



IV-041 - UTILIZAÇÃO DE ÍNDICES DE ESTADO TRÓFICO PARA AVALIAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO DE RESERVATÓRIOS NO BRASIL: UMA ANÁLISE CRÍTICA

Luiza Spengler Coelho⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Mestranda em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Kennedy Francis Roche

Doutor em Biologia. Professor do Departamento de Hidráulica e Transportes da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Endereço⁽¹⁾: Rua Sergipe, 659 – Jardim dos Estados - Campo Grande – MS – CEP: 79020-160 – Brasil – Tel: (67) 3321-3351 - e-mail: luizascoelho@gmail.com

RESUMO

O processo de eutrofização de um ambiente aquático é caracterizado através da classificação em graus de trofia, ou seja, em níveis de estado trófico. Uma das formas de classificar troficamente corpos d'água é através da utilização de Índices de Estado Trófico (IET), que são calculados a partir de três parâmetros: clorofila *a*, transparência (Disco de Secchi) e fósforo total. Esses índices são dinâmicos e sua concepção permite que os corpos d'água mudem de classificação de trofia ao longo do tempo. Sua principal função é auxiliar no diagnóstico do processo de eutrofização, e no gerenciamento do corpo d'água afetado. Atualmente, o Índice de Estado Trófico mais utilizado tanto no âmbito institucional como acadêmico no Brasil, é o índice clássico introduzido por Carlson (1977) e modificado por Toledo et al. (1983) e Toledo (1990), que alteraram as expressões originais para adequá-las à realidade de ambientes subtropicais. Contudo, recentemente Lamparelli (2004) propôs um novo Índice de Estado Trófico, baseada em dados coletados em reservatórios do Estado de São Paulo. O objetivo deste estudo foi analisar criticamente o uso de Índices de Estado Trófico para descrever processos de eutrofização de reservatórios no Brasil. Os resultados demonstram que, quando aplicados a uma série temporal, os Índices de Estado Trófico podem demonstrar através dos seus resultados as mudanças ecológicas ocorridas no ambiente ao longo do período. Observa-se que por serem critérios numéricos, os Índices de Estado Trófico apresentam vantagens como o fato de serem objetivos, de fácil compreensão e de permitirem melhor acompanhamento dos resultados de programas de recuperação da qualidade das águas.

PALAVRAS-CHAVE: Índice de Estado Trófico, Eutrofização, Estado trófico, Reservatórios, Variáveis Limnológicas

INTRODUÇÃO

A eutrofização é um processo natural, que vem sendo induzido de modo acelerado por atividades antropogênicas, podendo ser definida como o processo de enriquecimento por nutrientes de um corpo d'água, ocasionando o excessivo crescimento de macrófitas aquáticas e/ou algas (Esteves, 1998). Os nutrientes majoritariamente responsáveis pela eutrofização são o fósforo e o nitrogênio (Braga et al., 1998).

Segundo González et al. (2006), a eutrofização na América Latina se origina por diversas causas, entre as que se destacam as descargas de efluentes sem tratamento prévio ou com tratamento insuficiente ou inadequado aos corpos de água, a expansão agrícola sem o manejo apropriado do solo, o uso de agroquímicos, a agriculturização e a urbanização de bacias de drenagem, a pecuária, o aumento da produção animal nos sistemas aquáticos (aqüicultura) e terrestres (granjas avícolas e porcinas), a construção de reservatórios e a destruição de ecossistemas naturais.

A eutrofização gera diversos efeitos nos ecossistemas aquáticos, todos relacionados à deterioração em longo prazo da qualidade hídrica do corpo d'água e da sua vida aquática. Para a sociedade, a eutrofização traz problemas associados ao uso, inibindo ou prejudicando muitos dos usos múltiplos e nobres da água como para abastecimento humano, assim esse processo gera reflexos econômicos, como por exemplo, custos associados ao tratamento de água e a recuperação do ambiente degradado.



Nogueira (1991), Sperling (2005) e Esteves (1998) discutiram os seguintes problemas associados com eutrofização, devido ao crescimento exagerado de plantas (algas e/ou macrófitas): Problemas estéticos e recreacionais; condições anaeróbias no fundo do corpo d'água; eventuais condições anaeróbias no corpo d'água como um todo; mortandade de peixes; maior dificuldade e elevação nos custos de tratamento da água; problemas com o abastecimento industrial; toxicidade das algas (especialmente das cianobactérias); modificações na qualidade e quantidade de peixes de valor comercial; redução na navegação e capacidade de transporte; desaparecimento gradual do lago como um todo. Segundo Esteves (1998) é mais apropriado estudar a eutrofização como um caso de regressão do ecossistema.

O processo de eutrofização de um ambiente aquático é caracterizado através da classificação em graus de trofia, ou seja, em níveis de estado trófico. Essa abordagem de classificação tipológica consiste em, de acordo com as suas características químicas e biológicas (como concentrações de nutrientes e produtividade primária), conferir a um corpo d'água uma categoria de estado trófico, variando de estágios mais amenos de eutrofização como o oligotrófico para mais avançados como o eutrófico. Naumann (1919, 1929 apud Lamparelli, 2004) define o estado trófico como “a resposta biológica de lagos à introdução de nutrientes”. Segundo Esteves (1998) a classificação trófica de um ecossistema aquático deve basear-se no maior número possível de características. Em geral, é aceito que o nível trófico de um corpo d'água pode ser inferido das suas concentrações de Clorofila *a* (utilizadas como medidas da biomassa de algas) das espécies de algas presentes, da transparência da água e das concentrações de nutrientes e oxigênio dissolvido (Toledo et al., 1983).

Na busca por limites que dividissem os ambientes segundo a sua qualidade, surgiram os esquemas simplificados de classificação em graus de trofia. Nesses esquemas, comumente apresentados na forma de tabelas, cada classe de trofia é representada por uma faixa de valores de uma variável, em geral são adotadas três variáveis: clorofila *a*, transparência (Disco de Secchi) e fósforo total. Assim, para se determinar o estado trófico de um ambiente, basta medir o valor de uma variável, buscar na tabela a faixa correspondente a esse valor e, deste modo, obtém-se a classe de trofia na qual o ambiente se encontra.

