



2017

MÓDULO 1 - INTRODUÇÃO À QUALIDADE DA ÁGUA

MATERIAL DE APOIO DOS CURSOS:

- **COLETA E PRESERVAÇÃO DE AMOSTRAS DE ÁGUA E SEDIMENTO**
- **MONITORAMENTO E DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DA ÁGUA**

Cursos e Treinamentos

Gestão do Conhecimento





GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
Governador *Geraldo Alckmin*

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
Secretário *Ricardo Salles*



CETESB • COMPANHIA AMBIENTAL
DO ESTADO DE SÃO PAULO
Diretor-Presidente *Carlos Roberto dos Santos*

Diretoria de Gestão Corporativa,
em exercício *Carlos Roberto dos Santos*

Diretoria de Controle e
Licenciamento Ambiental *Geraldo do Amaral*

Diretoria de Avaliação de
Impacto Ambiental *Ana Cristina Pasini da Costa*

Diretoria de Engenharia e
Qualidade Ambiental *Eduardo Luis Serpa*

CETESB • COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

MISSÃO

Promover e acompanhar a execução das políticas públicas ambientais e de desenvolvimento sustentável, assegurando a melhoria contínua da qualidade do meio ambiente de forma a atender às expectativas da sociedade no Estado de São Paulo.

VISÃO

Aprimorar os padrões de excelência de gestão ambiental e os serviços prestados aos usuários e à população em geral, assegurando a superação da atuação da CETESB como centro de referência nacional e internacional, no campo ambiental e na proteção da saúde pública.

VALORES

Os valores, princípios e normas que pautam a atuação da CETESB, estão estabelecidos no seu Código de Ética e Conduta Profissional.



MÓDULO 1 - INTRODUÇÃO À QUALIDADE DA ÁGUA

MATERIAL DE APOIO DOS CURSOS:

- **COLETA E PRESERVAÇÃO DE AMOSTRAS DE ÁGUA E SEDIMENTO**
- **MONITORAMENTO E DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DA ÁGUA**

Coordenação Técnica

Geog. Dra. Carmen Lucia Vergueiro Midaglia

Biol. Dr. Claudio Roberto Palombo

Docentes

Biol. Dr. Claudio Roberto Palombo

Biol. Dr. Fabio N. Moreno

São Paulo, Abril de 2017

CETESB

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Av. Profº. Frederico Hermann Júnior, 345 - Alto de Pinheiros -

CEP: 05459-900 - São Paulo - SP

<http://www.cetesb.sp.gov.br> / e-mail: cursos@cetesbnet.sp.gov.br

<https://www.facebook.com/escolasuperiordacetesb/>

INSTITUIÇÕES ORGANIZADORAS:

ANA - Agência Nacional de Águas

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

ABC/MRE – Agência Brasileira de Cooperação/Ministério das Relações Exteriores

INSTITUIÇÕES COLABORADORAS:

OTCA - Organização do Tratado de Cooperação Amazônica

ONU Meio Ambiente – Programa GEMS/Água

Carlos Ibsen Vianna Lacava

Gerente do Departamento de Apoio Operacional - ET

Tânia Mara Tavares Gasi

Gerente da Divisão de Gestão do Conhecimento - ETG

Irene Rosa Sabiá

Setor de Cursos e Transferência de Conhecimento ETGC

Coordenação Executiva

Claudia Maria Zaratini Bairão e Carolina Regina Moraes

Equipe Técnica do ETGC:

Rita de Cassia Guimarães e Yoshie Watanabe Takahashi.

Esta apostila foi diagramada pelo **ETGC - Setor de Cursos e Transferência de Conhecimento**
Editoração Gráfica: Rita de Cassia Guimarães - ETGC / Capa: Vera Severo / Impressão: Gráfica-CETESB

© CETESB, 2017

Este material destina-se a uso exclusivo dos participantes dos Cursos e Treinamentos Práticos Especializados, sendo expressamente proibida a sua reprodução total ou parcial, por quaisquer meios, sem autorização da CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

APRESENTAÇÃO

A água, um dos bens mais importantes para a atividade biológica, sendo procurada por todo o universo como algo imprescindível para a vida é, infelizmente, tratada de forma inconsequente pela maioria da humanidade.

Na percepção humana, a água é infinita e inesgotável. Desta forma, trata-a de forma incorreta dentro dos conceitos ecológicos.

A fim de mudar esta característica de comportamento, o pleno entendimento da correlação água – qualidade e quantidade versus usos múltiplos devem ser plenamente compreendidos, de modo a se deixar para as próximas gerações possibilidades de sobrevivência com uma comunhão entre as suas necessidades básicas e a preservação do meio ambiente.

A concepção de um curso desta magnitude indica que há necessidade de uma progressão contínua de conhecimento que exige, para o pleno entendimento da natureza e a presença humana, tópicos que paulatinamente levam a compreensão de um ambiente aquático natural (cada vez mais raro) até as alterações progressivas advindas, tanto externas como do metabolismo interno no ecossistema hídrico.

Portanto, baseado nestas conceituações iniciais, o curso direcionar-se-á para o conhecimento dos diversos tipos de ambientes aquáticos e seus principais compartimentos, enfatizando-se características intrínsecas inorgânicas e orgânicas, correlações entre alterações de origem autóctones e alóctones, considerando-se, a princípio, ambientes naturais sem nenhuma interferência antrópogênica.

Dessa forma, progressivamente, o conhecimento adquirido em cada um dos módulos do curso orientará para uma compreensão, cada vez mais intensa, das ações humanas no equilíbrio dos ecossistemas aquáticos.

Geog. Dra. Carmen Lucia Vergueiro Midaglia

Biol. Dr. Claudio Roberto Palombo

Coordenação Técnica

Carmen Lucia V. Midaglia

(cmidaglia@sp.gov.br)

Possui graduação em Geografia pela Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da USP -Depto Geografia (1984). Fez pós-graduação em “Rural and Land Ecology Survey” pelo ITC- Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation (ITC) of the University of Twente, em Enschede, na Holanda. Obteve Mestrado em Geografia Humana pela Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da USP - Depto Geografia (1994). Tem experiência em Meio Ambiente, com ênfase em Monitoramento da qualidade de águas. Em 2009 concluiu Doutorado na FFLCH-Geografia, com a proposta de um Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento das Águas Superficiais - IAEM, com ênfase em gerenciamento espacial do Recursos Hídricos e sua relação com o crescimento populacional, evidenciando vulnerabilidades causadas pela pressão antrópica. É professora e coordenadora de cursos na área de monitoramento de água na Escola Superior da CETESB, São Paulo.



Claudio Roberto Palombo

(cpalombo@sp.gov.br)

Biólogo da CETESB desde 1980. Formado pelo Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Licenciatura e Bacharelado em Ecologia (1978). Mestrado (1989) e Doutorado (1997) pelo Departamento de Ecologia Geral do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Experiente em Limnologia com ênfase em ambientes alterados. Professor Universitário e Analista Técnico dos Projetos FEHIDRO relativos aos ecossistemas aquáticos. Desenvolveu metodologias de controle integrado de ervas daninhas aquáticas.



Dr. Biól. Fabio Netto Moreno

(fmoreno@sp.gov.br)

Graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Santa Catarina (1993), mestrado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (1998) e doutorado em Ciências do Solo pela Massey University (2004), Nova Zelândia. Pós-Doutorado pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (2009). Trabalha na Companhia Ambiental do Estado de São Paulo-CETESB, no Setor de Águas Superficiais. Docente do curso de Pós-graduação em Química Ambiental e Engenharia do Controle da Poluição das Faculdades Osvaldo Cruz.



SUMÁRIO

Aspectos Introdutórios de Qualidade das águas

- Biol. Claudio Roberto Palombo	13
Introdução Geral	15
I. Introdução	17
II. Atividades da Limnologia	17
III. Distribuição da Água no Planeta	18
IV. A gênese dos ecossistemas lacustres	18
V. Tempo de Residência	29
VI. Águas Continentais	30
VII. Propriedades físicas e químicas da água e sua importância limnológica	32
VIII. Radiação no Meio Aquático	34
IX. A radiação e seus múltiplos efeitos em águas continentais	38
X. Elementos Físicos, Químicos e Biológicos	40
XI. Sedimento	43
XII. A comunidade de macrófitas aquáticas (Figura 40)	44
XIII. A comunidade fitoplanctônica	46
XIV. ICF – Índice da Comunidade Fitoplanctônica	49
XV. A comunidade zooplanctônica	49
XVI. ICZres – Índice da Comunidade Zooplanctônica para Reservatórios	51
XVII. A comunidade bentônica	52
XVIII. ICB – Índice da Comunidade Bentônica	53
XIX. Eventos naturais que alteram a qualidade da água	54
XX. Eutrofização	58
Referência Bibliográfica	66

Variações Espaciais e Temporais na Qualidade da Água, Principais Parâmetros de Qualidade da Água e Contaminantes Emergentes

- Biol. Fabio Netto Moreno	67
1. Conceito de Qualidade da Água	69
2. Usos da água e requisitos de qualidade	69
3. Principais fontes de poluição da água	69
4. Principais poluentes aquáticos	71
5. Variáveis de qualidade da água	71
6. Padrões de Qualidade da Água	76
7. Variações Espaciais e Temporais	78
Referências Bibliográficas	88

Lista de Tabela

Tabela 1 – Distribuição da Água na Terra	18
Tabela 2 – Tempo de Residência da água	30
Tabela 3 – Propriedade da Água	33
Tabela 4 – Grupos de algas com representantes no fitoplâncton límnic e marinho	48
Tabela 5 – Classificação do Índice da Comunidade Fitoplanctônica – ICF	49
Tabela 6 – Índice da Comunidade Bentônica para zona sublitoral de reservatórios (ICBRES-SL)	53
Tabela 7 – Índice da Comunidade Bentônica para zona profunda de reservatórios (ICBRES-P)	54
Tabela 8 – Índice da Comunidade Bentônica para rios (ICBRIO)	54
Tabela 9 – Classificação dos corpos d'água relacionados aos níveis de eutrofização	60
Tabela 10 – Características de Ambientes Oligotrófico e Eutrófico	62
Tabela 11 – Processos físicos (mecânicos), químicos e biológicos como medidas de terapia (corretivas de um ambiente aquático impactado)	65

SUMÁRIO

Lista de Figuras

Figura 1 –	Esquema da gênese tectônica	19
Figura 2 –	Tipos de zonas de tensão tectônica	20
Figura 3 –	Exemplo de Lagos de Cratera	20
Figura 4 –	Lagos do tipo “maar”	20
Figura 5 –	Exemplo de um lago de caldeira	21
Figura 6 –	Exemplo de lago com barragem vulcânica	21
Figura 7 –	Exemplo de um lago em circo	21
Figura 8 –	Lago formado pela barragem de uma morena (moraina)	22
Figura 9 –	Exemplo de lago de fiordes	22
Figura 10 –	Exemplo de lago formado em terreno de sedimentação glacial	22
Figura 11 –	Lagos de solubilização das rochas de sal-gema	23
Figura 12 –	Lagos de solubilização das rochas de gipsita	23
Figura 13 –	Lagos formado pela atividade de castores (<i>Castor canadensis</i> e <i>Castor fiber</i>)	24
Figura 14 –	Exemplo de um lago formado a partir de impacto de meteorito e exemplares de meteorito	25
Figura 15 –	Exemplo de lago de barragem	25
Figura 16 –	Formação de um lago de meandro abandonado; vista de um lago de meandro	26
Figura 17 –	Vista de um lago de inundação	26
Figura 18 –	Vista da Lagoa do Abaeté (BA)	26
Figura 19 –	Vista de uma lagoa de enseada	27
Figura 20 –	Vista de um lago de desembocadura	27
Figura 21 –	Visão de recife de coral interceptando um rio	27
Figura 22 –	Visão de um lago formado por deposição mista	28
Figura 23 –	Visão de uma lagoa de restinga	28
Figura 24 –	Exemplo de Represa e Açude	29
Figura 25 –	Corte mostrando os diversos compartimentos de um ecossistema lacustre	31
Figura 26 –	Algumas características da molécula da água com destaque a sua estrutura	32
Figura 27 –	As moléculas de água formando pontes de hidrogênio e cluster	32
Figura 28 –	Formação da tensão superficial e aspecto da importância ecológica	33
Figura 29 –	Diagrama mostrando o comportamento da radiação solar em um ambiente aquático	34
Figura 30 –	Alguns aspectos da radiação sobre alguns componentes do ambiente aquático	35
Figura 31 –	Esquema indicando a radiação solar no Planeta, sendo que, como destacado nas Figuras 32 e 33, uma parte é absorvida pelo bioma aquático	35
Figura 32 –	Esquema sobre o efeito da radiação sobre a molécula de água	36
Figura 33 –	Esquema destacando a dispersão e absorção dos diversos componentes do ecossistema hídrico	36
Figura 34 –	Esquema da dispersão na água segundo o comprimento da onda	37
Figura 35 A –	Disco de Secchi atado com corda graduada	37
Figura 35 B –	Esquema com a Medição da Transparência da Água com disco de Secchi	38
Figura 36 –	Esquema mostrando a Estratificação Térmica em Lagos	38
Figura 37 –	Exemplos de estratificação e desestratificação em lagos	40
Figura 38 –	Exemplo de algumas interações relativas ao elemento carbono	43
Figura 39 –	Exemplo da dinâmica do Fósforo (P) relacionada à sua interação água/sedimento	44
Figura 40 –	Esquema com os diversos tipos de macrófitas aquáticas relacionadas à sua posição no ambiente hídrico	44
Figura 41 –	Exemplos de macrófitas aquáticas em diferentes nichos ecológicos	45
Figura 42 A –	Cianobactéria (exemplo)	46
Figura 42 B –	<i>Chlorophyta</i>	46
Figura 42 C –	<i>Euglenophyta</i>	47
Figura 42 D –	<i>Chrysophyta</i>	47
Figura 42 E –	<i>Pyrrophyta</i>	47
Figura 42 F –	Exemplos dos grupos genericamente denominados de “algas”	48
Figura 43 –	Representantes da comunidade zooplanctônica	50
Figura 44 –	Esquema de alguns representantes do zooplâncton	51
Figura 45 –	Classificação segundo a comunidade zooplanctônica para reservatórios	51
Figura 46 –	Esquema de alguns representantes da comunidade bentônica	52
Figura 47 –	Desenho esquemático das principais placas tectônicas do Planeta	55
Figura 48 –	Exemplo simplificado da dinâmica atmosférica do Planeta	56
Figura 49 –	Esquema de alguns aspectos de um terremoto	56
Figura 50 –	Alguns aspectos da atividade vulcânica	57

SUMÁRIO

Figura 51 – Exemplos de Sucessão Ecológica	57
Figura 52 – Exemplo de Eutrofização Natural	58
Figura 53 – Esquema da curva hipotética da eutrofização relacionada a fatores naturais e artificiais	59
Figura 54 – Esquema mostrando as consequências do processo de eutrofização artificial, através do aporte de P e N, no ecossistema lacustre	63
Figura 55 – Esquema simplificado de eutrofização artificial modificando o equilíbrio do ecossistema lacustre	63
Figura 56 – Esquema do processo de autodepuração ao longo do tempo após aporte de nutrientes (efluente doméstico)	64
Figura 57 – Esquema simplificado das inter-relações dos fatores que afetam o metabolismo de um lago, relacionado à produtividade	65
Figura 58 – Poluição das águas por fontes difusas (a) e pontuais (b)	70
Figura 59 – Variação Espacial e Temporal do IQA – índice de Qualidade de Água do ano de 2005 e de 2015 no Estado de São Paulo. (Midaglia, C.L., 2016)	78
Figura 60 – Evolução da carga remanescente no Estado de São Paulo – 2010 a 2015 (CETESB, 2016).	80
Figura 61 – Carga remanescente de DBO por Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) (CETESB, 2016)	81
Figura 62 – Transporte de poluentes de origem difusa pela superfície e sub-superfície (adaptado de Novotny, 2003)	81
Figura 63 – Variações nas cargas unitárias de Sedimentos Suspensos, Fósforo Total, Nitrogênio Total e Chumbo na Região dos Grandes Lagos, EUA, no ano de 1970 antes do Chumbo ser banido dos combustíveis. Usos do solo: 1- Agricultura em geral, 2- Culturas agrícolas; 3- Pastagem; 4- Florestas; 5- Culturas perenes/exóticas; 6-Lodo de esgoto; 7-Irrigação por aspersão; 8- Urbano em geral; 9- Residencial; 10- Comercial; 11- Industrial; 12-Urbano em desenvolvimento (Fonte: Novotny, 2003)	84
Figura 64 – Conceito do First-flush. Em um evento de escoamento urbano a vazão de pico no hidrograma pode conter uma maior fração da carga poluidora do que a fração final (adaptado de Novotny, 2003)	85
Figura 65 – Relação entre o coeficiente de escoamento (CR =volume de escoamento/volume de precipitação) e a porcentagem de áreas impermeáveis em áreas urbanas obtido a partir do estudo NURP (Fonte: Novotny, 2003)	87

ASPECTOS INTRODUTÓRIOS DE QUALIDADE DAS ÁGUAS

BIOL. DR. CLAUDIO ROBERTO PALOMBO

*Cadernos da
Gestão do Conhecimento*

Introdução Geral

A limnologia, ciência que estuda as águas denominadas de “doce” ou águas interiores, estabelecida em início do século XIX, vem se desenvolvendo e aprimorando conhecimento a fim de atender, cada vez mais, a demanda que cresce potencialmente para suprir as necessidades humanas de abastecimento humano, da agricultura e indústria.

Como consequência de todas essas atividades, a qualidade da água que abastecerá cada uma dessas demandas exigirá, cada vez mais, conhecimentos que vão desde o ponto inicial de produção da água, seus múltiplos usos até o descarte em algum ponto do planeta, que pode ser pontual ou disperso.

Devido a enorme quantidade de conhecimentos necessários para o pleno entendimento do ciclo da água nesse contexto, houve a necessidade de dividi-lo em diversos capítulos, nos quais se debaterão desde o ambiente natural sem interferência antrópica até as consequências de cada atividade humana nos corpos hídricos.

Nesta introdução ao curso, serão destacados os aspectos teóricos técnicos dos ambientes limnéticos lântico e lótico natural, sem a interferência humana, para que se possa, no decorrer do curso, atentar as modificações do ambiente aquático nos vários níveis dentro do ecossistema.

Em face do exposto, constar-se-á, às vezes, duplicidade de informações; porém, serão mais detalhadas em cada tópico para que, ao final do curso, o aluno tenha a capacidade de compreender e avaliar as complexas relações dos diversos parâmetros ambientais físicos, químicos e biológico na dinâmica dos ambientes hídricos neste planeta chamado Terra (na ecologia é denominado de Ecosfera).

ASPECTOS INTRODUTÓRIOS DE QUALIDADE DAS ÁGUAS

I. Introdução

A Limnologia é a ciência que estuda o ambiente aquático “doce”, tanto no meio lântico = ambiente de águas paradas ou de pouca movimentação como lagos, lagoas e reservatórios, quanto de meio lótico = ambiente de águas movimentadas tais como rios e corredeiras. Este termo é composto do grego. *Límné*,és que significa “pântano, lago, lagoa”, mais o sufixo *Logus* = estudo.

Dessa forma, a Limnologia é a parte da ciência ambiental que está direcionada para o entendimento do comportamento do ambiente aquático nos seus mais diversos aspectos ecológicos, isto é, a correlação entre os parâmetros físicos, químicos e biológicos na dinâmica dos vários corpos hídricos que se encontram no Planeta.

Um enfoque que se deve ter sempre em mente é que “**cada lago é um órgão da Terra**”. Isto significa que se deve considerar cada ambiente aquático como único, passíveis de comparação entre eles, porém nunca iguais nos seus mais diversos aspectos ecológicos.

Durante a história das ciências ambientais, houve diversas tentativas de classificar os ambientes aquáticos. Uma delas estabelecia a sua posição geográfica, tais como tropicais temperados, etc.; outra relacionada a aspectos químicos da água tal como ausência e ou presença de oxigênio dissolvido durante o ano. Como tanto a dinâmica aquática quanto a posição geográfica não estabelecem condições idênticas, essas tentativas não surtiram o efeito desejado, tornando, dessa forma, a classificação dos corpos d’água dentro de um contexto mais amplo, envolvendo os conceitos ecológicos pertinentes.

Destarte, por exemplo, no caso do Brasil, a atenção para esses ambientes estava relacionada principalmente às doenças de veiculação hídrica, fundamentalmente àquelas que ocasionavam epidemias generalizadas, conforme constatada na história do país.

Com relação às necessidades de água para os ecossistemas aquáticos e para a humanidade, a literatura pertinente oferece diversos valores, dependendo do local e desenvolvimento social. Normalmente são situados valores entre mínimo e máximo para as várias atividades humanas, podendo-se destacar desde os aspectos fisiológicos internos e externos (urina e fezes); até atividades doméstica e industrial; produção de alimento e agriculturas em geral, etc.

II. Atividades da Limnologia

Desde a sua concepção até a atualidade, a Limnologia foi sendo estruturada como ciência, pesquisando o metabolismo dos ecossistemas aquáticos continentais, dentro das seguintes etapas:

- Análise: investigação das variáveis ambientais;
- Síntese: trocas de energia e matéria, relacionadas ao manejo e maximização;
- Holística: interações entre o ecossistema aquático e terrestre.

Utilizando-se dessas concepções, foram direcionadas pesquisas e estudos para a aquicultura mundial; pisciculturas, criação de crustáceos e outros organismos de interesse comercial; minimização dos efeitos ecológicos negativos da criação de lagos artificiais relacionadas às fases de inventário, viabilidade, projeto básico, construção e operação; utilização racional dos recursos hídricos; controle da qualidade da água para os diversos fins e recuperação dos ecossistemas aquáticos.

III. Distribuição da Água no Planeta

Na literatura encontram-se diversas tabelas, com os mais variados valores, da distribuição da água nos mais diversos ambientes terrestres. Pode-se destacar a localização dos ecossistemas aquáticos, seus respectivos volumes e porcentagem relativa. Na Tabela 1, encontra-se um dos exemplos presente na literatura pertinente.

Tabela 1 – Distribuição da água na terra.

Reservatórios	Volume (km ³)	Porcentual (%)
Oceanos	1 320 305 000	97,24
Geleiras e calotas polares	29 155 000	2,14
Águas subterrâneas	8 330 000	0,61
Lagos	124 950	0,009
Mares	104 125	0,008
Umidade do Solo	66 640	0,005
Atmosfera	12 911	0,001
Rios	1.250	0,0001
TOTAL	1 358 099 876	100

IV. A gênese dos ecossistemas lacustres

A natureza cria constantemente “buracos” que são preenchidos por água, formando-se, assim, novos corpos d’água, denominados genericamente de gênese dos ecossistemas lacustres. (no caso dos rios serão posteriormente discutidos).

Dentro deste conceito, tem-se:

Lagos formados por movimentos diferenciais da crosta terrestre:

- ▶ Através de movimento epirogênicos

Caracterizado como um processo diastrófico (tectonismo) de grande amplitude, por movimentos lentos de subida ou descida, de grandes áreas da crosta terrestre, levando à formação de continente; epirogenia. Na Figura 1 tem-se um esquema de tectonismo, destacando as respectivas gênese.

Tectonismo

Pressões do interior da Terra sobem a crosta

Podem ser epirogênese e orogênese

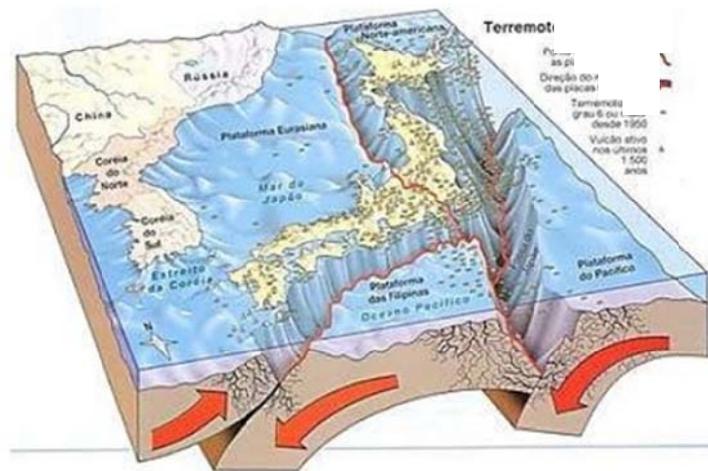


Figura 1 – Esquema da gênese tectônica

Exemplos planetários desse tipo de lagos são: Mar Cáspio e o Aral (Rússia), Okeechobee (EUA), Vitória (África Central), Kioga (África Oriental).

