momento. Deste modo os elementos do meio ambiente, como as árvores, minerais, atmosfera e ecossistemas, entre outros, são considerados **capital natural**; a infra-estrutura produzida pelo ser humano como máquinas e construções são denominadas **capital manufaturado**; a força física e intelectual (conhecimento) do ser humano é denominada **capital humano**



e em 2001, Costanza adicionou o **capital social (ou cultural)** representando as normas das interações humanas e suas regras institucionais.

Cada forma de capital, individualmente ou em conjunto com outros tipos de capitais, transforma materiais, gerando o bem-estar humano. O termo **serviços do ecossistema** pode ser definido como o fluxo de materiais, energia e informação (material genético) do capital natural que em adição aos serviços do capital manufaturado e do capital humano permitem a transformação de materiais que propiciam o bem-estar humano, ou seja, são os benefícios diretos ou indiretos que o ser humano obtém das funções do ecossistema (Costanza, 1997) (Fig. 1) (Tabela I). Os serviços do ecossistema “são os valores instrumentais dos ecossistemas representando os meios à finalidade do bem-estar humano” (Costanza, 2008).



**Fig. 1.** Tipos de capitais e suas interações na geração de bem-estar humano.

**Tabela I.** Classificação dos serviços e funções do ecossistema.

<b>Serviços ecossistêmicos</b>	<b>Funções ecossistêmicas</b>	<b>Exemplos</b>
<i>Regulação de gases</i>	Regulação da composição química atmosférica.	Balanco CO <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> para proteção UVB, e níveis de SO <sub>x</sub> .
<i>Regulação do clima</i>	Regulação da temperatura global, precipitação e outros processos climáticos mediados biologicamente, nos níveis globais ou locais.	Regulação de gases de efeito estufa, produção de dimetilsulfeto (DMS) afetando a formação de nuvens.
<i>Regulação de distúrbios</i>	Capacidade, amortecimento e integridade da resposta do ecossistema a flutuações ambientais.	Proteção contra tempestades, controle de enchentes, recuperação de estuários e outros aspectos da resposta ambiental à variabilidade ambiental controlada principalmente pela estrutura vegetal.
<i>Regulação da água</i>	Regulação dos fluxos hidrológicos.	Provisão de água para processos agrícolas (irrigação) e industriais (moagem) ou transporte.
<i>Suprimento de água</i>	Estoque e retenção de água.	Provisão de água pelas bacias hidrográficas, reservatórios e aquíferos.
<i>Controle de erosão e retenção de sedimento</i>	Retenção de solo no ecossistema.	Prevenção da perda de solo por vento, escoamento ou outros processos de remoção, estoque de silte em lagos e áreas alagadas.
<i>Formação de solo</i>	Processos de formação de solo.	Desgaste de rochas e acumulação de matéria orgânica.
<i>Ciclagem de nutrientes</i>	Estoque, ciclagem interna, processamento e aquisição de nutrientes.	Fixação de nutrientes, N, P, e outros ciclos biogeoquímicos.
<i>Tratamento de resíduos</i>	Recuperação de nutrientes e remoção ou quebra do excesso de nutrientes e compostos xênicos.	Tratamento de resíduos, controle de poluição, despoluição.
<i>Polinização</i>	Movimento dos gametas florais.	Provisão de polinizadores para a reprodução de populações de plantas.
<i>Controle biológico</i>	Regulações trófico-dinâmicas de populações.	Predador-chave controlando espécies de presa, redução de herbivoria por predadores de topo.
<i>Refúgio</i>	Habitat para populações residentes e temporárias.	Berçário, habitat para espécies migratórias, habitats regionais para espécies colhidas regionalmente, ou locais de refúgio do inverno.
<i>Produção de alimento</i>	Porção da produção primária bruta extraível como alimento.	Produção de peixes, animais para carne, cultivos em geral, nozes, frutas, através da caça, coleta, cultivo agrícola ou pesca.
<i>Matéria bruta</i>	Porção da produção primária bruta extraível como materiais brutos.	Produção de madeira, combustível ou forragem.
<i>Recursos genéticos</i>	Fontes de materiais e produtos biológicos únicos.	Medicamentos, produtos para estudos científicos, genes de resistência à patógenos de plantas e pestes de cultivos; espécies ornamentais.

**Tabela I.** (continuação)

<i>Recreação</i>	Provisão de oportunidades de atividades recreativas.	Ecoturismo, pesca esportiva e outras atividades recreacionais ao ar livre.
<i>Cultural</i>	Provisão de oportunidades para usos não-comerciais.	Valores estéticos, artísticos, educacionais, espirituais e científicos dos ecossistemas.

Fonte: Costanza *et al.*, 1997.

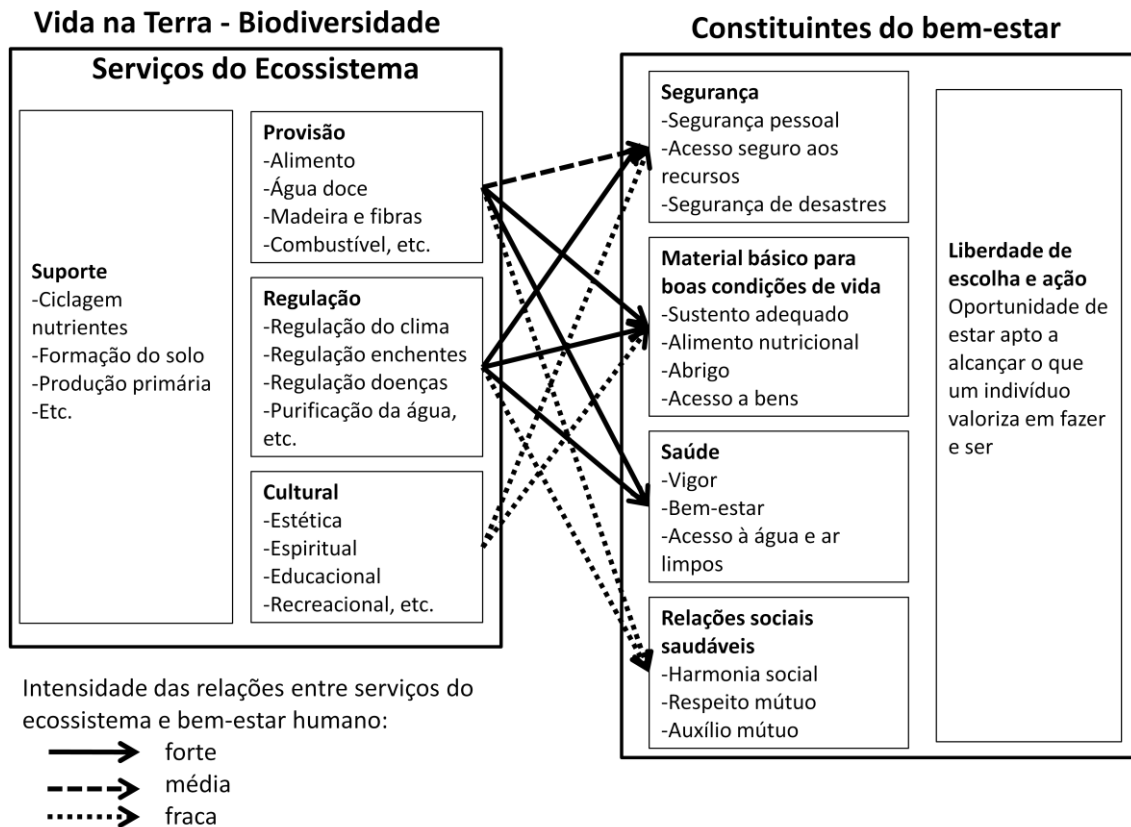
De acordo com De Groot (1994), os serviços ambientais podem ser classificados como:

- a) Reguladores: manutenção de processos ecológicos essenciais como a regulação do clima e composição atmosférica e a ciclagem de nutrientes.
- b) Suporte: relacionam-se com os serviços proporcionados pelo espaço ou substrato disponível, como conversão de energia, recreação e transporte.
- c) Provisionais: produtos obtidos diretamente de ecossistemas como alimento, água, madeira, fibra, etc.
- d) Culturais (ou de informação): benefícios não materiais; oportunidades para o desenvolvimento cognitivo, como recreação, estética e espiritualidade.

O Millennium Ecosystem Assessment (MEA) (2005) e o World Resources Institute (2008) apresentam definições diferentes de De Groot (1994) para os serviços reguladores e os de suporte. Serviços reguladores são definidos como “os benefícios obtidos pela regulação dos processos do ecossistema”, como regulação da água, regulação da qualidade do ar, regulação da erosão, purificação da água e tratamento de resíduos, polinização, regulação de doenças, entre outros. Os serviços de suporte são considerados como os serviços necessários para a produção de todos os outros tipos de serviços do ecossistema, como a ciclagem de nutrientes, formação de solo, produção primária, fotossíntese e ciclagem da água.

Segundo o MEA (2005), as quatro categorias de serviços do ecossistema se relacionam com maior ou menor intensidade aos componentes do bem-estar humano através da mediação de fatores sócio-econômicos em diferentes graus (Fig. 2). A intensidade das relações e o potencial de mediação diferem entre as diferentes regiões geográficas e ecossistemas. Além dos serviços do ecossistema, outros fatores econômicos, sociais, tecnológicos e culturais influenciam o bem-estar humano e o

modo como o ser humano se relaciona com os recursos naturais, o que conseqüentemente afeta os ecossistemas.



(adaptada de Millennium Ecosystem Assessment, 2005)

**Fig. 2.** Visão geral das relações entre os serviços do ecossistema e o bem-estar humano.

#### 1.1.2.4. O conceito de valor monetário marginal

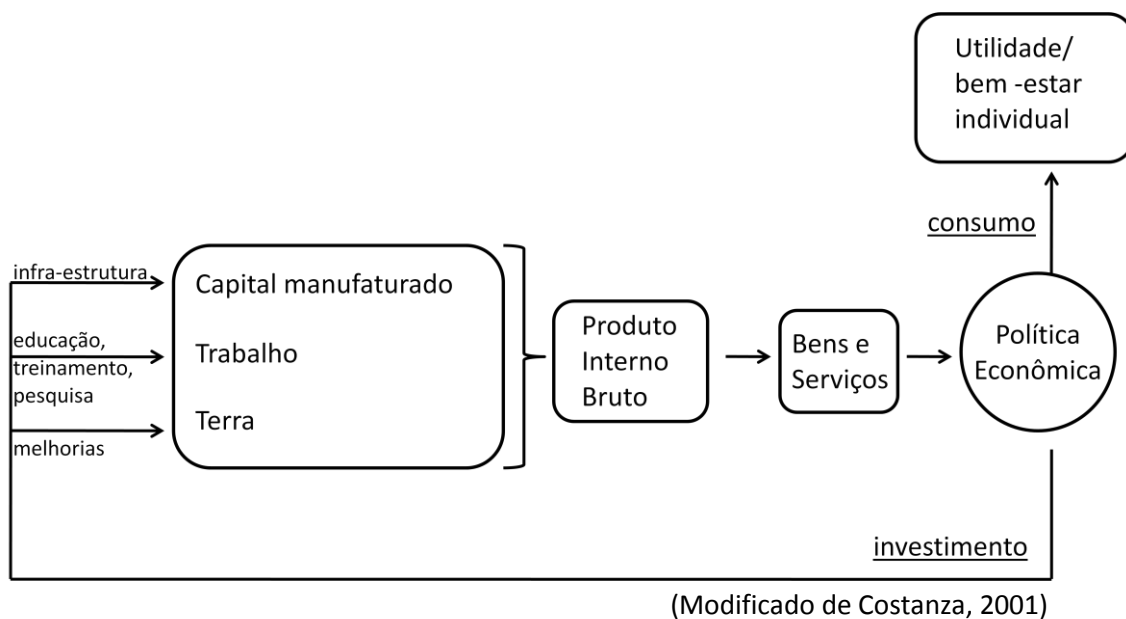
Neste contexto, *valor marginal* é o valor atribuído pelo ser humano a um bem ou função ecológica, de acordo com seu sistema de valores. O sistema de valores individual ou coletivo determina a utilidade das características dos bens ou serviços ambientais e a disponibilidade de se pagar por eles. Farber *et al.* (2002) exemplificam este conceito, discorrendo sobre a utilidade (U) do consumo dos alimentos, considerando o conteúdo calórico (C), protéico (P) e de vitaminas (V):

$$U = aC + bP + cV$$

Os parâmetros *a, b* e *c* refletem os pesos diferentes das utilidades atribuídas pelo ser humano aos conteúdos dos alimentos. Quando estes parâmetros podem ser medidos segundo a disponibilidade em pagar ou em receber compensação por eles, cada parâmetro representa o valor monetário marginal de cada característica (C, P e V).

## 1.2. A visão econômica tradicional e a ecológica-econômica

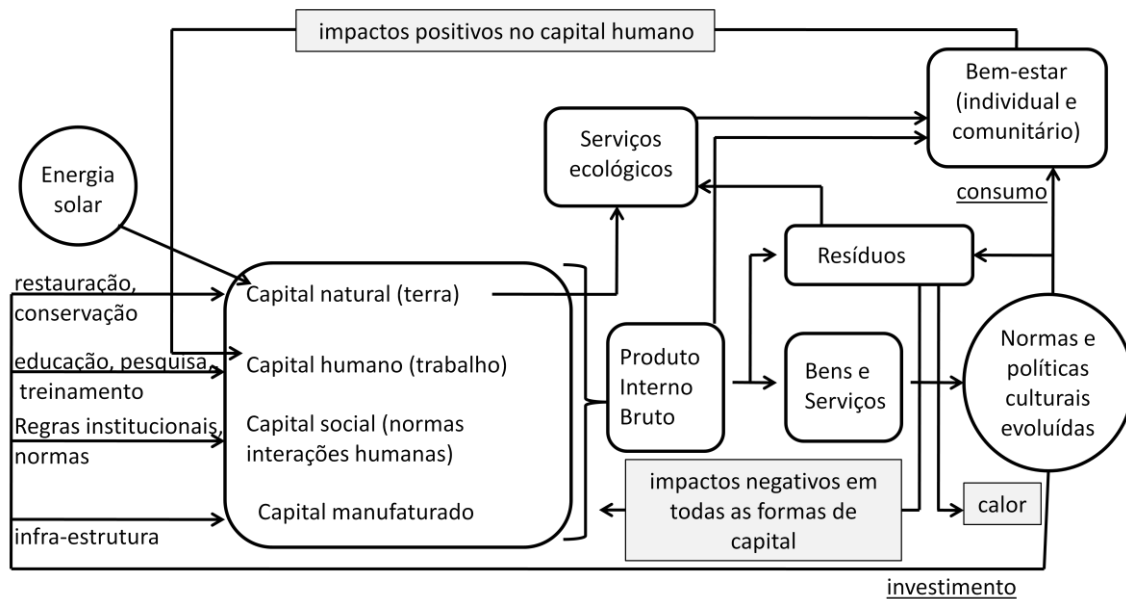
A Figura 3 mostra, sinteticamente, as relações envolvidas na economia tradicional. Os fatores de produção terra (propriedades), trabalho e capital manufaturado são combinados no processo econômico para a produção de bens e serviços, os quais são medidos pelo Produto Interno Bruto (Costanza, 2001). Os bens e serviços produzidos têm duas finalidades: o consumo humano, visando o bem-estar individual e o investimento nos fatores de produção, visando a manutenção dos estoques (Costanza, 2001), através de melhorias nas propriedades, educação e treinamentos para melhor capacitação do fator trabalho e investimento em infra-estrutura que sustenta o capital manufaturado.



**Fig. 3.** Visão da Economia tradicional.

Este sistema pode ser considerado fechado, como um ciclo, pois à medida que as indústrias produzem os bens de consumo, os mesmos indivíduos que representam a mão-de-obra deste processo, recebem salários que são investidos no consumo destes mesmos bens produzidos (Whately, 2008).

A Figura 4 mostra uma visão, também simplificada, da Economia Ecológica, uma alternativa para a manutenção dos processos econômicos.