Outros autores estabeleceram Índices de Estado Trófico (IETs), que são calculados a partir de três parâmetros: clorofila *a*, transparência (Disco de Secchi) e fósforo total (Toledo et al., 1983). Esses índices são dinâmicos e sua concepção permite que os corpos d'água mudem de classificação de trofia ao longo do tempo. Sua principal função é auxiliar no diagnóstico do processo de eutrofização através do levantamento das características do corpo d'água. Atualmente, o Índice de Estado Trófico mais utilizado tanto no âmbito institucional como acadêmico no Brasil, é o índice clássico introduzido por Carlson (1977) e modificado por Toledo et al. (1983) e Toledo (1990), que alteraram as expressões originais para adequá-las à realidade de ambientes subtropicais. Contudo, recentemente Lamparelli (2004) propôs um novo Índice de Estado Trófico, baseada em dados coletados em reservatórios do Estado de São Paulo.

Devido ao seu caráter sintético e simplificado, os Índices de Estado Trófico são usualmente preferidos em estratégias de manejo, pois são usados para simplificar fenômenos complexos, o que decorre do fato de que um índice reduz um determinado fenômeno a uma única dimensão a partir da medida de uma série de variáveis. Assim têm-se que os IETs representam a média das principais expressões físicas, químicas e biológicas do conceito de estado trófico, sendo a transparência da água a variável física, clorofila *a* a variável biológica e as concentrações de fósforo total a variável química (Bicudo et al., 2006).

Na aplicação de um Índice de Estado Trófico (IET) pode-se observar que o Índice médio engloba, de forma satisfatória, a causa e o efeito do processo, pois os resultados do parâmetro fósforo total, IET (PT), podem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, já que este nutriente atua como o agente causador do processo, e os resultados procedentes da clorofila *a*, IET (CL), podem ser considerados como uma medida da resposta do ambiente aquático ao processo de eutrofização, pois indicam o nível de crescimento de algas (CETESB, 2006).

Conclui-se que, em geral, as abordagens para classificação de ambientes aquáticos podem ser divididas em dois principais grupos: os esquemas simplificados e os Índices de Estado Trófico (IETs). A importância da classificação trófica de ambientes aquáticos reside no fato de que o estabelecimento de critérios, numéricos ou normativos, auxilia no estabelecimento de políticas de gerenciamento de corpos d'água, (Lamparelli, 2004). Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos - USEPA (2000, apud Lamparelli, 2004), a



utilização de critérios numéricos tem como grande vantagem o fato de serem objetivos e de mais fácil acompanhamento.

O objetivo deste estudo é analisar criticamente o uso de Índices de Estado Trófico para descrever processos de eutrofização de reservatórios no Brasil. Almeja-se analisar os principais Índices de Estado Trófico utilizados no Brasil e verificar se eles demonstram que as mudanças temporais das características limnológicas de corpos aquáticos podem implicar em variações no estado trófico dos sistemas, e avaliar a sensibilidade desses diferentes esquemas de classificação trófica a essas variações.

MATERIAIS E MÉTODOS

Como medidas *in situ* foram utilizados os dados do Reservatório “Lago do Amor” (Campo Grande, MS), correspondentes ao seu programa de monitoramento ambiental, que são coletados mensalmente, desde Julho de 2005, em um ponto de amostragem na região limnética do reservatório, próximo ao seu sumidouro. As amostras de água são coletadas usando uma garrafa de Van Dorn, retirando 5 litros de cada uma das profundidades de 30% e 60% da coluna d’água, respectivamente, e depois misturando, formando amostras compostas. Em cada data de amostragem, são coletadas 2 réplicas para análise de qualidade da água e são analisados os parâmetros que constam na Tabela 1. As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Qualidade Ambiental (LAQUA), da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, seguindo a metodologia proposta por APHA (2005).

Tabela 1: Parâmetros e técnicas analíticas utilizadas.

PARÂMETROS	TÉCNICA ANALÍTICA	UNIDADE
Clorofila <i>a</i>	Espectrofotométrico, com extração usando etanol 80% a quente e posterior choque térmico (Nusch, 1980)	µg/L
Condutividade	Condutímetro Yellow Springs - model 33	µMHOS
Cor	Colorímetro Portátil	mg Pt/L
Fósforo total	Espectrofotométrico (Cloreto estanhoso) c/ pré-digestão	mg P/L
Nitrogênio total	Método Hach de digestão com Persulfato (TNT Persulfate Digestion Method - Hach)	mg N/L
Oxigênio dissolvido	Em campo: Oxímetro Mettler Toledo - MO128 Em laboratório: Winkler, Azida modificada	mg/L
pH	Potenciométrico	
Sólidos em suspensão totais, fixos e voláteis	Método Gravimétrico. Filtragem da amostra com filtros GF-I-47 mm. (Secagem dos filtros por uma hora a 105°C para resíduos totais e a 550°C por 20 minutos para resíduos fixos, e pela diferença entre esses determinam-se os voláteis).	mg/L
Temperatura da água	Termistor	°C
Transparência de Secchi	Disco de Secchi	cm
Turbidez	Turbidímetro (método nefelométrico)	NTU

Para a aplicação dos Índices de Estados Tróficos, que serão referidos pela sigla IETs, foram utilizados os dados do monitoramento do Reservatório “Lago do Amor” (Campo Grande, MS), referentes ao período de Julho de 2005 a Julho de 2007. De acordo com os acontecimentos que ocorreram durante esse período, o mesmo foi delimitado em três fases:

Fase 1: Período de remoção das macrófitas - julho a dezembro de 2005 (5 meses). No início deste período, o reservatório encontrava-se com sua superfície completamente coberta pela vegetação aquática (*Eichhornia crassipes*). Os trabalhos manuais e mecânicos de retirada das macrófitas foram completados no final dessa fase.

Fase 2: Período que tem início após a completa remoção das macrófitas aquáticas - janeiro a maio 2006 (5 meses).

Fase 3: Após obras de melhoria da drenagem do reservatório – junho 2006 a julho 2007 (14 meses).