- ▶ Através de falhas tectônicas

Resultam de movimentos tectônicos que causam a descontinuidade da crosta terrestre. Exemplos desse tipo são: Lago Baical (Rússia), Tanganica, Edward e Albert (África), Tahoe (EUA), Grande de Manacapuru, Anamã, Badajós, Piorini e Mina (Brasil). Na Figura 2 destacam-se os tipos de zonas de tensão tectônica.

TIPOS DE ZONAS DE TENSÃO TECTÔNICA

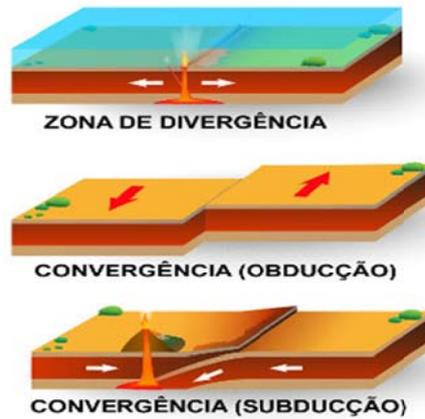


Figura 2 – Tipos de zonas de tensão tectônica

Lagos de origem vulcânica

Podem ser formados a partir do cone de dejeção do vulcão e ou represamento de vales devido ao magma.

Na Figura 3 tem-se um exemplo de um lago de cratera. No planeta podem-se destacar o Big Soda (EUA), Rotomahana (Nova Zelândia).



Figura 3 – Exemplo de Lagos de Cratera



Figura 4 - Lagos do tipo "maar"

Na Figura 4 tem-se um exemplo de lago tipo "maar" que surgem a partir de explosões gasosas subterrâneas, seguindo-se o afundamento da superfície da região atingida (não há terminologia em português).

Exemplos deste tipo encontrados na Alemanha – Toten, Gemundener e Weifelder.

Os lagos de Caldeira são formados pela erupção vulcânica intensa, com a destruição do cone central. São exemplos lagos Crater(EUA), Bolsena e Albaner (Itália) e Toyako (Japão).

A Figura 5 mostra um exemplo destes tipos de lago.



Figura 5 – Exemplo de um lago de caldeira



Figura 6 – Exemplo de lago com barragem vulcânica

Os lagos de barragem vulcânica são formados nos vales preexistentes pela lava solidificada. Exemplos os lagos Kivu e Bunyoni (África Central).

A Figura 6 mostra a presença da barreira vulcânica

Lagos glaciares

Foram formados durante a última glaciação, aproximadamente 10.500 anos e estão localizados em regiões de alta latitude, em regiões temperadas. Dessa forma, apresentam-se em várias configurações, destacando-se:

Os lagos em circo são resultante da ação de congelamento e descongelamento, pequenos e rasos, comuns nas montanhas, possuindo configuração circular ou em anfiteatro.

Exemplos: Watendlath (Inglaterra), Wildseelodersee (Áustria) e vários na cordilheira do Alaska.

A Figura 7 mostra um lago em circo.



Figura 7 – Exemplo de um lago em circo



Figura 8 – Lago formado pela barragem de uma morena (moraina)

Os lagos em vales barrados por morena (moraina) foram formados pela obstrução de vales por sedimento transportado por geleiras, normalmente blocos de argila.

Exemplos: Lucerne (Suíça), Constanca (Alemanha-Suíça), Finger (EUA).

Na Figura 8 pode-se visualizar um exemplo.

Os lagos de fiordes são resultantes da escavação de vales nas escarpas das montanhas pela ação da erosão glacial; apresentam-se longos, estreitos e profundos.

Exemplo: lagos do oeste da Noruega.

Na figura 9 tem-se a visão deste tipo.



Figura 9 – Exemplo de lago de fiordes



Figura 10 – Exemplo de lago formado em terreno de sedimentação glacial

Os lagos de terreno de sedimentação glacial podem ser formados através da depressão existente em locais de antigas geleiras continentais; blocos de gelo que desprenderam de geleiras e um misto dos anteriores. No primeiro tem-se como exemplo o lago Grosse Ploner (Alemanha), Barret (EUA); no segundo e terceiro o lago Pluss (Alemanha).

Na Figura 10 mostra um exemplo do primeiro tipo.

Lagos formado pela dissolução de rochas (lagos de dissolução ou erosão)

Resultam do acúmulo de água em depressões formadas à partir da solubilização de rochas calcária, de cloreto de sódio ou de sulfato de cálcio denominado de sal-gema e gipsita, respectivamente

Os lagos de erosão de rochas calcária ou Dolinas são encontrados nas regiões calcárias nos Alpes, parte da Flórida e Península Balcânica (Iugoslávia). Exemplos: lago Luner (Alpes Austríacos), Seewli (Alpes Suíços), Deep, Iamonia e Jackson (EUA), Vrana (Península Balcânica). Normalmente são lagos pequenos e circulares; entretanto podem fundir-se uns aos outros, e tem como exemplo, o Lago Muten (Suíça). No Brasil, em Uberlândia, é encontrado o lago Poço Verde (MG); outros com essas características são encontrados na costa oeste da França e da Sibéria. Na Figura 11 observa-se um lago e a rocha de sal-gema.



Figura 11 - Lagos de solubilização das rochas de sal-gema.

Lagos formados pela dissolução das rochas de gipsita. Exemplos: La Girotte, Tignes (Alpes Franceses), Magalhães e Uberaba (Brasil). Na Figura 12 são mostrados um lago e a rocha de gipsita.



Figura 12 - Lagos de solubilização das rochas de gipsita

A atividade biológica também participa ativamente na “construção” de sistemas de retenção natural, confeccionando um habitat adequado para as suas necessidades ecológicas. Pode-se, dessa forma, destacar a atividade dos castores, no Canadá, EUA e Europa. Esses animais utilizam galhos, barro, etc., Exemplo: Lagos Beaver e Echo (EUA).

Na Figura 13 podem-se visualizar lagos barrados, destacando-se as duas principais espécies que possuem esse comportamento.



Figura 13 - Lagos formado pela atividade de castores
(*Castor canadensis* e *Castor fiber*)

São raros os lagos formados pelo impacto de meteoritos. A potência do impacto do astrólito na superfície terrestre tem relação direta com o tamanho da cavidade produzida. Exemplo: Laguna Negra (Argentina) e Lago Chubb (Canadá). A figura 14 mostra um exemplo de lago e meteoro.



Figura 14 – Exemplo de um lago formado a partir de impacto de meteorito e exemplares de meteoro.

Lagos formado pela atividade de rios

Os rios podem formar lagos de várias maneiras, dentre estas se destacam:

Lagos de barragem – o rio principal transporta quantidades de sedimentos depositados ao longo do leito, provocando uma elevação do seu nível, como consequência o represamento. Exemplo: Lago Dom Helvécio, Carioca, Belgo Mineira, Trinta e Três e Jacaré (médio Rio Doce) e vários na Amazônia em terra firme.



Figura 15 – Exemplo de lago de barragem

Na Figura 15 tem-se um exemplo.

Lagos de ferradura ou de meandros – alguns rios apresentam sinuosidades que são denominadas de meandros. Os lagos são formados pelo isolamento dos meandros por erosão e sedimentação das margens (em inglês “oxbow lakes” e em alemão “Altwasser”). Muito frequentes em território brasileiro, principalmente no Pantanal de Mato Grosso e na Região Amazônica, aí conhecidos como “sacados”. Em São Paulo podem ser vistos no Rio Mogi-Guaçu como também, no rio Paraíba do Sul. Na Figura 16 pode-se visualizar tanto a formação de um lago pela interceptação de um meandro, quanto um exemplo.

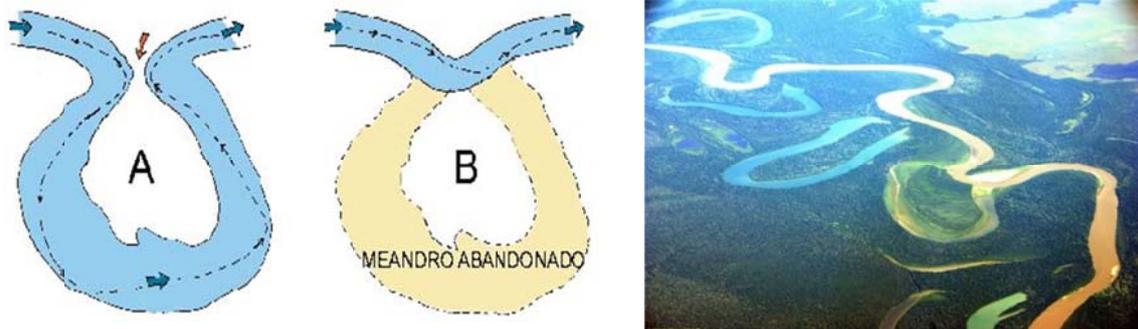


Figura 16 – Formação de um lago de meandro abandonado; vista de um lago de meandro.



Figura 17 – Vista de um lago de inundação

Lagos de inundação – formados a partir da grande variação do nível de água, principalmente pela precipitação. No Pantanal mato-grossense são denominados de “baías” e na Planície Amazônica como “lagos de várzeas”. Existem inúmeros exemplos, podendo-se citar lago do Castanho, Maicá, Redondo, Poção, etc.

Ressalta-se ainda que, no período chuvoso pode ocorrer intercomunicação entre os vários lagos, formando um único sistema; na seca, permanecem isolados e ou comunicam-se por canais.

Na Figura 17 tem-se um exemplo.

Lagos formado pela atividade do vento (Barragem Eólica) – formado a partir da deposição de areia em um rio, ocorrendo com frequência no nordeste brasileiro. Exemplo: Lagoa do Abaetê, na Bahia e nas pequenas lagoas no litoral sul catarinense.

Na Figura 18 visualiza-se a Lagoa do Abaetê (BA).



Figura 18 – Vista da Lagoa do Abaetê (BA)

Lagos associados à linha costeira (lagos costeiras)

Para se compreender a dinâmica da formação dos lagos costeiros, denominados de várias formas na literatura, formulou-se algumas configurações, tais como:



Figura 19 – Vista de uma lagoa de enseada

Isolamento de enseada marinha ou braço de mar – a formação desses lagos esta baseada na existência de Cordões de Areia que se desenvolvem a partir de pontões rochosos. O seu aumento progressivo deve-se a deposição de sedimento marinho, ação de correntes e ondas de submersão marinha. Exemplos: Mangueira, dos Quadros (RS), Araruana, Saquarema. (RJ).

Na Figura 19 tem-se uma visão deste tipo.

Fechamento da desembocadura de rios por sedimento marinhos – originam-se pela deposição de sedimento marinho na desembocadura de pequenos rios ou isolamento de estuário de vários rios. Exemplos: Lagoa do Mundaú e Manguaba (AL), Carapebus, Comprida e Cabiúnas (RJ).



Figura 20 – Vista de um lago de desembocadura

Na Figura 20 tem-se uma visão deste tipo.



Figura 21 – Visão de recife de coral interceptando um rio

Fechamento da desembocadura de rios por recifes de coral – esta estrutura biológica pode represar a desembocadura de rios próximos ao mar. Exemplo – Lagoa do Rodeio (AL), fechamento formado pelo Rio São Miguel.

Na Figura 21 visualiza-se um exemplo deste tipo de ação.

Fechamento da desembocadura de rios por sedimentos flúvio-marinho – originado a partir de sedimento de origem fluvial e marinha. Exemplo – Lagoa Feia (RJ), Juparanã, Nova, Palminhas, Palmas (ES).

Na Figura 22 tem-se uma visão deste tipo



Figura 22 – Visão de um lago formado por deposição mista.



Figura 23 – Visão de uma lagoa de restinga

Depressão entre as faixas de areia que constituem as restingas – apresentam-se morfologicamente rasas e abastecidas por pequenos córregos e água de chuva. Exemplo – Lagoa Água Preta, Taí. Grande e Pequeno, Periperi e Robalo (RJ).

Na Figura 23 tem-se uma visão.

Represas e Açudes (origem antrópica)

As diversas atividades humanas interagem com o ambiente natural de várias formas. Uma delas, de grande relevância, é a interceptação de ambientes lóticos transformando-os em lênticos. Tais modificações acarretam alterações bastante significativas da dinâmica dos ecossistemas aquáticos. Dessa forma, o estudo particularizado de cada novo ambiente formado exige informações desde antes até a fase final de implantação do empreendimento.

Diante dessa constatação, todas as civilizações que participam e ou participaram da história do homem, realizaram sempre obras que se direcionavam para ter recurso hídrico constante e permanente.

Portanto, este assunto exige um detalhamento que será paulatinamente exposto durante o presente curso. Por isso, aqui será citado somente como caráter didático. Vale ressaltar, também, que devido a importância desse tema, vários conceitos podem ser repetidos durante o curso.

Na figura 24 tem-se um exemplo de represa e açude.



Figura 24 – Exemplo de Represa e Açude

V. *Tempo de Residência*

Definido como a quantidade média de tempo que uma partícula reside (passa) em um sistema em particular; esta medida varia diretamente com a quantidade de substância que está presente no sistema segundo a fórmula.

$$\frac{\text{Capacidade de um sistema reter uma substância}}{\text{Taxa de fluxo da substância no sistema}}$$

ou

$$Y = \frac{V}{q}$$

onde Y é usada como a variável para o tempo de residência, V é a capacidade do sistema, e q é o fluxo para o sistema.

A Tabela 2, descreve um dos exemplos da literatura, do Tempo de Residência da Água.

Tabela 2 – Tempo de residência da água.

COMPARTIMENTOS	TEMPO DE RESIDENCIA
Oceanos	3.000 a 30.000 anos*
Geleiras	1 a 16.000 anos*
Águas subterrâneas	330 a 10.000 anos*
Lagos e reservatórios	1 a 100 anos*
Lagos salinos	10 a 10.000 anos*
Umidade do Solo	2 semanas a 1 ano
Umidade biológica (plantas e animais)	1 semana
Atmosfera	8 a 10 dias
Pântanos e charcos	Meses a anos
Rios e córregos	10 a 30 dias

*depende da profundidade e outros fatores ambientais

VI. Águas Continentais

As águas continentais são aquelas presentes na superfície da Terra, estando distribuídas em rios, lagos e geleiras e a maioria dos lençóis subterrâneos, com uma salinidade próxima de zero, por oposição à água marinha, com uma salinidade próxima de 35 gramas de sais dissolvidos por litro, além da água salobra, como a dos estuários, que tem uma salinidade intermédia.

► Características

- ◆ Alta capacidade para solubilização de compostos orgânicos e inorgânicos;
- ◆ Gradientes verticais e horizontais através da distribuição desigual de luz, nutrientes, temperatura, gases (distribuição dos organismos);
- ◆ Baixo teor de sais dissolvidos → maioria dos organismos hipertônicos → manter o equilíbrio osmótico;
- ◆ Alta densidade e viscosidade (775 vezes mais denso que o ar) → organismos apresentam profundas adaptações morfo/fisiológicas.

► Compartimentos

➤ Região Litorânea

- ◆ Contato entre o ecossistema terrestre e aquático (transição = ecótono);
- ◆ Grande número de nichos ecológicos e cadeias alimentares, tanto de herbivoria como detritívora

- (representantes: oligoquetas, moluscos, crustáceos, insetos);
- ♦ Todos os níveis tróficos – considerado como compartimento autônomo;
 - ♦ Pouco desenvolvida ou ausente em lagos vulcânico;
 - ♦ Subdivide-se em eulitoral e sublitoral.
- *Região Limnética ou Pelágica*
- ♦ Comunidades características: plâncton e nécton;
- *Região profunda*
- ♦ Ausência de organismos fotoautotróficos;
 - ♦ Comunidade bentônica formada por oligoquetas, crustáceos, moluscos, insetos;
 - ♦ Diversidade e densidade populacional dependem da quantidade de alimento e oxigênio dissolvido.
- Interface Água/Ar
- Comunidades: nêuston (bactérias, fungos, algas) e plêuston (macrófitas e insetos)

Na Figura 25 estão destacados cada um desses compartimentos.

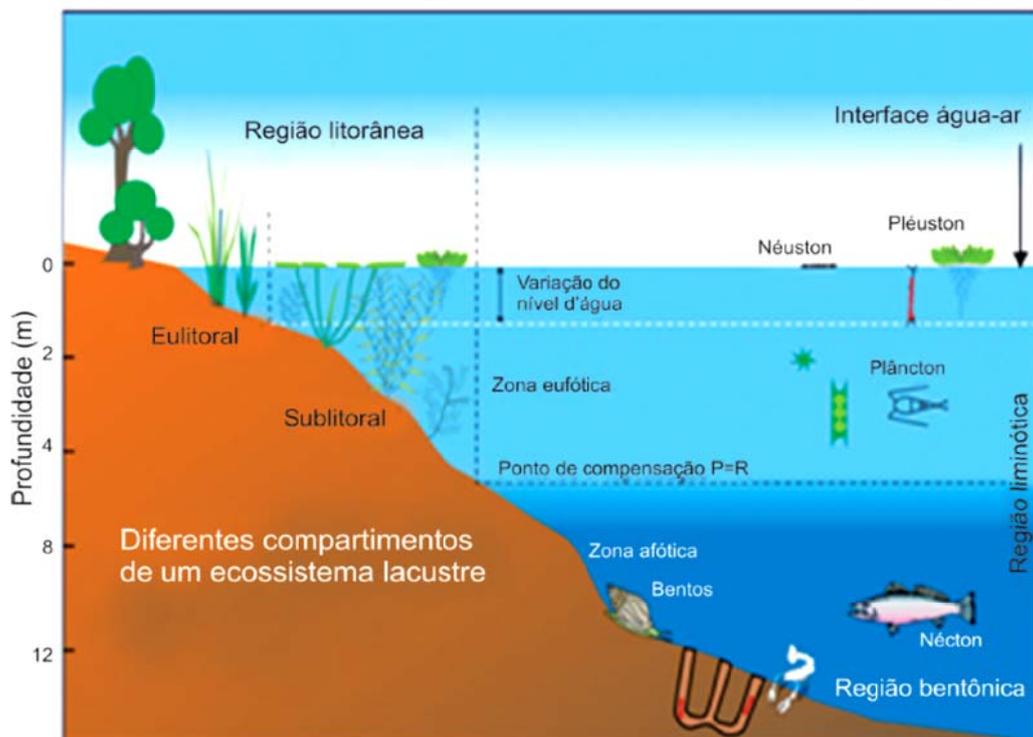


Figura 25 – Corte mostrando os diversos compartimentos de um ecossistema lacustre.

VII. Propriedades físicas e químicas da água e sua importância limnológica.

Discutir a importância da água na limnologia seria extremamente redundante; entretanto, alguns aspectos relevantes devem ser considerados para uma melhor compreensão dos ecossistemas aquáticos. (Figuras 26 e 27)

Dentre estes, podem-se destacar:

- A molécula da água.

Se se utilizar esta expressão “molécula de água” em algum site de pesquisa, verificar-se-á a enorme quantidade de informações disponíveis. Em face desta constatação, somente alguns aspectos, de importância para o presente curso, será considerado.

As figuras 26 e 27 mostram algumas das propriedades da água, com grande interesse na limnologia, pois acarretam condições ambientais que agem diretamente no comportamento da limnosfera (físico e químico), biosfera (comunidade biológica).

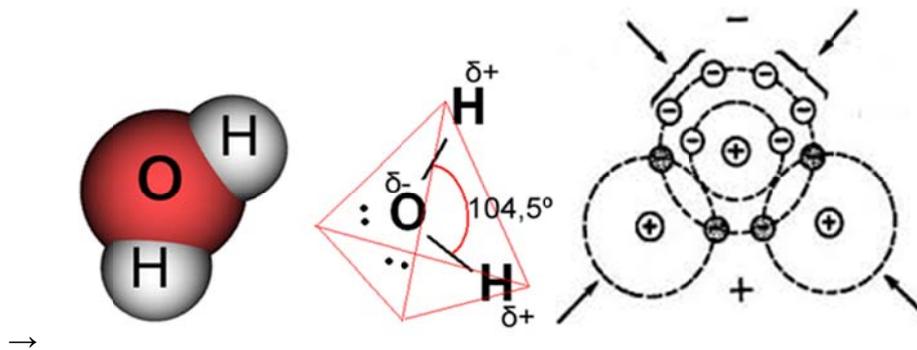


Figura 26 – Algumas características da molécula da água com destaque a sua estrutura.

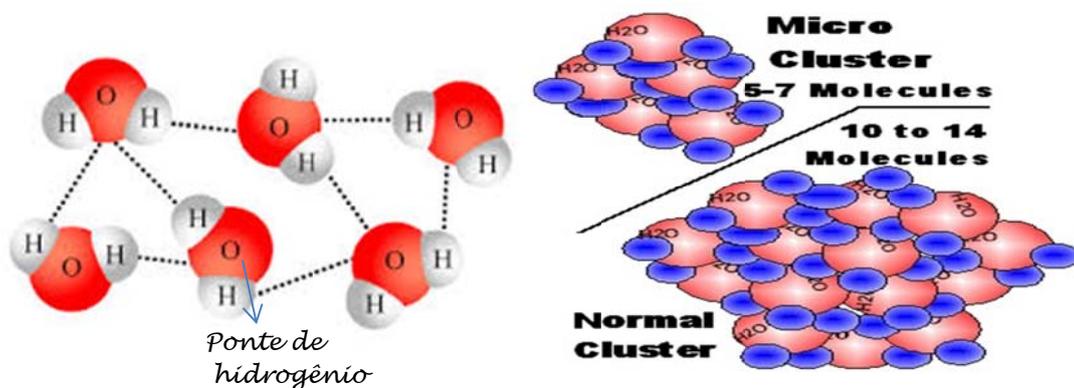


Figura 27 - As moléculas de água formando *pontes de hidrogênio* e *cluster*.

❖ Propriedades da água

Na tabela 3 estão descritas algumas das propriedades da água, principalmente relacionadas aos seus aspectos limnológicos mais significativos.

Tabela 3 – Propriedades da Água

Propriedade	Característica
Ponto de fusão a 1 atm	0,00 °C
Ponto tríplece	0,01 °C, 4,60 torr g .cm ³
Ponto de ebulição a 1 atm	100,00 °C
Ponto crítico	347,0 °C, 218 atm
Densidade sólido 0 ° C	0,917 g .cm ³
Densidade líquido de 0 ° C	0,999 g .cm ³
Densidade líquido de 4 ° C	1,000 g .cm ³
Densidade líquido de 10 ° C	0,999 g .cm ³
Densidade líquido de 25 ° C	0,997 g .cm ³
Densidade líquido de 100 ° C	0,958 g .cm ³
Capacidade calorífica líquido	1,00 cal. g ⁻¹ . °C ⁻¹
Calor de fusión 0 °C	1,44 kcal . mol ⁻¹
Constante dielétrica 25 °C	78,5

❖ Tensão superficial da água

Tensão superficial: efeito físico que ocorre na interface entre duas fases químicas, fazendo com que a camada **superficial** de um líquido venha a se comportar como uma membrana elástica. Esta propriedade é causada pelas forças de coesão entre moléculas semelhantes, cuja resultante vetorial é diferente na interface (Figura 28).