(Modificado de Costanza, 2001)

**Fig. 4.** Visão do sistema ecológico-econômico.

Nesta abordagem, os fatores de produção da economia convencional são mantidos, mas são renomeados e há a adição de um fator novo: a *terra* é agora denominada *capital natural* e inclui os sistemas ecológicos, depósitos minerais, e outros aspectos do mundo natural; *trabalho* é transformado em *capital humano*, que reúne o trabalho físico e intelectual do ser humano; o *capital manufaturado* é mantido e representa a infra-estrutura (prédios, maquinários, etc.); e é adicionado o *capital social* (ou cultural), englobando as regras e normas das interações humanas (Costanza, 2001). O capital natural capta a luz solar e se comporta como um sistema autônomo, de acordo com as leis da termodinâmica, contribuindo tanto para a produção dos bens e serviços que entram no processo econômico como na produção de serviços ecológicos e amenidades, ambos colaborando para o bem-estar humano. Neste processo há a produção de resíduos que contribuem negativamente para o bem-estar humano e têm impacto negativo em todas as formas de capital e nos serviços ecológicos. O bem-estar humano é função de mais do que o consumo de bens e serviços, causando impactos positivos no capital humano. Parte do Produto Interno Bruto é consumida na forma de bens e parte é investida na manutenção dos tipos de capitais constituintes destes sistemas.

O investimento no capital natural é feito na forma de planos de recuperação de ecossistemas e áreas degradadas, conservação de áreas naturais e o uso racional destas áreas, e preservação integral de áreas naturais intactas.

Os serviços ecológicos que contribuem ao bem-estar humano podem ser exemplificados por regulação climática, recreação, cultura, tratamento de resíduos, suprimento de água, entre outros<sup>1</sup>.

Esta nova abordagem, que considera os diferentes aspectos que contribuem para o bem-estar humano em geral, pode ser analisada como sendo um sistema aberto, pois as relações entre indústrias e pessoas não podem ocorrer indefinidamente, ocorrendo limites na extração de recursos e energia e na capacidade de absorção dos resíduos, impostos pelo ecossistema e que afetam esta relação (Whately, 2008).

A sociedade humana foi construída através bens e serviços do ecossistema, (alimento, recursos hídricos, saúde, boas relações sociais, etc.) (Fig.2) e a relação entre o bem-estar humano e os serviços é mediada pelos diferentes tipos de capitais derivados (natural, humano, social e manufaturado). Essa relação é considerada não-linear (MEA, 2005), pois quando um serviço (capital) ecossistêmico é abundante comparado com a demanda, seu aumento contribui em menor escala para o bem-estar humano, enquanto que se o serviço for escasso, sua diminuição pode afetar em maior escala o bem-estar humano.

As atividades econômicas e a geração de empregos são conseqüência da transformação dos materiais (bens) gerados pelos fluxos dos serviços ecossistêmicos, sendo que a produção de alimentos pode ser considerada o serviço ecossistêmico que mais contribui mundialmente neste aspecto do bem-estar humano (MEA, 2005). A degradação dos serviços ecossistêmicos devido ao uso não-planejado pode afetar esta relação entre os diferentes capitais que geram o bem-estar humano. Muitas vezes são levados em conta somente os serviços de uso direto nas práticas de gerenciamento ambiental e econômico, em detrimento dos de uso indireto, que por não serem considerados, não são protegidos. Impactos na saúde e bem-estar humanos são causados por este tipo de negligência através do gerenciamento ambiental baseado na visão tradicional da economia, influenciando, por exemplo, a abundância de patógenos humanos como a malária e a cólera.

A nova abordagem da economia ecológica, que considera os diferentes aspectos de interação das funções ecológicas atuando direta ou indiretamente no bem-estar humano e considerando as escalas espaciais e temporais de atuação, é uma alternativa para o gerenciamento mais adequado dos recursos naturais e do alívio de problemas de ordem mundial, como a saúde e pobreza humanas.

Pode-se aplicar esta abordagem da economia ecológica nos planos de gerenciamento de uma bacia hidrográfica. A entrada de energia através da luz solar

---

<sup>1</sup> Costanza *et al.* (1997) dividem os serviços do ecossistema em 17 categorias e listam suas respectivas funções .

representa a entrada da energia necessária para a auto-manutenção de seus ecossistemas e subsídio para as atividades econômicas relacionadas com o capital natural. Em consequência disto, as interações e funções do ecossistema são mantidas e (a) beneficiam indiretamente o bem-estar humano, tomando como exemplo os processos de fotossíntese para o desenvolvimento da flora e manutenção da cadeia alimentar terrestre e aquática, o que influencia os parâmetros de qualidade da água dos corpos hídricos e o serviço ecossistêmico de manutenção da qualidade da água; e (b) beneficiam diretamente o bem-estar humano, por exemplo, subsidiando as atividades agrícolas, que acabam gerando resíduos (fertilizantes e pesticidas, etc.). O bem-estar humano não depende somente dos produtos gerados para o mercado, mas também do estado de conservação dos recursos naturais, que dão espaço, por exemplo, para a recreação e turismo. Assim, os resíduos gerados provenientes de todas as atividades econômicas devem ser gerenciados de forma a terem a mínima entrada possível nos corpos de água da bacia hidrográfica e o mínimo impacto nos recursos naturais, para a manutenção dos serviços dos ecossistemas e a implantação de uma economia auto-sustentável. Parte do capital gerado através dos serviços que entram no mercado, o Produto Interno Bruto, é consumido na forma dos bens produzidos e parte deve ser investido (1) na conservação da bacia hidrográfica (capital natural), como por exemplo, na recuperação dos mosaicos de vegetação da bacia, importantes para a manutenção da biodiversidade e os processos de interação do ecossistema, que garantem, a qualidade e quantidade de água na bacia e os outros serviços ecossistêmicos; (2) na pesquisa científica (capital humano), para a construção de um banco de dados que auxilie o gerenciamento integrado da bacia e o desenvolvimento de novas tecnologias que proporcionem soluções de menor geração de resíduos para as atividades econômicas ao longo da bacia; e educação (capital humano), para que a recuperação e manutenção da bacia hidrográfica tenha a participação das pessoas atuantes e dependentes dos serviços da mesma bacia.

É importante também considerar as escalas espaciais e temporais das forças dos serviços das bacias hidrográficas para a aplicação da abordagem ecológica-econômica no seu gerenciamento.

### **1.3. A importância e necessidade da valoração dos serviços do ecossistema**

Para entender a necessidade da valoração ecológica é preciso antes entender o sistema de co-evolução entre humanos e a natureza. Os seres humanos realizam escolhas e trocas relativas aos serviços do ecossistema, e este processo requer *valoração*, porque a escolha entre duas opções implica que a escolhida é mais “valiosa” que a outra. As decisões relacionadas ao meio ambiente passam pelo mesmo processo, de pesar e agregar os diversos benefícios de uma ação proposta contra seus custos. É essencial também considerar a sustentabilidade ecológica, justiça social



(distribuição justa e destinação eficiente de fundos orçamentários) e objetivos da economia tradicional nas metas da valoração dos serviços ambientais (Costanza, 2000).

Apesar de muitos dos valores econômicos das funções e serviços do meio ambiente ainda não serem diretamente refletidos e transacionados no mercado econômico, estes desempenham funções essenciais à vida humana e, portanto, não seria correto considerá-los com valor zero, com o risco de sua completa degradação (Marques e Comune, 1996). Desse modo, há a necessidade de serem calculados os valores econômicos dos serviços não comercializáveis oferecidos pelos recursos do meio ambiente, como uma ferramenta para a adoção de práticas que visem o uso sustentável destes recursos e a garantia da manutenção destes serviços por longo prazo. Isto quer dizer, a adoção de medidas que integrem o desenvolvimento com a conservação ambiental (Mattos e Mattos, 2004).

Ainda existe muito pouca informação disponível para os agentes tomadores de decisão sobre os laços estreitos entre os serviços dos ecossistemas, o bem-estar humano e a redução da pobreza (Carpenter *et al.*, 2006), por isso é necessário o início imediato da coleta e integração de dados sobre os serviços dos ecossistemas e o bem-estar humano, como instrumento de decisão para o gerenciamento dos ecossistemas (Millennium Ecosystem Assessment, 2005)

Segundo Carpenter *et al.* (2006) são necessários estudos sobre os padrões da dependência humana em relação aos serviços do ecossistema – principalmente os serviços sem valor de mercado, e avaliações sistemáticas locais e regionais dos valores dos serviços dos ecossistemas. É importante a detecção dos inúmeros indicadores dos serviços dos ecossistemas e a análise integrada dos vários serviços que eles representam para a avaliação de futuras conseqüências para o bem-estar humano e para a tomada de decisões locais.

O entendimento dos serviços dos ecossistemas também é essencial para a avaliação dos custos e benefícios das diferentes abordagens de gerenciamento. A valoração de mercado destes serviços, os quais refletem o seu valor social, é determinante no planejamento de políticas econômicas. Além disso, valorar os serviços do meio ambiente é uma forma de alcançar mais facilmente a compreensão dos tomadores de decisão e do público em geral em relação a serviços de grande importância como, por exemplo, controle climático, regulação de enchentes e de doenças (Carpenter *et al.*, 2006).

É necessário (1) quantificar as funções de produção ecológica que descrevem a relação entre as condições do ecossistema e a provisão dos serviços do ecossistema e (2) integrar os estudos ecológicos e econômicos, a fim de alcançar um gerenciamento

adequado dos recursos, e conseqüentemente a sustentabilidade e o bem-estar humano.

A valoração representa para a sociedade uma ferramenta para a tomada das melhores decisões relacionadas aos ecossistemas. Mas os valores considerados não devem ser somente os individuais; devem incluir as metas sociais aspiradas pela sociedade.

Para o neotrópico<sup>2</sup> a valoração dos serviços é de extrema importância pelas particularidades de seus ecossistemas e planos de conservação e preservação devem ser implementados para a manutenção dos bens e serviços que estão ameaçados pelas mudanças climáticas (Tundisi e Matsumura-Tundisi, 2008). Nos neotrópicos a incorporação do capital natural ao Produto Interno Bruto (PIB) é uma das tendências fundamentais (Paulo Haddad, informação pessoal à J.G. Tundisi).

#### **1.4. Abordagem para a valoração dos serviços ecossistêmicos**

Segundo De Groot (1992;1994) a valoração se inicia com a caracterização da área de estudo e a posterior avaliação das funções ambientais que contribuem ao bem-estar humano, em conjunto com a identificação das relações sócio-econômicas que surgem dos bens e serviços disponíveis. Após a identificação, escolhe-se o método mais adequado para a valoração dos serviços ambientais de acordo com o objetivo do estudo.

##### **1.4.1. Métodos de valoração ambiental**

De acordo com Gren *et al.* (1994), o valor total dos serviços ecossistêmicos de uma determinada área é dividido em duas categorias: (a) valores primários – relacionados com a energia utilizada na auto-manutenção e desenvolvimento do ecossistema, e podem ser determinados por métodos biofísicos e tecnológicos; (b) valores secundários – gerados por fluxos resultantes das interações do ecossistema, utilizadas para o bem-estar humano. Estes últimos valores são dependentes da manutenção dos valores primários e podem ser medidos por metodologias baseadas em comportamento, como a Valoração Contingente. Embora os métodos para avaliação dos valores primários sejam importantes para uma estimativa precisa dos valores secundários, a determinação destes últimos é essencial na produção de avaliações iniciais dos serviços ecossistêmicos para objetivos de gerenciamento ambiental. Os métodos descritos a seguir são os mais comuns destinados à

---

<sup>2</sup> Neotrópico: domínio biogeográfico que inclui a América do Sul, América Central e Caribe.

determinação dos valores secundários, quando estes não são captados integralmente pelos preços de mercado.

#### **1.4.1.1. Métodos baseados nas teorias de análise econômica**

##### **a. Gastos preventivos (custo evitado)**

Estão relacionados com os serviços ecossistêmicos, como prevenção de enchentes e ciclagem biogeoquímica, que evitam os custos que poderiam ocorrer (como prejuízos de propriedades e da saúde) caso estes serviços não existissem. São quantificados calculando-se os danos que a ausência destes serviços poderiam causar (Farber *et al.*, 2002).

##### **b. Custo de reposição**

Relacionado a serviços que poderiam ser substituídos por sistemas artificiais (Farber *et al.*, 2002) . Estes valores são quantificados calculando-se o custo da implantação dos sistemas artificiais que substituiriam os serviços de sistemas naturais, embora alguns serviços sejam insubstituíveis (Tabela II).

**Tabela II.** Tecnologias que substituem alguns serviços dos ecossistemas.

<b>Tipo de função e seu valor</b>	<b>Tecnologias de reposição</b>
<b>Acúmulo de turfa</b>	
<b>Acúmulo e estocagem de matéria orgânica</b>	Fertilizantes artificiais
<b>Função hidrológica</b>	
<b>Manutenção da qualidade da água</b>	Transporte de água
<b>Manutenção da recarga de aquíferos</b>	Bombeamento de fontes distantes
<b>Manutenção do nível das águas superficiais</b>	Perfuração de poços profundos
	Filtragem da água do mar
<b>Amortecimento de cheias</b>	Barragens para irrigação
	Bombeamento de água para reservatórios
	Regulação através de comportas
	Bombeamento para outros rios
<b>Funções biogeoquímicas</b>	
<b>Processamento de esgotos</b>	Plantas de tratamento de esgotos
	Transporte de esgotos
<b>Ciclagem de nutrientes</b>	Reservatórios de resíduos
<b>Manutenção da qualidade da água</b>	Fiscalização
	Redução de nitrogênio nos tratamentos de esgoto
	Plantas de purificação de água

Tabela II (cont.)

<b>Funções da cadeia alimentar</b>	
<b>Prover alimento para o Homem e animais domésticos</b>	Produção agrícola Importação de alimentos
<b>Fornecimento de abrigo</b>	Materiais para abrigo
<b>Sustento de espécies de peixes e dependência da flora e fauna em relação às áreas alagadas</b>	Trabalho feito por organizações não-governamentais
<b>Diversidade de espécies: banco de material genético</b>	Reposição impossível
<b>Valor recreacional: observação de pássaros, pesca, etc.</b>	Reposição impossível
<b>Valores estéticos e espirituais</b>	Reposição impossível

Fonte: Mitsch apud Vergara (1996).

#### **c. Fator rendimento (mudança na produtividade)**

Relacionados aos serviços que alteram o rendimento econômico, como por exemplo, a melhoria da qualidade da água que aumenta a captura de peixes, o que aumenta os rendimentos dos pescadores (Farber *et al.*, 2002). Por outro lado, o impacto do despejo de substâncias tóxicas em um rio pode ser medido através do valor econômico da perda da produção pesqueira (Munasinghe apud Vergara, 1996).

#### **d. Custo de Viagem**

Mede o valor de bens e serviços que requerem gastos com deslocamento, estadia e/ou alimentação para seu desfrute. Reflete o quanto os indivíduos estão dispostos a pagar para usufruir destes serviços (Lopes, 2007). O valor econômico da área é resultado do custo de acesso aos benefícios.

#### **e. Preço Hedônico (valor de propriedade)**

A demanda por bens ou serviços reflete o valor de determinadas áreas que indivíduos estão dispostos a pagar a mais que seu valor real. Observa-se que os preços de habitações nas praias costeiras excedem os preços de habitações localizadas no interior, que não possuem este atrativo (praias) (Lopes, 2007). Os valores da

disposição a pagar refletem nos valores dos serviços ambientais oferecidos nestas áreas.

#### **f. Valor contingente**

Este método é aplicado com base na disposição dos indivíduos a pagar por determinado bem ou recurso, refletindo na utilidade atribuída a estes indivíduos por bens que desejam comprar. São criados mercados hipotéticos para a determinação dos valores, já que os serviços ambientais não têm mercados próprios específicos (Motta apud Vergara, 1996). Indivíduos podem estar dispostos a pagar pela entrada ou licença para usar um local livre de poluição, ou seja, pagam pela preservação ambiental a fim de poder usufruir deste ambiente. Ou ainda podem estar dispostos a pagar pela melhoria da qualidade da água para o aumento na chance de apanhar peixes (Lopes, 2007).

#### **1.5. Relação dos valores quantitativos e qualitativos dos serviços ecossistêmicos com seus valores ecológicos, econômicos e sociais**

Quando a valoração quantitativa de um serviço não for possível, podem ser atribuídos valores qualitativos. De Groot (1992; 1994) propõe uma matriz de identificação das funções ecológicas com seus valores ecológicos, sociais e econômicos. Os valores ecológicos e sociais são aqueles que direta ou indiretamente beneficiam o bem-estar humano, mas não são contabilizados nos preços de mercado, em oposição aos valores econômicos que são consequência dos usos diretos do capital natural. As seguintes sub-categorias destes três valores especificam à qual nicho cada serviço está relacionado:

Valores ecológicos:

- valor de conservação: está relacionado com os serviços derivados das funções de regulação dos ambientes naturais ou semi-naturais.
- valor de existência: relacionado aos valores “intangíveis, intrínsecos e éticos” (Costanza, 1997) atribuídos à natureza; ao seu valor futuro para populações não-humanas e humanas.

