



**XXII SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GIA/21
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO - XI

GRUPO DE ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS – GIA

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA POR ÍNDICE COMPREENSIVO A TODOS - IQA

**Autores: VIANNA, N.C.(1*);ANTÔNIO, R.M.(1);
Instituição: DUKE ENERGY INTERNATIONAL GERAÇÃO PARANAPANEMA S/A(1);**

RESUMO

Com aplicação do IQA, objetivou-se otimizar os monitoramento da qualidade da água dos reservatórios, subsidiando discussões e gestão de qualidade ambiental.

Outra dificuldade do processo anterior era a comunicação com o público não técnico, sendo necessária uma análise mais aprofundada para interpretação dos resultados. Com o IQA, os resultados da qualidade da água são apresentados de forma que o público leigo pode entendê-lo, resumindo o resultado das análises em qualidade “boa”, “média”, “ruim”, etc. Foram selecionados 37 pontos, incluindo distintos compartimentos espaciais do sistema, distribuídos conforme o tamanho do reservatório, contemplando aportes oriundos de municípios, tributários e outras fontes difusas.

PALAVRAS-CHAVE

IQA, monitoramento, água, reservatório, qualidade.

1.0 - INTRODUÇÃO

A América do Sul é um continente dominado fisionomicamente por grandes rios e ecossistemas associados aos mesmos, como as extensas planícies de inundação, as áreas alagáveis e os lagos rasos, principalmente nas latitudes correspondentes às regiões tropicais e subtropicais (Tundisi, 1994).

No Brasil, uma das maiores modificações produzidas sobre os rios é a construção de barragens, que alteram substancialmente as condições de armazenamento e controle do fluxo de água. Estima-se, para o continente sul-americano, a presença de cerca de 1000 reservatórios instalados (Agostinho et al., 2007).

A maioria dos reservatórios de grande porte no país está associada à produção de energia elétrica. O potencial hídrico brasileiro é um dos maiores do mundo, onde cerca de 90% da energia consumida nos últimos anos (ca. 70.000MW) tem sido produzida por usinas hidrelétricas. E ainda mais, cerca de 1000 diferentes locais já inventariados poderão ser utilizados futuramente para a construção de novas usinas (potencial de 107.000MW) (Kelman et al., 2006). Segundo o Banco Mundial (2008), no ano de 2015, as usinas hidrelétricas continuarão a desempenhar um papel chave na matriz energética brasileira, com a estimativa de contribuição de 75% em relação ao total produzido.

As hidrelétricas constituem um sistema integrado e complexo de geração, que embora disponibilize um tipo de energia relativamente limpa e renovável, pode causar grandes mudanças sócio-ambientais e interferir na estrutura e funcionamento ecológico das bacias hidrográficas (Tundisi et al., 1993; Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2003; Nogueira et al., 2006; Agostinho et al., 2007).

A construção de barragens nos cursos d'água transforma sistemas lóticos em lênticos ou semi-lênticos, promovendo atenuações significativas na velocidade de corrente e aumento da profundidade. Os reservatórios, especialmente aqueles de grande porte, geralmente são sistemas de grande complexidade espacial e temporal (Thornton, 1990; Straskraba et al., 1993; Tundisi et al., 1993).

Grande parte da variabilidade dos reservatórios ocorre ao longo do eixo principal, sendo determinada por gradientes longitudinais de velocidade de fluxo, profundidade, largura, sedimentação de partículas, transparência e penetração de luz, estratificação térmica, entre outros (Armengol et al., 1999; Henry & Maricatto, 1996; Paggiaro & Thomaz, 2002). Por sua vez, tais mudanças influenciam de forma determinante a organização das comunidades bióticas (Carvalho & Silva, 1999; Panarelli et al., 2003; Casanova & Henry, 2004; Britto & Carvalho, 2006).

Estudos realizados no Brasil têm demonstrado a existência de compartimentos distintos (características físicas, químicas e biológicas) em um mesmo reservatório (Nogueira et al., 1999; Pinto-Coelho et al., 2006; Soares et al., 2008).

Apesar do uso primário dos reservatórios brasileiros estar relacionado à produção de energia elétrica, a importância de outras atividades associadas aos corpos d'água tem crescido rapidamente, tais como irrigação, lazer, abastecimento público, diluição/estabilização de efluentes, pesca e aquicultura. Conflitos entre estes múltiplos usuários são esperados, especialmente devido à baixa capacidade de planejamento e gerenciamento (setor público e privado) e ao presente cenário de incertezas climáticas.