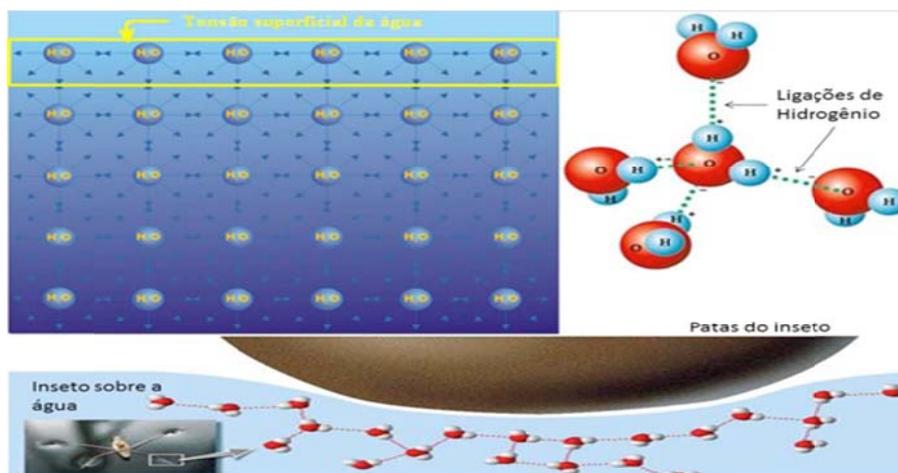


Figura 28 – Formação da tensão superficial e aspecto da importância ecológica.

- Viscosidade da água

Viscosidade: propriedade dos fluidos correspondente ao transporte microscópico de quantidade de movimento por difusão; portanto, quanto maior a viscosidade, menor será a velocidade em que o fluido se movimenta. No ambiente aquático, deve se levar em consideração também a temperatura e o teor de sais dissolvidos.

VIII. Radiação no Meio Aquático

Na Figura 29 estão esquematizados alguns aspectos, com os respectivos ângulos de incidência luminosa, sobre um corpo hídrico. Destacam-se também as zonas denominadas de eufótica (aonde ocorrem todos os processos fóticos necessários ao metabolismo aquático); a zona disfótica, não assinalada no esquema, local onde ocorre o ponto de compensação, isto é, luz suficiente para a fotossíntese dos autótrofos e afóticos sem mais a presença de luz.

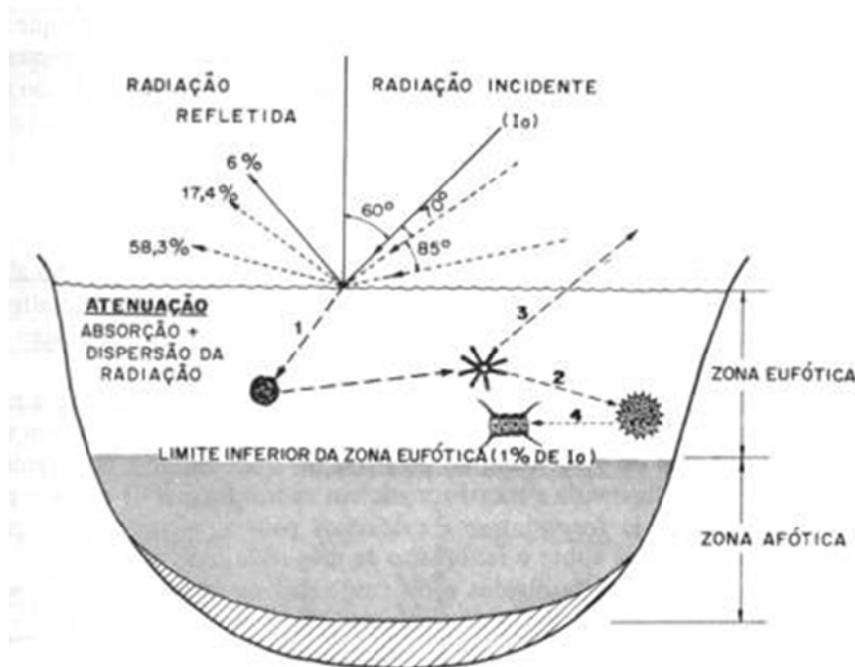


Figura 29 – Diagrama mostrando o comportamento da radiação solar em um ambiente aquático.

A Figura 30 mostra alguns aspectos da radiação solar sobre alguns componentes do ambiente aquático

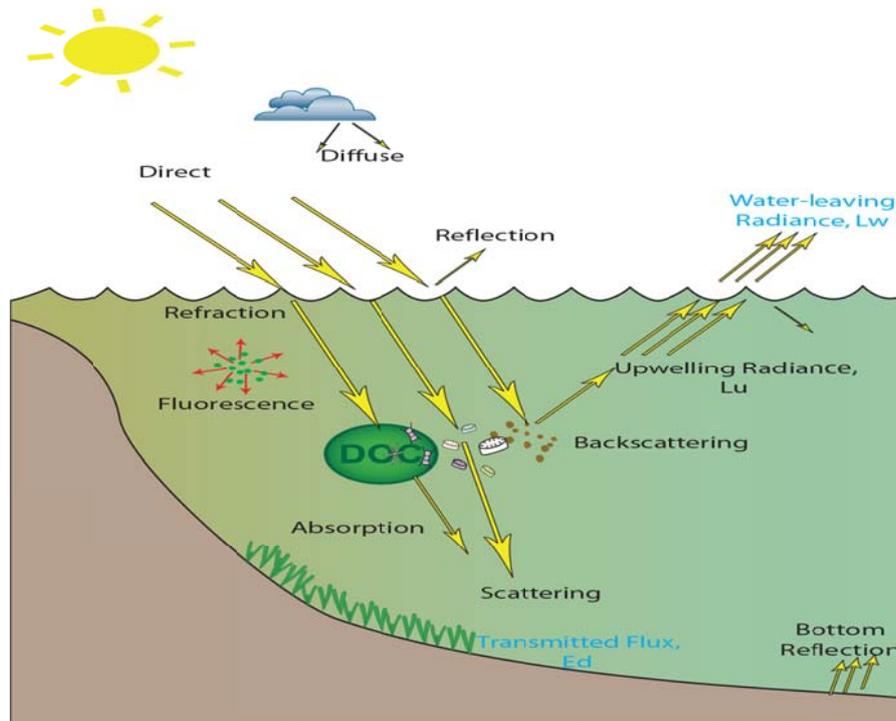


Figura 30 – Alguns aspectos da radiação sobre alguns componentes do ambiente aquático.

Devido à complexidade deste tema no contexto dos ecossistemas aquáticos, levar-se-ão em consideração alguns aspectos mais relevantes para um melhor entendimento da sua importância e efeitos ambientais.

❖ Processos de absorção

○ Radiação (Figura 31)

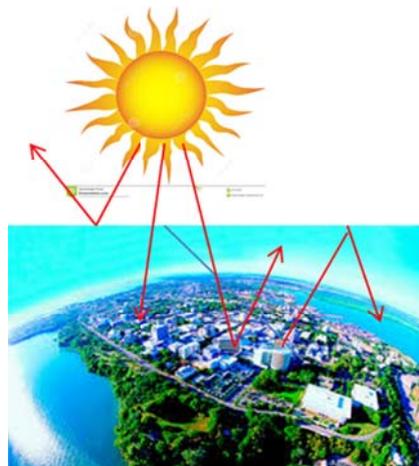


Figura 31 – Esquema indicando a radiação solar no Planeta, sendo que, como destacado nas Figuras 32 e 33, uma parte é absorvida pelo bioma aquático.

- Molécula de água (Figura 32)

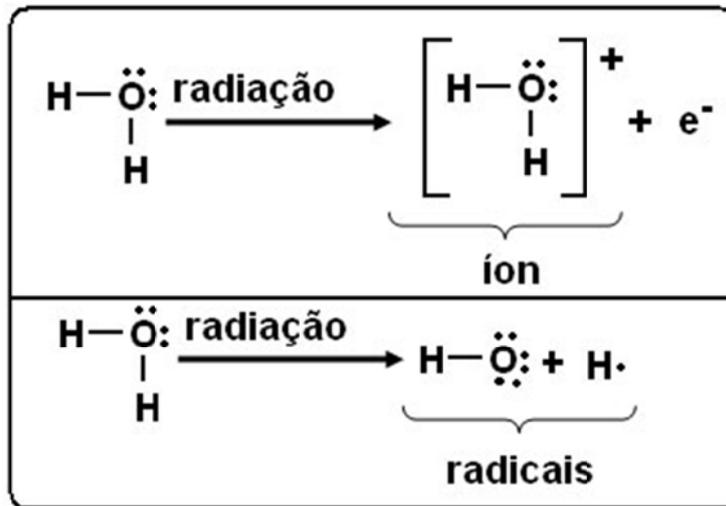


Figura 32 – Esquema sobre o efeito da radiação sobre a molécula de água.

A Figura 33 destaca a incidência luminosa sofrendo reflexão, dispersão e absorção dentro da dinâmica energética do ecossistema aquático. Ressalta-se a necessidade de destacar os seguintes itens, no contexto dispersão e absorção:

- Substâncias húmicas*
- Organismos clorofilados

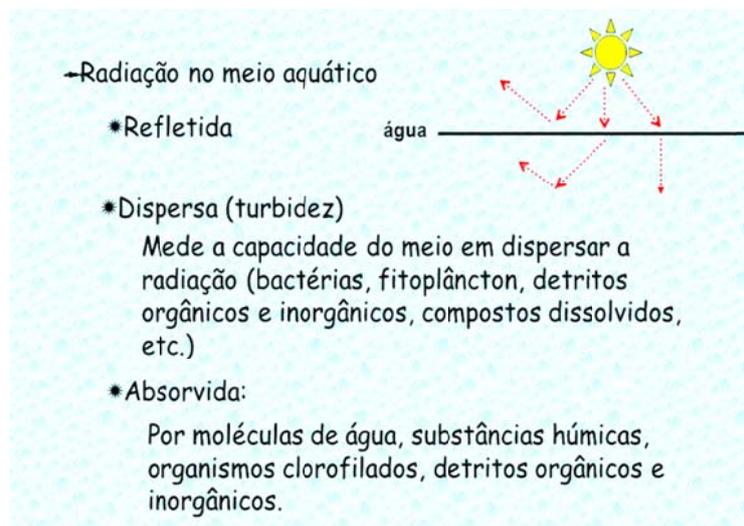


Figura 33 – Esquema destacando a dispersão e absorção dos diversos componentes do ecossistema hídrico.

***Substâncias húmicas:** mistura complexa, dispersa e heterogênea de vários compostos orgânicos oriundos a partir de restos de necromassa produzida pelos

decompositores (microrganismos = fungos e bactérias). Portanto, as substâncias húmicas existem em uma grande variedade de estruturas e composição química (denominada de substância universal dos ecossistemas).

- Dispersão da radiação (Figura 34)

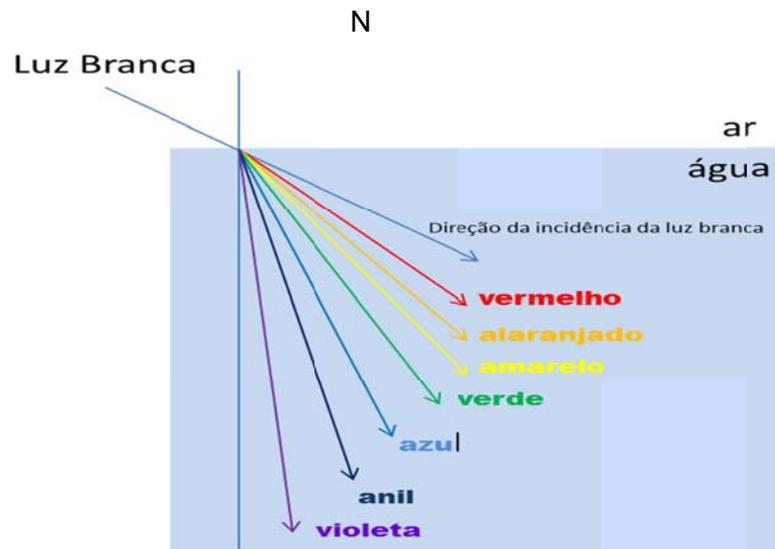


Figura 34 – Esquema da dispersão na água segundo o comprimento da onda.

- Avaliação da transparência através do disco de Secchi*

Nas figuras 35 A e B estão destacados o equipamento (Disco de Secchi) e um exemplo de medida de transparência, utilizando deste equipamento, respectivamente.

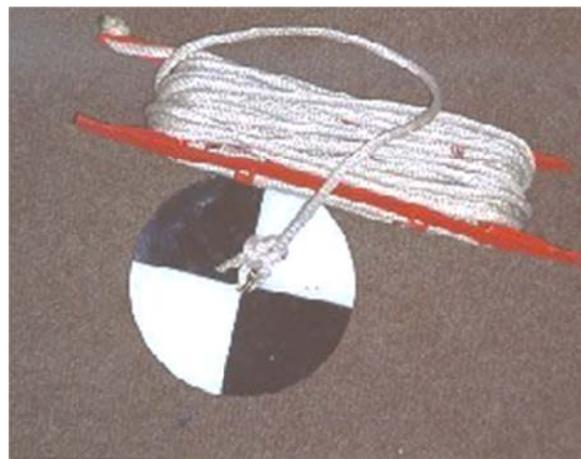


Figura 35 A – Disco de Secchi atado com corda graduada.

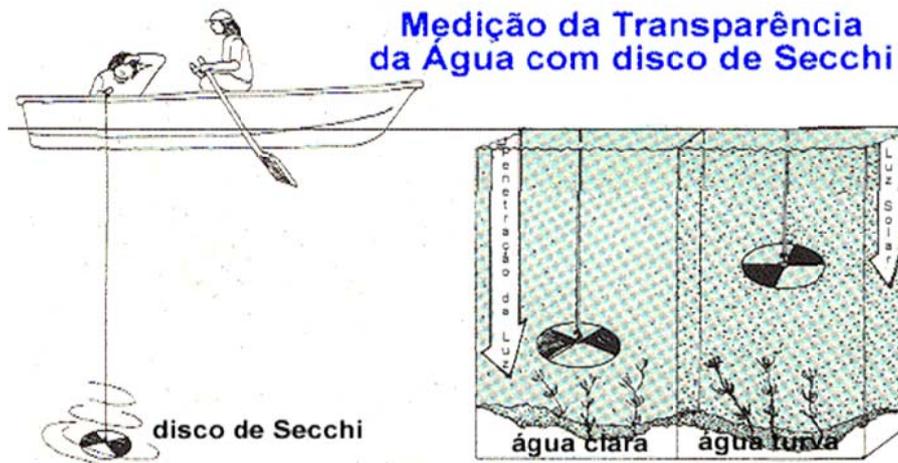


Figura 35 B – Esquema com a Medição da Transparência da Água com disco de Secchi.

***Disco de Secchi** - (criado em 1865 por Pietro Ângelo **Secchi**): **disco** especialmente construído para medir a transparência e o nível de turbidez de corpos de água como oceanos, lagos e rios. Tradicionalmente o **disco** vem montado em uma vara, corda ou fita, para ser baixado, aos poucos, às profundezas das águas.

IX. A radiação e seus múltiplos efeitos em águas continentais

A Figura 36 mostra um esquema sobre a estratificação térmica num lago.

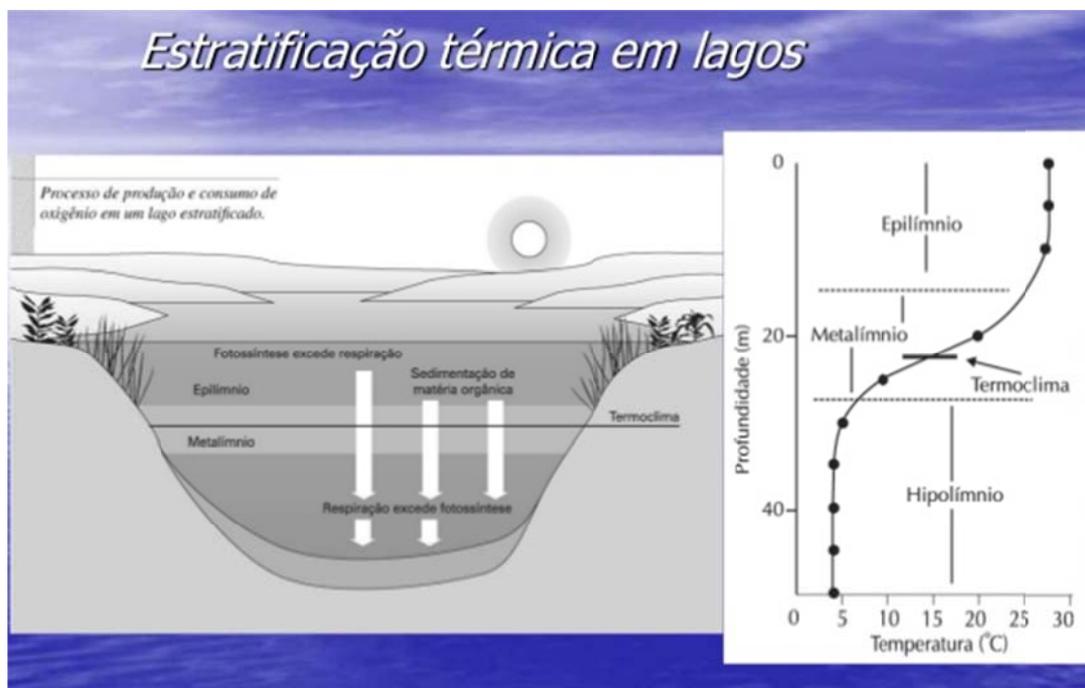


Figura 36 – Esquema mostrando a Estratificação Térmica em Lagos

- ❖ Efeitos térmicos da radiação sobre os corpos d'água

- ▶ A instabilidade e estabilidade térmica dos corpos d'água
 - Instabilidade = lagos que apresentam temperatura uniforme em toda a coluna d'água;
 - Estabilidade = lagos que apresentam estratificação térmica;
 - Os estratos formados são diferenciados física, química e biologicamente.

- ▶ Estratificação térmica dos ecossistemas aquáticos continentais
 - Região de clima temperado
 - Início da primavera → destruição da camada de gelo – homotermia – circulação da água - ± eficaz em lagos rasos;
 - Verão – superfície se aquece – dificulta a mistura – presença de três camadas:
 - Epilímnio (superior) = temperatura uniforme e quente;
 - Hipolímnio (inferior) = mais fria e densidade máxima (~ 4 °C);
 - Metalímnio (intermediária) = descontinuidade de temperatura → *Termoclina*;
 - Outono – quebra da estratificação térmica e circulação;
 - Inverno = congelamento da superfície – somente a inferior circula (estratificação de inverno).
 - Região de clima tropical
 - Estratificação e desestratificação diária;
 - Estratificação de primavera, verão e outono e desestratificação de inverno;
 - Dinâmica associada à profundidade, variação sazonal de temperatura, direção dos ventos, posição geográfica do corpo d'água, presença de macrófitas aquáticas na região litorânea, etc.

A Figura 37 apresenta exemplos de estratificação e desestratificação térmica, relacionada a aspecto sazonal e nictimeral.

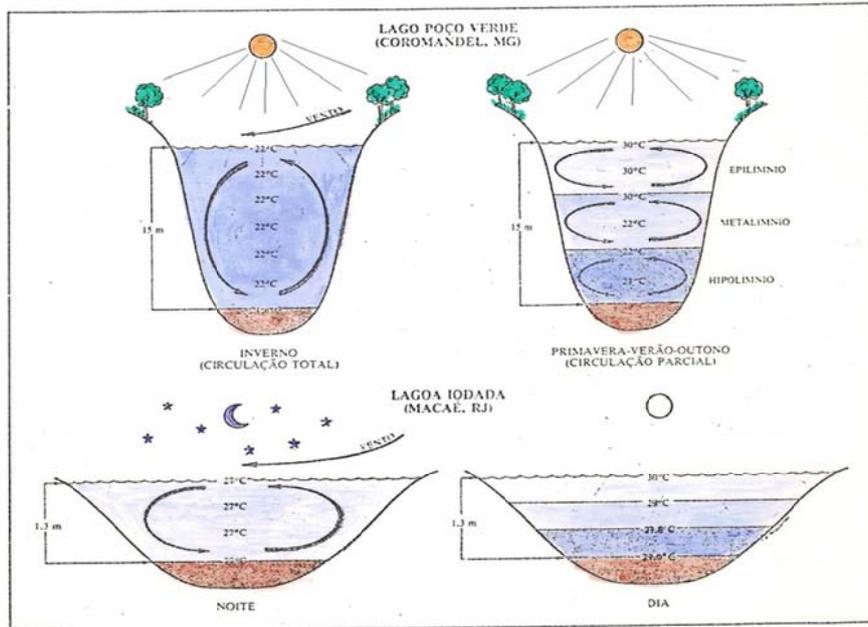


Figura 37 – Exemplos de estratificação e desestratificação em lagos

❖ Classificação dos lagos quanto ao número e tipos de circulação

- ▶ **Lagos Holomíticos** = circulação atinge até toda a coluna d'água
 - *Dimíticos* = duas circulações ao ano (outono e inverno)
 - *Monomíticos* = uma circulação ao ano
 - Monomítico quente = circulação somente no inverno
 - Monomítico frio = circulação somente no verão
 - *Oligomíticos e Polimíticos* = lagos com poucas ou muitas circulações ao ano
 - *Oligomítico* = profundos onde ocorre pouca variação sazonal de temperatura
 - *Polimítico* = rasos e com grande extensão com circulação diária

- ▶ **Lagos Meromíticos** = circulação não atinge toda a coluna d'água
 - *Meromixia geomorfológica*
 - *Meromixia química ou ectogênica*

X. Elementos Físicos, Químicos e Biológicos.

❖ OXIGÊNIO DISSOLVIDO – OD

No meio ambiente terrestre, o Oxigênio advém do metabolismo fotossintético das plantas, através de processos metabólicos complexos que ocorrem a nível intracelular nos cloroplastos; no meio aquático, esse elemento é denominado Oxigênio Dissolvido (OD) e vem predominantemente da fotossíntese da biótica aquática ou pela difusão na superfície da água (menos importante).

A concentração de OD pode variar em razão de algumas circunstâncias, tais como:

- *Temperatura* - A solubilidade do oxigênio em água aumenta com a diminuição da temperatura. Portanto, as águas frias retêm mais oxigênio que as águas mais quentes. Em águas frias, os níveis de oxigênio dissolvido podem atingir cerca de 10 ppm (mg.L^{-1});
- *Salinidade* - Quanto maior a quantidade de sal dissolvido na água, menor será o OD. Assim, pode-se informar que a água do mar contém menos OD que outras águas;

➤ Solubilidade também depende da *temperatura e pressão*.

▶ **Difusão e Distribuição**

- *Dinâmica nos lagos de região temperada*
 - Hipolimnio com alto déficit de OD durante o verão (atividade decompositora) nos lagos raso e eutróficos; nos profundos e oligotrófico não há interferências nos níveis de OD.
- *Dinâmica nos lagos de região tropical*
 - A alta temperatura como fator controlador direto da concentração de OD;
 - Fatores controladores indiretos da concentração de OD.
 - Extensão do período de estratificação térmica;
 - Concentração de matéria orgânica (particulada e dissolvida)

No caso do Brasil, por exemplo, alguns aspectos devem ser ressaltados devido à construção de represas sobre florestas tropicais, agindo de forma direta na concentração de OD. A biomassa, a princípio, transformada em necromassa depois do enchimento, aumenta drasticamente o consumo do OD, alterando significativamente a qualidade da água do corpo hídrico. Dependendo das condições da estabilidade térmica do sistema, os estratos poderão sofrer anaerobiose com conseqüentes alterações na biota aquática.

Em ambientes aquáticos em processo de eutrofização (enriquecimento de nutrientes) pode ocorrer uma variação extremamente elevada da concentração de OD, atingindo picos nos períodos de maior intensidade fótica e carência nos demais.

Nos lagos tropicais, devido a uma dinâmica complexa de variações ambientais relativas a vários parâmetros, entre eles o OD, durante o processo evolutivo alguns organismos aquáticos, por exemplo, os peixes, desenvolveram várias adaptações para suportarem às baixas concentrações de OD. Entretanto, deve-se ter em mente que essas adaptações ocorreram na história geológica do Planeta e que mudanças rápidas não permitem a existência dessa possibilidade, mostrando, infelizmente, eventos de mortandade de peixes em vários episódios relatados na literatura.