Valores sociais:

- valores de opção: refletem a preferência humana dos serviços em relação ao futuro.
- valor de saúde: relacionado às funções que contribuem para a saúde humana.

Valores econômicos:

- valores de uso de consumo: relacionado ao consumo (colheita) direto dos bens ecossistêmicos, sem passar pelos preços de mercado.
- valores de uso produtivo: relacionado ao consumo direto dos bens e serviços ecossistêmicos, passando pelos preços de mercado.
- emprego: relacionado aos valores de emprego proporcionados pelos serviços.

### **1.6. Forçantes (“drivers”) de alterações dos serviços ecossistêmicos**

Em adição à valoração quantitativa e qualitativa dos serviços do ecossistema, e sua relação com os valores ecológicos, sociais e econômicos é necessário identificar os fatores (forçantes ou “drivers”) que influenciam mudanças positivas e negativas nos serviços identificados. As forçantes diretas são fatores físicos possíveis de serem monitorados, como introdução de espécies exóticas e alterações no uso e ocupação do solo e as forçantes indiretas são fatores que alteram as diretas, como demografia e economia (World Resources Institute, 2008).

### **1.7. Valoração ecológica e reservatórios de hidrelétricas: justificativa do estudo**

Reservatórios são de importância estratégica para múltiplos fins incluindo geração de energia renovável, abastecimento de água, inúmeras oportunidades de trabalho para a população humana e novos desenvolvimentos sociais e econômicos, entre outros, a partir do início de sua construção (Tundisi e Matsumura-Tundisi, 2008; Tundisi 2008).

A construção de reservatórios para a geração de energia hidrelétrica causa diversos impactos positivos e negativos nos recursos naturais e na sociedade e, portanto é essencial avaliar a extensão destas ações antrópicas, objetivando a formulação de práticas que visem à sustentabilidade. A avaliação de Impacto Ambiental é o método mais usual para a avaliação dos efeitos de uma nova atividade econômica, podendo ser realizada antes ou depois da efetiva implantação desta atividade (Straskraba e Tundisi, 2008). Inúmeros estudos de impactos no meio ambiente, conseqüentes de ações antrópicas, foram realizados em vários países (Müller-Plantenberg e Ab’Saber, 1998). Straskraba e Tundisi (2008) avaliaram os possíveis efeitos ambientais, positivos e negativos, que podem ocorrer resultantes da construção de reservatórios:

### Efeitos positivos:

- Produção de energia – hidroeletricidade.
- Criação de purificadores de água com baixa energia.
- Retenção de água no local.
- Fonte de água potável e para sistemas de abastecimento.
- Representativa diversidade biológica.
- Maior prosperidade para parte das populações locais.
- Criação de possibilidades de recreação.
- Proteção contra cheias das áreas a jusante.
- Aumento das possibilidades de pesca.
- Armazenamento de água para períodos de seca.
- Navegação.
- Aumento do potencial para irrigação.

### Efeitos negativos:

- Deslocamento de populações.
- Emigração humana excessiva.
- Deterioração das condições da população original.
- Problemas de saúde pela propagação de doenças hidricamente transmissíveis.
- Perda de espécies nativas de peixes de rios.
- Perda de terras férteis e de madeira.
- Perda de várzeas e ecótonos terra/água – estruturas naturais úteis. Perda de terrenos alagáveis e alterações em habitats de animais.
- Perda de biodiversidade (espécies únicas); deslocamento de animais selvagens.
- Perda de terras agrícolas cultivadas por gerações, como arrozais.
- Excessiva imigração humana para a região do reservatório, com os conseqüentes problemas sociais, econômicos e de saúde.



- Necessidade de compensação de terras agrícolas, locais de pesca e habitações, bem como peixes, atividades de recreio e subsistência.
- Degradação da qualidade hídrica local.
- Redução das vazões a jusante do reservatório e aumento nas suas variações.
- Redução da temperatura e do material em suspensão nas vazões liberadas (zero em alguns casos).
- Aumento do H<sub>2</sub>S e do CO<sub>2</sub> no fundo e nas vazões liberadas.
- Barreira à migração de peixes.
- Perda de valiosos recursos hídricos e culturais. Por exemplo, a perda em Oregon, nos Estados Unidos, de inúmeros cemitérios indígenas e outros locais sagrados, acarretando a perda da identidade cultural de algumas tribos.
- Perda de valores estéticos.

Em complementação ao estudo de impactos positivos e negativos de reservatórios, uma nova abordagem é proposta por Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008), baseada na análise de custo-benefício da construção em regiões neotropicais, através da valoração dos serviços ecossistêmicos, proporcionando oportunidade para uma avaliação adequada dos reservatórios a serem construídos. A valoração dos serviços oferecidos por estes sistemas aquáticos pode ser o alicerce para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis e para a implementação de conceitos de ecologia e ecotecnologias, a fim de se fazer o melhor uso dos serviços dos reservatórios em todas as escalas - social, econômica e ambiental.

Sob esta ótica e considerando a importância estratégica dos reservatórios para múltiplos fins, o estudo teórico dos serviços oferecidos por estes ecossistemas aquáticos é uma ferramenta essencial para um bom desenvolvimento epistemológico da teoria sobre valoração econômica de reservatórios - o que inclui o estudo aprofundado e sistemático dos serviços ecológicos oferecidos por estes sistemas e suas relações com o bem-estar humano - como subsídio para a aplicação dos métodos de valoração, análises de custo-benefício e gerenciamento, integrado e preditivo (Tundisi, 2008) destes sistemas.

O reservatório da UHE Carlos Botelho é um sistema aquático no qual muitas pesquisas científicas foram realizadas em várias áreas, mas há uma lacuna no estudo dos serviços ecossistêmicos. A identificação destes serviços é essencial para uma avaliação inicial do potencial deste ecossistema aquático na promoção do bem-estar

humano e como ferramenta para estudos de planos de gerenciamento adequados da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré. Neste caso, é necessário considerar também as áreas alagadas à montante do reservatório, pois estes dois sistemas aquáticos interagem, havendo forte influência dos serviços ecossistêmicos das áreas alagadas nos serviços ecossistêmicos do reservatório.

Os 40 anos de pesquisas científicas desenvolvidas na represa da UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa) e as áreas alagadas do Rio Itaqueri e do Ribeirão do Lobo, constituem um avanço de conhecimento que é fundamental para a valoração dos serviços ambientais desta represa. Por este motivo, justifica-se não incluir neste estudo a área total da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré, e sim considerar somente as áreas superficiais da represa da UHE Carlos Botelho e destas duas maiores áreas alagadas.

Este estudo dos serviços ambientais e valoração dos mesmos é uma etapa avançada das pesquisas já desenvolvidas e conta com um arcabouço de conhecimento extremamente útil para este trabalho (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 1995).

## **1.8. OBJETIVOS**

O objetivo deste estudo é realizar a identificação dos serviços ecossistêmicos e suas forçantes, da área da UHE Carlos Botelho (680 hectares) e das suas maiores áreas alagadas, pertencentes ao Rio Itaqueri e ao Ribeirão do Lobo (área – áreas alagadas - 1.960 hectares) e avaliar suas relações com os aspectos ecológicos, sociais e econômicos, como contribuição inicial para:

- a construção de um banco de dados dos serviços ecossistêmicos da UHE Carlos Botelho e suas principais áreas alagadas;
- a construção de um arcabouço de conhecimento para futuros planos de gerenciamento ambiental na bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré;
- a construção de conhecimento para futuras análises de custo-benefício da construção de represas de geração de energia hidrelétrica na região neotropical.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização da área de estudo

#### 2.1.1. Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré:

A bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré localiza-se entre 49°32' - 47°30' de longitude e 21°37' - 22°51' de latitude e é a décima terceira Unidade de Gestão de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Seus principais rios são: Médio-Tietê, Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira.

Está inserida na Depressão Periférica do Estado de São Paulo junto aos aquíferos Bauru, Serra Geral e Botucatu. O clima é tropical úmido (de outubro a março) e inverno seco (abril a setembro) com ventos intensos. O relevo é variável, estando seu ponto de maior altitude em São Carlos (São Paulo, Brasil), onde existem muitas nascentes que alimentam a bacia. Freire *et al.* (1980) identificaram as seguintes classes de solo nesta bacia: latosolo vermelho escuro, fase arenosa; areia quartzosa; solo podzólico vermelho-amarelo; solos orgânicos e litosolo substrato basaltito. Outras características da bacia estão descritas na Tabela III.

**Tabela III.** Características gerais e disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré (retirado de Tundisi *et al.*, 2003 e Tundisi *et al.*, 2008).

<b>Área</b>	227,7 km <sup>2</sup>
<b>Densidade de drenagem</b>	0,75 km/km <sup>2</sup>
<b>Declividade da bacia</b>	0,00575 m/m
<b>Altitude máxima</b>	940 m
<b>Altitude média</b>	770 m
<b>Altitude mínima</b>	680 m
<b>Vazão disponível em condições críticas</b>	26 m <sup>3</sup> /s
<b>Precipitação total média anual</b>	1.310 mm
<b>Vazão superficial média</b>	97 m <sup>3</sup> /s
<b>Vazão superficial mínima</b>	40 m <sup>3</sup> /s
<b>Vazão de referência</b>	286 m <sup>3</sup> /s
<b>Disponibilidade subterrânea</b>	12,9 m <sup>3</sup> /s

O uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré são apresentados na Tabela IV, onde é observada a predominância de atividades agropecuárias como pastagem e atividades agrícolas, como o cultivo da cana-de-açúcar. Outros tipos de cultivos perenes e temporários também são destacados. Além disso, são desenvolvidas atividades industriais através de usinas de açúcar e álcool, fundições, mineração de areia e curtume (CETESB, 2004). Nota-se significativa porcentagem de vegetação rasteira residual, áreas de reflorestamento e uma pequena porcentagem de várzea e cerrado.

**Tabela IV.** Porcentagem do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré.

<b>Pastagens</b>	33,83
<b>Cana-de açúcar</b>	23,49
<b>Vegetação rasteira residual</b>	16,21
<b>Reflorestamento</b>	7,7
<b>Vegetação baixa residual</b>	5,05
<b>Culturas temporárias</b>	4,55
<b>Culturas perenes</b>	3,41
<b>Cidades (acima de 30.000 hab.)</b>	2,55
<b>Várzea</b>	1,3
<b>Cerrado</b>	1,22
<b>Campo cerrado</b>	0,32
<b>Floresta secundária</b>	0,29
<b>Cerradão</b>	0,09

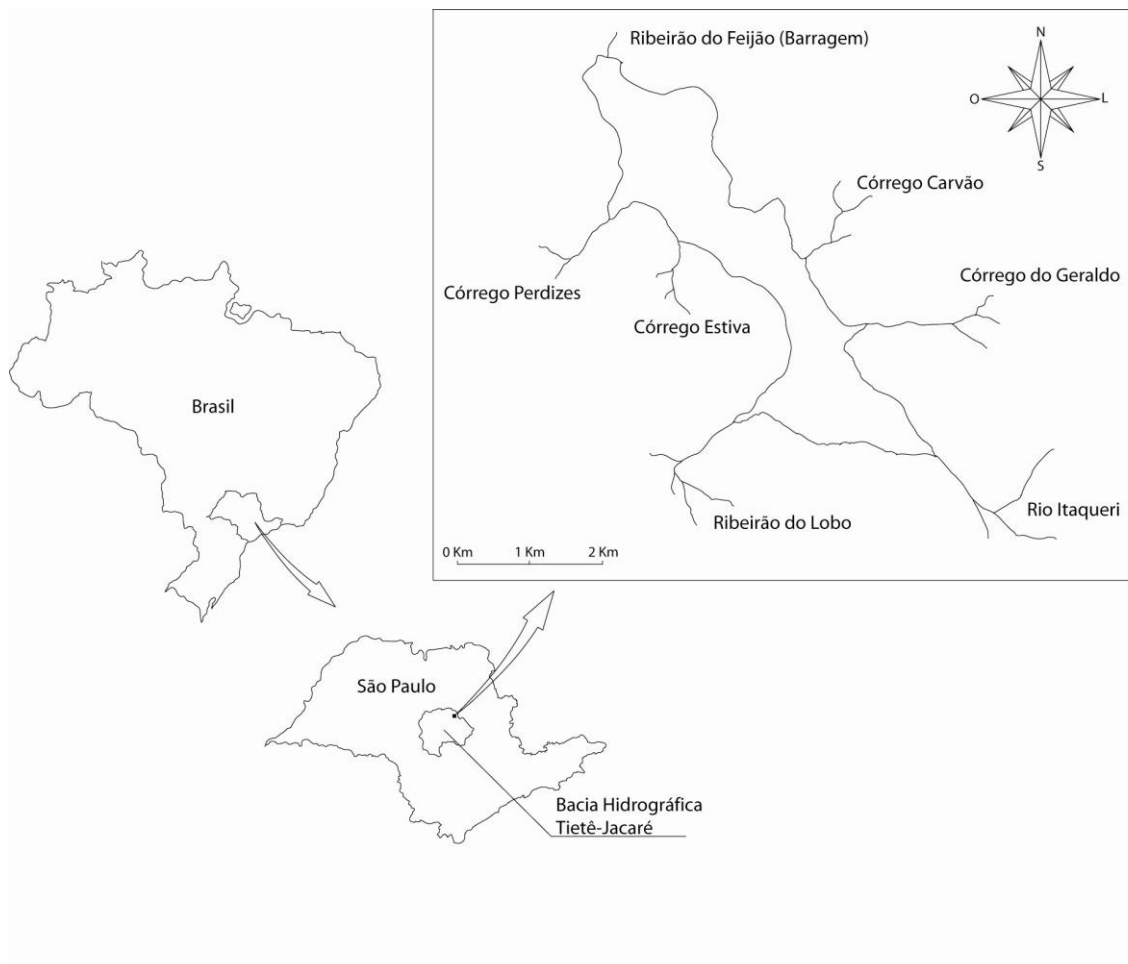
Fonte: Tundisi *et al.* (2008).

### 2.1.2. Usina Hidrelétrica de Energia (UHE) Carlos Botelho – represa do Lobo-Broa:

A UHE Carlos Botelho foi construída em 1936 com a finalidade de produção de energia elétrica em pequena escala e atualmente seus usos foram multiplicados, incrementando o setor social e econômico da região. Localiza-se entre 22°15'S de latitude e 47°49'W de longitude, entre os municípios de Itirapina e Brotas, no estado de São Paulo, Brasil (Figura 5), e pertence à bacia hidrográfica Tietê-Jacaré e sub-bacia Jacaré-Guaçú. Segundo o “site” de “internet” Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2011), o município de Itirapina possui 15.524 habitantes e o município de Brotas 21.580 habitantes. A represa recebe também a visitação de habitantes do município de São Carlos (221.950 habitantes).

Os afluentes que contribuem com as maiores vazões para o reservatório são o Rio Itaqueri (vazão média de 3,11 m<sup>3</sup>/s) e o Ribeirão do Lobo (vazão média de 0,99

m<sup>3</sup>/s) (Tundisi *et al.*, 2003), os quais possuem também as mais extensas áreas alagadas, que somam 1.960 hectares (Vergara, 1996). As características morfométricas do reservatório estão dispostas na Tabela V.



**Fig. 5.** Localização da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré e do reservatório da UHE Carlos Botelho no estado de São Paulo, Brasil, e seus tributários (Desenho de Gustavo Rincón Mazão).