O conhecimento limnológico acumulado sobre os reservatórios promoveu um crescente entendimento destes ambientes como uma classe exclusiva de lagos (e.g. Tundisi, 1988; Thornton, 1990; Straškraba et al., 1993; Henry, 1999; Tundisi & Straškraba, 1999). Contudo, ainda existem muitas lacunas sobre o entendimento destes ecossistemas. No caso de reservatórios em cascata, por exemplo, relativamente poucos esforços têm sido empreendidos para determinar como o seu funcionamento afeta a estrutura e a organização ecológica dos rios ou como os efeitos cumulativos se propagam ao longo do sistema (Barbosa et al., 1999; Matsumura-Tundisi & Tundisi, 2003; Jorcin & Nogueira, 2008; Naliato et al., 2009). No Brasil, novas cascatas de reservatórios têm sido construídas ou planejadas, inclusive em rios sob jurisdição de internacional, como o Paraná e o Uruguai.

Além dos enfoques tradicionais de investigação acadêmica, continuamente novas questões de natureza aplicada têm sido apresentadas aos limnólogos por engenheiros e gerentes que atuam na gestão de reservatórios (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2003; Tundisi, 2006). Portanto, é imperativo incrementar a capacidade de predição da limnologia, com avaliações mais precisas dos impactos produzidos pelas represas e proposição de medidas de mitigação que sejam realmente efetivas. Tais contribuições são de grande utilidade para a sociedade, especialmente nos países em desenvolvimento, como o Brasil, onde a construção de reservatórios ainda segue em ritmo acelerado, a fim de atender a crescente demanda de energia elétrica decorrente do crescimento econômico e demográfico.

2.0 - OBJETIVO

Apresentar os resultados do Índice de qualidade da Água (IQA) - características físicas, químicas e biológicas (coliformes e fitoplâncton), dos reservatórios em cascata do rio Paranapanema SP.

3.0 - MATERIAL E MÉTODO

No estudo dos reservatórios foram selecionados pontos de amostragens, procurando incluir os distintos compartimentos espaciais do sistema. Os pontos foram dispostos em um gradiente estabelecido entre a zona de montante – ambiente lótico, e a zona da barragem - ambiente lêntico (Figuras 1 a 8).