- OUTROS ELEMENTOS

De forma a não se estender demasiadamente nas implicações de cada elemento presente no ambiente aquático, sua dinâmica e inter-relações do meio biótico/abiótico, serão apresentados detalhadamente durante o curso, destacando-se, por ora, somente um resumo de alguns deles, assim:

- Carbono (C) (Figura 38)
 - Orgânico = detritico e particulado (COP biota)
 - Orgânico Total (COT) e Orgânico Dissolvido (COD)
 - Inorgânico (CO₂)
- Nitrogênio (N)
 - NO₃, NO₂, NH₃, NH₄⁺, N₂O, N₂, NOD (nitrogênio orgânico dissolvido) e NOP (nitrogênio orgânico particulado)
 - Classificação dos lagos segundo NIT (nitrogênio inorgânico total) e compostos de Nitrogênio
- Fósforo (P)
 - P solúvel (Ortofosfato – mais importante)
 - Total – insolúvel
 - Classificação dos corpos hídricos
- Enxofre (S)
 - SO₄⁻², SO₃⁻², S⁻², H₂S, SO₂, H₂SO₄, S+metais
- Silício (Si)
 - Solúvel SiO₂
 - Coloidal e Particulado
- Cations
 - Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Sódio (Na), Potássio (K), Ferro (Fe), Manganês (Mn)
- Ânions
 - Cloreto, sulfato, carbonato, bicarbonato.
- Elementos-traço (ppm – parte por milhão, ppb – parte por bilhão)
 - Zinco (Zn), Cobre (Cu), Cobalto (Co), Molibdênio (Mo) Boro (B)
 - Agem em pequenas ou ínfimas quantidades no metabolismo biótico
- Elementos tóxicos
 - Mercúrio (Hg), Chumbo (Pb), Cádmiio (Cd), Níquel (Ni)

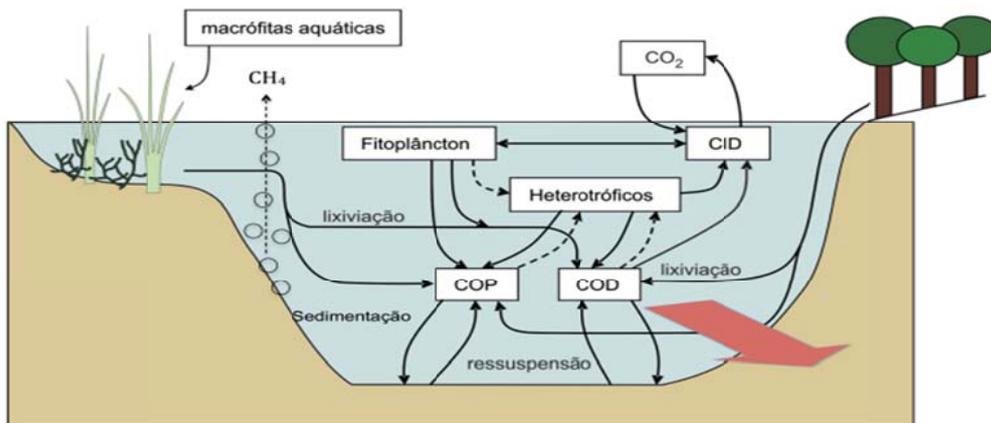


Figura 38 – Exemplo de algumas interações relativas ao elemento carbono

XI. Sedimento

O estudo e o entendimento sobre a importância do sedimento na dinâmica de um ambiente aquático exigiria um curso específico, longo e detalhado. Para não se prolongar demasiadamente neste tema, tentará-se reduzi-lo a alguns aspectos mais relevantes dentro do contexto dessa apostila.

A importância do sedimento está relacionada à interação de todos os processos no ecossistema aquático, onde ocorrem processos biológicos, físicos e ou químicos, sendo ainda fundamental no estudo da evolução histórica entre o ecossistema hídrico e terrestre adjacente e na avaliação da intensidade e forma de impacto a que os ecossistemas aquáticos estão ou estiveram submetidos.

A fim de se estabelecer alguns critérios de estudo do sedimento, podem ser então classificados como sedimento orgânico e sedimento mineral (cada um com aspectos ecológicos isolados e associados na dinâmica da coluna d'água). As camadas de sedimento límico podem ser de caráter recente ou biológico e permanente.

O sedimento ainda permite ser:

- Objeto do estudo da paleolimnologia
- Utilizado como indicador do estado trófico
- Empregado para se avaliar o nível de poluição

Em condições naturais tanto quanto nas alteradas nos ambientes aquáticos, o sedimento possui uma importância significativa na dinâmica dos nutrientes. O Fósforo (P) é principal elemento que determina o estado trófico de um ambiente aquático, junto com o Nitrogênio (N). Na Figura 39 há um exemplo da interação do Fósforo (P) relativa à correlação água/sedimento.

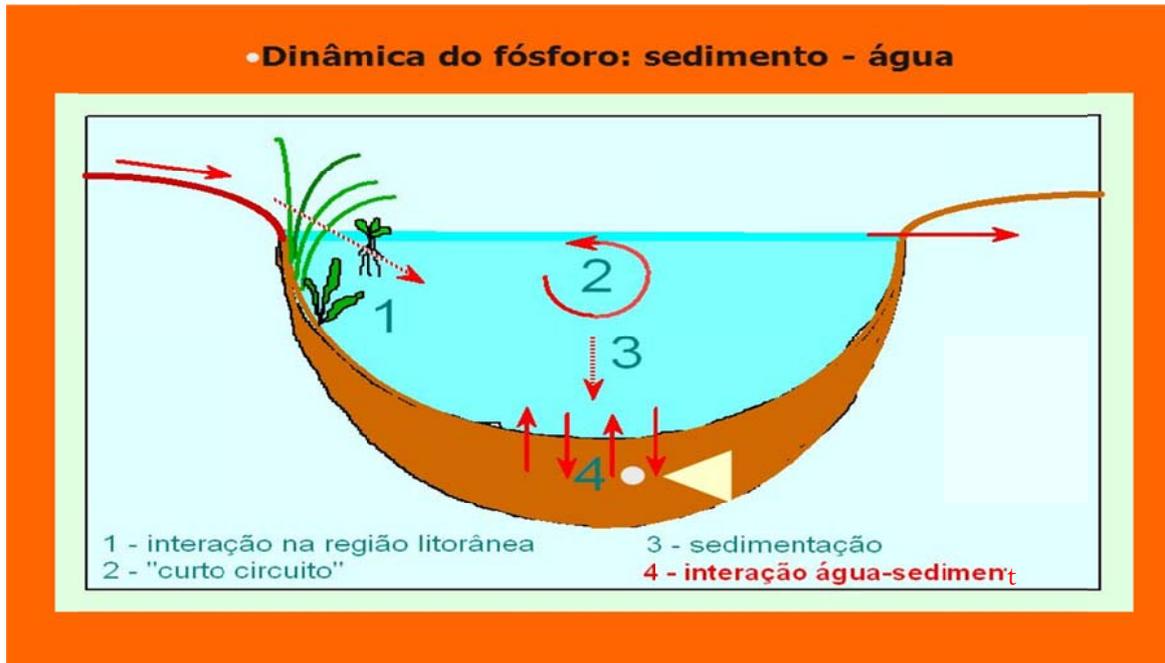


Figura 39 – Exemplo da dinâmica do Fósforo (P) relacionada à sua interação água/sedimento.

XII. A comunidade de macrófitas aquáticas (Figura 40)

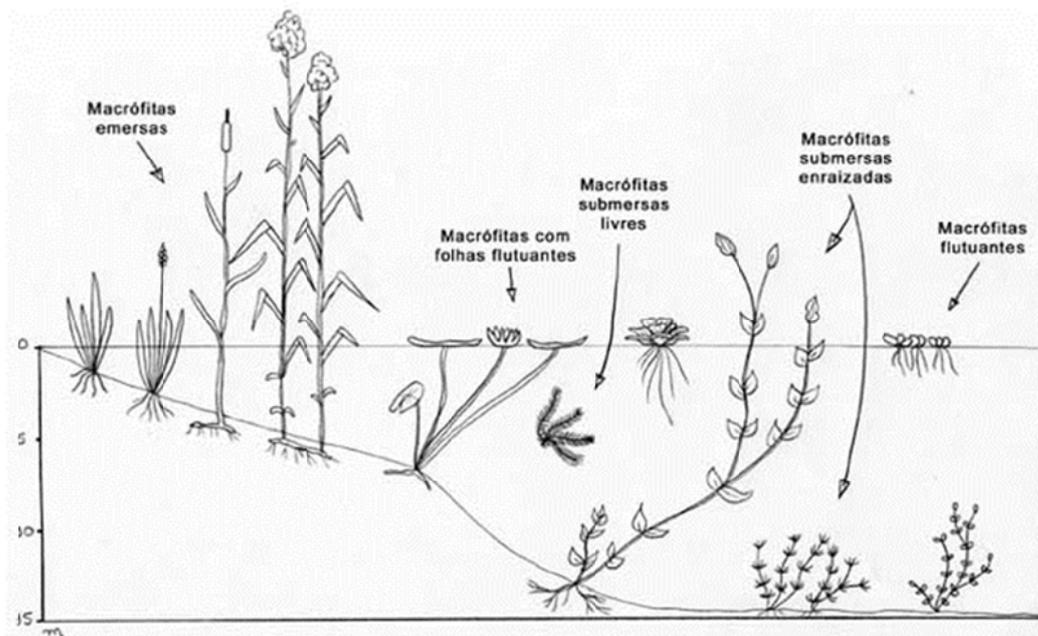


Figura 40 – Esquema com os diversos tipos de macrófitas aquáticas relacionadas à sua posição no ambiente hídrico.

A Figura 41 mostra alguns tipos de macrófitas aquáticas: submersa enraizada, com folhas flutuantes e livre flutuante, respectivamente. (A literatura específica permite a

identificação das diversas espécies que vivem tanto em harmonia com o ambiente quanto aquelas que são denominadas erroneamente de ervas daninhas)



Figura 41 – Exemplos de macrófitas aquáticas em diferentes nichos ecológicos.

Tanto quanto o sedimento, o estudo das macrófitas aquáticas na dinâmica dos ecossistemas hídricos também precisaria de um capítulo inteiro para a compreensão de sua importância. Desta forma, alguns tópicos serão descritos para se ter um conhecimento básico da complexidade deste tema. Assim, devem-se direcionar os estudos para:

- Os principais habitats das macrófitas aquáticas (emersas, flutuantes, etc.);
- As comunidades vegetais da região litorânea;
- A importância das macrófitas aquáticas na dinâmica dos ecossistemas (tanto terrestre quanto aquático na região do ecótono);
- A relação entre as macrófitas aquáticas e as áreas alagáveis;
- As adaptações anatômicas e fisiológicas das macrófitas aquáticas ao meio;
- A biomassa e a produtividade primária das macrófitas aquáticas;
- A biomassa de rizomas e raízes das macrófitas aquáticas;
- A comparação entre a produtividade de macrófitas aquáticas, fitoplâncton e perífiton;
- A importância das macrófitas aquáticas na formação dos detritos orgânicos;
- As macrófitas aquáticas e o papel na estocagem e ciclagem de nutrientes;
- A relação entre estado trófico e a biomassa das macrófitas aquáticas;

- O emprego das macrófitas aquáticas no controle de poluição e eutrofização artificial;
- O controle das populações de macrófitas aquáticas;
- A utilização da biomassa das macrófitas aquáticas.

XIII. A comunidade fitoplanctônica

Toda a parte biológica do ambiente aquático necessita de especialistas tanto na identificação de cada espécie, como nos processos limnológicos (quantidade, metabolismo, interação, etc.). Portanto, serão considerados apenas alguns aspectos dessas interações.

A classificação do fitoplâncton pode ser realizada segundo o tamanho, assim:

- Macro = >1000 μm
- Meso = 500 – 1000 μm
- Micro = 50 – 500 μm
- Nano = 10 – 50 μm
- Ultra = 0,5 – 10 μm

Alguns grupos de “algas” (fitoplâncton) presente nos ambientes aquáticos: (Figuras de 42 A a F).

Cianobactéria (exemplo)



Figura 42 A



Figura 42 B

Chlorophyta

Euglenophyta



Figura 42 C

Chrysophyta



Figura 42 D

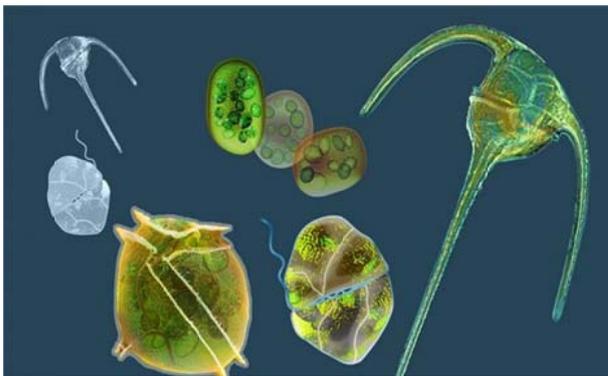


Figura 42 E

Pyrrophyta

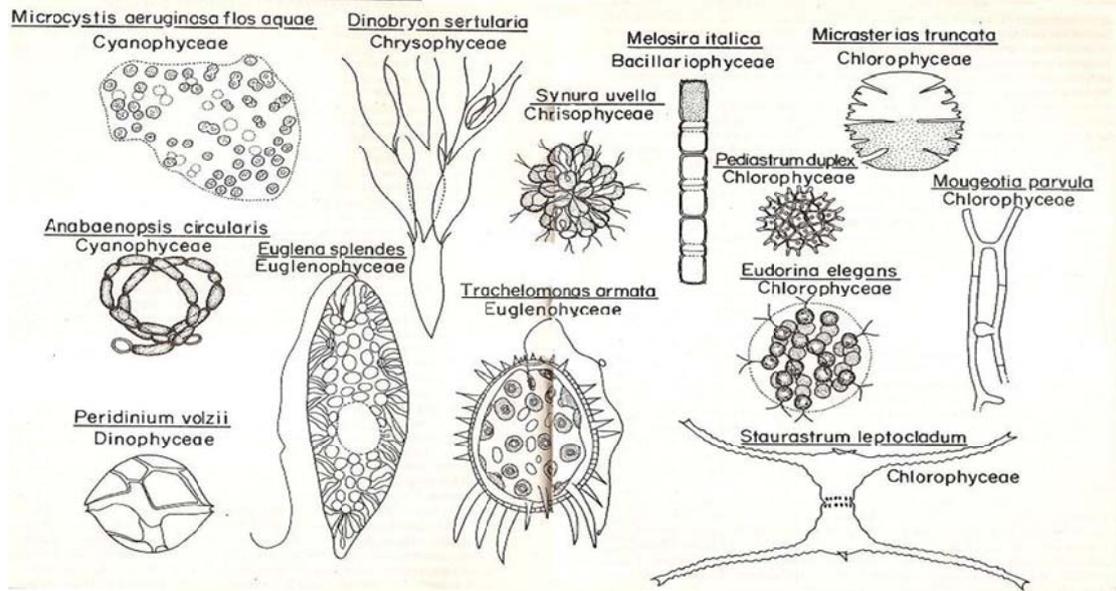


Figura 42 F

Figura 42 A a F- Exemplos dos grupos genericamente denominados de “algas”

Na Tabela 4 estão descritos os grupos algais com representantes do fitoplâncton límnico e marinho

Tabela 4 – Grupos de algas com representantes no fitoplâncton límnico e marinho.

	Grupo filogenético	Divisões ou classes	Límnicos	Marinho	
PROCARIOTAS	Bacteria	Cyanobacteria	■	■	
EUCARIOTAS	ESTRAMENOPILOS	Bacillariophyceae	■	■	
		Chrysophyceae	■	■	
		Raphidophyceae	■	■	
		Eustigmatophyceae	■	■	
		Pelagophyceae	■	■	
		Silicoflagelados	■	■	
			Cryptophyceae	■	■
	DISCICRISTATA	Euglenophyceae	■	■	
	ALVEOLATA	Dinophyceae	■	■	
	VIRIDIPLANTAE	Chlorophyceae	■	■	
		Prasinophyceae	■	■	
Conjugatophyceae		■	■		
		Glaucophyta	■	■	

■ Importante ■ Ausente ou escasso ■ Pouco importante ou menor diversidade ou distribuição

XIV. ICF – Índice da Comunidade Fitoplanctônica

O índice utiliza a dominância dos grandes grupos que compõem o fitoplâncton, a densidade dos organismos e o Índice de Estado Trófico* (IET), visando separar em categorias a qualidade da água. Com a alteração do IET, em 2005, foi estabelecida uma nova ponderação dessa variável, válida tanto para rios (ICF_{RIO}) quanto para reservatórios (ICF_{RES}), conforme mostra a Tabela 5.

Tabela 5 - Classificação do Índice da Comunidade Fitoplanctônica – ICF

Categoria	Ponderação	Níveis
ÓTIMA	1	Não há dominância entre os grupos Densidade total < 1.000 org . mL ⁻¹ IET ≤ 52
BOA	2	Dominância de Clorofíceas (Desmidiáceas) ou Diatomáceas Densidade total > 1.000 e < 5.000 org . mL ⁻¹ 52 < IET ≤ 59
REGULAR	3	Dominância de Clorofíceas (Chlorococcales) , Fitoflagelados ou Dinoflagelados Densidade total > 5.000 e < 10.000 org . mL ⁻¹ 59 < IET ≤ 63
RUIM	4	Dominância de Cianobactérias ou Euglenofíceas Densidade total > 10.000 org . mL ⁻¹ 63 < IET

O valor final, que gera o diagnóstico ou a classificação final da qualidade, será simplesmente a média aritmética das três ponderações parciais relativas à dominância, densidade e valor de IET.

* O Índice do Estado Trófico (IET) tem por finalidade classificar corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas e cianobactérias.

XV. A comunidade zooplanctônica

Tanto quanto a comunidade fitoplanctônica exige uma série de especificações, a comunidade zooplanctônica também precisa de profissionais gabaritados para compreender as correlações desses organismos com os ecossistemas aquáticos.

Dessa forma, colocar-se-ão somente alguns aspectos relativos a esses organismos. A Figura 43 mostra alguns representantes deste grupo



Figura 43 – Representantes da comunidade zooplanctônica.

Os principais representantes da comunidade zooplanctônica de água doce são: **Protozoários** (flagelados, sarcodinas e ciliados); **Metazoários**: *Rotíferos*; *Cladóceros* (crustáceos); *Copépodes* (crustáceos); Larvas e ovos de peixes e moluscos; Larvas de insetos (*Dípteros*); Alguns vermes (turbelários e trematódeos); *Cnidários* (medusa). Nos ecossistemas aquáticos continentais, o zooplâncton está representado principalmente pelos: *Copépodos*; *Cladóceros*; *Ostracodas* *Rotíferos*; *Protozoários* (radiolários, foraminíferos e tintinídios); *Quetognatos*; Larvas e ovos de peixes e moluscos; *Cnidários* (Hidromedusas). Esses organismos têm um papel decisivo na dinâmica destes ambientes, especialmente na ciclagem de nutrientes e no fluxo de energia. (Figura 43 e 44).

Nos aspectos ecológicos, pode-se ainda acrescentar a dinâmica da predação dos peixes e invertebrados aquáticos sobre a comunidade zooplanctônica. Em condições de desequilíbrio ecológico das populações zooplanctônicas, podem ser controladas por introdução de peixes plantófagos denominado, esse manejo, de biomanipulação.

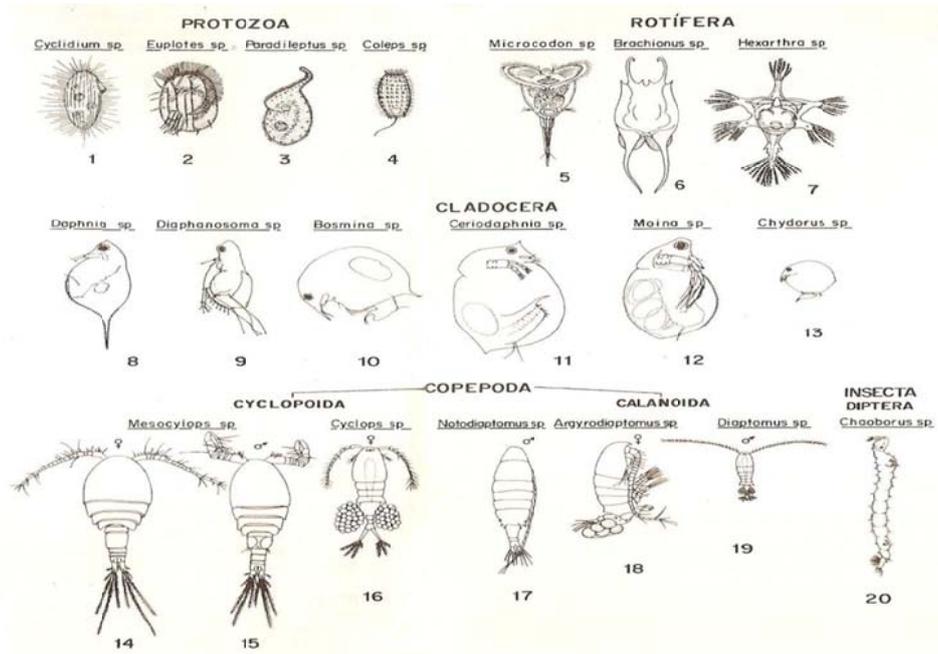


Figura 44 – Esquema de alguns representantes do zooplâncton.

XVI. ICZ_{res} – Índice da Comunidade Zooplancônica para Reservatórios

O ICZ_{RES} relaciona a razão entre o número total de calanóides e o número total de ciclopóides (N_{cal}/N_{cyc}), com o Índice de Estado Trófico (IET) para clorofila *a*. Estes dois resultados encontram-se associados com categorias Boa, Regular, Ruim e Péssima, obtidas a partir da Figura 45.

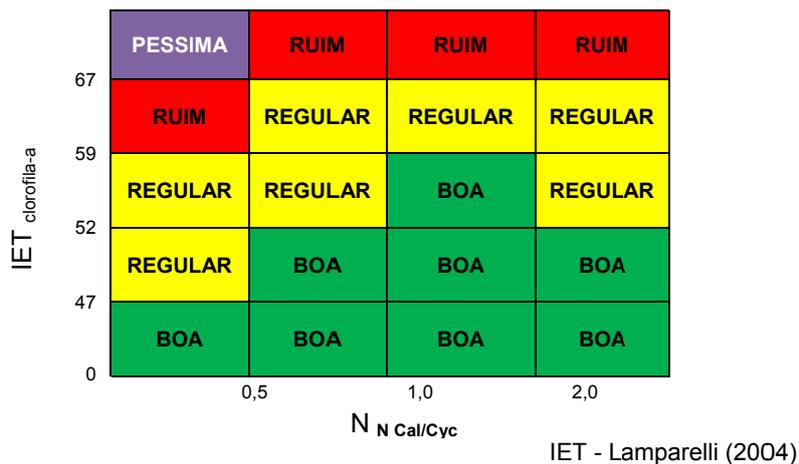


Figura 45 – Classificação segundo a comunidade zooplancônica para reservatórios.

Para a utilização da matriz diagnóstica ICZ_{RES} é necessária a presença de três grupos zooplancônicos: Rotíferos, Cladóceros e Copépodes na amostra total. Na ausência de

copépodes calanóides, emprega-se $N_{Cal}/N_{Cyc} < 0,5$; na presença de calanóides e ausência de ciclopóides, emprega-se $N_{CAL}/N_{CYC} > 2,0$; na ausência de rotíferos ou cladóceros, atribuir Ruim e, na ausência de copépodes, atribuir a condição Péssima.

XVII. A comunidade bentônica

As mesmas considerações anteriormente citadas, valem também para este grupo. A Figura 46 esquematiza alguns representantes do bentos.