À margem leste e no trecho da margem noroeste próximo à barragem, estão situados loteamentos de condomínios, clubes e pousadas. Próximo à barragem da represa está localizado o Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CHREA), da Universidade de São Paulo (USP). Na região da margem sudoeste há uma pequena área pertencente à USP, com vegetação em recuperação e ao lado desta, a Estação Ecológica de Itirapina, com 2.300 hectares e o predomínio de campos sujos, campos cerrados, campos limpos e menores áreas de cerrado *sensu stricto*, mata de galeria e brejos. Os usos do solo na bacia do Rio Itaqueri, o principal afluente da represa do Lobo-Broa, são de cultivos agrícolas e criação de animais, com intenso despejo não-

pontual de resíduos orgânicos e inorgânicos (fertilizantes e pesticidas) e metais provenientes da mineração de areia. O Rio Itaqueri recebe também alta carga de resíduos orgânicos provenientes de ineficientes lagoas de tratamento de efluentes do município de Itirapina. De acordo com Luzia (2009), em relação ao estado de trofia, o reservatório do Lobo-Broa comporta-se, em geral, como um sistema oligomesotrófico, com tendências de mesotrofia a eutrofia na entrada do Rio Itaqueri, à montante do reservatório.

**Tabela V.** Características morfométricas do reservatório UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa).

<b>Comprimento máximo</b>	8 km
<b>Largura máxima</b>	2 km
<b>Largura média</b>	0,9 km
<b>Profundidade máxima</b>	12,0 m
<b>Área de superfície</b>	6,8 km <sup>2</sup>
<b>Perímetro</b>	21,0 km
<b>Volume</b>	22,0 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>

(Fonte: Tundisi *et al.*, 2003).

Destaca-se que o reservatório do Lobo-Broa está inserido na Área de Proteção Ambiental do perímetro do Município de Corumbataí, estabelecida pelo Decreto Estadual Nº 20.960, de 08 de junho de 1983 (site de internet), devido aos elementos remanescentes de fauna e flora e aos elementos paisagísticos que atribuem à área “valores ambientais intrínsecos”, entre outros fatores. Segundo este decreto, são consideradas “zonas de vida silvestre”, os banhados junto ao Ribeirão do Lobo, Rio Itaqueri e Ribeirão do Feijão; as áreas de campos naturais e cerrados situados na periferia destes banhados; e o próprio ecossistema aquático do reservatório Carlos Botelho.

## 2.2. Análises dos serviços ecossistêmicos

As análises dos serviços ecossistêmicos foram aplicadas à área superficial do reservatório (680 hectares) e das áreas alagadas do Rio Itaqueri e Ribeirão do Lobo que somadas têm aproximadamente 1.960 hectares, totalizando 2.640 hectares.

Para a avaliação dos serviços ecossistêmicos e suas relações ecológicas, sociais e econômicas foi organizada uma matriz, de acordo com De Groot (1992; 1994), na qual os serviços identificados na área de estudo foram listados e avaliados qualitativamente ou quantitativamente (Tabela VI). Os serviços ecossistêmicos das

áreas alagadas e do reservatório foram listados juntos, pois são ecossistemas aquáticos que se conectam e interagem entre si. Não foram considerados os valores de opção, pois não foram aplicadas metodologias de campo para avaliação da preferência humana pelos serviços.

Os valores qualitativos foram atribuídos aos serviços aos quais não foi possível fazer uma primeira estimativa de seu valor monetário:

- + (um sinal positivo), para serviços que afetam indiretamente o bem-estar humano;
- ++ (dois sinais positivos), para serviços que afetam diretamente o bem-estar humano.

Os valores quantitativos possíveis de serem estimados foram calculados com base em:

- informações obtidas em literatura;
- informações obtidas através de comunicação oral;

Para a conversão de moedas, foi utilizada a cotação do dólar americano do dia 04 de abril de 2011, onde R\$ 1,00 = USD 0,62 e € 1,00 = USD 1,42; segundo o “site de internet” “<http://br.finance.yahoo.com/moedas/conversor>”.

O preço do carbono, por convenção, foi fixado em € 14,00 por tonelada de carbono, de acordo com estimativas do “site” de “internet” do Instituto Carbono Brasil dos valores das permissões de carbono da União Européia, de dezembro de 2010.

As forças diretas e indiretas de alterações nos serviços identificados também foram analisadas e discutidas.

### 3. RESULTADOS

**Tabela VI.** Matriz de identificação dos serviços ecossistêmicos das áreas alagadas do Rio Itaqueri e Ribeirão do Lobo, e da UHE Carlos Botelho (USD/ha/ano).

		Valores Ecológicos		Valores Sociais	Valores Econômicos			Fontes
Serviço	Função	Valor de Conservação	Valor de Existência	Saúde	Valor de Uso de Consumo	Valor de Uso Produtivo	Emprego	
<b>Regulação</b>		<b>13.205.506,13</b>				<b>102.423.999,84</b>		
Regulação da composição química da atmosfera	Regulação da qualidade do ar atmosférico pela emissão ou extração de substâncias químicas.	5.506,13	++	++				Angelini & Petreire, 1996
Regulação do clima local	Regulação da temperatura, precipitação e todos os processos biológicos dependentes das variáveis climáticas em escala local.	++	++	++				
Regulação dos fluxos de água e prevenção de enchentes	Integridade da resposta do ecossistema às flutuações ambientais.	13.200.000,00	++	++				Thibodeau & Ostro (apud Santos, 2000)
Estoque de água e recarga subterrânea	Regulação do fluxo de água para recarga subterrânea.	++	++	++	++	102.423.999,84	++	Monteiro, 2003
Retenção de sedimentos, formação de solo e manutenção de sua fertilidade	Retenção de partículas de sedimento, substâncias orgânicas e nutrientes no ecossistema.	++	++	+				



**Tabela VI (continuação)**

		Valores Ecológicos		Valores Sociais	Valores Econômicos			Fontes
Serviço	Função	Valor de Conservação	Valor de Existência	Saúde	Valor de Uso de Consumo	Valor de Uso Produtivo	Emprego	
<i>Regulação</i>		<b>92,186,65</b>						
Fixação de energia solar (fotossíntese) e produção de biomassa	Transformação de energia luminosa em energia química (estrutura física dos organismos – biomassa) para os elementos subseqüentes da cadeia trófica.	<b>88.377,49</b>	++	+	+	+	+	Angelini & Petrere, 1996
Retenção de nutrientes e interferência nos ciclos biogeoquímicos	Nutrientes e outros elementos químicos essenciais para a vida são reciclados e estocados.	<b>3.809,16</b>	++	++				
Manutenção de habitats de reprodução	Habitat para reprodução da biota.	++	++	+				
Manutenção da diversidade biológica	Habitat para a fauna e flora.	++	++	++	*++	*++	*++	
Ciclagem da água	Movimento da água através dos seus diferentes reservatórios.	++	++	++				

Tabela VI (continuação)

		Valores Ecológicos		Valores Sociais	Valores Econômicos			Fontes
Serviço	Função	Valor de Conservação	Valor de Existência	Saúde	Valor de Uso de Consumo	Valor de Uso Produtivo	Emprego	
<i>Suporte</i>					<b>14.904,00</b>	<b>3.956.440,33</b>	<b>587.862,55</b>	
Conversão de energia	Estoque e retenção de água para a produção de energia hidrelétrica.			++		<b>745.272,12</b>	++	Tundisi, comunicação oral
Recreação e turismo	Disponibilização de espaço físico para lazer humano.			++	<b>14.904,00 (pesca)</b>	<b>3.211.168,21 (loteamentos construídos)</b>	<b>587.862,55 (emprego)</b>	Pereira, 2005; Aratu Geração S/A, comunicação pessoal; Vergara, 1996
Transporte	Disponibilização de condições para o transporte.			++	++			
*Aquicultura	Disponibilidade de condições químicas e físicas para a reprodução de espécies em larga escala para o mercado.			*++	*++	*++	*++	
<i>Produção</i>								
Oxigênio	Produção de oxigênio a partir da fotossíntese.	++	++	++				
Alimento	Porção da produção primária bruta que pode ser extraída como alimento.	++	++	++	+			
Recursos genéticos	Base biológica para a variabilidade de espécies.	++	++	+		*++	*++	
Recursos medicinais	Fonte de recursos medicinais.		++	*++	*++	*++	*++	

Tabela VI (continuação)

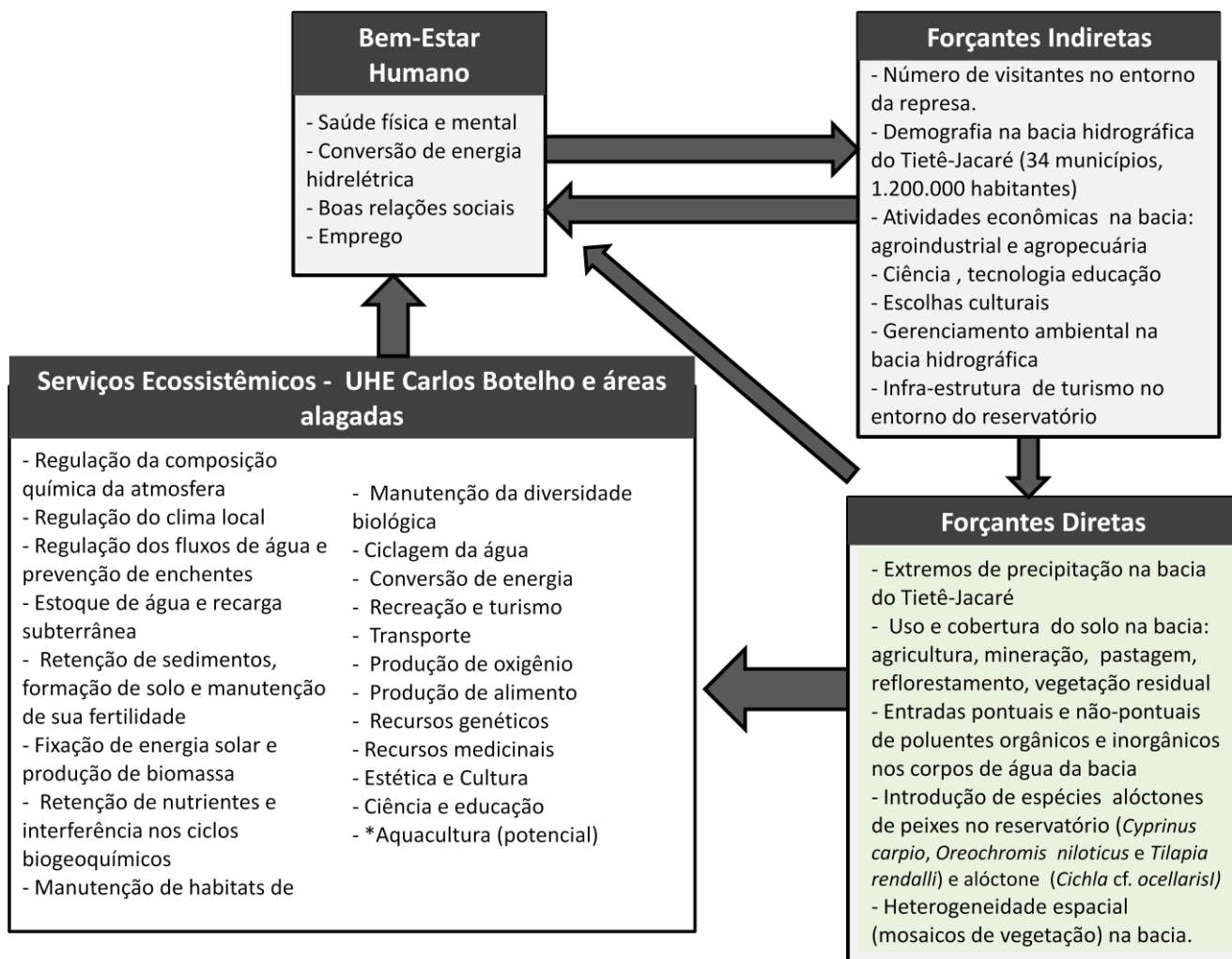
		Valores Ecológicos		Valores Sociais	Valores Econômicos			Fontes
Serviço	Função	Valor de Conservação	Valor de Existência	Saúde	Valor de Uso de Consumo	Valor de Uso Produtivo	Emprego	
<i>Informação</i>						<b>109.838,91</b>	<b>54.919,46</b>	
Estética e Culturais	Valores que as pessoas atribuem à paisagem e a forma como entendem que vão usá-la.	++	++	++	++	++	++	
Ciência e educação	Disponibilidade de estruturas que possibilitam o desenvolvimento de pesquisa científica e, portanto, valores educacionais.			++		<b>109.838,91</b>	<b>54.919,46</b>	(Tundisi, oral communication)

**Legenda:**

+ : serviços que afetam indiretamente o bem-estar humano

++: serviços que afetam diretamente o bem-estar humano.

\* Serviços potenciais.



Fonte: Modificado de Millennium Ecosystem Assessment, 2005.

**Fig. 6.** Forçantes diretas e indiretas de influência nos serviços ecossistêmicos das áreas alagadas e reservatório da UHE Carlos Botelho.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1. CONSIDERAÇÕES ESPECÍFICAS

**4.1.1.** (a) *Fixação de energia solar (fotossíntese) e produção de biomassa*, (b) *regulação da composição química da atmosfera*, (c) produção de oxigênio:

A fotossíntese é uma função de regulação de extrema importância para todos os outros serviços ecossistêmicos da área de estudo. É realizada pelos organismos autótrofos, que utilizam nutrientes, água (H<sub>2</sub>O) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para converter a energia luminosa (solar) em energia química, ou seja, em diferentes estruturas de carboidratos que serão utilizados na estrutura física (biomassa) e manutenção fisiológica do próprio autótrofo, mas também utilizados pelos consumidores seguintes da cadeia trófica para a produção de biomassa que pode representar um bem ecossistêmico para consumo humano, como peixes (função de produção “alimento”), gerando valores econômicos de consumo (como no caso da retirada de peixes da represa da UHE Carlos Botelho, pela pesca em pequena escala, sem passar pelo mercado), de produção e de emprego, como no caso da potencial exploração da aquicultura nesta represa, gerando fluxos econômicos e emprego (Tabela VI).

A fotossíntese pode ser expressa em produção primária, que é a taxa de transformação da energia luminosa (solar) em energia química (carboidratos). Para o cálculo deste valor levou-se em conta uma estimativa da produção primária do fitoplâncton e das macrófitas presentes somente na área do reservatório (680 ha ou 6.800.000 m<sup>2</sup>). A produção primária média estimada do fitoplâncton é de 13,98 mgC.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup> (Matheus e Tundisi *apud* Tundisi e Matsumura-Tundisi, 2008), que corresponde a 5,1 x 10<sup>-5</sup> tonC. m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup> (ou 51.027,00 mgC.m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>). Multiplicando 5,1 x 10<sup>-5</sup> tonC. m<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup> por USD 19,90 tonC e por 6.800.000 m<sup>2</sup>, e considerando-se que a represa recebe 10 horas de luminosidade diárias, obtém-se o valor de **USD 6.901,32 por ano, para a produção primária do fitoplâncton (Tabela VII)**.

Para o cálculo da produção primária das macrófitas do reservatório foram utilizadas as informações sobre as espécies de macrófitas presentes na área, segundo Delello (2008) e Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008), e os valores de produção primária semelhantes destas espécies ou gêneros, revisados por Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008) (Tabela VII).

**Tabela VII.** Gêneros e/ou espécies identificados por Delello (2008) e revisados por e Matsumura-Tundisi (2008) presentes na represa da UHE Carlos Botelho, cuja produção primária foi revisada por Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008).

Alguns gêneros e species identificados por Delello (2008)	Valores de produção primária revisados por Tundisi & Matsumura-Tundisi (2008)	Valores de produção primária média revisados por Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008) (ton.ha <sup>-1</sup> .year <sup>1</sup> )	Autores
<i>Cyperus sp.</i>	<i>Cyperus giganteus</i>	16	Neiff <i>apud</i> Tundisi & Matsumura-Tundisi (2008).
<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Eichhornia crassipes</i>	12,46	Neiff e Poi de Neiff <i>apud</i> Tundisi & Matsumura-Tundisi (2008).
<i>Hymenachne amplexicaulis</i>	<i>Hymenachne amplexicaulis</i>	18,5	Neiff <i>apud</i> Tundisi & Matsumura-Tundisi (2008).
<i>Nymphoides indica</i>	<i>Nymphoides indica</i>	7,6	Meneses <i>apud</i> Tundisi & Matsumura-Tundisi (2008).
<i>Nymphaea ampla</i>	<i>Nymphaea amazonia</i>	1,85	Neiff e Poi de Neiff <i>apud</i> Tundisi & Matsumura-Tundisi (2008).
-----	<i>Pontederia cordata</i>	3,8	Meneses <i>apud</i> Tundisi & Matsumura-Tundisi (2008).