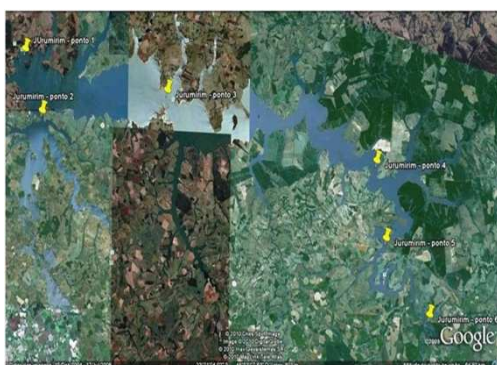


FIGURA 1 – Pontos amostrais na UHE Jurumirim

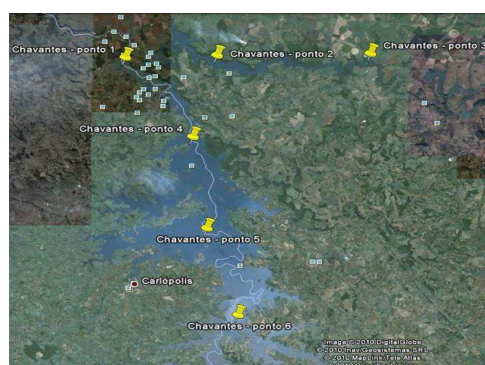


FIGURA 2 – Pontos amostrais na UHE Chavantes



FIGURA 3 – Pontos amostrais na UHE Salto Grande



FIGURA 4 – Pontos amostrais na UHE Canoas II

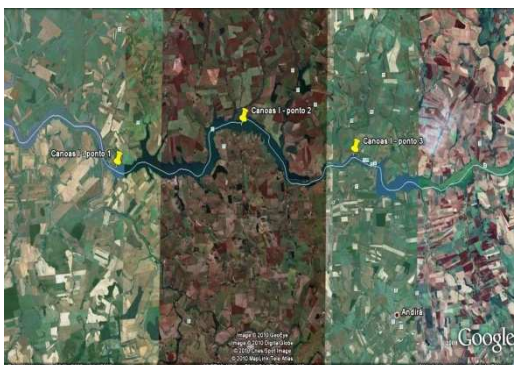


FIGURA 5 – Pontos amostrais na UHE Canoas I



FIGURA 6 – Pontos amostrais na UHE Capivara

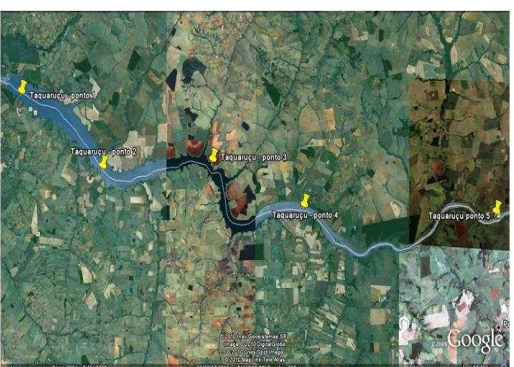


FIGURA 7 – Pontos amostrais na UHE Taquaruçu

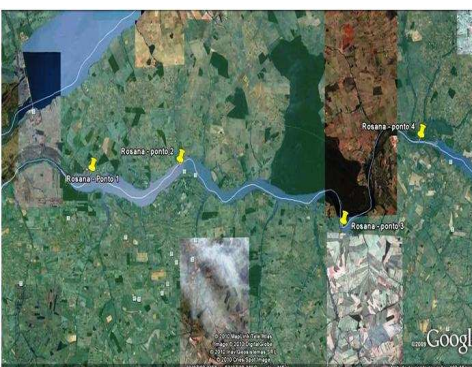


FIGURA 8 – Pontos amostrais na UHE Rosana

3.1 - Variáveis Limnológicas

As seguintes variáveis limnológicas foram medidas in situ:

Parâmetro	Metodologia empregada
Transparência da água	Desaparecimento visual do disco de Secchi
Temperatura do ar	Termômetro mercúrio
Temperatura da água	Sonda multiparâmetros Eureka – perfil vertical
Oxigênio dissolvido	Sonda multiparâmetros Eureka – perfil vertical
pH	Sonda multiparâmetros Eureka – perfil vertical
Condutividade elétrica	Sonda multiparâmetros Eureka – perfil vertical

Para análises de nutrientes (nitrogênio e fósforo totais), sólidos totais, sólidos em suspensão, turbidez e clorofila *a*, a água coletada em cada uma das profundidades foi homogeneizada, formando uma amostra integrada. As análises de nitrogênio e fósforo total foram efetuadas após a digestão da amostra (Valderrama, 1981) e, posteriormente, determinadas como nitrito e ortofosfato. A turbidez foi medida com o auxílio de um

turbidímetro de bancada. Os sólidos totais foram analisados segundo os procedimentos metodológicos descritos em APHA (2005). Para a determinação de sólidos em suspensão, seguiu-se o método gravimétrico segundo princípio descrito em Cole (1979). A demanda bioquímica de oxigênio foi determinada pelo Método da Incubação (20 oC, 5 dias) (APHA, 1998).

3.2 - Variáveis Bióticas

As amostras de água para as análises de coliformes foram coletadas com luvas esterilizadas para evitar qualquer tipo de contaminação. Em cada ponto foi coletada uma amostra de superfície, de aproximadamente 100 mL, a qual foi acondicionada em envelope plástico esterilizado. A determinação quantitativa foi realizada de acordo com a técnica do NMP (APHA, 2005).

3.3 – Índice da Qualidade das Águas

O índice de qualidade da água (IQA) foi calculado de acordo com a metodologia utilizada pela CETESB (2009). A aplicação do IQA resulta em um valor relacionado à qualidade geral da água em um determinado local e tempo, baseado em variáveis de qualidade da água, com o objetivo de transformar dados em informação que pode ser entendida facilmente e utilizada em processos de gestão e divulgação.