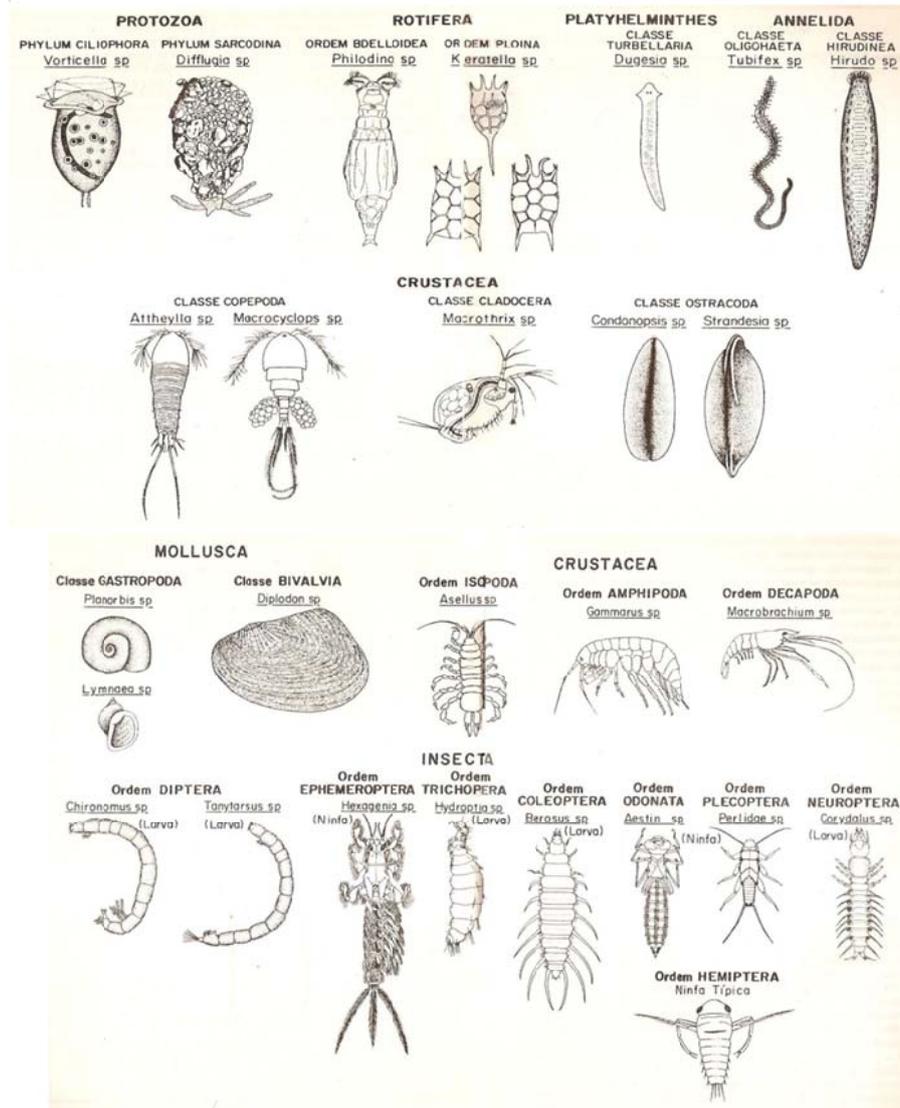


Figura 46 – Esquema de alguns representantes da comunidade bentônica

Bentos: comunidade de organismos (bênticos ou bentônicos) que vive no substrato de ambientes aquáticos (palavra de origem grega que significa profundidade, inferior) e se refere a formas de vida que habitam o fundo dos ambientes aquáticos (a palavra bentos tem sentido coletivo e deve ser empregada com artigo e concordância verbal

no singular; não há plural do termo bentos). Representam os organismos que vivem fixos ou não ao substrato, sendo comumente empregada em áreas da ciência como ecologia, biologia marinha, limnologia e oceanografia.(Figura 17)

A penetração da luz na coluna de água estabelece a distribuição de vegetais bentônicos às camadas superficiais do ambiente; portanto, a ocorrência de fitobentos está confinada às zonas litorâneas. O bentos de áreas profundas é composto principalmente de bactérias e zoobentos.

As comunidades bentônicas são frequentemente usadas como indicadores biológicos porque podem fornecer informações sobre condições ambientais, devido à sensibilidade de uma única espécie (indicadora) ou por causa de alguma característica geral que faz a comunidade integrar os sinais do ambiente ao longo do tempo.

Devido à complexa estrutura dessa comunidade, associadas aos aspectos específicos do sedimento acarretam uma importância significativa da atividade zooplanctônica na dinâmica dos nutrientes.

XVIII. ICB – Índice da Comunidade Bentônica

Para o diagnóstico, os descritores, detalhados na metodologia, foram fundidos em índices multimétricos, adequados a cada tipo de ambiente, ou seja, zona sublitoral de reservatórios (Tabela 6), zona profunda de reservatórios (Tabela 7) e rios (Tabela 8).

Tabela 6 - Índice da Comunidade Bentônica para zona sublitoral de reservatórios (ICB_{RES-SL})

Categoria	Ponderação	Níveis				
		S	ICS	H'	T/DT	Ssens
ÓTIMA	1	≥ 25	≥ 25,00	> 3,50	< 0,10	≥ 3
BOA	2	17 - 24	15,00 - < 25,00	> 2,25 - ≤ 3,50	0,10 - < 0,40	2
REGULAR	3	9 - 16	5,00 - < 15,00	> 1,50 - ≤ 2,25	0,40 - < 0,70	1
RUIM	4	1 - 8	< 5,00	≤ 1,50	≥ 0,70	0
PÉSSIMA	5	AZÓICO				

Tabela 7 - Índice da Comunidade Bentônica para zona profunda de reservatórios (ICB_{RES-P})

Categoria	Ponderação	S	Níveis			
			ICS	H'	T/DT	Tt/Chi
ÓTIMA	1	≥ 10	> 7,00	> 2,00	< 0,20	≥ 0,10
BOA	2	7 – 9	> 3,50 - ≤ 7,00	> 1,50 - ≤ 2,00	≥ 0,20 - < 0,50	> 0,06 - < 0,10
REGULAR	3	4 – 6	> 1,00 - ≤ 3,50	> 0,50 - ≤ 1,50	≥ 0,50 - < 0,80	> 0,03 - ≤ 0,06
RUIM	4	1 – 3	≤ 1,00	≤ 0,50	≥ 0,80	≤ 0,03
PÉSSIMA	5	AZÓICO				

Tabela 8 - Índice da Comunidade Bentônica para rios (ICB_{RIO})

Categoria	Ponderação	Níveis				
		S	ICS	H'	T/DT	Ssens
ÓTIMA	1	≥ 21	> 20,00	> 2,50	≤ 0,25	≥ 3
BOA	2	14 – 20	> 9,50 - ≤ 20,00	> 1,50 - ≤ 2,50	> 0,25 - < 0,50	2
REGULAR	3	6 – 13	> 3,00 - ≤ 9,50	> 1,00 - ≤ 1,50	≥ 0,50 - ≤ 0,75	1
RUIM	4	≤ 5	≤ 3,00	≤ 1,00	> 0,75	0
PÉSSIMA	5	AZÓICO				

Devido à complexidade dessa comunidade, um detalhamento sobre os cálculos encontram-se descritos nos Relatórios de Qualidade da Água da CETESB – apêndices.

XIX. Eventos naturais que alteram a qualidade da água

Desde o surgimento do Planeta Terra, a água agiu como elemento formador e sofreu as consequências das alterações, durante as diversas eras geológicas.

Dessa forma, as mudanças da qualidade da água, tanto as salinas quanto as “doces”, sofreram modificações ao longo do tempo, dividindo-se entre o antes e o depois do desenvolvimento da civilização humana, intensificando-se, concomitantemente, com o crescimento populacional e a complexidade tecnológica, uma vez que acarretavam uma maior demanda hídrica.

Portanto, deve-se ter em mente que a qualidade da água natural não é uma entidade imutável, alterando-se continuamente segundo as modificações naturais, a princípio e, atualmente, incrementadas com as antrópicas.

A água foi o principal agente da formação inicial do planeta, segundo a literatura pertinente. Concomitantemente, a movimentação das placas tectônicas (Figura 47) acarretando a deriva continental modificou a esturra e o relevo planetário dividindo-o em Epinociclo (terrestre), Limnociclo (águas doces) e Talassociclo (águas salgadas).

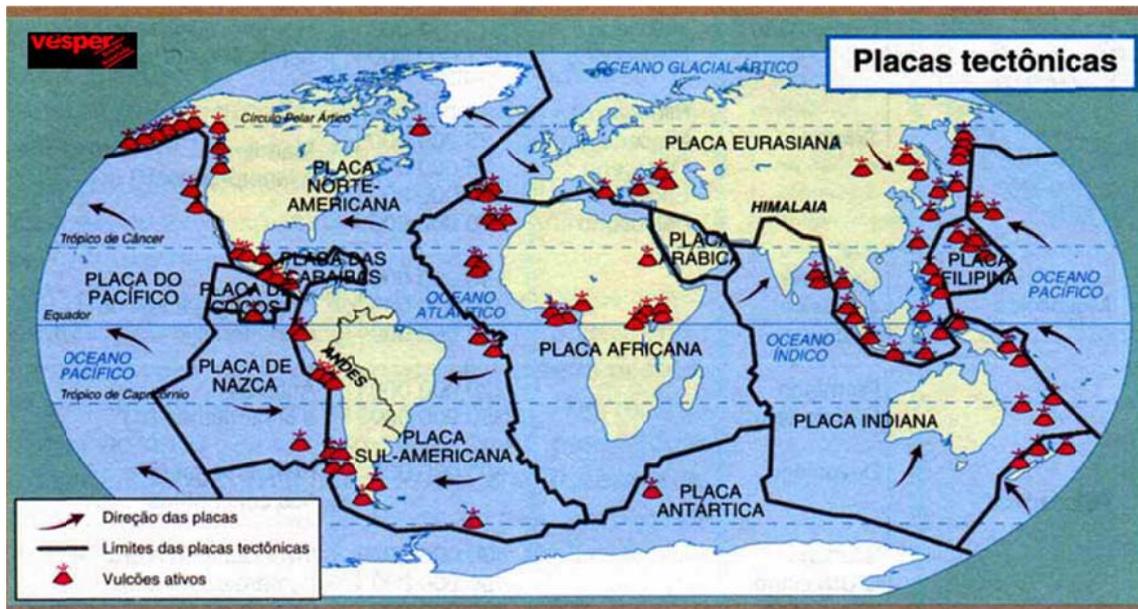


Figura 47 – Desenho esquemático das principais placas tectônicas do Planeta.

Então, para se separar os eventos naturais isoladamente que alteram a qualidade da água torna-se impraticável, podendo-se somente abstrai-los de forma puramente didática.

A sequência a seguir não tem caráter hierárquico, são estritamente informativos.

A dinâmica atmosférica, consequência direta da sazonalidade, interagindo com as posições longitudinais e latitudinais, agem alterando a qualidade natural da água; entretanto, tais perturbações são assimiladas pelos ecossistemas aquáticos naturais.

Dessa forma, podem-se destacar eventos que acarretam inundações pelo excesso de chuvas como longas estiagens. Consta-se que, por outro lado, no decorrer das eras geológicas, toda a comunidade biótica desses ambientes desenvolveu adaptações morfo-fisiológicas que suportam tais impactos com a sua simultânea evolução, interagindo em duplo sentido, isto é, ambiente atuando sobre os seres vivos e estes alterando-o. (Figura 48)

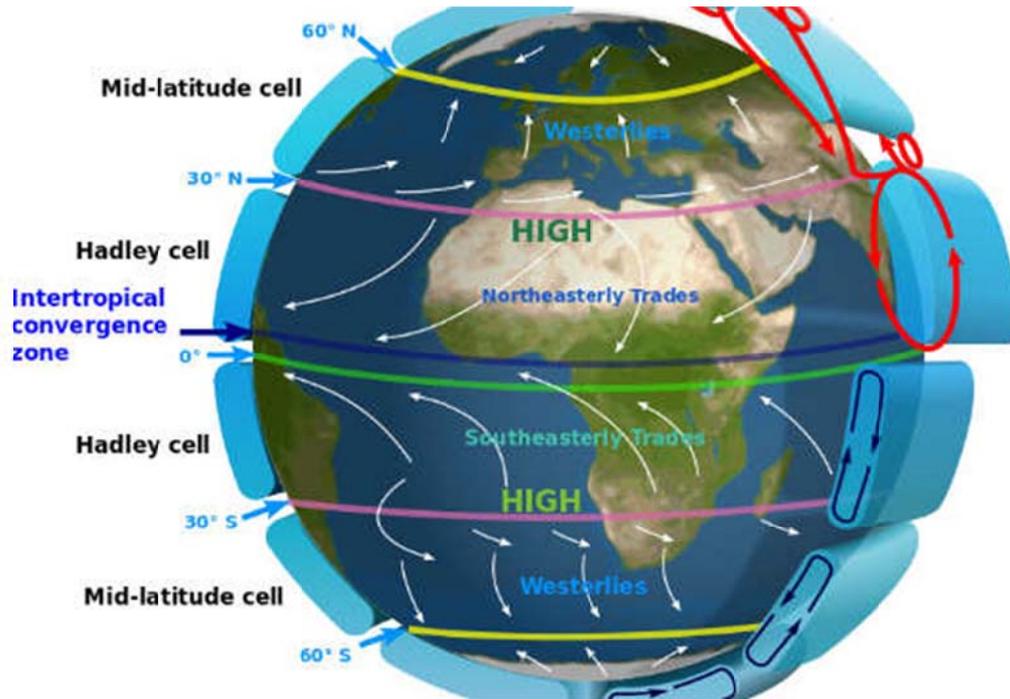


Figura 48 - Exemplo simplificado da dinâmica atmosférica do Planeta.

Dessa forma, as alterações na qualidade da água interferiram na evolução da biosfera e esta atividade biológica modificou o ambiente para a sua melhor adaptação. (Hipótese Gaia).

Os terremotos, que modificam drasticamente uma paisagem, podem propiciar o desaparecimento de um ambiente aquático como cria-los, agindo como agente ativo na qualidade das águas afetadas. (Figura 49)

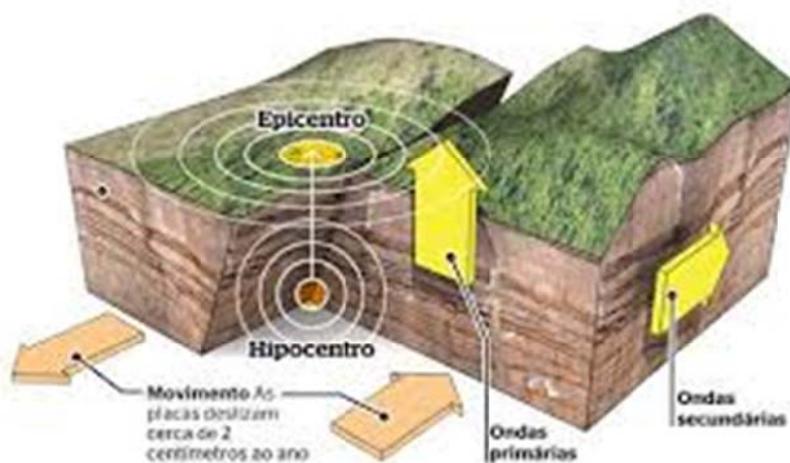


Figura 49 = Esquema de alguns aspectos de um terremoto.

A atividade vulcânica, que configurou a paisagem planetária, agiu e continua atuando como agente dinâmico na qualidade das águas atingidas tanto pelos gases e partículas quentes, denominadas de cinza vulcânica, como pelas lavas. A Figura 50 detalha alguns aspectos de uma atividade vulcânica.

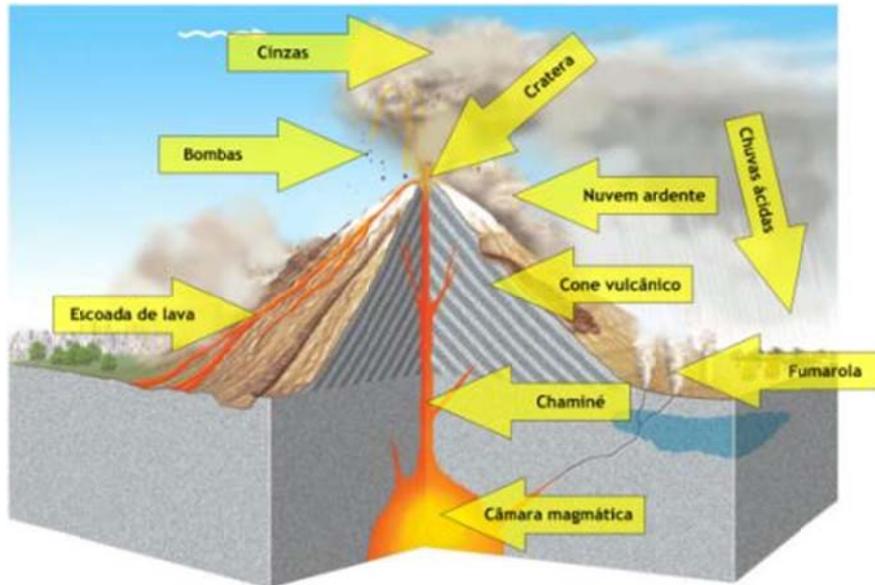


Figura 50 – Alguns aspectos da atividade vulcânica.

Dentre as modificações naturais pode-se relevar a sucessão ecológica em que ambientes aquáticos transformam-se em ambiente terrestre e vice-versa (Figura 51). Em face desta constatação, pode-se ressaltar a eutrofização natural. (Figura 52)

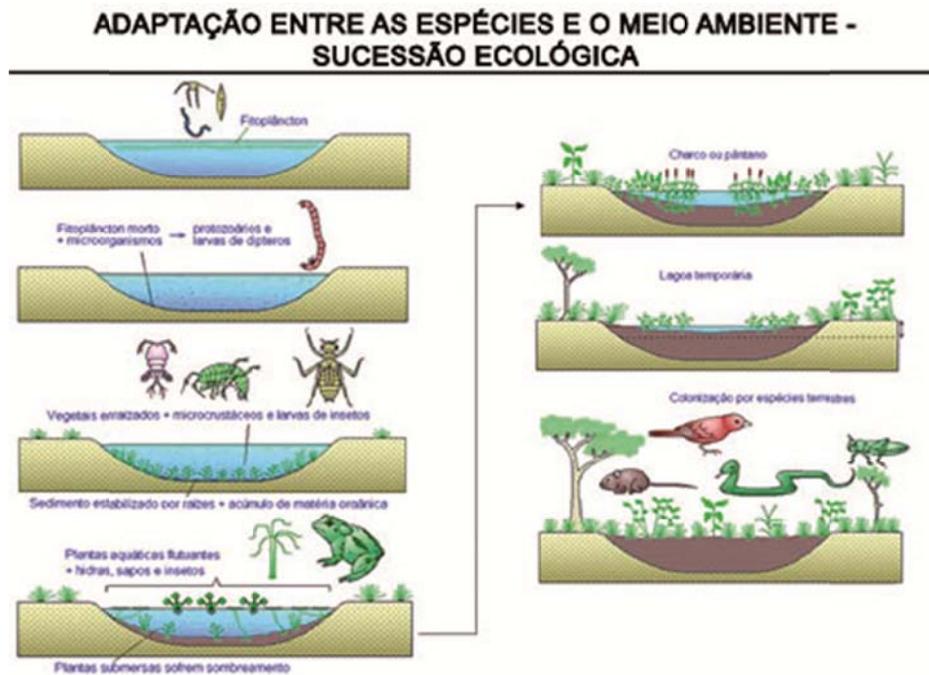


Figura 51 = Exemplos de Sucessão Ecológica



Figura 52 = Exemplo de Eutrofização Natural

Se considerados somente cada elemento isoladamente, verificar-se-á que pode conter inúmeros, atuando tanto positivamente quanto negativamente na qualidade da água. Entretanto, segundo os exemplos citados, constata-se que nenhum age isoladamente, sendo uma dinâmica extremamente complexa compreender as principais variáveis que atuam ou operaram na qualidade da água naquele determinado ecossistema aquático.

Atualmente, a maior preocupação é interpretar as alterações da qualidade da água de origem antropogênica, motivo básico desse curso.

XX. Eutrofização

A eutrofização é o processo de fertilização excessivo, permanente e contínuo de um corpo d'água da qual pode resultar o desenvolvimento massivo e indesejado de algas e macrófitas aquáticas.

A eutrofização é um processo natural que paulatinamente vai transformando um ambiente aquático em ambiente terrestre. Por outro lado, a preocupação ambiental a esse processo é aquele relacionado à cultural ou acelerada (Figura 53).

CURVA HIPOTÉTICA DA EUTROFIZAÇÃO

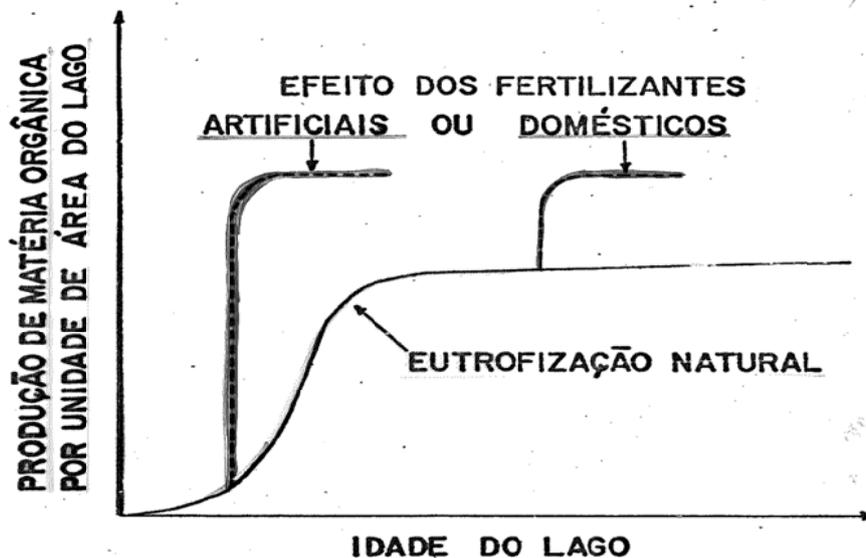


Figura 53 – Esquema da curva hipotética da eutrofização relacionada a fatores naturais e artificiais.

O processo da eutrofização pode estar relacionado, isoladamente ou em conjunto, com:

- Presença excessiva de nutrientes – principalmente P e N;
- Condições relativas à qualidade da água;
- Aos aspectos ecológicos;
- Características físicas e morfológicas dos corpos d'água;
- Velocidade de escoamento e renovação;
- Tempo de residência;
- Condições climáticas;
- Profundidade dos corpos d'água;

A procedência dos nutrientes pode ter caráter pontual ou concentrado (p.ex. efluente doméstico) e ou dispersos ou difusos (p. ex. lixiviação de área agrícola);

Pode-se estabelecer como os principais indicadores da eutrofização a ampla variação da concentração de OD, a diversidade e densidade do plâncton, o nível de transparência, os valores de turbidez, a concentração tanto de Clorofila *a* quanto de Nitrogênio particulado. A Tabela 9 descreve e estabelece a classificação dos corpos d'água relacionados aos níveis de eutrofização.

Tabela 9 - Classificação dos corpos d'água relacionados aos níveis de eutrofização.

Categorias (Estado Trófico)	Valores de IET	Características
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$	Corpos de água limpos, produtividade muito baixa e concentrações de nutrientes insignificantes. Não prejudicam os usos da água.
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	Corpos de água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, decorrentes da presença de nutrientes.
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$	Corpos de água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, em níveis aceitáveis na maioria dos casos.
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos.
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$	Corpos de água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a ocorrência de episódios florações de algas.
Hipereutrófico	$IET > 67$	Corpos d'água afetados significativamente por elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento dos usos, associado a episódios de florações de algas e mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

*IET = O Índice do Estado Trófico classifica os corpos d'água em diferentes graus de trofia, avaliando a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito deletério relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas.

Os resultados do índice, calculados a partir da concentração de Fósforo, devem ser depreendidos como uma medida do potencial de eutrofização (principal nutriente causador do processo).