Somando os valores médios, a produção primária total estimada de macrófitas é de 60,21 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Multiplicando este valor a USD 19,90 ton.C, obtém-se USD 1.198,18 ha.ano<sup>-1</sup>. Considerando que as macrófitas podem ocupar 10% (68 ha) da área total superficial do reservatório e somando a este resultado (USD 81.476,17 por ano) o valor da produção primária do fitoplâncton (USD 6.901,32 por ano), o valor estimado total do serviço ecossistêmico “fixação de energia solar e produção de biomassa” é USD 88.377,49 por ano (Tabela VI).

O consumo e liberação de determinadas concentrações de gás carbônico e oxigênio, resulta na regulação da composição química da atmosfera e sistemas aquáticos locais, com influências regionais e globais. Apesar de o reservatório da UHE Carlos Botelho apresentar-se em estado meso-oligotrófico, os resultados obtidos através da modelagem com o software Ecopath II (Angelini e Petrere, 1996), mostram que a produção primária total deste sistema é 40 vezes maior que a respiração. Embora esta modelagem tenha sido realizada utilizando-se dados históricos das décadas passadas, indica que não há liberação significativa de gases de efeito estufa. Resultados da modelagem indicam que o balanço produção primária total/respiração total é positivo,  $40.69 \text{ gC.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ . Multiplicando-se o valor do balanço pela área da represa ( $6.800.000 \text{ m}^2$ ) e convertendo este resultado para toneladas, obtém-se 276,69 toneladas de carbono por ano. Esse valor, multiplicado por USD 19,90 ton.C, resulta no valor total estimado para o serviço de **regulação de gases de USD 5.506,13 por ano**. Dois valores qualitativos foram atribuídos aos valores de existência e saúde, pela importância intrínseca e influência direta deste serviço na saúde humana.

Como observam Costanza *et al.* (1997), uma única função poder gerar mais de um serviço ecossistêmico. A função de extração do ambiente ou emissão de elementos ou substâncias químicas resultantes da fotossíntese gera dois serviços: o de “regulação da composição química da atmosfera” e o de “produção de oxigênio”, este último importante para a reoxigenação do sistema aquático, contribuindo para a qualidade da água na represa para a biota e o bem-estar humano. Para não haver dupla contagem desta função, o serviço ecossistêmico “produção de oxigênio” foi valorado qualitativamente com os maiores valores para os valores ecológicos e sociais.

### **Forçantes:**

O despejo de poluentes orgânicos (esgoto doméstico e dejetos provenientes da criação de animais) e inorgânicos (resíduos de fertilizantes e pesticidas) nos corpos de água da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré pode afetar estes serviços ecossistêmicos atuando como forçante direta (Fig. 6). A matéria orgânica em suspensão pode alterar a penetração de luz nos sistemas aquáticos, prejudicando a fotossíntese, absorção e produção de gases e produção primária. O acúmulo de matéria orgânica no reservatório pode provocar um consumo elevado de oxigênio dissolvido pelo processo de decomposição e a conseqüente anoxia, prejudicando a fauna, flora e a qualidade da água para recreação humana.

Forçantes indiretas (Fig. 6) como gerenciamento e educação ambientais, demografia, atividades econômicas e as tecnologias utilizadas ao longo da bacia hidrográfica influenciam estes serviços ecossistêmicos. Pesquisas científicas podem gerar novas tecnologias que amenizem o efeito das forçantes diretas sobre os serviços.

**4.1.2.** (d) *Regulação do clima local*, (e) *estoque de água e recarga subterrânea*, (f) *recreação*, (g) *ciclagem da água*, (h) *conversão de energia* e (i) *regulação dos fluxos de água e prevenção de enchentes*, (j) *transporte*:

A recepção dos fluxos de água provindos dos corpos de água da bacia hidrográfica e da precipitação no entorno da área de estudo (represa e duas maiores áreas alagadas) resulta no serviço de estoque de água. O estoque de água gera serviços de uso direto como conversão de energia, recreação, prevenção de enchentes e transporte, e serviços de uso indireto como regulação do clima local, recarga subterrânea e ciclagem da água (Tabela VI).

#### **Conversão de energia:**

O serviço de conversão de energia (geração de energia hidrelétrica) passa diretamente pelo mercado. O atual dono da UHE Carlos Botelho, Aratu Geração S/A, em comunicação pessoal ao Prof. Dr. José Galizia Tundisi, informou que a energia gerada nesta barragem é vendida por R\$ 100 mil reais por mês, ou USD 62.106,01. Multiplicando este valor por 12 meses, o serviço ecossistêmico de **geração de energia hidrelétrica** é estimado em **USD 745.272,12 por ano**. Este serviço impacta positivamente e diretamente o bem-estar humano (saúde) e a geração de empregos, e por este motivo, foi atribuído o maior valor qualitativo para estes valores.

#### **Recreação:**

Outro serviço que gera fluxos diretos e expressivos no mercado é a recreação, baseada nas atividades proporcionadas pelo estoque de água do reservatório como esportes aquáticos, pesca e atração de visitantes pela paisagem. A recreação neste reservatório é o serviço que mais atrai visitantes e movimenta os fluxos econômicos locais. Neste estudo, a estimativa do custo do serviço ecossistêmico de recreação foi feito através das somas do valor dos terrenos construídos em torno do reservatório (metodologia do valor de propriedade ou preço hedônico), do custo embutido na pesca (adaptação da metodologia de custo de viagem) e no custo estimado da manutenção de empregados nas atividades econômicas que envolvem o reservatório.

A recreação pode ser valorada através dos custos dos terrenos e das construções implantadas ao redor do reservatório, através da utilização da metodologia de Valor de Propriedade (ou preço hedônico). Vergara (1996) utilizou esta metodologia para estimar o valor das áreas alagadas do mesmo reservatório. Os valores obtidos para as áreas construídas estão na Tabela VIII.



Os valores da primeira coluna foram divididos pela diferença de anos entre a construção dos referidos condomínios e a pesquisa de Vergara (1996), obtendo-se uma estimativa do valor anual de cada condomínio. A esta estimativa foi acrescentado 5% deste mesmo valor, representando os custos de manutenção, obtendo-se o *valor para os terrenos construídos* em **USD 3.211.168,21 por ano**, contabilizado como **valor de uso produtivo do serviço ecossistêmico de recreação**. É necessário considerar que após 1996, outros condomínios e clubes foram construídos no entorno da represa e não foi considerado também o valor da construção do CRHEA-USP; portanto, este valor está subestimado.

O espaço disponibilizado pela represa para a pesca é outro fator que deve ser contabilizado no serviço de recreação. De acordo com Pereira *et al.* (2008) na represa do Lobo-Broa ocorre pesca em pequena escala e a pesca esportiva é rara. A produção de peixes por ano (Kg/ha/ano) é muito baixa, comparada com outros reservatórios como o de Barra Bonita, no Estado de São Paulo, e este fato resulta na procura dos pescadores por outros corpos de água. A riqueza de espécies de peixes foi provavelmente afetada pela introdução de espécies alóctones (*Cyprinus carpio*, *Oreochromis niloticus* e *Tilapia rendalli* e *Cichla* cf. *ocellaris*, esta última nativa da Bacia Amazônica). Acredita-se que *Cichla* cf. *ocellaris* tenha eliminado outras espécies de peixes por predação; hipótese corroborada através dos relatos de pescadores sobre a perda de espécies de peixes (Pereira *et al.*, 2008). Os mesmos autores entrevistaram os pescadores freqüentadores da represa da UHE Carlos Botelho e obteve-se uma média de gastos de R\$10,00 (USD 6,21) por dia, para cada pescador. Assumindo através de observação que, em média, 100 pescadores por final de semana utilizam esta represa durante os três meses de verão (dezembro a fevereiro), tem-se o *valor estimado para a pesca* de **USD 14.904,00 por ano**, contabilizado como **valor de uso de consumo do serviço ecossistêmico de recreação**, pois pode considerar-se que este valor praticamente não é repassado para o mercado.

**Tabela VIII.** Valores dos custos dos loteamentos construídos no entorno do reservatório da UHE Carlos Botelho.

	<b>Custo total da área construída (em Reais)</b>	<b>Ano de construção</b>	<b>Valor anual estimado (em Reais)</b>
<b>Condomínio e Balneário Santo Antônio</b>	37.800.000	1984	3.150.000
<b>Vila Pinhal</b>	9.135.000	1984	761.250
<b>Iate Clube</b>	10.500.000	1976	525.000
<b>Vivenda do Broa</b>	976.000	1994	488.000
<b>SUBTOTAL em R\$</b>			4.924.250
<b>5% do total em R\$</b>			246.212,50
<b>TOTAL em USD</b>			<b>3.211.168,21</b>

Fonte: Adaptado de Vergara, 1996.

O terceiro valor agregado ao serviço ecossistêmico de recreação é o valor de emprego. As atividades econômicas do entorno do reservatório (manutenção de condomínios, clubes e lojas) geram emprego, estimado em 85 empregos diretos por Vergara (1996). Os cálculos (Tabela IX) para este valor foram efetuados de acordo com as Leis da Consolidação do Trabalho, do Brasil, e a Lei Estadual nº 14.394/11, de 01.04.2011, do Governo do Estado de São Paulo (“site” da “internet”), que estipula o salário mínimo para trabalhadores de serviços de manutenção em R\$600,00. O valor total calculado para o serviço de geração de empregos é de **USD 587. 862,55 por ano**.

Foi atribuído ao serviço ecossistêmico “recreação e turismo” o **valor total de USD 3.813.934,76 por ano**. O maior valor qualitativo também foi atribuído ao aspecto social deste serviço, pois afeta diretamente a saúde física e mental e, portanto, o bem-estar humano.

**Tabela IX.** Valores referentes ao cálculo anual da função de emprego, embutida no serviço ecossistêmico de recreação.

	Valores em Reais (R\$)	Valores em (USD)	Valores em USD para 12 meses
a.Salário mínimo (USD)	600,00	372,63	4.471,56
b.Férias	900,00	558,95	558,95
c.Décimo Terceiro Salário	600,00	372,63	372,63
d.FGTS (a.12+b+c).0,08	696,00	432,25	432,25
e.INSS (a.12+b+c).0,2	1.740,00	1080,64	1.080,64
SUBTOTAL	11.136,00		6.916,03
TOTAL (85 funcionários)	946.560,00		<b>587.862,55</b>

#### **Estoque de água e Recarga subterrânea:**

A recarga subterrânea de água é um serviço ecossistêmico importante. Segundo Gomes *et al.* (2006) a área que compreende a represa da UHR Carlos Botelho e as duas maiores áreas alagadas (Rio Itaqueri e Ribeirão do Lobo) está inserida na área de recarga do Sistema Aquífero Guarani (SAG). A área total aproximada do SAG é de 1.2 milhões de quilômetros quadrados; sua área de recarga compreende 150.000 km<sup>2</sup>, com uma taxa de

recarga de 160 km<sup>3</sup> por ano (Monteiro, 2003). Considerando que a taxa de recarga seja uniforme em toda a área de recarga do SAG, a área de estudo (26,4 km<sup>2</sup>) apresentaria uma taxa de recarga de 0,028 km<sup>3</sup> por ano, o que corresponde a 2.333.333,33 m<sup>3</sup> por mês. A este valor foi multiplicada a taxa de consumo doméstico de água, cobrada pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos (SP), de R\$ 5,89/m<sup>3</sup> (USD 3,658) para consumo superior a 100 m<sup>3</sup> por mês (fevereiro de 2011), resultando em USD 8.535.333,33 por mês. Multiplicando-se 12 meses a este valor, obteve-se o valor **USD 102.423.999,84 por ano** para o serviço “**estoque de água e recarga subterrânea**”. O valor calculado foi considerado um valor de uso de produção, pois no estado de São Paulo, parte considerável do suprimento de água que abastece os municípios provém de captação subterrânea. Este serviço é de extrema importância para os valores ecológicos, sociais e econômicos e desta forma a todos os outros valores, foram atribuídos os maiores valores qualitativos. O estoque e recarga de água subterrânea possuem altos valores ecológicos e sociais, produzindo benefícios que não entram no mercado para a biota e o bem-estar humano e são importantes para as presentes e futuras gerações. Os valores econômicos também são expressivos, ocorrendo intensa extração de água subterrânea através de poços artesianos (não entram no mercado) e extração para abastecimento de municípios (entra no mercado), gerando empregos.

#### **Regulação dos fluxos de água e prevenção de enchentes:**

O reservatório e as áreas alagadas exercem papel importante e conhecido na recepção, acumulação regulação dos fluxos de água e na prevenção de enchentes durante eventos de precipitação, protegendo áreas adjacentes e à jusante, como casas, condomínios e áreas de cultivo. De acordo com Thibodeau e Ostro (*apud* Santos, 2000), o valor do serviço de prevenção de enchentes de áreas alagadas da bacia hidrográfica do Rio Charles (Massachusetts, EUA), é de USD 5.000,00/ha/ano. Este valor foi aplicado não só para as áreas alagadas (1960 ha), mas também para a área do reservatório (680 ha) devido à sua também função de regulação dos fluxos de água e prevenção de enchentes, obtendo-se o valor para o serviço de **regulação dos fluxos de água e prevenção de enchentes em USD 13.200.000,00 por ano**, classificado como valor de conservação, pois é um valor que não entra no mercado. Foram atribuídos também valores qualitativos altos para os valores de existência e social, já que a retenção de água beneficia a biota e o bem-estar humano pela prevenção de doenças à saúde humana provenientes de enchentes.

#### **Ciclagem da água e Regulação do clima local:**

A recepção de fluxos de água e de precipitação provindos bacia hidrográfica, a evaporação de água para a atmosfera a partir do estoque de água, a infiltração subterrânea

e a evapotranspiração exercida pela flora, são contribuições da área estudada para a **ciclagem da água**. Não há medições diretas da influência deste reservatório e suas áreas alagadas na regulação de temperatura e precipitação, ou seja, no serviço de **regulação do clima local**, mas sabe-se que a evaporação de água eleva a umidade local e ameniza o clima. Essa evaporação cria um ambiente confortável para o bem-estar humano e da biota. Dada a importância destes dois serviços, ambos foram valorados qualitativamente com as maiores pontuações para os valores ecológicos e sociais, pois são muito importantes para a manutenção dos ecossistemas aquáticos e terrestres locais e o bem-estar humano.

### **Transporte:**

O estoque de água da represa oferece suporte para o transporte aquático, que é feito em sua maioria, para recreação. Este serviço foi valorado qualitativamente com o maior valor para o valor social e econômico de consumo, pois afeta diretamente o bem-estar e a saúde humana e é obtido através de utilização direta do espaço oferecido pelo reservatório.

### **Forçantes:**

As forçantes de influência direta (Fig. 6) nos serviços ecossistêmicos consideradas neste item são: uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica, despejo de poluentes orgânicos e inorgânicos na bacia hidrográfica, extremos de precipitação, introdução de espécies exóticas e heterogeneidade espacial da vegetação na bacia hidrográfica.

a. O uso e ocupação do solo na bacia podem determinar o despejo de cargas excessivas de nutrientes orgânicos e inorgânicos nos corpos de água da bacia hidrográfica da represa da UHE Carlos Botelho, que tem o potencial de receber essas cargas junto com as áreas alagadas. Em consequência, o processo de eutrofização, com o crescimento de algas e plantas aquáticas e anoxia da água pode se instalar, ocasionando:

- comprometimento da qualidade da água da represa para a biota, prejudicando a pesca;
- comprometimento da qualidade da água da represa para a recreação, prejudicando o bem-estar humano e a economia local, inclusive a geração de empregos;
- comprometimento do funcionamento das turbinas de geração de energia hidrelétrica e do uso da represa para transporte, ocasionados pelo crescimento excessivo de plantas aquáticas, prejudicando a economia local;
- comprometimento da qualidade da água recarregada as área subterrâneas, prejudicando a qualidade da água de grande parte do aquífero que é extraída para uso humano;

- carreamento de quantidades excessivas de sedimentos, diminuindo a profundidade das áreas alagadas e do reservatório, diminuindo sua capacidade de armazenar água e evitar enchentes.

b. Os extremos de precipitação da bacia podem influenciar a quantidade de água estocada pela represa e por consequência os fluxos para a geração de hidreletricidade, a qualidade da água para a recreação e biota e sua capacidade de reservar água e evitar enchentes.

c. A introdução de espécies de peixes alóctones e a consequente eliminação de outras espécies é um fator observado por Pereira *et al.* (2008) como influenciador da baixa assiduidade de pescadores na represa.

d. A heterogeneidade espacial da bacia hidrográfica é outra forçante que influencia diretamente a quantidade e qualidade da água da própria bacia e consequentemente da represa e áreas alagadas.