A estrutura do índice de qualidade da água foi desenvolvida pela “National Sanitation Foundation – NSF” dos Estados Unidos da América na década de 70, com base no método DELPHI, uma técnica de pesquisa de opinião que pode ser utilizada para extrair informações de um grupo de profissionais, buscando maior convergência nos dados dos parâmetros. O tratamento dos dados da mencionada pesquisa definiu um conjunto de nove variáveis, consideradas mais representativas para a caracterização da qualidade das águas: oxigênio dissolvido, coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fosfato total, temperatura da água, turbidez e sólidos totais.

O IQA é calculado pelo produto ponderado das “qualidades de água” correspondentes às variáveis que integram o índice.

A seguinte fórmula é utilizada:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

onde:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, entre 0 e 100;

qi: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida e,

wi: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

em que:

n: número de variáveis que entram no cálculo do IQA.

O IQA apresenta uma tabela de classificação, que varia entre ótima e péssima, de acordo com os valores obtidos para cada estação amostrada.

Tabela de Classificação - IQA	
Categoria	Ponderação
Ótima	79 < IQA ≤ 100
Boa	51 < IQA ≤ 79
Regular	36 < IQA ≤ 51
Ruim	19 < IQA ≤ 36
Péssima	IQA ≤ 19

4.0 - RESULTADOS

Tabela 1 – Índice de Qualidade das Águas (IQA), calculado com base em nove parâmetros: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes fecais, nitrogênio total, fósforo total e turbidez nos períodos de março, maio e outubro nos reservatórios da Duke Energy.

Jurumirim			
LOCAL	MARÇO	JULHO	OUTUBRO
Município Paranapanema	83	96	89
Balsa de Itatinga	89	82	86
Ribeirão das Posses	89	86	83
Avaré	93	92	82
Taquari	74	83	82
Barragem	87	87	86

Chavantes			
LOCAL	MARÇO	JULHO	OUTUBRO
Balsa Fatura	89	89	99
Município de Carlópolis	91	91	99
Ribeirão C. Cachoeirinha	93	89	99
Montante (Santa)	77	88	99
Ipaussu	88	99	91
Barragem	91	99	79

Salto Grande			
LOCAL	MARÇO	JULHO	OUTUBRO
Diacuí	73	79	84
Foz Rio Pardo	72	78	80
Pedra Branca	82	76	92
Foz Rio Novo	81	81	86
Barragem	79	77	90

Canoas II			
LOCAL	MARÇO	JULHO	OUTUBRO
Jusante do Salto Grande	80	68	88
Água Vieira - Cambará	77	78	89
Barragem	71	73	88






Canoas I			
LOCAL	MARÇO	JULHO	OUTUBRO
Jusante Canoas II	64	74	83
Porto Almeida	72	84	89
Barragem	86	82	88

Capivara			
LOCAL	MARÇO	JULHO	OUTUBRO
Foz Rio das Cinzas	86	90	90
Florínea	91	94	92
P. Assis - Sertãoópolis	89	86	88
Município de 1º de Maio	79	90	81
Município de Alvorada do Sul	75	84	86
* Barragem	87	94	79

Taquaruçu			
LOCAL	MARÇO	JULHO	OUTUBRO
Balsa Mairá	83	87	92
Município Santo Inácio	82	92	88
Município Santa Inês	86	89	90
Barragem	90	91	93

Rosana			
LOCAL	MARÇO	JULHO	OUTUBRO
Jusante do Rio Pirapó	83	87	87
Morro do Diabo	83	84	83
Balsa Eulides Paulista	83	84	93
Barragem	91	86	92

Tabela de classificação - IQA
CATEGORIA E PONDERAÇÃO

				
Ótima	Boa	Regular	Ruim	Péssima
79 a 100	51 a 79	36 a 51	19 a 36	< 19

Devido ao monitoramento do “Índice de Qualidade da Água - IQA” feito pela Duke Energy é possível constatar que o rio Paranapanema está em ótima condição ambiental.

Tendo como referência o IQA, baseado no modelo adotado pela CETESB, que leva em consideração nove parâmetros, a classificação obtida para 80% das estações amostradas dos reservatórios da Duke Energy no rio Paranapanema, foi “Ótima”. Sendo as 20% restantes classificadas como “Boa”.

5.0- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L.C. & PELICICE, F. M. 2007. Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil. Maringá: Eduem. 501 pp.

APHA. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition, Washington DC.