O cálculo do IET, a partir da concentração de Pt, é realizado pela fórmula:

$$IET = 10 \cdot (6 - ((0,42 - 0,36) \cdot (\ln.PT) / \ln 2)) - Pt \text{ é expresso em } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ (rios)}$$

$$IET = 10 \cdot (6 - (1,77 - 0,42) \cdot (\ln.PT) / \ln 2)) - Pt \text{ é expresso em } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \text{ (reservatórios)}$$

O IET foi calculado para 1.034 pontos em que existiam concentrações de Pt.

A eutrofização causa uma série de efeitos negativos ambientais, podendo-se destacar:

- Desenvolvimento excessivo e prejudicial de plantas aquáticas, incluindo o florescimento de algas, proliferação de macrófitas aquáticas, etc.;
- Alteração profunda da biota, com substituição de espécies de peixes e outros organismos;
- Decomposição orgânica, consumo e depressão de OD e conseqüente anoxia;
- Degradação da qualidade da água, com alterações de composição, cor, turbidez, transparência, etc.;

- Dendimento de gases e produção de maus odores;
- Formações de depósitos bentais e reciclagem de nutrientes;
- Prejuízos consideráveis para o uso da água para abastecimento;
- Prejuízos para a irrigação e aproveitamento hidroelétrico;
- Prejuízos diversos para recreação, turismo e paisagismo;
- Aumento da evaporação;
- Elevação de nível e entaves para o escoamento das águas;
- Produção de substâncias tóxicas e prejuízos eventuais para o gado;
- Condições propícias para a criação de mosquitos, larvas e outros vetores.

A eutrofização, conforme já mencionado, acarreta, em lagos hipereutróficos o desenvolvimento de “blooms” ou florescimento aquáticos relacionado à presença das algas. Dessa forma, podem-se utilizar os seguintes parâmetros:

- Número de células por mililitro;
- Volume de algas por metro cúbico de água;
- Peso das algas por metro cúbico de água;
- Teor de clorofila a por metro cúbico de água.

Uma das consequências mais visíveis da eutrofização é o aparecimento no ambiente hídrico de grandes infestações de macrófitas aquáticas, acarretando:

- Perda de água pela evapotranspiração;
- Dificultar a navegabilidade;
- Impedir o fluxo de água em canais e rios;
- Interferir com a operação nas usinas hidroelétricas;
- Interferir com os sistemas de irrigação;
- Ocupar o volume útil em instalações de armazenagem;
- Interferir com a atividade de pesca;
- Desvalorizar as áreas próximas;
- Criar condições estagnantes na água pela deposição de matéria orgânica;
- Impedir a fotossíntese;
- Abrigar e promover o desenvolvimento de vetores de doenças, tais como mosquito, caramujos, etc.

De modo a se comparar dois ambientes extremos, isto é, sistema oligotrófico de eutrófico, confeccionou-se a Tabela 10.

Tabela 10 – Características de ambientes Oligotrófico e Eutróficos.

Parâmetro	Oligotrófico	Eutrófico
Nutrientes	Baixas concentrações e lenta reciclagem de Nitrogênio, Fósforo e Sílica	Altas concentrações e rápida reciclagem de nutrientes, principalmente N e P.
Oxigênio Dissolvido	Frequentemente próximo da saturação tanto no hipolímnio como no epilímnio	Grande variação em relação à saturação: depressão no hipolímnio e supersaturação no epilímnio (período fófico).
Comunidades	Baixa biomassa de fitoplâncton, zooplâncton, zoobentos e peixes.	Alta biomassa e sedimento de fitoplâncton, zoobentos e peixes (baixa diversidade e maior densidade).
Radiação solar subaquática	Alta transparência na zona eufótica.	Baixa transparência na zona eufótica.
Bacia hidrográfica	Lagos profundos com morfometria caracterizada por vales em forma de V e pouco modificada.	Lagos rasos, com baixa estratificação, cultivados e muito modificados.

Nas Figuras 54, 55 e 56 estão esquematizados aspectos da eutrofização relacionados às alterações da qualidade da água de um ecossistema lacustre. O aporte de nutrientes, principalmente P e N, transformam-se de fatores limitantes para disponíveis à biota aquática, acarretando as alterações destacadas de caráter físico, químico, bioquímico e biológico.

A fim de um melhor esclarecimento e entendimento da eutrofização, podem-se direcionar para duas vertentes:

1. *Eutrofização natural* = conforme já assinalado, todo ambiente aquático durante sua vida útil irá paulatinamente sendo eutrofizado no tempo. Nas condições ambientais naturais, esse tempo é uma correlação entre os aportes de nutrientes (orgânicos e inorgânicos) e os processos de autodepuração (Figura 56). Pode-se, portanto constatar que há uma tendência específica de retorno às condições anteriores ao impacto. Porém, no decorrer das eras geológicas, ocorre a transformação de ambiente aquática em terrestre, denominada de sucessão ecológica.
2. *Eutrofização cultural ou acelerada* = a ocorrência deste fenômeno relaciona-se, portanto, a contínua descarga nutricional (pontual e dispersa) e a incapacidade temporal do processo de autodepuração, isto é, não conseguir transformar o desequilíbrio ecológico paulatinamente em novo equilíbrio, uma vez que os impactos sucedem-se ininterruptamente. (corpos hídricos permanentemente poluídos). A Figura 54 destaca as modificações do ambiente aquático quando do aporte de nutriente – Nitrogênio e Fósforo; a Figura 56 detalha um sistema simplificado da eutrofização.

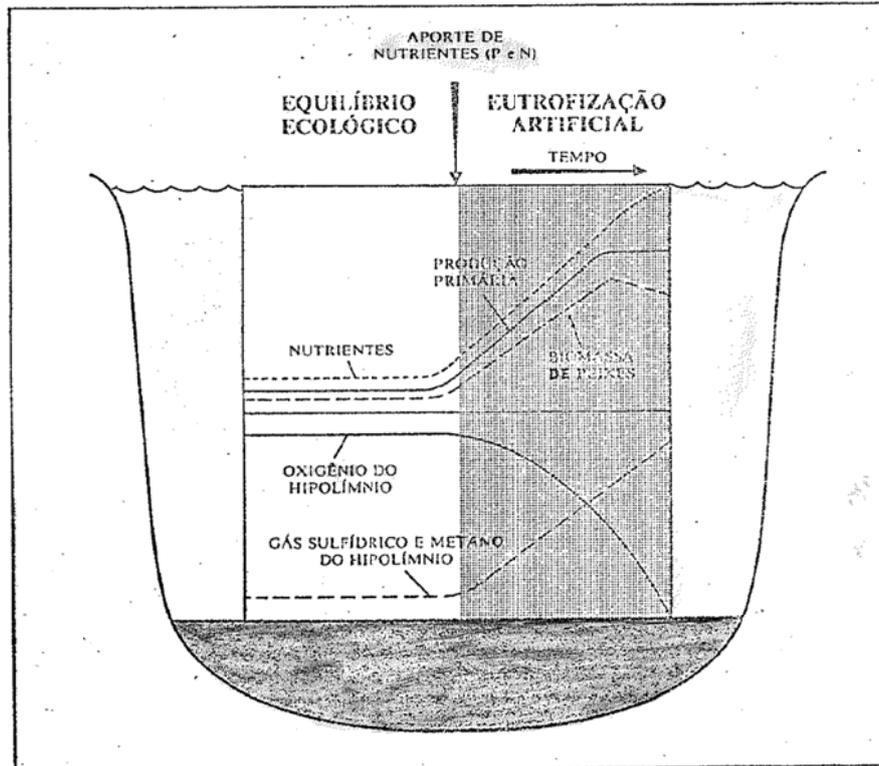


Figura 54 – Esquema mostrando as consequências do processo de eutrofização artificial, através do aporte de P e N, no ecossistema lacustre.

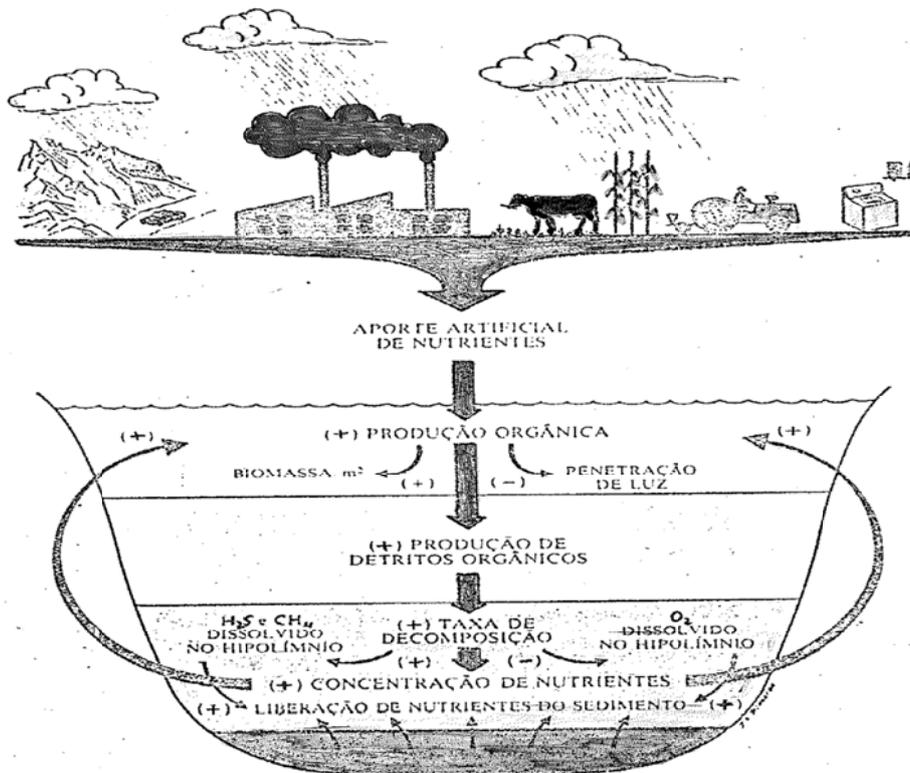


Figura 55 – Esquema simplificado de eutrofização artificial modificando o equilíbrio do ecossistema lacustre.

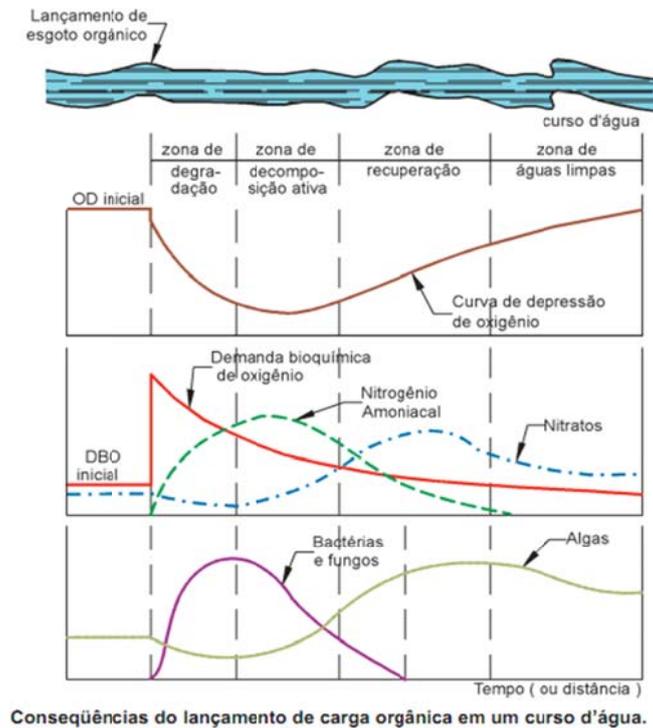


Figura 56 – Esquema do processo de autodepuração ao longo do tempo após aporte de nutrientes (efluente doméstico).

De modo a se ter uma visão mais ampla da dinâmica de um ambiente aquático, a Figura 57 mostra um esquema simplificado das inter-relações dos fatores (abióticos e bióticos) que afetam o metabolismo (equilíbrio) de um lago, destacadamente aos processos de produtividade de várias ordens. Dependendo do impacto, estabelece-se o seu nível de trofia.

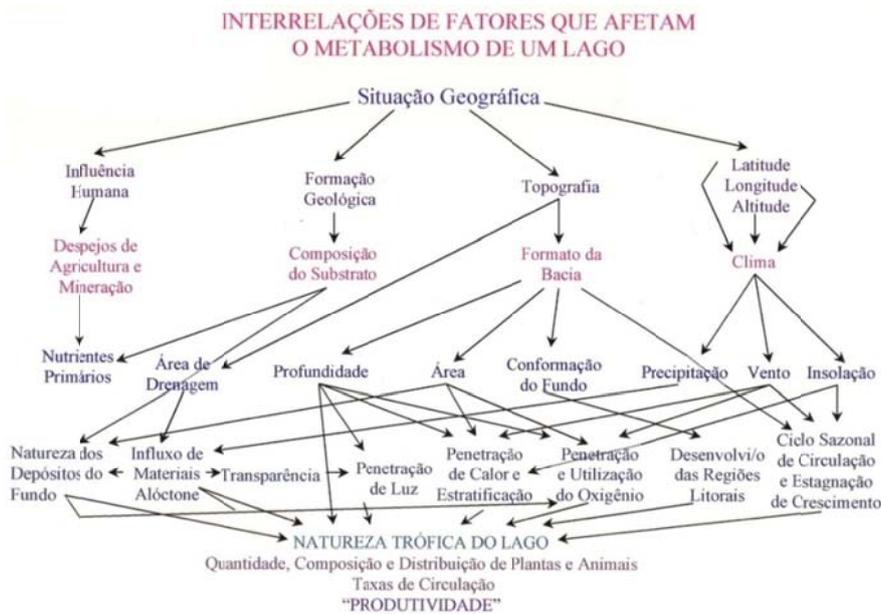


Figura 57 – Esquema simplificado das inter-relações dos fatores que afetam o metabolismo de um lago, relacionado à produtividade.

Diante do que foi exposto até o momento, devem-se acrescentar também algumas medidas de caráter terapêutico e ou corretivo para a possível recuperação, ou mais modernamente, reabilitação de um ecossistema aquático. Na literatura podem-se destacar os processos descritos na Tabela 11, destacando-se os físicos, químicos e biológicos. Porém, deve-se ressaltar que existem pontos positivos e negativos em cada um deles, principalmente relativos aos custos/benefícios. (denomina-se *Controle Integrado de Ervas Daninhas* na implantação de mais de um mecanismo direcionado a um determinado objetivo)

Tabela 11 – Processos físicos (mecânicos), químicos e biológicos como medidas de terapia (corretivas) de um ambiente aquático impactado.

Medidas de terapia	Corretivas
Processos mecânicos	<ul style="list-style-type: none"> Desestratificação Aeração do hipolímnio Retirada de águas profundas Adução de água de melhor qualidade Remoção do sedimento Cobertura do sedimento Remoção de macrófitas aquáticas Remoção de biomassa planctônica Sombreamento Diminuição do nível d'água
Processos químicos	<ul style="list-style-type: none"> Precipitação química do P Oxidação do sedimento com Nitrato Aplicação de herbicida Aplicação de cal
Processos biológicos	<ul style="list-style-type: none"> Utilização de peixes herbívoros Utilização de cianófagos Manipulação da cadeia trófica

Referência Bibliográfica

CETESB *Relatórios de Qualidade da Água* vários anos.

ESTEVES, F DE A *Fundamentos de Limnologia*. Ed. Interciência/FINEP. 575 p, 1988.

TUNDISI, J.G; TUNDISI T.M. *Limnologia* Ed. Oficina de Textos. 632 p. 2008.

Sites da Internet – diversas informações em ecologia, limnologia, alterações ambientais naturais e poluição das águas.

**VARIAÇÕES ESPACIAIS E
TEMPORAIS NA QUALIDADE
DA ÁGUA, PRINCIPAIS
PARÂMETROS DE QUALIDADE
DA ÁGUA E CONTAMINANTES
EMERGENTES**

BIOL. DR. FABIO N. MORENO

*Cadernos da
Gestão do Conhecimento*

VARIAÇÕES ESPACIAIS E TEMPORAIS NA QUALIDADE DA ÁGUA, PRINCIPAIS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA E CONTAMINANTES EMERGENTES.

1. Conceito de Qualidade da Água

A água é um dos recursos naturais mais intensamente utilizados e, portanto, deve estar presente no ambiente em quantidade e qualidade apropriadas. Dentro desse contexto, pode-se entender a qualidade como a capacidade dessa água em se manter, de forma contínua, dentro dos limites associados ao seu uso. Outras visões que poderiam ser adotadas para explicar o conceito de qualidade da água foram propostas por Chapman (1996), a saber:

- Conjunto de concentrações, espécies químicas e partições físicas de substâncias químicas inorgânicas e orgânicas;
- Composição e estado da biota aquática de um corpo d'água; e
- Descrição das variações espaciais e temporais devido a fatores internos e externos ao corpo d'água.

2. Usos da água e requisitos de qualidade

Segundo Braga, (*et al.*, 2005), a água pode ser destinada aos seguintes usos:

- Abastecimento humano;
- Abastecimento industrial;
- Diluição de poluentes;
- Geração de energia elétrica;
- Irrigação;
- Navegação;
- Preservação da flora e fauna;
- Aquicultura; e
- Recreação.

3. Principais fontes de poluição da água

O termo poluição pode ser utilizado para caracterizar uma alteração na qualidade de um recurso natural provocada pela adição de substâncias que venham prejudicar os usos múltiplos desse recurso. Na legislação brasileira, a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, define a poluição nos seguintes termos:

“Poluição: a degradação da qualidade ambiental resultante das atividades que direta ou indiretamente:

- *prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;*

- *criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;*
- *afetem desfavoravelmente a biota;*
- *afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;*
- *lançam matéria ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.*

Os efeitos resultantes da introdução dos poluentes no meio aquático dependem da natureza do poluente introduzido, do seu caminho percorrido no meio e do uso que se faz do corpo d'água. Os poluentes podem ser introduzidos no meio aquático de forma pontual ou difusa (Figura 58).

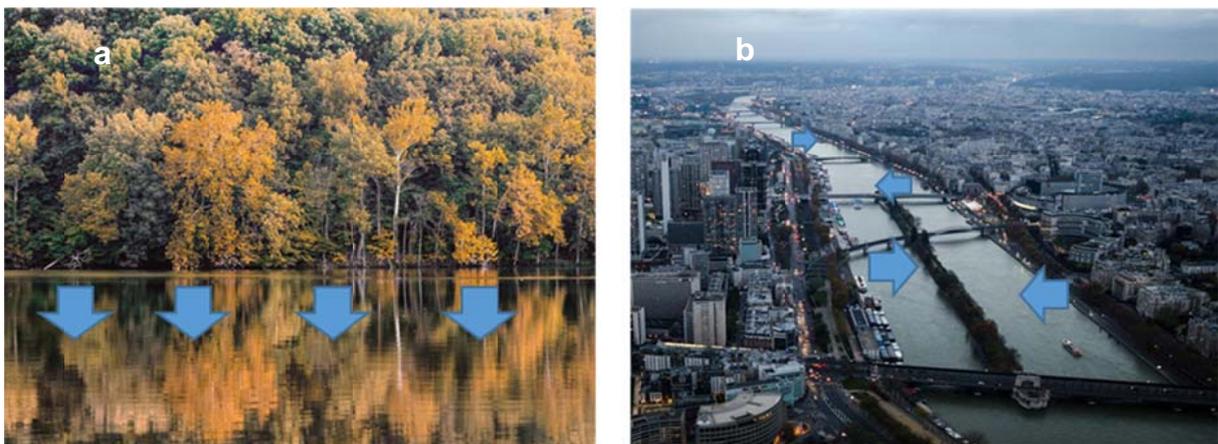


Figura 58 - Poluição das águas por fontes difusas (a) e pontuais (b).

As cargas pontuais são introduzidas por lançamentos de efluentes domésticos e industriais, sendo de fácil identificação. O controle dessas fontes ocorre através do tratamento do efluente gerado. As cargas difusas caracterizam-se por não se originarem de um ponto de lançamento específico, mas de maneira distribuída pela superfície da bacia, sendo introduzidas nos corpos d'água em intervalos intermitentes, relacionados primariamente a ocorrência de eventos chuvosos. As principais fontes geradoras de poluição difusa são:

- áreas agrícolas;
- deposição atmosférica;
- desgaste de pavimentação;
- veículos;
- restos de vegetação;
- resíduos sólidos;
- poeira;
- dejetos de animais;
- derramamentos acidentais;
- erosão; e
- lançamentos *in natura* de esgotos domésticos.

O controle da carga difusa exige medidas não estruturais, com foco na prevenção e controle da emissão de poluentes, bem como a implementação de medidas

estruturais, que propiciam a redução ou remoção dos poluentes pelo escoamento superficial de áreas agrícolas e urbanas (Porto, 2012).

A geração de carga poluidora é uma consequência inevitável do desenvolvimento, portanto, torna-se de fundamental importância para a gestão da qualidade da água o estabelecimento de uma estratégia de manejo, princípios e metodologias que proporcionem a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental do uso e ocupação do solo.

Dentre os impactos decorrentes da alteração da qualidade da água pela introdução de cargas poluentes, podem ser citados:

- alterações estéticas;
- depósito de sedimentos;
- depleção da concentração de oxigênio dissolvido;
- contaminação por organismos patogênicos;
- eutrofização;
- danos à biota devido à presença de substâncias tóxicas.

4. Principais poluentes aquáticos

Segundo Braga *et al.* (2005), os poluentes podem ser classificados segundo a sua natureza em:

- Matéria orgânica biodegradável;
- Poluentes orgânicos refratários (agrotóxicos, detergentes sintéticos, derivados do petróleo, substâncias organocloradas);
- Metais tóxicos (mercúrio, cádmio, chumbo e arsênico);
- Nutrientes (fósforo e nitrogênio);
- Organismos patogênicos (bactérias, vírus e protozoários);
- Sólidos em suspensão;
- Calor;
- Radioativos (substâncias radioativas e radiação que vem do espaço exterior);

Além desses, uma nova categoria de poluentes, chamados de contaminantes emergentes, tem chamado a atenção da comunidade científica e das agências ambientais. Essas substâncias têm sido detectadas em concentrações muito baixas no ar, água, solo, alimentos e em tecidos humanos e animais, caracterizando-se por não apresentarem critérios reguladores, serem persistentes no ambiente e capazes de interferir na fisiologia de receptores alvo. Dentro dessa categoria, incluem-se os produtos de higiene pessoal, substâncias farmacêuticas, incluindo estrogênios naturais e sintéticos, agentes plastificantes, retardantes de chama e nanomateriais (Yan *et al.*, 2010).

5. Variáveis de qualidade da água

A qualidade da água é representada por um conjunto de variáveis de natureza física, química, e biológica, os quais são utilizados para avaliar as características da água.

Para o diagnóstico da qualidade das águas no Estado de São Paulo, seguintes variáveis são avaliadas pela Rede de Monitoramento da CETESB (CETESB, 2016):

5.1) Físicas

- **Condutividade:** é a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura, indicando a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, representando uma medida indireta da concentração de poluentes.
- **Cor:** está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la (e esta redução dá-se por absorção de parte da radiação eletromagnética), devido à presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico.
- **Sólidos:** correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra, a uma temperatura pré-estabelecida durante um tempo fixado, operações essas que permitem definir as diversas frações de sólidos presentes na água (sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis). Para o recurso hídrico, os sólidos podem causar danos aos peixes e à vida aquática.
- **Temperatura:** em geral, à medida que a temperatura aumenta, diminui a solubilidade do oxigênio dissolvido e aumentam as taxas de reação físicas, químicas e biológicas. Organismos aquáticos possuem limites de tolerância térmica superior e inferior, temperaturas ótimas para crescimento, temperatura preferida em gradientes térmicos e limitações de temperatura para migração, desova e incubação do ovo.
- **Transparência:** a partir da medida do disco de Secchi, é possível estimar a profundidade da zona fótica, ou seja, a profundidade de penetração vertical da luz solar na coluna d'água, indicando o nível da atividade fotossintética de lagos ou reservatórios.
- **Turbidez:** é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la, devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e detritos orgânicos, tais como algas e bactérias, plâncton em geral, etc.
- **Vazão.**

5.2) Químicas

- **Alcalinidade:** pode ser definida como sua capacidade de reagir quantitativamente com um ácido forte até um valor definido de pH. Os principais componentes da alcalinidade são os sais do ácido carbônico, ou seja, bicarbonatos e carbonatos, e os hidróxidos.
- **Cafeína:** tem sido utilizada como traçador da presença de matéria fecal de origem humana e de algumas substâncias farmacêuticas do grupo dos contaminantes emergentes.
- **Carbono Orgânico Total (COT):** origina-se da matéria viva e também como componente de vários efluentes e resíduos, sendo também um indicador útil do grau de poluição do corpo hídrico. A análise de COT considera as parcelas biodegradáveis e não biodegradáveis da matéria orgânica, não sofrendo

interferência de outros átomos que estejam ligados à estrutura orgânica, quantificando apenas o carbono presente na amostra.