As forçantes indiretas (Fig. 6) são a (e) demografia e economia, que determinam o uso e ocupação do solo na bacia e o despejo de poluentes; (f) pesquisas científicas e tecnologias, que determinam alternativas para as atividades econômicas; (g) gerenciamento e educação ambiental, para a manutenção dos mosaicos de vegetação na bacia hidrográfica e da qualidade da água; (h) infra-estrutura no entorno da represa, para a oferta de melhores condições de recreação (principalmente a pesca) e (i) escolhas culturais, relacionadas às escolhas de lazer pelo homem.

#### **4.1.3. (k) Retenção de nutrientes e interferência nos ciclos biogeoquímicos**

As áreas alagadas removem nutrientes como o nitrogênio e o fósforo e outros elementos químicos através de processos como adsorção do elemento ao sedimento, assimilação pela biomassa da biota aquática e desnitrificação (Fisher e Acreman, 2004). A ciclagem biogeoquímica contribui para a manutenção dos sistemas locais, regionais e globais de suporte à vida, beneficiando a biota e consequentemente melhorando a qualidade da água; dependendo do caso, alcançando padrões de qualidade para recreação, por exemplo.

As áreas alagadas, retém nutrientes advindos de cargas de poluentes trazidos pelos corpos de água que fazem parte da bacia hidrográfica, principalmente da bacia do Rio Itaqueri. Este tempo de retenção permite uma intensificação nos ciclos biogeoquímicos, ou seja, na quebra de compostos químicos complexos e disponibilização das suas moléculas para reuso no sistema. Whitaker *et al.* (1995) estudaram os diferentes compartimentos (sedimento, água intersticial e camada de água acima da interface sedimento-água) das áreas alagadas do Ribeirão do Lobo e do Rio Itaqueri, constatando que o sedimento destas áreas alagadas são eficientes na ciclagem de 13 a 20% do nitrogênio. Estas áreas alagadas

são responsáveis pela manutenção das baixas condutividade e concentração de matéria orgânica na represa e, portanto, pela qualidade da água (Tundisi e Matsumura-Tundisi, 2010) para a recreação que caracteriza seu maior uso. Tundisi *et al.* (2003) estimaram um investimento de R\$ 2.300.000,00 na implantação de uma Estação de Tratamento de Esgotos, considerando 13.000 habitantes do município de Itirapina e 7.000 visitantes da represa da UHE Carlos Botelho. Este valor pode ser considerado como custo de reposição, pois representa uma substituição dos serviços de um sistema natural, enfatizando que este serviço oferecido pelas áreas alagadas não atenua a necessidade da diminuição do despejo de poluentes nos rios e córregos da bacia da represa.

Considerando a porcentagem máxima de tratamento de 20% (Whitaker *et al.*, 1995) das áreas alagadas, e extrapolando esse valor para o tratamento dos outros elementos químicos, obtém-se um valor de R\$ 460.000,00, dividido por 75 anos, que é aproximadamente a “idade” das áreas alagadas, totalizando R\$ 6133,33 por ano ou **USD 3.809,16 por ano**. Os maiores valores qualitativos foram atribuídos aos valores de existência e social, pois a ciclagem biogeoquímica afeta diretamente o funcionamento do ecossistema e a saúde humana (Tabela VI).

Deve ser observado que o estudo deste serviço ecossistêmico enfatiza (a) o papel das áreas alagadas na ciclagem biogeoquímica e (b) a necessidade da restauração das lagoas de estabilização pertencentes ao município de Itirapina, para tratamento eficiente das cargas orgânicas antes do despejo na bacia hidrográfica do Rio Itaqueri.

#### **Forçantes:**

As principais forçantes diretas (Fig. 6) de alterações neste serviço ecossistêmico são os extremos de precipitação, o uso e ocupação do solo e os mosaicos de vegetação na bacia hidrográfica. As atividades agrícolas, de criação de animais e mineração de areia têm como consequência o despejo não pontual de resíduos orgânicos, de fertilizantes, pesticidas e metais. As áreas alagadas tratam eficientemente essas cargas, mas uma diminuição na intensidade de precipitação na bacia hidrográfica poderia significar menor diluição dessas cargas e com isso exceder a capacidade de reciclagem destes componentes químicos nas áreas alagadas, resultando no prejuízo da qualidade da água da represa para a recreação. Os mosaicos de vegetação regulam os ciclos biogeoquímicos, influenciando os parâmetros de qualidade da água (Tundisi e Matsumura-Tundisi, 2010) que flui para o reservatório.

As principais forçantes indiretas (Fig. 6) são a demografia e economia na bacia hidrográfica. Novas tecnologias desenvolvidas pela pesquisa científica também podem trazer novas abordagens para o cultivo, criação de animais e mineração, diminuindo o despejo de resíduos.

#### **4.1.4. (l) Retenção de sedimentos, formação de solo e manutenção de sua fertilidade:**

Os reservatórios retêm partículas de sedimento carregadas pelo fluxo de água dos seus tributários. Tundisi e Matsumura-Tundisi (1990) verificaram que o reservatório de Barra Bonita (São Paulo, Brasil) retém de 70 a 80% de matéria em suspensão. A retenção de sedimento, apesar de alguns pontos negativos, diminui a turbidez à jusante, beneficiando a produção primária.

Nas áreas alagadas, a retenção de sedimentos, matéria orgânica e nutrientes resulta na formação de solo e manutenção da produtividade, beneficiando a produtividade local, a biota (biodiversidade) e a qualidade da água que flui para o reservatório.

Para cada um dos valores ecológicos (de conservação e de existência), foram atribuídos dois valores qualitativos, pela importância deste serviço nos benefícios diretos para a biota e conseqüentemente para o bem-estar humano, e potenciais futuros benefícios. Um sinal qualitativo foi atribuído para o valor social de saúde, pois este serviço afeta indiretamente a saúde e o bem-estar humano (Tabela VI).

#### **Forçantes:**

O uso e ocupação do solo, e a heterogeneidade espacial da bacia hidrográfica são forçantes diretas. O mosaico de vegetação da bacia hidrográfica regula a erosão e o transporte de sólidos em suspensão (Tundisi e Matsumura-Tundisi, 1990). Por outro lado, atividades econômicas que modificam a cobertura do solo, como cultivos, criações de animais e mineração de areia, que implicam na retirada da cobertura vegetal, aumentam o potencial erosivo do solo e aumentam o transporte de sólidos em suspensão (Fig. 6).

As principais forçantes indiretas são a demografia e economia ao longo da bacia hidrográfica; o gerenciamento, educação e política ambientais, que podem influenciar o modo como o uso e cobertura do solo são explorados (Fig. 6).

#### **4.1.5. (m) Manutenção da biodiversidade biológica, (n) manutenção de habitats de reprodução; (o) recursos genéticos, (p) recursos medicinais, (q) alimento, (r) cultivo (aquicultura):**

As áreas alagadas e a represa exercem papel importante na manutenção de habitats para as espécies da fauna e flora, aquáticas e terrestres, permanentes ou transitórias. Estudos nesta área registraram a presença de várias espécies, desde fitoplâncton, zooplâncton e outros invertebrados a macrófitas e peixes (Peláez-Rodríguez e Matsumura-Tundisi, 2002; Pereira, 2005; Dellelo, 2008; Luzia, 2009). Há também registros de fauna

terrestre (Motta-Júnior *et al.*, 2008; Sawaya *et al.*, 2008) que certamente utilizam o reservatório e as áreas alagadas para dessedentação, habitat, busca de alimento e local de reprodução. A atribuição de um valor econômico quantitativo à biodiversidade é uma tarefa difícil, mas é certo que a interação entre as espécies e o ambiente físico e químico resulta em serviços ecossistêmicos para o bem-estar humano. O valor de existência da biodiversidade pode ser mapeado usando a riqueza de espécies (Williams *et al.*, 1997), mas quantificá-lo em termos de valor monetário requer uma análise mais elaborada, talvez através de uma abordagem biofísica (Jorgensen, 1992; Green, 1994). Foi atribuído o valor qualitativo mais alto para os valores ecológicos e sociais do serviço “**manutenção da biodiversidade biológica**”, pois afetam diretamente o bem-estar presente e futuro da biota e do ser humano. Este alto valor atribuído pode ser reforçado pelo fato de a área de estudo estar protegida por legislação como zona de vida silvestre. A manutenção da biodiversidade biológica também apresenta potenciais valores econômicos, de uso direto dos recursos, de uso através do mercado e para a geração de empregos (Tabela VI).

As características da paisagem, condições químicas, entre outras, das áreas alagadas e da represa promovem condições locais para a reprodução da fauna e flora, contribuindo, portanto, para a manutenção da biodiversidade. O serviço “**manutenção de habitat para reprodução**” foi valorado com o maior valor (dois sinais) para os valores ecológicos, pois há influência direta e ao valor social foi atribuído um sinal, já que este serviço influencia indiretamente a saúde humana (Tabela VI).

Os serviços “**recursos genéticos**” e “**recursos medicinais**” são consequência da biodiversidade local. O serviço “recursos genéticos” foi valorado com dois sinais para os valores ecológicos, pois a variabilidade genética das populações é importante para sobrevivência das espécies, que contribuem para outras funções influenciadoras do bem-estar humano; um sinal foi atribuído para o valor social, pois a variabilidade genética influencia indiretamente o bem-estar e saúde humanos. Há um potencial de este serviço gerar somas nos valores econômicos, através de pesquisa científica e estudos genéticos e moleculares da biota. Ao serviço “recursos medicinais” foi atribuído dois sinais de valor qualitativo para o valor de existência, pois apresenta um valor futuro para populações humanas. Mas existem potenciais valores sociais e econômicos, se forem feitas pesquisas científicas para a investigação de substâncias medicinais a serem aplicadas para o bem-estar humano (Tabela VI).

A disponibilidade de alimento também é consequência dos refúgios e da biodiversidade existente na área de estudo. Na represa da UHE Carlos Botelho, este serviço é representado pela retirada de peixes pela pesca e consumo em pequena escala, com raros casos de pesca para venda comercial, como constatado por Pereira (2005). O serviço ecossistêmico de **produção de alimento** foi valorado qualitativamente com dois sinais para o valor ecológico e social. Para este estudo, pode ser considerado como um serviço que não



entra no mercado, já que são raras as entradas em pequena escala, mas possui valor de consumo direto. É um importante serviço a ser conservado como fonte de lazer (pesca) para o bem-estar humano. Os potenciais valores econômicos de produção e geração de empregos foram contabilizados no serviço ecossistêmico de cultivo (Tabela VI).

#### **(r) Cultivo:**

O cultivo de peixes, aquacultura, é um serviço ecossistêmico com potencial de desenvolvimento na represa segundo Angelini e Petrere (1996) e Angelini (2002), que demonstraram, através do software de modelagem Ecopath, a possibilidade de a represa suportar a criação de *Piaractus mesopotamicus*, se eficientemente gerenciada com medidas contra a degradação da qualidade da água da represa. Neste caso, existem potenciais valores de impacto direto no bem-estar humano, em relação aos valores de saúde, de consumo, de uso de uso produtivo, e de emprego (Tabela VI).

#### **Forçantes:**

As forçantes diretas (Fig. 6) para os serviços ecossistêmicos listados neste item são:

- o uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica e despejos de poluentes, que afetam a qualidade da água e o bem-estar da biota e humano. A mineração realizada na bacia do Rio Itaqueri potencializa a erosão e o transporte de sedimentos para as áreas alagadas e a represa, alterando o refúgio para a biota;
- a introdução de espécies da fauna, sobre a qual já foi comprovado que houve diminuição do número de espécies de peixes no reservatório. Outras introduções, inclusive de espécies da flora, podem eliminar espécies, através da competição.
- a heterogeneidade espacial da bacia hidrográfica e a presença de mata ciliar ao longo dos cursos de água tributários à área de estudo influenciam a qualidade da água e a quantidade de sedimento que aporta, alterando os micro-habitats.

As principais forçantes indiretas (Fig. 6) são demografia e uso e ocupação do solo, economia, tecnologias, ciência e gerenciamento e educação ambientais.

#### **4.1.6. Valores de (s) Estética e (t) Culturais:**

A qualidade ambiental local é de grande importância para os valores estéticos da represa da UHE Carlos Botelho, que por sua vez fortalece os valores recreacionais. Estética é

um serviço importante para a atração de visitantes, seu bem-estar e influencia nos valores culturais, ou seja, como as pessoas entendem o consumo dos serviços da área. Certamente gera usos de consumo, de produção e emprego. Foram atribuídos dois sinais qualitativos para os valores ecológicos e social (Tabela VI), pois a estética é um serviço que propicia o bem-estar humano e o da biota, pois uma paisagem de natureza agradável ao ser humano deve significar um ecossistema com bom funcionamento das suas interações.

#### **Forçantes:**

Todas as forçantes diretas e indiretas consideradas nos outros serviços (Fig.6) influenciam na qualidade do ambiente da represa e áreas alagadas, alterando os valores estéticos e culturais.

#### **4.1.7. (u) Ciência e educação:**

A pesquisa científica nesta área de estudo começou em 1971 na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), no antigo Departamento de Ciências Biológicas. Em 1976, houve altos investimentos no Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA), da Universidade de São Paulo, relacionados à construção do prédio do CRHEA nos arredores da represa da UHE Carlos Botelho, e em pesquisas científicas, envolvendo as áreas de climatologia, fenômenos de transporte, hidráulica, política ambiental, hidrometria, entre outras. No mesmo ano, foi criado um programa de pós-graduação na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) baseado em estudos nesta represa e áreas alagadas em torno da zoologia, botânica e ecologia, entre outras áreas, com suporte de bolsas de estudo e investimentos de agências de fomento à pesquisa nos projetos. Para a construção do CRHEA foram investidos 2 milhões de reais e mais 5 milhões e 500 mil reais para pesquisas científicas iniciais (comunicação pessoal com o Prof. Dr. José Galizia Tundisi), em adição à outros muitos posteriores investimentos em pesquisa, através de financiamento à projetos e bolsas de estudo. Há também visitas orientadas feitas ao local, com crianças e jovens para a conscientização ambiental, organizada pelo Centro de Divulgação Científica e Cultural (CDCC), da USP – campus de São Carlos.

Para a quantificação deste serviço de informação que a represa e área alagada promovem, “ciência e educação”, foram somados os investimentos iniciais no CRHEA e divididos pelo tempo de existência (35 anos), resultando em R\$ 214.285,71 ou USD 133.084,31 por ano. Para uma estimativa baixa do investimento feito na UFSCar para pesquisas na represa, contabilizou-se as bolsas de estudo de mestrado e doutorado e considerou-se que nestes 35 anos de programa de pós-graduação, 20 alunos de mestrado (bolsas de R\$ 1.500,00) e 15 de doutorado (bolsas de R\$ 1.800,00) por ano, fazem suas pesquisas nesta área. O valor das bolsas de estudo totalizou R\$ 51.000,00 ou USD 31.674,06

por ano. A soma destes valores parciais resulta em **USD 164.758, 37 por ano**. Considerando que pelo menos 1/3 deste valor significa fomento para emprego (valor das publicações científicas), o valor para o serviço de “**ciência e educação**”, é estimado em **USD 109.838,91 por ano (valor de uso produtivo)** em adição à **USD 54.919,46 por ano (valor de emprego)** (Tabela VI). Além disso, foram atribuídos os mais altos valores qualitativos para o valor social de saúde, pois os resultados das pesquisas feitas têm o potencial de melhorar a qualidade da bacia hidrográfica, assim como da represa e áreas alagadas, resultando em maior bem-estar humano (Fig.6).

Embora o valor deste serviço ecossistêmico esteja subestimado devido à falta de informações precisas de valores quantitativos e, sabendo-se que as pesquisas científicas nesta área de estudo ocorrem até os dias atuais, os altos investimentos econômicos de fomento a estas atividades contribuem muito para o valor final dos serviços ecossistêmicos da UHE Carlos Botelho. Em adição à contribuição de valores quantitativos, a geração de um arcabouço de conhecimento científico desenvolvido nos últimos 40 anos sobre este sistema aquático transformou-o no sistema lêntico mais estudado, e, portanto, de contribuição significativa para a ciência.