ÁREA DE ESTUDO

O “Campus” da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul em Campo Grande está situado na bacia hidrográfica do Córrego Bandeira. Em 1968, foi construída uma barragem nesse córrego, após a confluência com o Córrego Cabaça, um de seus afluentes, que deu origem ao reservatório “Lago do Amor” (coordenadas: 20°30'12.07’’S, 54°37'0.15’’W) (Figura 1). O reservatório tem forma trapezoidal, com área de cerca de 13 hectares, profundidade média de 2 metros e tempo de residência hidráulica de aproximadamente 2 meses. Atualmente, esta bacia hidrográfica está inserida em área altamente urbanizada e os córregos recebem drenagem pluvial, efluentes domésticos e industriais.

A partir de 2003, o reservatório “Lago do Amor” apresentou excessivo crescimento de macrófitas (*Eichhornia crassipes*), chegando a ter sua superfície totalmente coberta por vários meses; em junho de 2005 iniciou-se a retirada desta vegetação, completada em dezembro de 2005. Coelho & Roche (2007) demonstraram que esse reservatório encontra-se com alto aporte de fósforo, o que o caracteriza como um ambiente eutrófico – hipereutrófico.

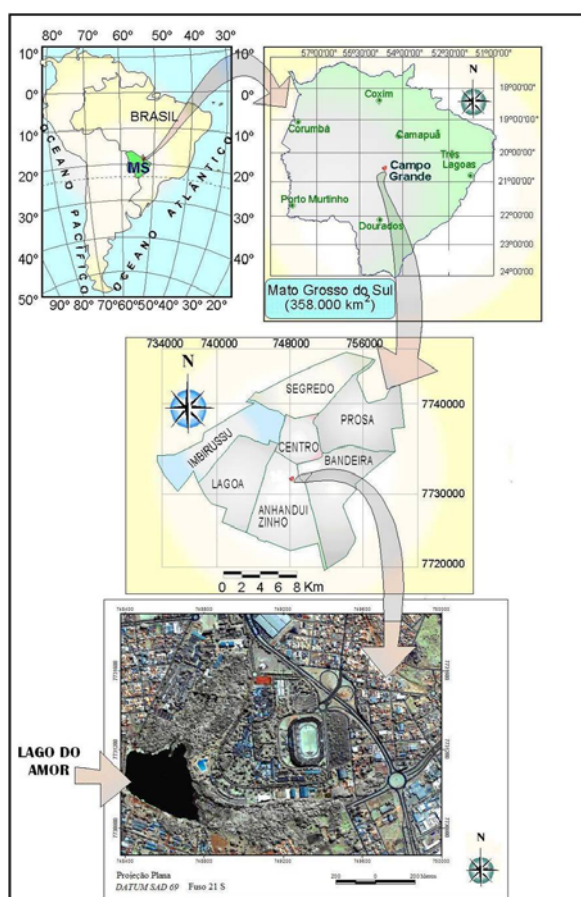


Figura 1: Localização do Reservatório “Lago do Amor” (adaptado de Lajo, 2003).

ÍNDICES DE ESTADO TRÓFICO - IETs

O reservatório foi classificado em graus de trofia através da aplicação dos seguintes índices: Índice de Estado Trófico (IET) de Carlson modificado por Toledo (1990) e o Índice de Estado Trófico (IET) proposto por Lamparelli (2004).



O IET de Carlson modificado por Toledo (1990) é composto por Índices de Estado Trófico para os parâmetros: fósforo total - IET (PT), clorofila *a* - IET (CL), e transparência - IET (S); segundo as seguintes equações (1), (2) e (3):

$$\text{IET (CL)} = 10 \{6 - [(2,04 - 0,695 \ln \text{CL}) / \ln 2]\} \quad \text{equação (1)}$$

$$\text{IET (PT)} = 10 \{6 - [\ln (80,32 / \text{PT}) / \ln 2]\} \quad \text{equação (2)}$$

$$\text{IET (S)} = 10 \{6 - [(0,64 + \ln \text{S}) / \ln 2]\} \quad \text{equação (3)}$$

Em que: S = Transparência da água, em metros;

PT = concentração de fósforo total, em µg/L;

CL = concentração de clorofila *a*, em µg/L.

O IET de Lamparelli (2004), assim como os outros índices, também é composto por Índices de Estado Trófico para o fósforo total - IET (PT), para a clorofila *a* - IET (CL), e para a transparência - IET (S), segundo as seguintes equações (4), (5) e (6):

$$\text{IET (CL)} = 10 \{6 - [(0,92 - 0,34 (\ln \text{CL})) / \ln 2]\} \quad \text{equação (4)}$$

$$\text{IET (PT)} = 10 \{6 - [(1,77 - 0,42 (\ln \text{PT})) / \ln 2]\} \quad \text{equação (5)}$$

$$\text{IET (S)} = 10 \{6 - [(\ln \text{S}) / \ln 2]\} \quad \text{equação (6)}$$

Em que: S = Transparência da água, em metros;

PT = concentração de fósforo total, em µg/L;

CL = concentração de clorofila *a*, em µg/L.

Os Índices calculados para cada parâmetro podem ser analisados separadamente, ou em conjunto através do cálculo da sua média aritmética.

Um grande problema na aplicação do IET de transparência da água (profundidade de Secchi) - IET (S) é a influência da turbidez inorgânica, causada, por exemplo, pela argila e outros sedimentos inorgânicos; isto é um fenômeno especialmente comum nas regiões tropicais (Toledo et al., 1983; Hart, 1986; Lamparelli, 2004), assim a utilização deste índice deve ser considerada apenas como uma referência aproximada.

Portanto, o IET médio adotado neste trabalho consiste na média aritmética dos IET (PT) e IET (CL), sendo desconsiderado nesse cálculo o IET(S), resultando na seguinte equação (7):

$$\text{IET} = [\text{IET (PT)} + \text{IET (CL)}] / 2 \quad \text{equação (7)}$$

As Tabelas 2 e 3 resumem os limites para os diferentes níveis de estado trófico, segundo cada sistema de classificação proposto.

Tabela 2: Limites para os diferentes níveis de estado trófico, segundo o sistema de classificação proposto por Toledo (1990, apud Lamparelli, 2004).