- Cloretos: são fontes importantes de cloreto as descargas de esgotos sanitários, as quais podem apresentar concentrações que ultrapassam 15 mg L^{-1} , o que pode conferir sabor salgado à água. Nas regiões costeiras, através da chamada intrusão da cunha salina, são encontradas águas com níveis altos de cloreto.
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO): é a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica. Um período de tempo de 5 dias, numa temperatura de incubação de 20°C , é frequentemente usado e referido como $\text{DBO}_{5,20}$. Os maiores aumentos em termos de DBO, num corpo d'água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir ao completo esgotamento do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática.
- Demanda Química de Oxigênio (DQO): é a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica de uma amostra por meio de um agente químico, como o dicromato de potássio. Os valores da DQO normalmente são maiores que os da $\text{DBO}_{5,20}$, sendo o teste realizado num prazo menor. O aumento da concentração de DQO num corpo d'água deve-se principalmente a despejos de origem industrial.
- Dureza: é a medida da sua capacidade de precipitar sabão, isto é, nas águas que a possuem, os sabões transformam-se em complexos insolúveis, não formando espuma até que o processo se esgote. São quatro os principais compostos que conferem dureza às águas: bicarbonato de cálcio, bicarbonato de magnésio, sulfato de cálcio e sulfato de magnésio, oriundos da dissolução de rochas calcárias.
- Fenóis e seus derivados: aparecem nas águas naturais através das descargas de efluentes industriais. Os fenóis são tóxicos ao homem, aos organismos aquáticos e aos microrganismos que tomam parte dos sistemas de tratamento de esgotos sanitários e de efluentes industriais.
- Ferro: pode originar-se do carreamento de solos em função de processos erosivos ou pelo lançamento de efluentes de indústrias metalúrgicas. Apesar de não ser tóxico, traz diversos problemas para o abastecimento público de água pois confere cor e sabor à água
- Fósforo: é proveniente, principalmente, das descargas de esgotos sanitários. Detergentes em pó, efluentes de indústrias de fertilizantes, pesticidas, substâncias químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, também podem apresentar fósforo em quantidades excessivas, assim como as águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas. Por ser nutriente limitante para processos biológicos, o excesso de fósforo conduz a processos de eutrofização das águas naturais.
- Metais: podem estar solúveis ou adsorvidos a partículas em suspensão nas águas superficiais. Exemplos de metais avaliados em programas de monitoramento são alumínio, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, manganês, níquel e zinco. A exposição dos organismos aquáticos expostos aos metais pode ocasionar efeitos tóxicos agudos ou crônicos, dependendo da concentração. Alguns metais, como o mercúrio, podem bioacumular e biomagnificar, potencializando seu efeito nocivo ao longo da cadeia alimentar.

- Nitrogênio: está associado ao lançamento de esgotos domésticos, industriais e de fertilizantes. Pode estar presente sob as formas molecular, amônia, nitrito e nitrato. A presença de nitrogênio amoniacal indica eventos recentes de poluição. Em concentrações excessivas, também está associado ao processo de eutrofização. A amônia em águas é muito tóxica aos peixes.
- Oxigênio Dissolvido (OD): Indispensável aos organismos aeróbios. Águas com baixos teores de OD indicam aporte de matéria orgânica. A decomposição da matéria orgânica por bactérias aeróbias é acompanhada pelo consumo e redução do OD. A ausência de oxigênio favorece o crescimento de organismos anaeróbios que liberam substâncias que conferem odor, sabor e aspectos indesejáveis à água.
- Potencial Hidrogeniônico (pH): Além de influenciar diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente, o pH tem efeitos sobre a fisiologia de diversas espécies aquáticas. Sob determinadas condições Redox, o pH pode contribuir para a precipitação de metais pesados e exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes. Os critérios de proteção à vida aquática fixam o pH entre 6 e 9.
- Substâncias Orgânicas: pertencem a esse grupo os poluentes não biodegradáveis ou cuja taxa de biodegradação é muito lenta. No meio aquático podem ser tóxicos à biota ou podem bioacumular nos tecidos de alguns organismos. São substâncias oriundas de processos industriais, de cultivos agrícolas ou do descarte e disposição de resíduos de diferentes tipologias. Citam-se como exemplos os agrotóxicos, substâncias organocloradas (bifenilas policloradas, dioxinas e furanos), derivados do petróleo, etc.
- Surfactantes: são definidos como compostos que reagem com o azul de metileno sob certas condições especificadas. Os esgotos sanitários possuem de 3 a 6 mg L⁻¹ de detergentes. As descargas indiscriminadas de detergentes nas águas naturais levam a prejuízos de ordem estética provocados pela formação de espumas. Os detergentes têm sido responsabilizados também pela aceleração da eutrofização, pois contém fósforo em suas formulações.

5.3) Microbiológicas

- Coliformes Termotolerantes: são os micro-organismos capazes de fermentar a lactose a 44-45°C, sendo representados principalmente pela *Escherichia coli* e, também por algumas bactérias dos gêneros *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter*. Dentre esses microrganismos, somente a *E. coli* é de origem exclusivamente fecal.
- *Escherichia coli*: Principal bactéria do subgrupo dos coliformes termotolerantes, sendo de origem exclusivamente fecal. Fermenta a lactose e manitol, com produção de ácido e gás a 44,5 ± 0,2°C em 24 horas. Produz indol a partir do triptofano, oxidase negativa, não hidroliza a uréia e apresenta atividade das enzimas β-galactosidase e β-glucoronidase. *E. coli* está presente em número elevado nas fezes humanas e de animais de sangue quente e é raramente detectada na ausência de poluição fecal. É considerada o indicador mais adequado de contaminação fecal em águas doces.
- Enterococos: é um valioso indicador bacteriano para determinação da extensão da contaminação fecal de águas superficiais recreacionais. Estudos em águas de praias marinhas e de água doce indicaram que as gastroenterites

associadas ao banho estão diretamente relacionadas à qualidade das águas recreacionais e que os enterococos são os mais eficientes indicadores bacterianos de qualidade de água.

5.4) Hidrobiológicas

- Clorofila *a*: um dos pigmentos responsáveis pelo processo fotossintético. A clorofila *a* é a mais universal das clorofilas (*a*, *b*, *c*, e *d*), por isso, um indicador da biomassa algal, sendo considerada a principal variável indicadora de estado trófico dos ambientes aquáticos.
- Comunidade fitoplanctônica: constituída principalmente por algas clorofíceas, diatomáceas, euglenofíceas, crisofíceas, dinofíceas e xantofíceas e cianobactérias. Pode ser utilizada como indicadora da qualidade da água e do estado trófico, principalmente em reservatórios, e a análise da sua estrutura permite avaliar alguns efeitos decorrentes de alterações ambientais. A presença de algumas espécies em altas densidades pode comprometer a qualidade das águas, causando restrições ao seu tratamento e distribuição. Atenção especial é dada às cianobactérias, que possuem espécies potencialmente tóxicas. A ocorrência desses organismos tem sido relacionada a eventos de mortandade de animais e danos à saúde humana.
- Comunidade zooplanctônica: formada por animais microscópicos que vivem em suspensão, sendo protozoários, rotíferos, cladóceros e copépodes os grupos dominantes em ambientes de água doce. Essa comunidade é importante na manutenção do equilíbrio do ambiente aquático, podendo atuar como reguladora da comunidade fitoplanctônica (utilizando-a como alimento) e na reciclagem de nutrientes, além de servir de alimento para diversas espécies de peixes.
- Comunidade bentônica: corresponde ao conjunto de organismos que vive todo ou parte de seu ciclo de vida no substrato de fundo de ambientes aquáticos. Os macroinvertebrados, por exemplo, ocorrem em todo tipo de ecossistema aquático, exibem ampla variedade de tolerâncias a vários graus e tipos de poluição, têm baixa motilidade e estão continuamente sujeitos às alterações de qualidade do ambiente aquático. Inserem o componente temporal ao diagnóstico já que, como monitores contínuos, possibilitam a avaliação a médio e longo prazo dos efeitos de descargas regulares, intermitentes e difusas, de concentrações variáveis de poluentes.

5.5) Ecotoxicológicas

- Ensaio ecotoxicológico com *Ceriodaphnia dubia*: realizado com amostras de água bruta, sendo utilizado para avaliar a ocorrência de efeitos tóxicos, agudos e crônicos, nos corpos d'água onde está prevista a preservação da vida aquática. O resultado do ensaio é expresso como agudo (quando ocorre efeito significativo na sobrevivência dos organismos, dentro do período inicial de 48 horas) ou crônico (quando ocorre efeito significativo na reprodução e/ou sobrevivência dos organismos, dentro do período de sete dias de ensaio). A amostra é considerada não tóxica caso não haja detecção de quaisquer efeitos tóxicos aos organismos-teste.
- Ensaio de mutação reversa (teste de Ames): também chamado de ensaio *Salmonella*/microsoma, é eficiente para detectar uma grande variedade de

compostos mutagênicos causadores de algumas doenças genéticas ou capazes de induzir tumores em seres humanos e em animais de experimentação. Uma resposta positiva para o teste de Ames indica a presença na amostra de um ou mais compostos que são capazes de interagir com o material genético e causar uma mutação. Amostras de mananciais utilizados para abastecimento público, que apresentam atividade mutagênica, sugerem a necessidade de níveis de tratamento diferenciados, bem como redução das fontes de contaminação nas ETA.

5.6) Bioanalíticas

- Determinação da atividade estrogênica: interferentes endócrinos são compostos capazes de interferir na produção ou ação dos hormônios, podendo causar danos ao sistema reprodutor e imunológico de organismos superiores, especialmente aquáticos. Estes compostos podem atingir os mananciais pela contaminação com esgoto doméstico ou com pesticidas ou outros compostos aplicados no solo. Diversas classes de compostos podem acarretar atividade estrogênica (um tipo de interferência endócrina) como hormônios naturais e sintéticos (estradiol, estriol, etinilestradiol), fitoestrógenos ou outros poluentes (bisfenol A, PCBs, pesticidas).

6. Padrões de Qualidade da Água

Os padrões de qualidade da água expressam características de ordem física, química e biológica desejáveis nas águas, de forma a atender aos seus usos preponderantes. Tais usos no Brasil, são protegidos pelos padrões fixados nas seguintes legislações: [Resolução CONAMA no. 357/2005](#), [Portaria do Ministério da Saúde no. 2914/11](#), [Resolução CONAMA no. 274/2000](#) e a [Resolução CONAMA no. 430/2011](#), que estabelece os padrões para lançamento de efluentes em corpos d'água.

6.1) Resolução CONAMA no. 357/2005

O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA definiu as classes de qualidade de águas doces, salinas e salobras através da Resolução CONAMA 357/2005. Para cada classe de qualidade, são associados usos preponderantes atuais ou futuros, fixando-se ou adotando-se padrões de qualidade, os quais correspondem aos valores limites dos parâmetros de qualidade estabelecidos em legislação. Esta resolução também apresenta as diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos d'água, isto é, as metas ou objetivos de qualidade da água a serem, obrigatoriamente, alcançados ou mantidos em um trecho de acordo com os usos preponderantes pretendidos ao longo do tempo. O enquadramento é um dos instrumentos previstos na Política Nacional de recursos Hídricos, definida pela Lei N°9433/1997, sendo fundamental para o gerenciamento dos recursos hídricos e para o planejamento ambiental. A [Resolução CONAMA N° 357/2005](#) estabeleceu 13 classes para os corpos d'água, sendo 5 de água doce, 4 de águas salobras e 4 de águas salinas. No Estado de São Paulo, os corpos de água doce foram enquadrados pelo [Decreto](#)

[Estadual N° 10.755 de 1977](#), mas não incluiu as águas salinas e salobras, as quais devem atender aos padrões de classe 1, conforme artigo 42 da Resolução CONAMA N°357/2005.

6.2) Portaria Ministério da Saúde no. 2914/2011

Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Além disso, estabelece competências e responsabilidades para a União, para as secretarias de saúde estaduais e municipais e para os responsáveis pelos sistemas de abastecimento de água e de soluções alternativas de abastecimento para o consumo humano, bem como as penalidades aos responsáveis que não observarem as determinações constantes na portaria.

6.3) Resolução CONAMA no. 274/2000

Define os critérios das águas brasileiras (doces, salinas e salobras) destinadas a balneabilidade (recreação de contato primário) e estabelece classificação, própria ou imprópria, com base nos resultados obtidos para a análise de coliformes fecais (termotolerantes) em um conjunto de cinco amostras consecutivas, colhidas semanalmente no mesmo local.

6.4) Resolução CONAMA no. 430/2011

Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos d'água receptores complementando e alterando a Resolução CONAMA n° 357/2005. Segundo essa resolução, o lançamento indireto de efluentes, isto é, aqueles submetidos ou não a tratamento por meio da rede coletora, deve seguir o disposto nessa resolução, quando verificada a inexistência de legislação ou normas específicas e outras disposições do órgão ambiental competente, e não conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com as metas do seu enquadramento.

7. Variações Espaciais e Temporais

O monitoramento sistemático é um dos principais instrumentos utilizados para a avaliar a evolução da qualidade das águas em nível espacial e temporal, uma vez que esse está baseado no acompanhamento contínuo dos aspectos quantitativos e qualitativos das águas. Para tal, são necessários levantamentos de campo, obtenção de amostras de água, análises laboratoriais, medição de vazão e outros. As informações obtidas a partir do monitoramento viabilizam a elaboração de um diagnóstico da qualidade da água, o que por sua vez permite a identificação de áreas prioritárias para o controle da poluição das águas, tais como trechos de rios e estuários onde a sua qualidade possa estar mais comprometida, possibilitando, assim ações preventivas e corretivas por parte dos órgãos ambientais (Figura 59).

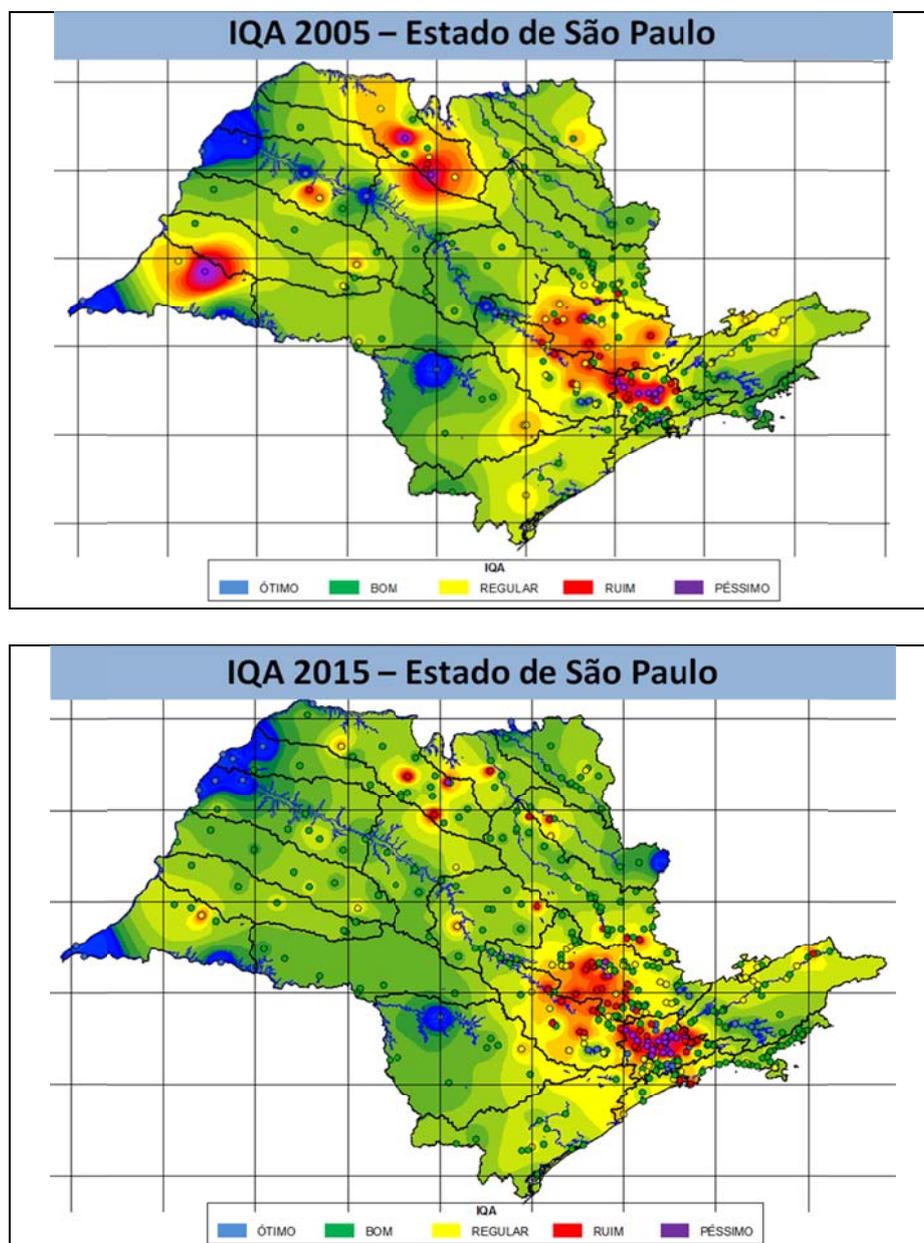


Figura 59 - Variação Espacial e Temporal do IQA – Índice de Qualidade de Água do ano de 2005 e de 2015 no Estado de São Paulo. (Midaglia, C.L., 2016)

Alterações na qualidade e quantidade da água, em sistemas fluviais são predominantemente influenciadas por fontes pontuais e pelo escoamento subterrâneo (básico) nos períodos de estiagem. Em períodos chuvosos, por outro lado, a qualidade da água é mais influenciada por fontes difusas que propiciam o aporte de poluentes a partir de processos de escoamento superficial e sub-superficial (Horowitz, 2013). Em lagos e reservatórios, por outro lado, alterações químicas podem ocorrer em função do tempo de retenção da água e das características morfométricas desses corpos d'água, conforme já explorado no capítulo 1.

7.1 Fontes Pontuais

Os esgotos domésticos ainda representam uma contribuição significativa na degradação da qualidade dos corpos hídricos em áreas urbanizadas e nas regiões com vocação agrícola, não somente no estado de São Paulo, mas também em nível nacional (CETESB, 2016). Um dos aspectos mais importantes na qualidade das águas impactadas por esgotos domésticos é a quantificação das cargas afluentes, a qual é expressa em massa de determinado poluente por unidade de tempo:

$$\text{Carga (kg d}^{-1}\text{)} = \text{Contribuição (g m}^{-3}\text{)} \times \text{Vazão (m}^3 \text{d}^{-1}\text{)} \times 0,001 \text{ (kg g}^{-1}\text{)} \quad (1)$$

Já a carga de esgotos domésticos que é lançada sem tratamento nos corpos receptores é denominada de carga orgânica remanescente, representada pela Demanda Bioquímica do Oxigênio (DBO). Essa carga é obtida a partir da carga orgânica potencial, que representa a quantidade de matéria orgânica gerada por habitante diariamente e as porcentagens de coleta e tratamento, bem como a eficiência global do sistema de tratamento de esgotos. Para fins de cálculo da carga orgânica remanescente no Estado de São Paulo, adota-se o valor obtido da literatura de $0,054 \text{ kg habitante}^{-1} \text{ dia}$ para a carga orgânica potencial (C_{OP}).

$$C_R = [C_{OP} - (C_{OP} \times C \times T \times E)] \times 0,001 \quad (2)$$

Onde:

C_{OP} = População x $0,054 \text{ (kg DBO habitante}^{-1} \text{ dia}^{-1}\text{)}$;

C_R = Carga Remanescente ($\text{t DBO d}^{-1}\text{}$);

C = coeficiente de coleta de esgotos;

T = coeficiente de tratamento de esgotos;

E = coeficiente de eficiência do sistema

0,001 = Fator de conversão ($\text{t kg}^{-1}\text{}$)

A Figura 60 apresenta a evolução da carga anual remanescente da DBO no Estado de São Paulo entre 2010 e 2015. Observa-se uma redução da carga remanescente da DBO de cerca de 18 % entre 2010 e 2015, significando que cerca de 225 t DBO d^{-1}

deixaram de ser lançadas nos corpos hídricos do estado. Em relação a 2014, contudo, essa redução foi de apenas 4,9 %.

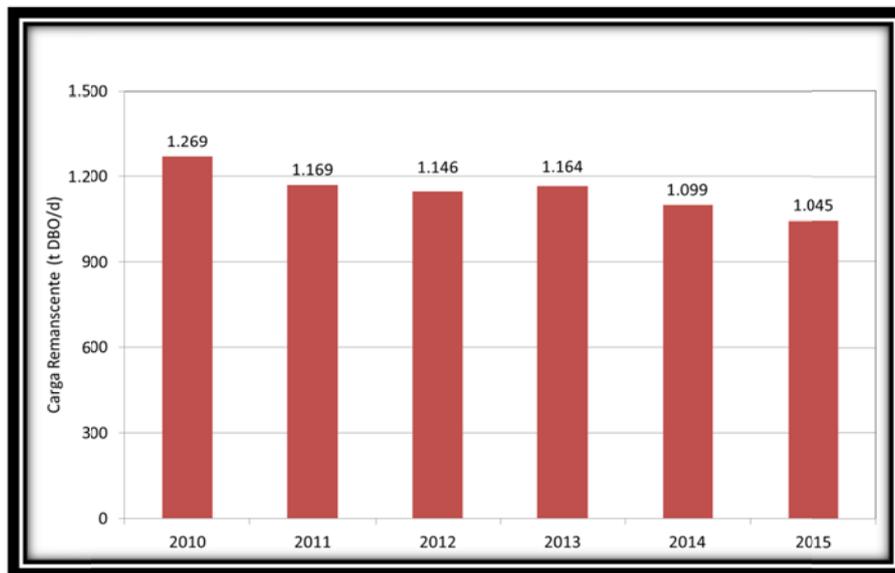


Figura 60 - Evolução da carga remanescente no Estado de São Paulo – 2010 a 2015 (CETESB, 2016).

Em termos espaciais, a Figura 61 evidencia as cargas remanescentes de DBO para cada uma das 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Em função da concentração de população na RMSP e dos índices de saneamento, a carga remanescente do Alto Tietê de 579 t DBO d⁻¹ é responsável por 55% da carga lançada nos corpos hídricos do Estado de São Paulo. Portanto, no trecho do Rio Tietê, inserido na UGRHI 6, concentra no Rio Tietê uma carga expressiva de DBO. A UGRHI 5 com a segunda maior carga remanescente é a do Piracicaba, Capivari e Jundiaí, com 102 t DBO d⁻¹, representando uma porcentagem de 10% da carga remanescente gerada no Estado de São Paulo, sendo que a carga remanescente gerada nesta UGRHI distribui-se pelos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí.