## 4.2. SÍNTESE

Deve ser enfatizado que a identificação dos serviços ecossistêmicos adotada neste estudo teve como finalidade uma primeira avaliação dos serviços existentes na área do reservatório da UHE Carlos Botelho e suas mais extensas áreas alagadas (Rio Itaqueri e Ribeirão do Lobo), tendo como base a classificação proposta por Costanza *et. al.* (1997) (Tabela I) e a posterior organização dos serviços identificados na matriz proposta por De Groot (1994; 1996). Como Costanza (2008) observa, o funcionamento dos ecossistemas não é linear, não possui fronteiras que possam ser circunscritas, e existem “*feedbacks*” e interações nos processos dos ecossistemas, o que os tornam objetos complexos de estudo quando se trata da identificação e classificação dos seus serviços. Um só sistema de classificação dos serviços ecossistêmicos ignoraria estas propriedades inerentes aos ecossistemas. Há a necessidade de avaliação dos propósitos de cada estudo dos serviços dos diferentes ecossistemas e o desenvolvimento de um “pluralismo de tipologias” que atenda aos diferentes propósitos. Para futuros estudos na área do reservatório da UHE Carlos Botelho e em sua bacia hidrográfica, após esta primeira aquisição de dados, devem ser aplicados e também criados novos métodos de classificação, específicos para as diversas finalidades dos estudos dos serviços na área.

A adoção de somente a área superficial do espelho de água do reservatório da UHE Carlos Botelho, correspondente ao seu volume de água, e mais as áreas superficiais das suas mais extensas áreas alagadas (pertencentes ao Rio Itaqueri e ao Ribeirão do Lobo), ao invés da área total da bacia hidrográfica nos cálculos dos valores quantitativos, deve-se ao extenso arcabouço de conhecimento sobre o reservatório, através das inúmeras pesquisas realizadas nos últimos 40 anos, o que possibilita destacar a área do reservatório para um estudo inicial dos seus serviços ecológicos, como este presente. No caso deste reservatório, a inclusão das áreas alagadas no estudo é fundamental, pois ambos os ecossistemas aquáticos interagem e muitas variáveis de qualidade da água do reservatório e, portanto, alguns de seus serviços dependem das áreas alagadas.

Os valores quantitativos dos serviços ecossistêmicos obtidos para as áreas alagadas e o reservatório da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa) totalizaram **USD 120.445.657,87.ha<sup>-1</sup>** ou **USD 45.623,35.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>**. O valor total estimado dos serviços ecossistêmicos relacionados principalmente ao suporte do turismo no Delta de Okavango, sul da África, é de mais de USD 145 milhões por ano (Convention on Biological Diversity, 2010). Thibodeau e Ostro (*apud* Santos, 2000) obtiveram o valor de USD 28.000,00/ha/ano para o ecossistema da bacia hidrográfica do Rio Charles, Massachusetts, Estados Unidos.

Os valores quantitativos obtidos para a UHE Carlos Botelho, embora subestimados, mostram que os custos da perda de alguns serviços indiretos, como recarga subterrânea de água e prevenção de enchentes, são economicamente representativos. Outros usos diretos,

como recreação e pesquisa científica, mostram as entradas econômicas expressivas na economia local. Os valores qualitativos são também essenciais para evidenciar a presença e importância de muitos serviços ecossistêmicos para a saúde e bem-estar humanos, especialmente os de uso indireto.

pós a construção da barragem da represa, o serviço de uso direto utilizado era o de armazenamento de água para a geração de hidreletricidade em pequena escala. Mais tarde, outros usos potenciais foram estabelecidos, como recreação, educação e pesquisa científica, entre outros, com investimentos econômicos exponenciais. Estes investimentos promoveram o desenvolvimento da economia local e regional e incrementaram os valores totais dos serviços ecossistêmicos incluindo os valores atribuídos pelos visitantes (valores marginais) ao local, percebidos através da intensificação do turismo na área.

Desse modo, a relação entre os valores marginais e o tempo pode aumentar, diminuir ou estabilizar. Se o gerenciamento ambiental na bacia hidrográfica for adequado e eficiente, esta relação deve ser constante; se for ineficiente, deve diminuir. No caso do reservatório da UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa), os altos investimentos que serão feitos na área através do Projeto “Viva o Broa” (gerenciado pelo Município de Itirapina, São Carlos e Brotas), devem manter esta relação crescente. O projeto visa a melhoria da infra-estrutura do entorno da represa do Lobo-Broa, entre outras medidas de gerenciamento ambiental que devem incrementar o turismo local e conseqüentemente o valor que as pessoas atribuem à área do reservatório. Tundisi *et al.* (2003), estimaram o custo da recuperação das bacias do rio Itaqueri, do Ribeirão do Lobo e do reservatório da UHE Carlos Botelho em aproximadamente USD 29 milhões, com retorno de USD 19 milhões em créditos de carbono a serem recebidos em 20 anos. Estes valores também podem ser agregados ao valor final dos serviços ecossistêmicos do reservatório e áreas alagadas da UHE Carlos Botelho.

Investimentos em educação ambiental com os visitantes (assim como realizado pelo Centro de Divulgação Científica e Cultural - CDCC- da USP) podem conscientizar cada vez mais as pessoas da importância dos serviços ecossistêmicos de uso indireto, como a ciclagem biogeoquímica, e a importância da contribuição individual e coletiva no gerenciamento das forças indiretas para o seu próprio bem-estar. Estas ações podem alterar o comportamento das pessoas em relação à recuperação da bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré e com isso, aumentar o valor que elas agregam (valor marginal) à represa, aumentando também, por exemplo, o valor das propriedades do entorno da represa. A Represa de Salto Grande (Município de Americana, Estado de São Paulo, Brasil), é um exemplo de como o gerenciamento ineficiente das forças pode causar a degradação de valores dos serviços ecossistêmicos, como a recreação. A eutrofização desta represa ocorreu devido a usos inadequados do solo ao longo da sua bacia hidrográfica e resultou em perda dos serviços estéticos e recreacionais, entre outros de regulação. Como conseqüência, houve uma diminuição do número de visitantes e depreciação dos valores das propriedades

do entorno. A Figura 6 mostra as principais forçantes diretas e indiretas de alterações nos serviços ecossistêmicos das áreas alagadas e represa da UHE Carlos Botelho. Esta figura pode também ser base de análise para a Represa de Salto Grande, para efeito comparativo. Os usos do solo, entradas não-pontuais de fertilizantes, pesticidas e resíduos orgânicos e a introdução de espécies exóticas da biota são conduzidas pela demografia e atividades econômicas na bacia hidrográfica, assim como pelo número de visitantes na represa. Por outro lado, a ciência e novas tecnologias podem influenciar as forçantes diretas positivamente, aumentando a qualidade ambiental e o bem-estar humano e da biota. Estes pontos devem ser considerados em planos de ação relativos ao gerenciamento da bacia do Tietê-Jacaré e da área da UHE Carlos Botelho.

Através dos resultados observa-se que os serviços do ecossistema, as forçantes diretas e indiretas e o bem-estar humano estão dinamicamente conectados, considerando não somente a área das áreas alagadas e do reservatório da UHE Carlos Botelho, mas de toda a bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré e mais além, considerando a interação entre as diferentes bacias. Atividades econômicas como a criação de animais e a mineração de areia despejam grandes quantidades de poluentes orgânicos e inorgânicos nos tributários das áreas alagadas e represa. As áreas alagadas do Rio Itaqueri e do Ribeirão do Lobo reciclam parte destas cargas, como averiguado por Whitaker (1993, 1995), e garantem uma boa qualidade da água na represa para a manutenção da biodiversidade, recreação e valores espirituais e estéticos. Apesar de a participação na ciclagem biogeoquímica ser característica intrínseca das áreas alagadas, este fato não pode ser visto como atenuante para os despejos pontuais e não pontuais de poluentes na bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré. As áreas alagadas possuem uma capacidade-limite para esta ciclagem e cargas excessivas podem implicar na eutrofização da represa e perda da estética e do serviço de recreação. Como consequência, os investimentos em turismo na área podem diminuir e afetar a economia local. O gerenciamento de todas as *forçantes* diretas e indiretas deve ser feito de modo adequado e eficiente por toda a bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré para assegurar a qualidade da água para a biota e uso humano em toda a bacia e na represa.

A heterogeneidade espacial da bacia hidrográfica é um importante influenciador ou forçante (“*driver*”) dos serviços ecossistêmicos das áreas alagadas e represa, pois influencia a entrada de sedimentos, nutrientes e outros fluxos energéticos nestes sistemas aquáticos. As matas ripárias, mosaicos de vegetação e áreas alagadas exercem um efeito-tampão na bacia hidrográfica (Tundisi e Matsumura-Tundisi, 2010), influenciam a recarga subterrânea hídrica e a diversidade de espécies da biota; todos estes fatores em conjunto prestam serviços para o bem-estar humano. Quanto mais heterogêneo for o sistema, maior é a probabilidade de os serviços serem diversificados, devido às diferentes oportunidades oferecidas (recreação, turismo, biodiversidade, produtividade, etc.) (Wilson, 1998). Ainda existem mosaicos de vegetação na bacia do Tietê-Jacaré, mas o avanço de atividades agrícolas, pastagens e

mineração de areia vêm comprometendo essa heterogeneidade e os serviços ecossistêmicos derivados dela.

Assim como neste estudo, Wantzen *et al.* (2008) analisaram os serviços ecossistêmicos do Pantanal (extensa área alagada pertencente ao Brasil, Bolívia e Paraguai) e suas interações com os aspectos sociais e econômicos regionais, como um primeiro estudo para reunir informações que contribuam para o gerenciamento sustentável da área. Os principais serviços ecossistêmicos foram identificados (efeito tampão durante extremos hidrológicos; ciclagem biogeoquímica; alta produtividade aquática em extensas áreas; alta produtividade terrestre entre as fases de cheia e seca; biodiversidade, diversidade cultural, recreação, recursos medicinais, entre outros) junto com a importância destes serviços na história e herança cultural dos moradores da região (pantaneiros). As interações ecológicas (e as funções e serviços ecossistêmicos) entre as diferentes espécies da biota deste sistema dependem das variações anuais e multi-anuais dos pulsos hidrológicos. Da mesma maneira, o modo de vida e costumes dos pantaneiros também são adaptados a estes pulsos de modo a não exaurir os recursos e funções ecológicas. É mostrado que as práticas de uso sustentável dos recursos naturais realizadas pelos pantaneiros, que respeitam as características intrínsecas do sistema, ao longo das distintas escalas temporais e espaciais, devem ser levadas em consideração nos novos planos de gerenciamento da área, a fim de não haverem perdas nos serviços ecossistêmicos em detrimento de atividades econômicas sem planejamento adequado.

Os futuros cenários para a área de estudo dependerão do gerenciamento adequado das forçantes diretas e indiretas na bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré. Pereira *et al.* (2010), em uma revisão de literatura sobre os futuros cenários possíveis para a biodiversidade no século XXI, informam que para os ecossistemas de água doce, a degradação de habitats afetará diretamente as vazões dos rios e as cargas de nutrientes, influenciando os serviços ecossistêmicos de suprimento de água e de regulação da qualidade da água. Destacam ainda que a demanda aumentada pelos recursos hídricos, tanto pelo aumento populacional das cidades, quanto pelos usos industriais e agrícolas, aliada à degradação dos habitats, aumentarão a eutrofização, implicando na diminuição de recursos hídricos disponíveis e na perda de biodiversidade. Butchart *et al.* (2010) e Sala *et al.* (2000) em revisões sobre os cenários futuros para a biodiversidade no planeta, constatam também que a degradação de habitats, através de alterações no uso e cobertura do solo, impactará negativamente a biodiversidade, significando perdas nos serviços ecossistêmicos. Para a área de estudo deste trabalho (reservatório da UHE Carlos Botelho e áreas alagadas) a garantia da continuidade dos serviços ecossistêmicos identificados dependerá (1) da gestão adequada das atividades econômicas regionais e os resíduos gerados, e (2) a recuperação da heterogeneidade espacial da bacia do Tietê-Jacaré. A restauração de habitats (mosaicos de vegetação, matas ripárias, etc.) pode garantir a continuidade dos processos de interação entre espécies e estas

com o ambiente abiótico (ou seja, proteção da biodiversidade) dentro dos ecossistemas contidos na bacia, resultando na manutenção da qualidade e quantidade dos recursos hídricos na bacia e no reservatório. Os investimentos que estão sendo realizados através do projeto “Viva o Broa” sugerem que os valores quantitativos e qualitativos dos serviços ecossistêmicos identificados poderão aumentar em consequência da melhoria das condições ambientais da área de estudo.



## 5. CONCLUSÕES

- Os 20 serviços do ecossistema identificados para a área do reservatório da UHE Carlos Botelho e áreas alagadas do Rio Itaqueri e Ribeirão do Lobo, ambas à montante da represa, mostram as várias funções ecológicas destes ecossistemas aquáticos que interagem entre si e influenciam o bem-estar humano, dando suporte às atividades econômicas de maior destaque nesta área: a recreação, o turismo e a ciência (pesquisas científicas) e educação.

- Os valores qualitativos atribuídos mostram a influência direta ou indireta dos serviços em relação ao bem-estar humano. Também enfatizam a importância dos serviços de uso indireto (destacando os serviços de regulação: recarga subterrânea de água, regulação do clima local, fixação de energia solar e produção de biomassa, etc.), que são base para todos os outros serviços ecossistêmicos e o bem-estar humano e, portanto, devem ser gerenciados de maneira adequada e eficiente.

- Os valores quantitativos obtidos totalizaram **USD 120.445.657,87.ha<sup>-1</sup>** ou **USD 45.623,35.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>**. Embora esta seja uma análise quantitativa preliminar, sem aplicação em campo das metodologias tradicionais, mostra a importância econômica dos serviços ecossistêmicos de uso direto e indireto para a economia local e regional e indica a magnitude econômica da perda destes serviços, se não forem gerenciados adequadamente.

- Os maiores valores quantitativos, em ordem decrescente correspondem aos serviços: estoque de água e recarga subterrânea, regulação dos fluxos de água e prevenção de enchentes, recreação, fixação de energia solar e produção de biomassa, conversão de energia, ciência e educação, regulação da composição química da atmosfera e ciclagem de nutrientes. Esses valores, mesmo que preliminares, mostram que a influência dos serviços de uso indireto na economia deve ser estudada mais profundamente e gerenciada com foco na sustentabilidade do uso dos recursos naturais na região. Mostram também que a recreação é o serviço de uso direto de maior valor. Outras metodologias de valoração dos serviços ecossistêmicos da UHE Carlos Botelho e áreas alagadas devem ser aplicadas para cada um dos serviços identificados para a obtenção de um valor completo da área.

- O valor final obtido representa o retorno anual das funções ambientais, garantido pelas condições ambientais da represa da UHE Carlos Botelho e áreas alagadas, e pode ser modificado para um maior ou menor valor, de acordo com o gerenciamento das forças diretas e indiretas atuantes na bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré.

- As interações analisadas entre as forças, serviços ecossistêmicos e o bem-estar humano mostram que é necessária a elaboração de políticas ambientais, implementação de educação ambiental e gerenciamento adequados nesta bacia para a manutenção dos serviços ecossistêmicos, os quais estão intrinsecamente conectados, com destaque para a

necessidade de recuperação dos mosaicos de vegetação da bacia e o desenvolvimento de novas tecnologias para as atividades econômicas a fim de evitar despejos pontuais e não-pontuais de poluentes orgânicos e inorgânicos. Devem ainda ser levadas em consideração no gerenciamento, as dimensões espaciais e temporais dos serviços ecossistêmicos e a interação dos serviços entre as diferentes bacias hidrográficas.

- Este estudo representa uma avaliação e contribuição iniciais para a construção de uma teoria de valoração dos serviços ecossistêmicos em reservatórios nos Neotrópicos. Também deve contribuir para a elaboração de planos de ação de gerenciamento ambiental na área do reservatório da UHE Carlos Botelho, considerando a atuação de todas as forças nos serviços ecossistêmicos que contribuem para a qualidade da água da represa e que mantém as atividades econômicas locais e regionais através do turismo e recreação.