Critério	Classe de Trofia	Transparência (m)	Fósforo total (mg.L⁻¹)	Clorofila <i>a</i> (µg.L⁻¹)
IET ≤ 24	Ultraoligotrófico	≥ 7,8	≤ 0,006	≤ 0,51
24 < IET ≤ 44	Oligotrófico	7,7 - 2,0	0,007 - 0,026	0,52 - 3,81
44 < IET ≤ 54	Mesotrófico	1,9 - 1,0	0,027 - 0,052	3,82 - 10,34
54 < IET ≤ 74	Eutrófico	0,9 - 0,3	0,053 - 0,211	10,35 - 76,06
IET > 74	Hipereutrófico	< 0,3	> 0,211	> 76,06



Tabela 3: Limites para os diferentes níveis de estado trófico, segundo o sistema de classificação proposto por Lamparelli (2004).

Critério	Classe de Trofia	Transparência (m)	Fósforo total (mg.L ⁻¹)	Clorofila a (µg.L ⁻¹)
IET ≤ 47	Ultraoligotrófico	≥ 2,4	≤ 0,008	≤ 1,17
47 < IET ≤ 52	Oligotrófico	1,7 – 2,4	0,008 – 0,019	1,17 – 3,24
52 < IET ≤ 59	Mesotrófico	1,1 – 1,7	0,019 – 0,052	3,24 – 11,03
59 < IET ≤ 63	Eutrófico	0,8 – 1,1	0,052 – 0,120	11,03 – 30,55
63 < IET ≤ 67	Supereutrófico	0,6 – 0,8	0,120 – 0,233	30,55 – 69,05
IET > 67	Hipereutrófico	< 0,6	> 0,233	> 69,05

Pode-se observar na Tabela 3 que o Índice proposto por Lamparelli (2004) permite uma maior gama de classificações, além da criação de uma nova classe: supereutrófica. Este novo índice proposto apresenta uma maior sensibilidade, aumentando a amplitude das classificações tróficas e melhorando a correlação entre as classificações obtidas pelas concentrações de clorofila *a* e fósforo total para um mesmo ambiente (Lamparelli, 2004).

Os resultados da aplicação dos Índices de Estado Trófico utilizados na classificação do reservatório foram comparados entre si, visando fornecer subsídios para melhor adequação das aplicações práticas desses esquemas e Índices.

RESULTADOS

ANÁLISE DA APLICAÇÃO DOS IETs PARA O RESERVATÓRIO “LAGO DO AMOR”

Observa-se no resultado do Índice de Estado Trófico de Carlson modificado por Toledo (1990), ao qual nos referiremos por IET de Toledo, calculado para cada parâmetro, uma grande variação no IET (CL), sendo registradas, as classificações do lago desde oligotrófico e, no fim do período de estudo eutrófico, contrário aos resultados dos IET (PT) e IET (S), que variaram menos em suas classificações (Figura 2). Essa variação mostra que o Índice (CL) não parece ser tão confiável na classificação real do estado trófico do reservatório, quando comparado com a pouca variação dos outros Índices.

A dinâmica ecológica do fitoplâncton explica porque que o IET (CL) varia mais ao classificar um ambiente em graus de trofia ao longo do tempo do que os outros Índices. Enquanto, geralmente o aporte de fósforo a um reservatório não sofre grandes variações temporais, as populações de fitoplâncton (das quais são decorrentes as concentrações de clorofila *a* na água) estão sempre em mudança, seja proliferando, ou diminuindo, pois esses organismos são extremamente sensíveis a fatores ambientais como luz, temperatura e disponibilidade de nutrientes (Esteves, 1998).

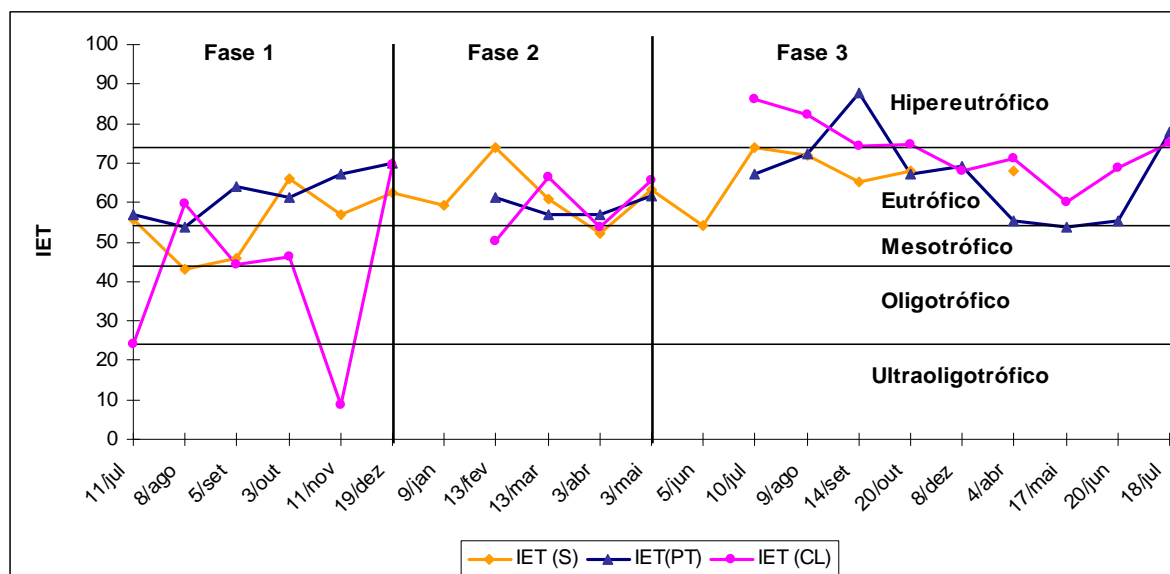


Figura 2: Variação mensal dos valores do IET de Toledo (1990) para todos os parâmetros considerados.

O IET de Toledo médio demonstra que no início do período de estudo (fase 1) o reservatório se encontrava oligotrófico, e no final (fases 2 e 3) eutrófico, passando por um breve período no qual esteve no estágio hipereutrófico (Figura 3).