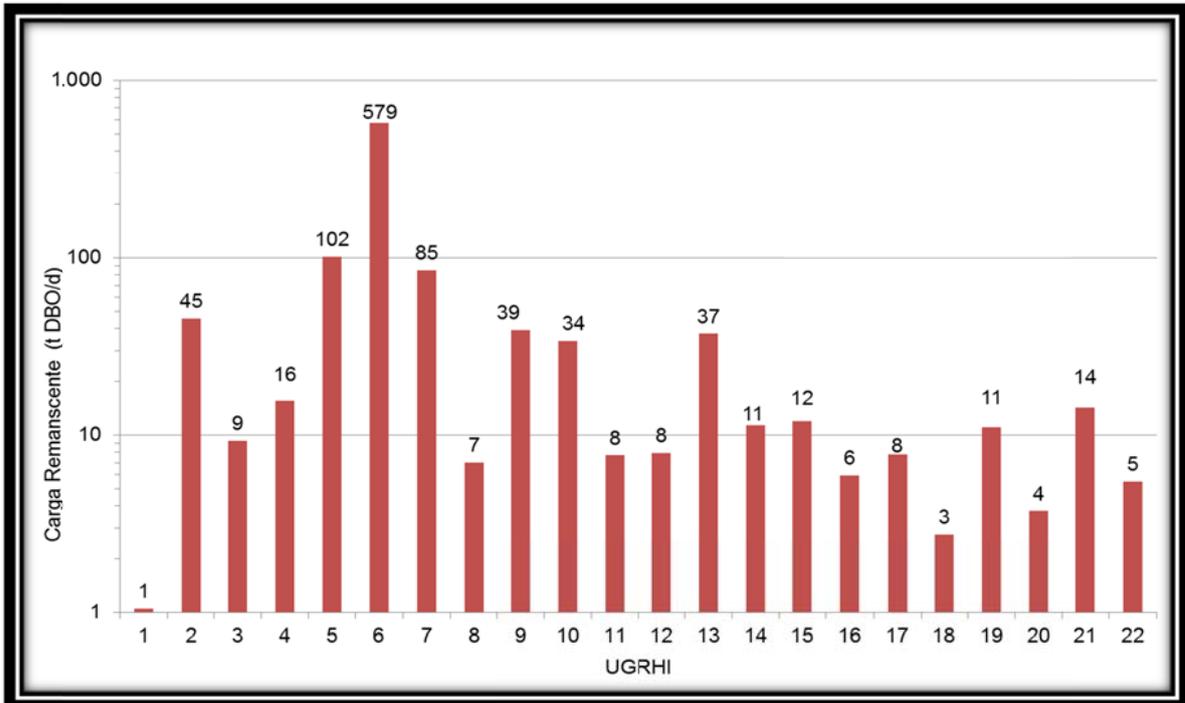


Figura 61 - Carga remanescente de DBO por Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) (CETESB, 2016).

7.2 Fontes Difusas

Alterações na qualidade da água por fontes difusas podem se originar do ar, da superfície terrestre e de zonas sub-superficiais, além dos sistemas de drenagem urbanos. As cargas de poluentes oriundos de fontes difusas são transportadas tanto pela superfície do solo como pela sub-superfície antes de chegar nos corpos receptores (Figura 62).

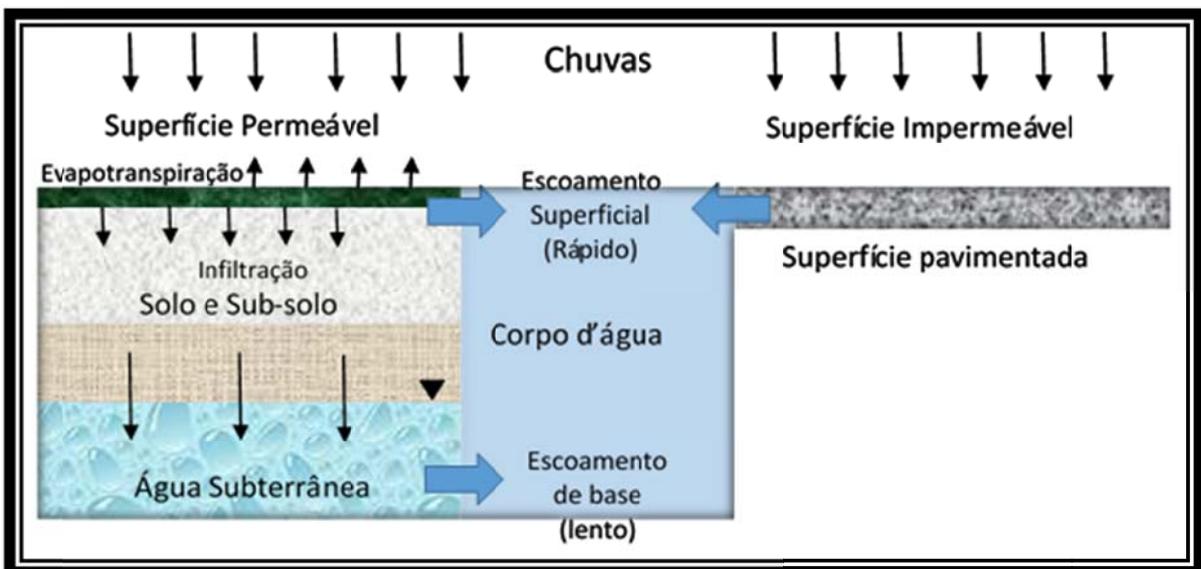


Figura 62 - Transporte de poluentes de origem difusa pela superfície e sub-superfície (adaptado de Novotny, 2003).

Segundo Novotny (2003), as cargas difusas podem ser oriundas de:

1. Fontes atmosféricas

- cargas de poluentes em deposição seca e úmida (poluição da atmosfera).

2. Fontes terrestres

- poluentes acumulados em superfícies impermeáveis que sofrem lavagem e transporte no fluxo superficial;
- erosão de partículas de solo e de poluentes associados em áreas permeáveis pela precipitação e pelo escoamento superficial e transportados pelo fluxo superficial;
- poluentes dissolvidos de solos e transportados pelo fluxo superficial;

3. Fontes sub-superficiais

- Constituintes químicos aplicados na superfície de solos e lixiviados em direção às águas subterrâneas pela infiltração;
- Constituintes químicos transportados pelo fluxo horizontal nas águas subterrâneas;
- Infiltração nas águas subterrâneas a partir de coletores de esgotos e de águas pluviais e de outras instalações subterrâneas;
- Vazamento de contaminantes de tanques de armazenamento subterrâneo e de aterros para a água subterrânea;

4. Fontes diversas

- Sólidos acumulados em coletores de esgotos;
- Erosão de canais de drenagem;
- Erosão de margens e do leito de rios;
- Substâncias químicas liberadas de sedimentos aquáticos contaminados

É preciso esclarecer ainda que o lançamento de esgotos domésticos pode ser visto como carga pontual ou difusa, principalmente naqueles municípios que não se encontram universalizados em relação a implantação de sistemas de coleta e tratamento de esgotos. Nesse caso, também deve ser considerado como carga difusa as contribuições de tempo seco relacionadas ao lançamento de esgoto doméstico não tratado (Menegon Jr, 2005).

Os fluxos e cargas superficiais são intermitentes e ocorrem somente durante eventos chuvosos ou de degelo. O componente de fluxo que transporta a carga de superfície é denominado de escoamento superficial, que equivale à precipitação residual, apresentando sentido de fluxo aproximadamente horizontal, com velocidade variando na faixa de centímetros por segundo a metros por segundo. Já as cargas sub-superficiais que originam-se da água que infiltra no solo e da lixiviação de poluentes no perfil, a partir da aplicação de substâncias na superfície do solo (e.g. fertilizantes e

pesticidas), apresentam sentido de fluxo predominantemente vertical, podendo ser alterado para quase horizontal, dependendo da profundidade do lençol freático. O aporte dessas cargas nos corpos d'água receptores é contínuo e o componente de fluxo que as transporta é chamado de escoamento básico ou escoamento subterrâneo, tendo como origem a descarga de água subterrânea (Novotny, 2003).

As cargas superficiais de origem difusa são denominadas de coeficientes de exportação ou cargas unitárias e seus valores ou funções representam a poluição gerada por unidade de área e de tempo, para cada uso de solo, ou ponderado sobre uma pequena bacia. As suas unidades para um dado uso do solo ou trecho uniforme da bacia podem ser expressas, anualmente, em kg ha^{-1} ou kg pessoa^{-1} , sendo a sua quantificação em uma bacia altamente dependente do uso e ocupação do solo e de fatores demográficos, geográficos e hidrológicos.

Originalmente, assumia-se que as cargas unitárias poderiam ser correlacionadas ao uso e ocupação do solo. Entretanto, o Projeto Nacional de Escoamento Urbano (*National Urban Runoff Project - NURP*, 1983 *apud* Novotny, 2003) realizado na Região dos Grandes Lagos dos EUA, obteve resultados para a concentração de poluentes no escoamento superficial que puderam ser correlacionados apenas com a área impermeável da bacia, ao invés do uso urbano do solo. Mesmo resultados para a carga unitária de poluentes de uso agrícola, dentro da mesma categoria de cultivo, apresentaram variações de ordens de magnitude em uma região relativamente homogênea do ponto de vista meteorológico e hidrológico (Figura 63).

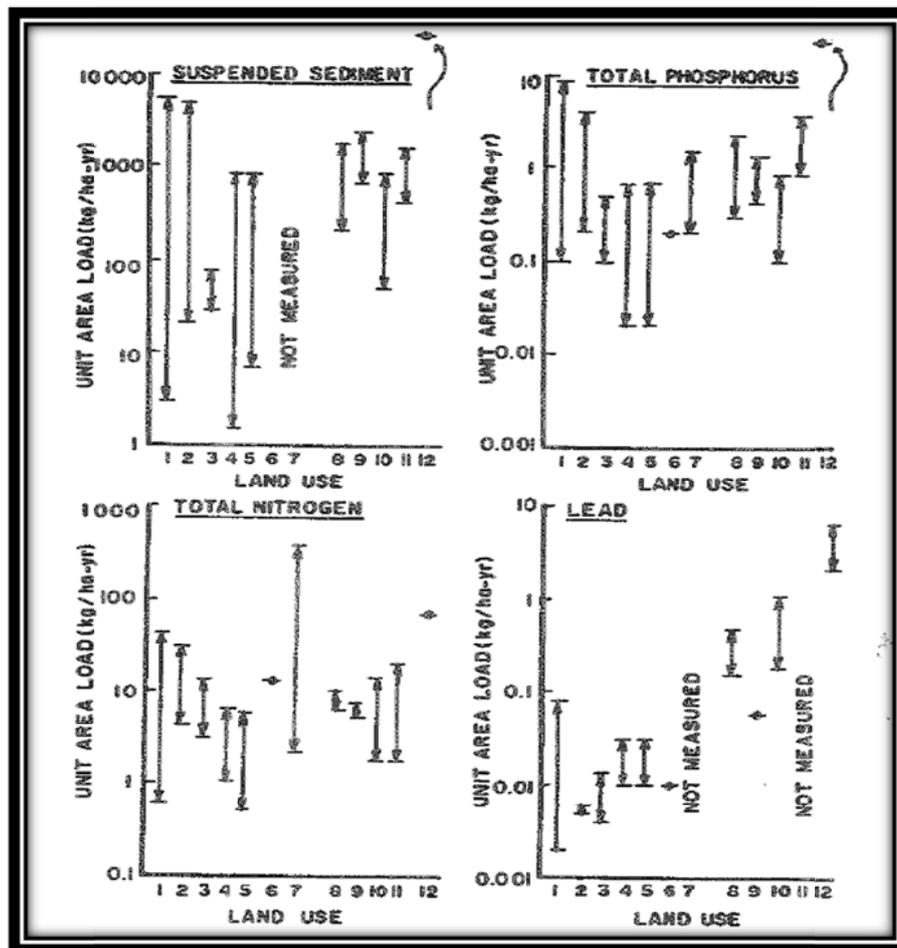


Figura 63 - Variações nas cargas unitárias de Sedimentos Suspensos, Fósforo Total, Nitrogênio Total e Chumbo na Região dos Grandes Lagos, EUA, no ano de 1970 antes do Chumbo ser banido dos combustíveis. Usos do solo: 1- Agricultura em geral, 2- Culturas agrícolas; 3- Pastagem; 4- Florestas; 5- Culturas perenes/exóticas; 6-Lodo de esgoto; 7-Irrigação por aspersão; 8- Urbano em geral; 9- Residencial; 10- Comercial; 11- Industrial; 12-Urbano em desenvolvimento (Fonte: Nowotny, 2003).

Segundo Menegon Jr. (2005), as cargas difusas são afetadas por diversos fatores que podem influenciar tanto o escoamento quanto a concentração, sendo o volume de precipitação, a duração do evento e o intervalo entre os eventos as variáveis utilizadas para a sua estimativa. Muitos pesquisadores tentaram caracterizar a distribuição da concentração dentro de um evento de descarga de escoamento superficial partindo-se do conceito do *First flush*, que refere-se à primeira porção do fluxo (vazão de pico) que contém a maior parte da carga poluidora. Como regra geral, assumiu-se que nas áreas urbanas, a vazão inicial correspondente a 40% do escoamento superficial pode conter cerca de 60% da carga poluidora (Figura 64). Contudo, essa regra não se aplica a eventos de escoamento superficial em áreas agrícolas, assim como o efeito do *First flush* não pode ser constatado a partir de descargas de coletores separados de esgotos (USEPA, 1983).

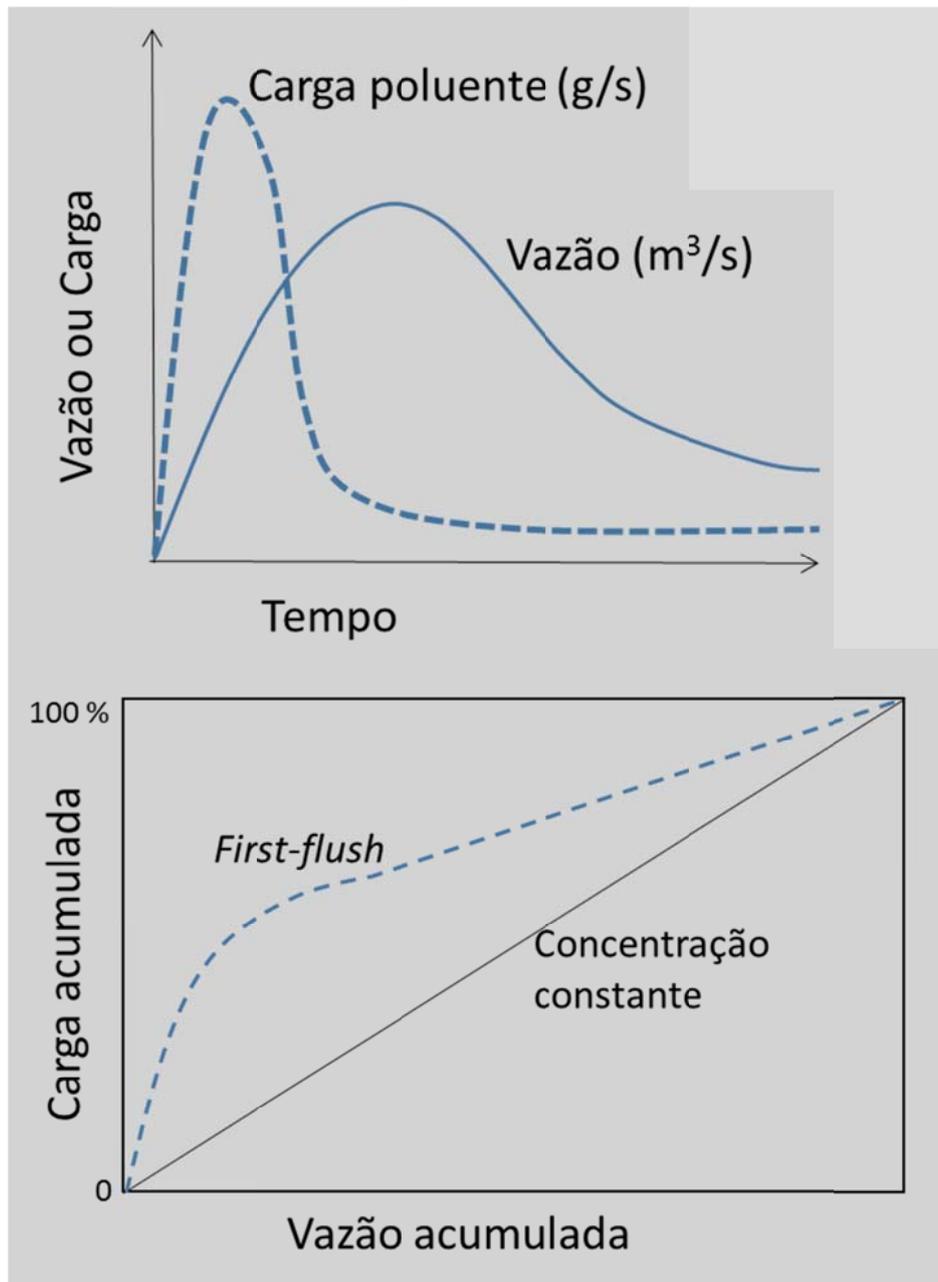


Figura 64 - Conceito do *First-flush*. Em um evento de escoamento urbano a vazão de pico no hidrograma pode conter uma maior fração da carga poluidora do que a fração final (adaptado de Nlovotny, 2003).

Concentrações Médias de Evento

Considerando-se que não existem padrões de concentração dentro um evento de escoamento, o Projeto Nacional de Escoamento Urbano (NURP) focalizou sua atenção nas concentrações médias de evento (CME), que podem ser definidas como a massa do poluente escoada dividida pelo volume total de vazão em um evento chuvoso:

$$CME = \frac{\sum Q_i C_i}{\sum Q_i} \quad (3)$$

Onde:

Q_i = medidas simples de vazão no hidrograma do evento

C_i = concentrações correspondentes no polutograma

O CME representa, portanto, a concentração de uma amostra composta ponderada pela vazão relacionada a um evento de escoamento superficial que, na grande maioria dos casos, é mais importante que medidas discretas das concentrações em intervalos de tempo dentro de cada evento (Novotny, 2003).

O estudo NURP também concluiu que a correlação da CME com variáveis tais como volume de escoamento, localização geográfica, efeitos do uso do solo, inclinação, tipo de solo e características da precipitação não foi capaz de explicar as semelhanças ou diferenças na CME entre as várias localidades amostradas nos EUA. Uma vez que essas variáveis não têm impactos significativos nas CME e não explicam as variabilidades espaciais ou temporais, as informações de todos os locais amostrados foram combinadas de forma a obter uma CME característica (mediana ou percentil 90) por variável. Além disso, usando-se os dados e a metodologia do estudo NURP, a seguinte relação pode ser utilizada para se estimar a carga unitária de uma bacia:

$$\text{Carga (kg ha}^{-1}\text{)} = 0,01 \text{ CR} \times \text{R} \times \text{CME} \quad (4)$$

Onde:

CR = coeficiente de escoamento (adimensional) extraído da relação mostrada na Figura 65;

R = Precipitação (mm);

CME = concentração média de evento (mg L^{-1}) (= g m^{-3})

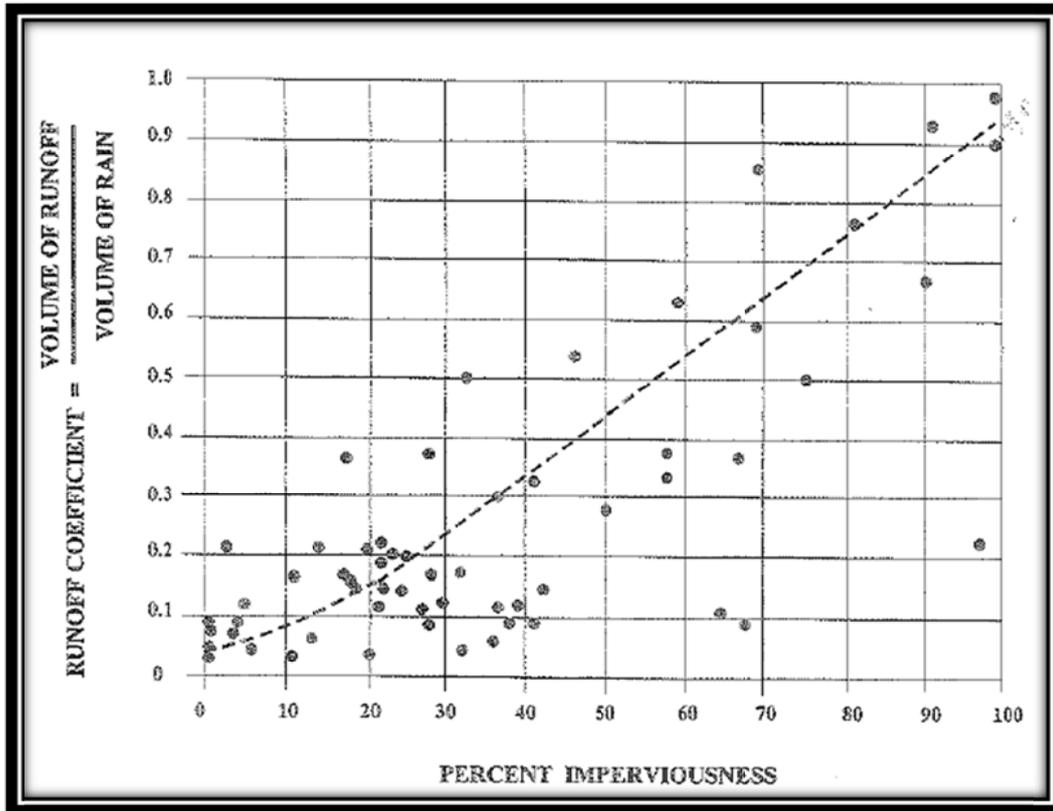


Figura 65 - Relação entre o coeficiente de escoamento (CR =volume de escoamento/volume de precipitação) e a porcentagem de áreas impermeáveis em áreas urbanas obtido a partir do estudo NURP (Fonte: Novotny, 2003).

Por exemplo, para uma típica área urbana residencial que apresenta uma porcentagem de área impermeável de 50%, o coeficiente de escoamento (CR), de acordo com a Figura 65, será igual a 0.45. Para o caso de se estimar a carga unitária anual do Carbono Orgânico Dissolvido (COD) nessa área com uma precipitação anual de 800 mm, deve-se utilizar a mediana e o percentil 90 para o COD, os quais correspondem a 82 e 176 mg L⁻¹, respectivamente. Esses valores foram obtidos através da equação 3 e representam a CME característica para o COD na área urbana residencial. Assim, por meio da equação 4, a carga unitária mediana e do percentil 90 para o COD será de 295,2 e 633,6 kg ha⁻¹, respectivamente.

Referências Bibliográficas

CETESB. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2015**. São Paulo, 2016. 401 p. (Série Relatórios). Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: dez. 2016.

CHAPMAN, D. **Water Quality Assessments**. 2nd Ed., London, E&FN Spon, 1996. 626 pp.

BRAGA, B. , HESPANHOL, I., CONEJO, J. G. L., MIERZWA, J. C., BARROS, M. T. L., SPENCER, M., PORTO, M., NUCCI, N., JULIANO, N. EIGER, S. . **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2^a Ed., São Paulo: Pearson Prentice Hall, 318 pp.

HOROWITZ, A. J. A review of selected inorganic surface water quality-monitoring practices: are we really measuring what we think, and if so, are we doing it right? **Environmental Science and Technology**, 47: 2471-2486, 2013.

MENEGON, Jr. N. **Aplicação do Modelo Matemático de Qualidade da Água-SIMOX-III- na Bacia do Rio Camanducaia**. 2005. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

NOVOTNY, V. **Water Quality: Diffuse Pollution and watershed Management**. 2nd Ed., New Jersey: John Willey & Sons, 864 pp.

PORTO, R. L (Org.). **Fundamentos para a Gestão da Água**. São Paulo: SMA, 232 pp.

YAN, S., SUBRAMANIAM, S. B., TYAGI, R. D., SURAMPALLI, R. Y., ZHANG, T. C. Emerging contaminants of environmental concern: source, transport, fate , and treatment. **Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive waste Management**. 14(1): 2-20; 2010.

INSTITUIÇÕES COLABORADORAS



INSTITUIÇÕES ORGANIZADORAS



Cooperação
**Representação
no Brasil**



MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES



GOVERNO DO ESTADO
DE SÃO PAULO



MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