APHA. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. Ed. Lenore S. Clesceri, Arnold E. Greenberg - Washington: American Public Health Association. 21 ed. 1368p

ARMENGOL, J.; GARCIA, J. C.; COMERMA, M.; ROMERO, M.; DOLZS, J.; ROURA, M.; HAN, B. H.; VIDAL, A. & ŠIMEK, K. 1999. Longitudinal processes in canyon type reservoirs: The Case of Sau (N.E. Spain). In:

- TUNDISI, J. G. & STRASKRABA, M. (eds). Theoretical reservoir ecology and its applications. Leiden. Brazilian Academy of Sciences, International Institute of Ecology and Backhuys Publishers. 313-345.
- BANCO MUNDIAL. 2008. Licenciamento ambiental de empreendimentos hidrelétricos no Brasil: uma contribuição para o debate. Brasil: Banco Mundial. v. 1.
- BARBOSA, F. A. R.; PADISÁK, J.; ESPÍNDOLA, E. L.G.; BORICS, G. & ROCHA, O. 1999. The cascade reservoir continuum concept (CRCC) and its applications to the River Tietê basin, São Paulo State, Brazil. In: Tundisi, J. G. & Straskraba, M. (eds). Theoretical reservoir ecology and its applications. Leiden. Brazilian Academy of Sciences, International Institute of Ecology and Backhuys Publishers. 457-476.
- BRITTO, S. G. de C. & CARVALHO, E. D. 2006. Ecological attributes of fish fauna in the Taquaruçu reservoir, Paranapanema River (upper Paraná, Brazil): composition and spatial distribution. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 18: 377-388.
- CARVALHO, E. D. & SILVA, V. F. B. 1999. Aspectos ecológicos da ictiofauna e da produção pesqueira do Reservatório de Jurumirim (Alto do Paranapanema, São Paulo). In: Henry, R. (ed). *Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais*. Botucatu. FAPESP/FUNDIBIO. 769-800.
- CASANOVA, S.M.; HENRY, R. 2004. Longitudinal distribution of Copepoda populations in the transition zone of Paranapanema River and Jurumirim Reservoir (São Paulo, Brazil) and interchange with two lateral lakes. *Brazilian Journal of Biology*, v. 64, n.1, p. 11-26.
- CETESB. 2009. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo. São Paulo, SP. Série Relatórios. Apêndice B. 29 p.
- HENRY, R. & MARICATTO, F. E. 1996. Sedimentation rates of tripton in Jurumirim reservoir (São Paulo, Brasil). *Limnologica* 25: 15-25.
- HENRY, R. 1999. *Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais*. Botucatu, FAPESP – FUNDIBIO. 800pp.
- JORCIN, A., NOGUEIRA, M. G. 2008. Benthic macroinvertebrates in the Paranapanema reservoir cascade (Southeast Brazil). *Braz. J. Biol.* 68 (4, Suppl.): 631-637.
- KELMAN, J. PEREIRA, M. V.; ARARIRPE, T. A. & SALES, P. R. De H. 2006. Hidreletricidade. In: Rebouças, A. da C.; Braga, B. & Tundisi, J. G. (eds). *Águas doces no Brasil. Capital ecológico, uso e conservação*. 2. ed. São Paulo. Escrituras Editora. 195-223.
- MATSUMURA-TUNDISI, T. & TUNDISI, J. G. 2003. Calanoida (Copepoda) species composition changes in the reservoirs of the State of São Paulo (Brazil) in the last twenty years. *Hydrobiologia* 50(4): 215-222.
- NALIATO, D. A. de O.; NOGUEIRA, M. G. & PERBICHE-NEVES, G. 2009. Discharge pulses of hydroelectric dams and their effects in the downstream limnological conditions: a case study in a large tropical river (SE Brazil). *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, 14: 301 - 314.
- NOGUEIRA, M. G.; HENRY, R. & MARICATTO, F. E. 1999. Spatial and temporal heterogeneity in the Jurumirim Reservoir, São Paulo, Brazil. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 4: 107-120.
- NOGUEIRA, M.G.; JORCIN, A.; VIANNA, N.C.; BRITTO, Y.C. 2006. Reservatórios em cascata e os efeitos na limnologia e organização das comunidades bióticas (fitoplâncton, zooplâncton e zoobentos): Um estudo de caso no rio Paranapanema (SP/PR). In: NOGUEIRA, M.G.; HENRY, R. & JORCIN, A. (eds.). *Ecologia de reservatórios: Impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata (2ª ed.)*. São Carlos: Rima. 435-459.
- NOGUEIRA, M. G.; REIS OLIVEIRA, P. C. & BRITTO, Y. T. 2008. Zooplankton assemblages (Copepoda and Cladocera) in a cascade of reservoirs of a large tropical river (SE Brazil). *Limnetica* 27(1): 151-170.
- PANARELLI, E. A.; CASANOVA, S. M. C.; NOGUEIRA, M. G.; MITSUKA, P. M. & HENRY, R. 2003, A comunidade zooplânctônica ao longo de gradientes longitudinais no Rio Paranapanema/ Represa de Jurumirim (São Paulo, Brasil). In: Henry, R. (Ed.). *Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos*. RiMa, São Carlos. 129-160.
- PAGIORO, T. A. & S. M. THOMAZ. 2002. Longitudinal patterns of sedimentation in a deep, monomitic subtropical reservoir (Itaipu, Brazil- Paraguay). *Archives Hydrobiology* 154 (3): 515-528.