Comparando os valores do IET de Toledo médio com o histórico da cobertura de macrófitas da superfície do reservatório (Figura 3), observa-se que o mesmo passou de estágios menos avançados de eutrofização para estágios mais avançados conforme a cobertura de macrófitas diminuiu. Essa mudança no estágio de eutrofização está diretamente relacionada às concentrações de clorofila *a*, que aumentaram devido à maior biomassa algal, gerando concomitantemente resultados mais altos de classificação para o IET (CL).

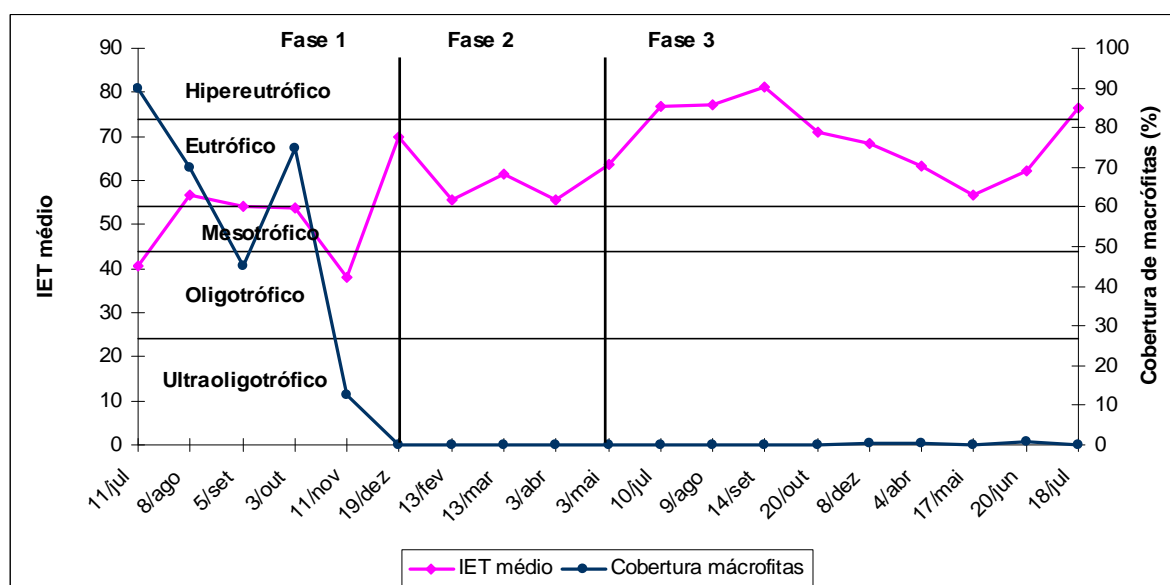


Figura 3: Variação mensal do IET de Toledo (1990) médio no reservatório e sua relação com a cobertura de macrófitas.

Analisando separadamente a classificação do reservatório pelos IET (PT) e IET (CL) (Figuras 4 e 5), tanto nos resultados do IET de Toledo (Figura 4) como nos de Lamparelli (Figura 5), observa-se que: na fase 1, período de dominância das macrófitas, caracterizado por baixa biomassa algal, o IET (CL) classificou o reservatório em classes de trofia menores do que o IET (PT); já na fase 2, houve forte correlação entre o IET (PT) e o IET (CL), classificando o reservatório no mesmo grau de trofia praticamente em todos os pontos; contudo na fase

3, período de alta biomassa algal, houve inversão no quadro da fase 1, o IET (CL) classificou o reservatório em classes de trofia superiores do que o IET (PT). Assim, verifica-se que, quando aplicados a uma série temporal, os Índices de Estado Trófico podem demonstrar através dos seus resultados as mudanças ecológicas ocorridas no ambiente ao longo do período.

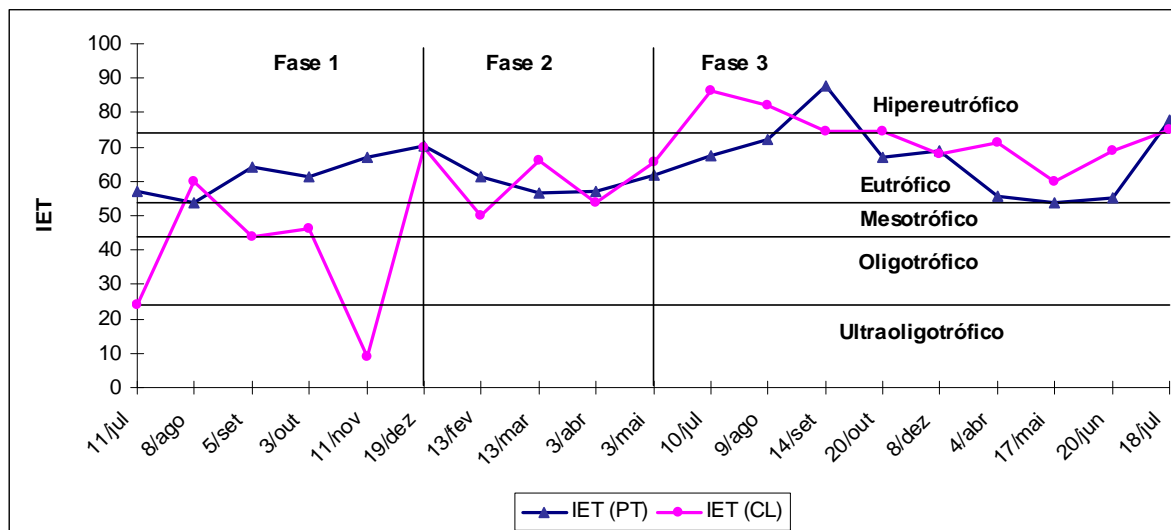


Figura 4: Variação mensal dos valores do IET de Toledo (1990) para os parâmetros fósforo total e clorofila *a*.

Contrariando os resultados esperados, aplicando-se o IET de Lamparelli (Figura 5) constatou-se menor correlação entre as classificações obtidas através da clorofila *a* e do fósforo total do que com o IET de Toledo (Figura 4). Na aplicação do IET de Toledo obteve-se que em 47% das datas o IET (PT) e o IET (CL) classificaram o reservatório em graus de trofia diferentes, enquanto para o IET de Lamparelli este valor foi de 74%. Esse resultado possivelmente se deve ao fato de que o IET de Lamparelli apresenta uma maior sensibilidade, e uma classe trófica a mais, o que aumenta a amplitude da classificação trófica.