- Estudos mais detalhados e a aplicação em campo de metodologias de valoração, na bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré e na própria represa da UHE Carlos Botelho devem consolidar um bom desenvolvimento epistemológico da teoria de valoração econômica em reservatórios como subsídio para análises de custo-benefício relacionadas à construção de novas represas de hidrelétricas na região neotropical.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELINI, R. Avaliação da capacidade-suporte da represa do Broa para a colocação de tanques-rede. **Revista Saúde e Ambiente/ Health and Environment Journal**, vol. 3, n. 2, p. 42-48. 2002.

ANGELINI, R.; PETRERE, M., Jr. The ecosystem of Broa reservoir, São Paulo, State, Brazil, as described using ECOPATH. **NAGA**, vol. 19, n. 2, p. 36-41. 1996.

BUTCHART, S.H.M.; WALPOLE, M.; COLLEN, B.; VAN STRIEN, A.; SCHARLEMANN, J.P.W.; ALMOND, R.E.A.; BAILIE, J.E.M.; BOMHARD, B.; BROWN, C.; BRUNO, J.; CARPENTER, K.E.; CARR, G.M.; CHANSON, J.; CHENERY, A.M.; CSIRKE, J.; DAVIDSON, N.C.; DENTENER, F.; FOSTER, M.; GALLI, A.; GALLOWAY, J.N.; GENOVESI, P.; GREGORY, R.D.; HOCKINGS, M.; KAPOS, V.; LAMARQUE, J.F.; LEVERINGTON, F.; LOH, J.; MCGEOCH, M.A.; MCRAE, L.; MINASYAN, A.; MORCILLO, M.H.; OLDFIELD, T..E.E.; PAULY, D.; QUADER, S.; REVENGA, C.; SAUER, J.R.; SKOLNIK, B.; SPEAR, D.; STANWELL-SMITH, D.; STUART, S.N.; SYMES, A.; TIERNEY, M.; TYRRELL, T.D.; VIÉ, J.C.; WATSON, R. Global biodiversity: indicators of recent declines. **Science**, vol 328, p. 1164-1168. 2010.

CARPENTER, S.R.; DEFRIES, R.; DIETZ, T.; MOONEY, H.A.; POLASKY, S.; REID, W.V.; SCHOLLES, R.J. Millenium Ecosystem Assessment: research needs. **Science**, vol. 314, October, pp 257-258. 2006.

CETESB. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo -São Paulo:** CETESB - (Série Relatórios / Secretaria de Estado do Meio Ambiente),v.1, 273p, 2004.

CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY (2010). **Global Diversity Outlook 3**. Montréal. 94 p. 2010.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R.V.; PARUELO, J.; RASKIN, R.G.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, vol. 387, p. 253-260, 15 May 1997.

COSTANZA, R. Social goals and the valuation of ecosystem services. **Ecosystems**, New York, v. 3, p. 4-10, 2000.

COSTANZA, R. Visions, values, valuation, and the need for an Ecological Economics. **BioScience**, vol. 51, n.6, p. 459-468, 2001.

COSTANZA, R. Ecosystem services: multiple classification systems are needed. **Biological Conservation**, vol. 141, p. 350-352. 2008.

DECRETO ESTADUAL N° 20.960, DE 08 DE JUNHO DE 1983. Declara área de proteção ambiental a regiões situadas em diversos municípios, dentre os quais Corumbataí, Botucatu e Tejuapá. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/estadual/decretos/1983%20Dec%2020960.pdf>>. Acesso em 12/05/2011.

DE GROOT, R.S., 1992. **Functions of Nature: Evaluation of Nature in environmental planning management and decision making**. 315p.

DE GROOT, R.S., 1994. Environmental functions and the economic value of natural ecosystems. In: JANSSON, A.; HAMMER, M.; FOLKE, C.; COSTANZA, R. **Investing in natural capital: the ecological economics approach to sustainability**. Island Press, 511 p.

DELELLO, D. **Composição e distribuição (espacial e temporal) de macrófitas aquáticas no Reservatório do Lobo (Broa), Itirapina/Brotas, SP**. São Carlos: 2008. 160 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, campus de São Carlos. 2008.

FARBER, S.C.; COSTANZA, R.; WILSON, M.A. Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. **Ecological Economics**, vol. 41, p. 375-392, 2002.

FREIRE, D.; GIMENES R., J.; PESSOTI, J.E.; CARRARO, E. **Solos da Bacia do Broa**. Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Departamento de Ciências Biológicas. 1980. 139 p.

FISHER, J.; ACREMAN, M.C. Wetland nutrient removal: a review of the evidence. **Hydrology and Earth System Sciences**, vol. 8, n. 4, p. 673-685. 2004.

GREEN, I.M.; FOLKE, C.; KERRY TURNER; IAN BATEMEN. Primary and secondary values of wetland ecosystems. **Environmental and Resources Economics**, vol. 4, p. 55-74, 1994.

GOMES, M.A.F.; FILIZOLA, H.F.; SPADOTTO, C.A. Classificação das áreas de recarga do Sistema Aquífero Guarani no Brasil em domínios pedomorfoagroclimáticos – subsídio aos estudos de avaliação de risco de contaminação das águas subterrâneas. **Revista do Departamento de Geografia, USP**, vol. 1, p. 67-74. 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. População de Itirapina, São Paulo. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=352360>>. Acesso em 20 de julho de 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. População de Brotas, São Paulo. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=350790>>. Acesso em 20 de julho de 2011.

INSTITUTO CARBONO BRASIL. Disponível em: <<http://www.institutocarbonobrasil.org.br>>. Acesso em: 12/05/2011.

JÖRGENSEN, S.E. 1992. **Integration of ecosystem theories: a pattern**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 383 p.

LEI ESTADUAL Nº 14.394/11, de 01/04/2011, GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Salário mínimo**. Disponível em: < [http://www.portalbrasil.net/salariominimo\\_saopaulo\\_2011.htm](http://www.portalbrasil.net/salariominimo_saopaulo_2011.htm)>. Acesso em: 12/05/2011.

LOPES, A.R.B.C. **Valoração ambiental aplicada à qualidade da água da Lagoa da Conceição – Florianópolis-SC**. 158 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

LOW apud FARBER, S.C.; COSTANZA, R.; WILSON, M.A. Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. **Ecological Economics**, vol. 41, p. 375-392, 2002, p. 382.

LUZIA, A.P., 2009. **Estrutura organizacional do fitoplâncton nos sistemas lóticos e lênticos da bacia do Tietê-Jacaré (UGRHI Tietê-Jacaré) em relação à qualidade da água e estado trófico**. 28 de agosto de 2009. 169 p. Tese (Doutorado em Ciências), Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP. 2009.

MARQUES, J.F.; COMUNE, A.E. A teoria neoclássica e a valoração ambiental. *In*: ROMEIRO, A.R.; REYDON, B.P.; LEONARD, M.L. (Org.). **Economia do meio ambiente: teoria, políticas e a gestão de espaços regionais**. Campinas-SP: Unicamp/IE. 1996. 384 p.

MATHEUS, C. E. & TUNDISI, J. G. Estudo físico-químico e ecológico dos rios da bacia hidrográfica do Ribeirão e Represa do Lobo, *apud* TUNDISI, J. G. **Limnologia e manejo de represas**, v. 1, tomos 1 e 2, p. 419-472. São Paulo: USP, ACIESP, FAPESP, UNEP, 1988. (Série Monografias em Limnologia).

MATTOS, K.M.C.; MATTOS, A. **Valoração econômica do meio ambiente: uma abordagem teórica e prática**. São Carlos-SP: Rima, Fapesp, 2004. 148 p.

MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA). **Ecosystems and human well-being: Synthesis**. Washington,DC: Island Press. 137 p. 2005.

MUNASINGHE apud VERGARA, F.E.F. **Avaliação econômica de ambientes naturais**. O caso das áreas alagadas. Uma proposta para a Represa do Lobo (Broa), Itirapina-SP. 1996. 143 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996. p. 42, 43, 44, 45, 47, 49.

MITSCH, W.J. apud VERGARA, F.E.F. **Avaliação econômica de ambientes naturais**. O caso das áreas alagadas. Uma proposta para a Represa do Lobo (Broa), Itirapina-SP. 1996. 143 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996, p. 46.

MONTEIRO, R.C. **Estimativa espaço-temporal da superfície potenciométrica do Sistema Aquífero Guarani na cidade de Ribeirão Preto (SP), Brasil**. Rio Claro-SP. 2003. 212 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

MOTTA-JÚNIOR, J.C.; GRANZINOLLI, M.A.M.; DEVELEY, P.F. Aves da Estação Ecológica de Itirapina, Estado de São Paulo, Brasil. **Biota Neotropica**, vol. 8, n. 3, p. 207-227. 2008.

MOTTA apud VERGARA, F.E.F. **Avaliação econômica de ambientes naturais**. O caso das áreas alagadas. Uma proposta para a Represa do Lobo (Broa), Itirapina-SP. 1996. 143 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996, p. 41, 42, 50.

MÜLLER-PLANTENBERG, C.; AB’SABER, A.N. (Orgs.). **Previsão de impactos**: o estudo de impacto ambiental no Leste, Oeste e Sul. Experiências no Brasil, Rússia e Alemanha. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1998. 569 pp.

NEIFF, J.J. . Aquatic plants of Parana System. Pp. 557-571. In: DAVIES, B. R. & WALKER, K. F. (Eds.). *The Ecology of River Systems*. Dordrecht, Holanda: Dr. W. Junk, 1986, *apud* TUNDISI, J. G. **Limnologia e manejo de represas**, v. 1, tomos 1 e 2, p. 419-472. São Paulo: USP, ACIESP, FAPESP, UNEP, 1988. (Série Monografias em Limnologia).

NEIFF, J. J. & POI DE NEIFF, A. Cambios estacionales en la biomasa de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms y su fauna asociada en una laguna del Chaco (Argentina). *Ecosur*, Rosario, Argentina, v. 11, n. 21-22, p. 51-60, 1984, *apud* TUNDISI, J. G. **Limnologia e manejo de represas**, v. 1, tomos 1 e 2, p. 419-472. São Paulo: USP, ACIESP, FAPESP, UNEP, 1988. (Série Monografias em Limnologia).

PELÁEZ-RODRÍGUEZ, M.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Rotifer production in a shallow artificial lake (Lobo-Broa reservoir, SP, Brazil). **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 62, n. 3, p. 509-516. 2002.

PEREIRA, H.M.; LEADLEY, P.W.; PROENÇA, V.; ALKEMADE, R.; SCHARLEMANN, J.P.W.; FERNANDEZ-MANJARRÉS, J.F.; ARAÚJO, M.B.; BALVANERA, P.; BIGGS, R.; CHEUNG, W.W.L.; CHINI, L.; COOPER, H.D.; GILMAN, E.L.; GUÉNETTE, S.; HURTT, G.C.; HUNTINGTON, H.P.; MACE, G.M.; OBERDORFF, T.; REVENGA, C.; RODRIGUES, P.; SCHOLES, R.; SUMAILA, U.R.; WALPOLE, M. Scenarios for global biodiversity in the 21<sup>st</sup> century. **Science**, vol. 330, p. 1496-1501. 2010.

PEREIRA, J.M.A. **A atividade pesqueira na Represa do Lobo-Broa (Itirapina, Brotas-SP)**: caracterização e composição da captura. São Carlos-SP. 2005. 154 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

PEREIRA, J.M.A.; PETRERE-Jr, M.; RIBEIRO-FILHO, R.A. Angling sportive fishing in Lobo-Broa reservoir (Itirapina, SP, Brazil). **Brazilian Journal of Biology**, vol. 68, n.4, p. 721-731. 2008.

SALA, O.E.; CHAPIM III, F.S.; ARMESTO, J.J.; BERLOW, E.; BLOOMFIELD, J.; DIRZO, R.; HUBER-SANWALD, E.; HUENNEKE, L.; JACKSON, R.B.; KINZIG, A.; LEEMANS, R.; LODGE, D.M.; MOONEY, H.A.; OESTERHELD, M.; POFF, N.L.; SYKES, M.T.; WALKER, B.H.; WALKER, M.; WALL, D.H. Global Biodiversity Scenarios for the year 2100. **Science**, vol. 287, p. 1770-1774. 2000.

SANTOS, J.E.; NOGUEIRA, F.; PIRES, J.S.R.; OBARA, A.T.; PIRES, A.M.Z.C.R. Os valores dos serviços dos ecossistemas e do capital natural da Estação Ecológica de Jataí (Luiz Antônio, SP), pp. 95-119. *In: SANTOS, J.E.; PIRES, J.S.R., 2000. Estudos integrados em ecossistemas: Estação Ecológica de Jataí, vol. 1. 1981. 346p.*

SANTOS, J.E.; PIRES, J.S.R. **Estudos integrados em ecossistemas:** Estação Ecológica de Jataí, vol. 1. 1981. 2000. 346p.

SAWAYA, R. J.; MARQUES, O.A.V.; MARTINS, M. Composição e história natural das serpentes de Cerrado de Itirapina, São Paulo, sudeste do Brasil. *Biota Neotropica*, vol. 8, n.2. p. 127-149. 2008.

STRASKRABA, M.; TUNDISI, J.G. **Diretrizes para o gerenciamento de lagos:** gerenciamento da qualidade da água de represas. 2ª edição. Volume 9. São Carlos: ILEC, IIE, 2008. 300 p.

THIBODEAU, F.R.; OSTRO, B.D. An economic analysis of wetland protection, *Journal of Environmental Management*, v.12, pp. 19-30, *apud* SANTOS, J.E.; NOGUEIRA, F.; PIRES, J.S.R.; OBARA, A.T.; PIRES, A.M.Z.C.R. **Os valores dos serviços dos ecossistemas e do capital natural da Estação Ecológica de Jataí (Luiz Antônio, SP)**, pp. 95-119. *In: SANTOS, J.E.; PIRES, J.S.R., 2000. Estudos integrados em ecossistemas: Estação Ecológica de Jataí, vol. 1. 1981. 346p.*

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Limnology and eutrophication of Barra Bonita reservoir, S. Paulo State, Southern Brazil. **Ergebnisse der Limnologie**, vol. 33, n.3, p. 661-676. 1990.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. The Lobo/Broa ecosystem research. pp. 219-243. *In: BICUDO, C.E.M.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Limnology in Brazil.* ABC, SBL. 1995. 376 p.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; RODRIGUES, S.L. **Gerenciamento e recuperação das bacias hidrográficas dos Rios Itaquerí e do Lobo e da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa).** São Carlos: IIE, IIEGA, 2003. 72 p.

TUNDISI, J.G. (2008). Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, Dossiê Água. São Paulo: USP/ Instituto de Estudos Avançados, vol. 22, n. 63, 2008, pp. 7-16.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 637 p.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J.E.M. Reservoirs and human well being: new challenges for evaluating impacts and benefits in the Neotropics. **Brazilian Journal of Biology**, vol. 68: 1133-1135. 2008.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J.E.M. Reservoirs and human well being: new challenges for evaluating impacts and benefits in the neotropics. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 64, n. 4 (Suppl.), p. 1133-1135, 2008.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. **Biota Neotropica**, vol. 10, n.4, p. 67-76. 2010.

VERGARA, F.E.F. **Avaliação econômica de ambientes naturais**. O caso das áreas alagadas. Uma proposta para a Represa do Lobo (Broa). Itirapina-SP. 1996. 143 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

WHATELY, M.; HERCOWITZ, M. **Serviços ambientais**: conhecer, valorizar e cuidar: subsídios para a proteção dos mananciais de São Paulo. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2008. 119 p.

WHITAKER, V.A. **A area alagada da Represa do Lobo (Itirapina-SP)**: os processos ecológicos associados ao potencial de desnitrificação dos sedimentos. São Carlos-SP. 1993. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

WHITAKER, V.A.; MATVIENKO, B.; TUNDISI, J.G. Spatial heterogeneity of physical and chemical conditions in a tropical reservoir wetland. **Lakes & Reservoirs**, vol. 1, n., p. 169-176. 1995.

WILLIAMS, P.H.; GASTON, K.J.; HUMPHIRES, C.J. Mapping biodiversity value worldwide: combining higher-taxon richness from different groups. **Proceedings of the Royal Society Lond. B**, vol. 264, p. 141-148. 1997.

WILSON, E.O.; PETER, F.M.; **Biodiversity**. National Academy Press: Washington, D.C. 1998. 521 pp.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Ecosystem services**: a guide for decision makers. 2008, 80 pp.