- PINTO-COELHO, R. M.; AZEVEDO, L. M.; RIZZI, P. E. V.; BEZERRA-NETO, J. F. & ROLLA, M. E. 2006. Origens e efeitos do aporte externo de nutrientes em um reservatório tropical de grande porte: reservatório de São Simão (MG/GO). In: Nogueira, M.G.; Henry, R. & Jorcin, A. (eds.). *Ecologia de reservatórios: Impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata* (2ª ed.). São Carlos: Rima. 127-164.
- SOARES, M. C. S.; MARINHO, M. M.; HUSZAR, V. L. M.; BRANCO, C. W. C. AZEVEDO, S. M. F. O. 2008. The effects of water retention time and watershed features on the limnology of two tropical reservoirs in Brazil. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 13: 257-269.
- STRAŠKRABA, M.; TUNDISI, J. G. & DUNCAN, A. 1993. State of the art of reservoir limnology and water quality management. In: STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G.; DUNCAN, A., (eds) *Comparative reservoir limnology and water quality management*. Dordrecht. Kluwer Academic Publishers. 213-288.
- THORNTON, W. K. 1990. Perspectives on reservoir limnology. In: THORNTON, K. W.; KIMMEL, B.L. and PAYNE, E. F. (eds). *Reservoir Limnology: ecological perspectives*. New York. John Wiley & Sons, Inc..1-13.
- TUNDISI, J. G. 1988. Impactos ecológicos da construção de represas: aspectos específicos e problemas de manejo. In: Tundisi, J. G. (ed.). *Limnologia e manejo de represas. Série: Monografias em limnologia*. São Paulo, ACIESP. t.1: 1-75.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. & CALIJURI, M. C. 1993. Limnology and management of reservoirs in Brazil. In: STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G. & DUNCAN, A. (eds) *Comparative reservoir limnology and water quality management*. Dordrecht. Kluwer Academic Publishers. 25-55.
- TUNDISI, J. G. 1994. Tropical South America: present and perspectives. In: Margalef, R. (ed.) *Limnology now: a paradigm of planetary problems*. Amsterdam, Elsevier Science B. 353-424.
- TUNDISI, J. G. & STRASKRABA, M. (eds). 1999. *Theoretical Reservoir Ecology and its Applications*. Leiden. Brazilian Academy of Sciences, International Institute of Ecology and Backhuys Publishers. 585pp.
- TUNDISI, J. G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. 2003. Integration of research and management in optimizing multiple uses of reservoirs: the experience of South American and Brazilian cases studies. *Hydrobiologia*, 500: 231-242.
- TUNDISI, J.G. 2006. Gerenciamento integrado de bacias hidrográficas e reservatórios – estudos de caso e perspectivas. In: NOGUEIRA, M.G.; HENRY, R. & JORCIN, A. (eds.). *Ecologia de reservatórios: Impactos potenciais, Ações de manejo e Sistemas em Cascata*. São Carlos: Rima, pp. 1-21.
- VALDERRAMA, J. G. 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and phosphorus in natural waters. *Marine Chemistry*, 10: 109-122.