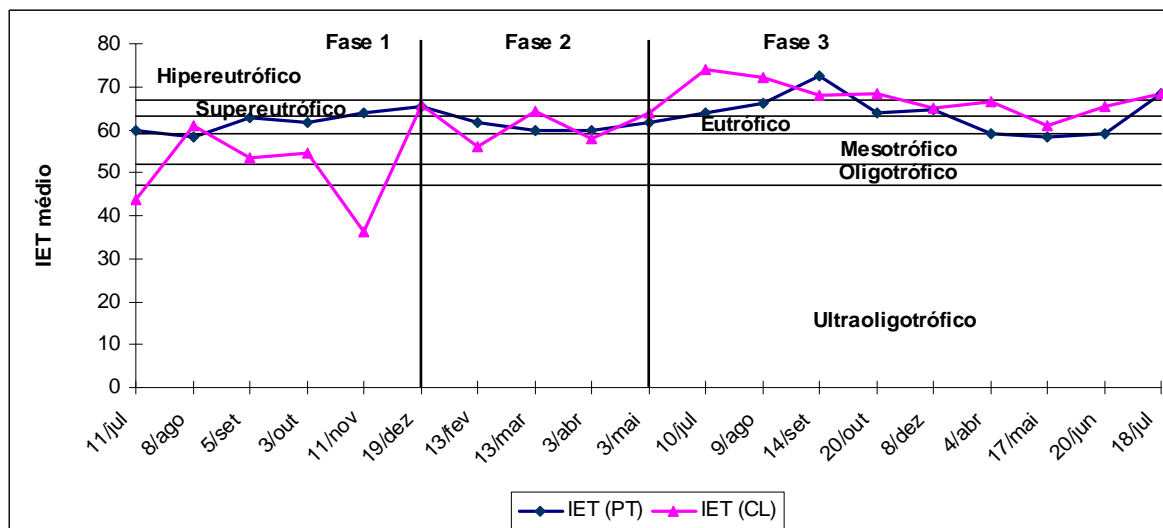


Figura 5: Variação mensal do IET (PT) e IET (CL) de Lamparelli (2004) no reservatório.

O IET de Lamparelli médio demonstra que no início do período de estudo (fase 1) o reservatório se encontrava oligotrófico-mesotrófico, e no final (fases 2 e 3) eutrófico-supereutrófico (Figura 6). Verifica-se também pelo IET de Lamparelli médio, que o grau de trofia do reservatório aumentou conforme a cobertura de macrófitas diminuiu. Assim como identificado pelo IET de Toledo médio, o IET de Lamparelli médio também classificou o “Lago” como hipereutrófico durante um breve período.

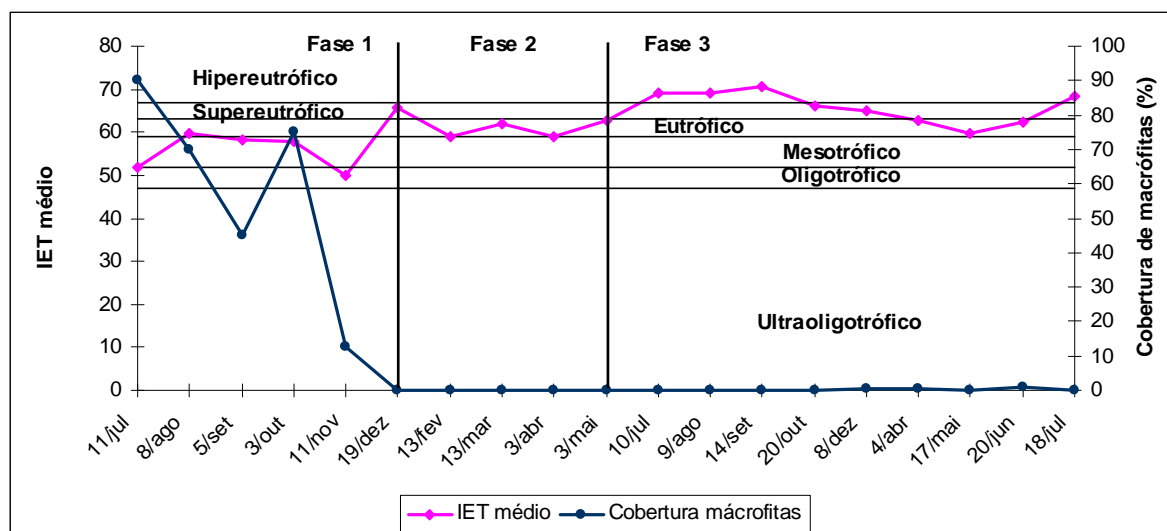


Figura 6: Variação mensal do IET de Lamparelli (2004) médio no reservatório e sua relação com a cobertura de macrófitas.

Na comparação dos resultados da classificação do reservatório pela aplicação dos IETs de Toledo e de Lamparelli observa-se que o IET (PT) apresentou a menor diferença de classificações, em segundo lugar o IET (CL) e, por último, apresentando a maior discrepância entre os resultados, o IET médio (Tabela 4). Para o IET (PT), que apresentou a menor diferença de classificações, apenas 5,3% das datas foram classificadas diferentemente pelos IETs; já o IET (CL) apresentou um valor de 16% de discrepância entre os resultados e o IET médio um valor de 26% (Tabela 4). Para padronizar o número de classes dos dois índices, nesta comparação consideraram-se concordantes as classificações eutróficas e supereutróficas do IET de Lamparelli.



Tabela 4: Comparação dos resultados da classificação do reservatório através da aplicação dos IETs de Toledo (1990), e de Lamparelli (2004).

Data	IET médio		IET (PT)		IET (CI)	
	Toledo (1990)	Lamparelli (2004)	Toledo (1990)	Lamparelli (2004)	Toledo (1990)	Lamparelli (2004)
11/jul	41	52	57	60	24	44
8/ago	57	60	54	58	60	61
5/set	54	58	64	63	44	53
3/out	54	58	61	62	46	54
11/nov	38	50	67	64	9	36
19/dez	70	66	70	65	70	66
13/fev	56	59	61	62	50	56
13/mar	62	62	57	60	66	64
3/abr	55	59	57	60	54	58
3/mai	64	63	62	62	65	64
10/jul	77	69	67	64	86	74
9/ago	77	69	72	66	82	72
14/set	81	70	88	73	74	68
20/out	71	66	67	64	75	68
8/dez	68	65	69	65	68	65
4/abr	63	63	55	59	71	67
17/mai	57	60	54	58	60	61
20/jun	62	62	55	59	69	66
18/jul	76	68	78	69	75	68
Diferença Total	26%		5,3%		16%	

Legenda:

Ultraoligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico
Oligotrófico	Supereutrófico	Hipereutrófico

Constata-se que na aplicação do novo índice proposto por Lamparelli há um ligeiro aumento dos ambientes classificados em menores graus de trofia (Tabela 5).

Tabela 5: Comparação dos resultados da classificação do reservatório “Lago do Amor” (Campo Grande, MS) através da aplicação dos IETs de Toledo (1990), e de Lamparelli (2004).

Classificação Trófica	IET (PT) (%)		IET (CI) (%)		IET médio (%)	
	Toledo (1990)	Lamparelli (2004)	Toledo (1990)	Lamparelli (2004)	Toledo (1990)	Lamparelli (2004)
Ultraoligotrófico	-	-	5,3	10,5	-	-
Oligotrófico	-	-	5,3	-	-	10,5
Mesotrófico	5,3	10,5	15,7	15,8	16	21
Eutrófico	84,2	47,5	47,4	15,8	63	31,5
Supereutrófico	-	31,5	-	31,6	-	16
Hipereutrófico	10,5	10,5	26,3	26,3	21	21

OUTRA APLICAÇÃO DE IET NO BRASIL

Outra aplicação muito interessante para de Índice de Estado Trófico foi realizada pelo Dr. Donato Seiji Abe, no relatório de 2007 sobre o Rio Miranda do Projeto Brasil das Águas – Sete Rios, de Gérard e Margi Moss.



Neste projeto, o Rio Miranda, localizado no estado de Mato Grosso do Sul, foi navegado da sua nascente à foz, quando desemboca no Rio Paraguai, e durante este trajeto foram coletadas amostras de qualidade de água em 22 pontos, visando avaliar o estado ambiental do Rio.

Para os valores de fósforo total dos 22 pontos, foi calculado o Índice de Estado Trófico de Carlson modificado por Toledo et al. (1983) e Toledo (1990), conforme demonstra a figura 7. Segundo Abe (2007), os resultados demonstraram que em sua nascente (pontos M-1 e M-2) o rio Miranda foi classificado como oligotrófico, apresentando baixas concentrações de fósforo total e nitrogênio total, o que caracteriza águas em bom estado de conservação. Porém, após percorrer alguns quilômetros, o rio Miranda já apresenta um aumento crescente nas concentrações de nitrogênio e fósforo totais, passando para o estado mesotrófico no ponto M-3 e, após o município de Jardim, no ponto M-06, para o estado eutrófico. Um pouco mais abaixo, o rio Miranda volta a apresentar-se no estado mesotrófico após receber as águas do rio da Prata, em bom estado de conservação e classificado como oligotrófico. Porém, após passar pela cidade de Miranda, o rio volta a apresentar-se como eutrófico, permanecendo nesse estado até a sua foz no rio Paraguai. Tais resultados demonstram que a maior parte do rio Miranda, sobretudo em sua porção média e baixa, apresenta-se no estado eutrófico. (Abe, 2007)

Esta aplicação é muito interessante, pois demonstra que por serem critérios numéricos, os Índices de Estado Trófico apresentam vantagens como o fato de serem objetivos, de fácil compreensão e de permitirem melhor acompanhamento em programas de avaliação e recuperação da qualidade das águas.

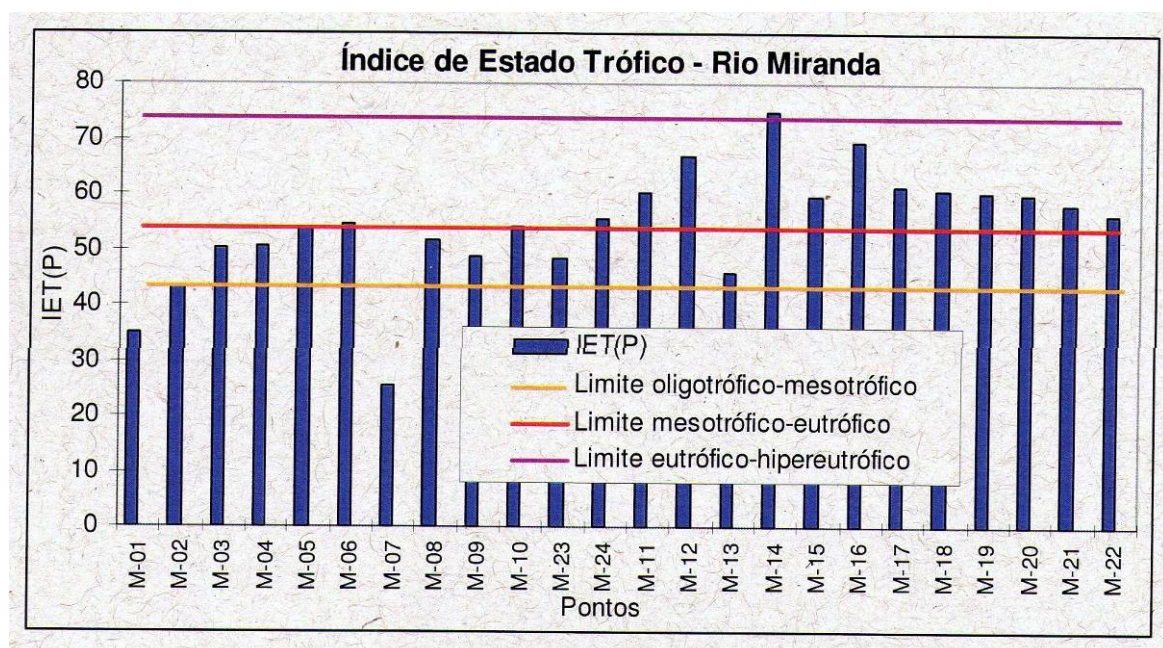


Figura 7: Índice de estado trófico nos pontos amostrados ao longo do rio Miranda e em alguns de seus tributários (Abe, 2007, apud relatório de 2007 sobre o Rio Miranda do Projeto Brasil das Águas – Sete Rios, de Gérard e Margi Moss).

CONCLUSÕES

- ✓ Conclui-se que, em geral, as abordagens para classificação de ambientes aquáticos podem ser divididas em dois principais grupos: os esquemas simplificados e os Índices de Estado Trófico (IET).
- ✓ Constatou-se que os principais Índices de Estado Trófico utilizados no Brasil, Toledo (1990) e Lamparelli (2004), são capazes de demonstrar as variações no estado trófico dos sistemas causadas por mudanças temporais das características limnológicas desses corpos aquáticos. Assim, verifica-se que, quando aplicados a uma série temporal, os Índices de Estado Trófico podem demonstrar através dos seus resultados as mudanças ecológicas ocorridas no ambiente ao longo do período.



- ✓ Observa-se na aplicação do IET para o parâmetro clorofila *a*, IET (CL), uma grande variação nos resultados da classificação trófica da série histórica. Essa variação mostra que o Índice (CL) não parece ser tão confiável na classificação real do estado trófico do reservatório, quando comparado com a pouca variação dos outros Índices.
- ✓ Contrariando os resultados esperados, aplicando-se o IET de Lamparelli constatou-se menor correlação entre as classificações obtidas através da clorofila *a* e do fósforo total do que com o IET de Toledo. Esse resultado possivelmente se deve ao fato de que o IET de Lamparelli apresenta uma maior sensibilidade, e uma classe trófica a mais, o que aumenta a amplitude da classificação trófica.
- ✓ Na comparação dos resultados da classificação do reservatório pela aplicação dos IETs de Toledo e de Lamparelli observa-se que o IET (PT) apresentou a menor diferença de classificações, em segundo lugar o IET (CL) e, por último, apresentando a maior discrepância entre os resultados, o IET médio.
- ✓ Constata-se que na aplicação do novo índice proposto por Lamparelli há um ligeiro aumento dos ambientes classificados em menores graus de trofia.
- ✓ Observa-se que por serem critérios numéricos, os Índices de Estado Trófico apresentam vantagens como o fato de serem objetivos, de fácil compreensão e de permitirem melhor acompanhamento dos resultados de programas de avaliação e recuperação da qualidade das águas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABE, D. S. Concentrações de Fósforo total, Nitrogênio total e nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato nas amostras do rio Grande. Em: Relatório de 2007 sobre o Rio Miranda do Projeto Brasil das Águas – Sete Rios, de Gérard e Margi Moss. 68 p. 2007.
2. APHA; AWWA; WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21 th ed. Washington American Public Health Association, 2005.
3. BICUDO, D. C. *et al.* Remoção de *Eichhornia crassipes* em um reservatório tropical raso e suas implicações na classificação trófica do sistema: estudo de longa duração no Lago das Graças, São Paulo, Brasil. Em: Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle. (eds J.G. Tundisi, T. Matsumura Tundisi & C.S. Galli), IIEGA, Acad. Bras. Ciências, CNPq, São Carlos, 413-438. 2006.
4. BRAGA, B.; ROCHA, O.; TUNDISI, J.G. Reservoir management in South America. Water Resources Development 14: 141-155. 1998.
5. CALAZANS DUARTE *et al.* Utilização dos índices do Estado Trófico (IET) e de Qualidade da Água (IQA) na caracterização limnológica e sanitária das lagoas de Bonfim, Extremóz e Jiqui (RN) - análise preliminar. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES: Foz de Iguaçu, 1997. 2061-2071.
6. CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. Limnol. Oceanogr. 22: 361-369. 1977.
7. CETESB. Anexo V: Índices de qualidade das águas. Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo - Série Relatórios. São Paulo. 2006.
8. COELHO, L. S.; ROCHE, K. F. Estudo do Processo de Eutrofização do Reservatório “Lago do Amor” (Campo Grande, MS). Campo Grande, MS, 2007. Trabalho de Conclusão de Curso da graduação em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2007.
9. ESTEVES, F. A. Fundamentos de limnologia. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência. 602p. 1998
10. GONZÁLEZ, E. J. *et al.* Eutrofização na América do Sul: Síntese. Em: Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle. (eds J.G. Tundisi, T. Matsumura Tundisi & C.S. Galli), IIEGA, Acad. Bras. Ciências, CNPq, São Carlos, 413-438. 2006.
11. HART, R.C. Zooplankton abundance, community structure and dynamics in relation to inorganic turbidity, and their implications for a potential fishery in subtropical Lake le Roux, South Africa. Freshwater Biology 16: 351-371. 1986.
12. LAMPARELLI, M. C. Grau de trofia em corpos d’água do Estado do São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Ecologia. São Paulo, 2004.



13. NOGUEIRA, V. P. Q. Qualidade da água em lagos e reservatórios. Em: Hidrologia Ambiental (eds Porto, M. *et al.*), 165-210. 1991.
14. NUSCH, E. A. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. Arch. Hydrobiologie, n. 14, p. 14-36. 1980.
15. OECD (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT). Eutrophication of water: monitoring, assessment and control. OECD. Paris. 154 p. 1982.
16. SALAS, H. J.; MARTINO, P. Metodologías simplificadas para evaluación de eutroficación em lagos cálidos tropicales. Relatório CEPIS. 60 p. 2001.
17. SPERLING, M. von. Introdução à qualidade da água e ao tratamento de esgotos. Vol. 1, DESA, UFMS. 442pp. 2005
18. TOLEDO JR., A. P. *et al.* A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. CETESB, 12º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Santa Catarina, 1983. 22-34p.
19. TOLEDO JR., A. P. T. Informe preliminar sobre os estudos para a obtenção de um índice para a avaliação do estado trófico de regiões quentes tropicais. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 12 p. + 32 figs. (Relatório Interno CETESB). 1990.