

## **UNIDADE 3**

# **VARIÁVEIS E PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA EM RIOS E RESERVATÓRIOS**

## Sumário

1. Variáveis Físico-Químicas.....	3
1.1 Oxigênio Dissolvido.....	4
1.2 Salinidade .....	5
1.3 Turbidez.....	7
1.4 Condutividade elétrica.....	8
1.5 Demanda Bioquímica do Oxigênio (DBO).....	8
1.6 Demanda Química do Oxigênio.....	9
1.7 Temperatura.....	9
1.8 Potencial Hidrogeniônico (pH).....	10
1.9 Sólidos (totais, dissolvidos e sólidos em suspensão).....	10
1.10 Série Nitrogenada .....	11
1.11 Fósforo .....	12
1.12 Alcalinidade Total.....	13
1.13 Cloreto Total.....	14
1.14 Transparência da água.....	14
1.15 Carbono Orgânico Total.....	15
2. Variáveis Biológicas.....	16
2.1 Clorofila a.....	16
2.2 Coliformes Totais e Termotolerantes.....	17
2.3 Fitoplâncton, Perifiton, Zooplâncton e Macroinvertebrados Bentônicos.....	18
2.4 Ictiofauna.....	22
3. Poluentes Específicos.....	23
3.1 Cianotoxinas.....	23
3.2 Pesticidas, Herbicidas e demais Agrotóxicos.....	25
3.3 Metais Pesados.....	26
3.4 Óleos e Graxas.....	27
Referências .....	28

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico mostra a variação da solubilidade do oxigênio de acordo com a variação da temperatura.

Figura 2 – Fontes e processos de perda do oxigênio dissolvido na água.

Figura 3 – Disco de Secchi

Figura 4 – Representantes do fitoplâncton.

Figura 5 – Representantes da comunidade zooplanctônica.

Figura 6– Representantes dos macroinvertebrados bentônicos.

Figura 7 – Floração De Cianobactéria.

## 1. VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS

O monitoramento limnológico estuda a qualidade da água de ecossistemas aquáticos continentais, incluindo rios e lagos. Os estudos de parâmetros físico-químicos da água são de grande importância para o conhecimento do ambiente e identificação dos padrões de variação das condições ambientais, tanto dentro dos rios e reservatórios como em seu entorno, e têm implicações nas características limnológicas como um todo.

Sabemos que a água é um recurso natural com características peculiares e que possui diferentes atribuições, como o consumo direto, matéria-prima e constituinte do ecossistema. Essas múltiplas funções dão à água um valor econômico, exigindo assim, normatização e fiscalização do seu uso e qualidade. A seguir estudaremos as principais variáveis físicas e químicas da água.

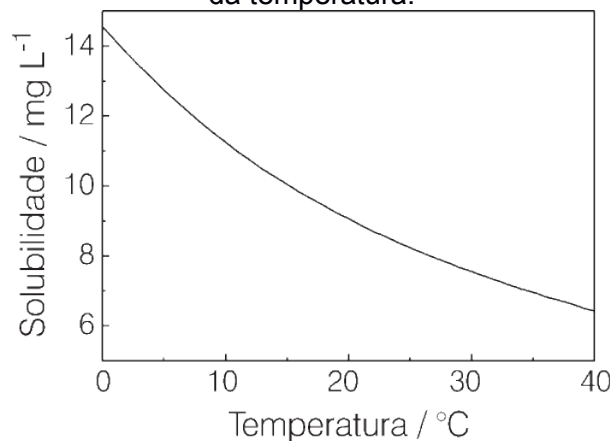
### 1.1 Oxigênio Dissolvido

O oxigênio ( $O_2$ ), dentre os gases dissolvidos na água, é um dos mais importantes na dinâmica e na caracterização de ecossistemas aquáticos. É um componente essencial para o metabolismo dos organismos aeróbios presentes nos corpos hídricos, sendo indispensável para o equilíbrio das comunidades aquáticas.

A solubilidade do oxigênio na água depende de dois fatores principais: a temperatura e a pressão. Exemplificando, quando ocorre elevação da temperatura e diminuição da pressão, ocorre conseqüentemente a redução e a solubilidade do oxigênio na água. Desta forma, para se obter a saturação do oxigênio (expressa em porcentagem) deve-se sempre relacionar os teores absolutos de oxigênio com a temperatura e a pressão atmosférica (Figura 1).

As principais fontes de oxigênio para o corpo hídrico são a atmosfera, através da interface atmosfera-água, e a fotossíntese, que é a produção e liberação do oxigênio pelos organismos fitoplanctônicos e plantas aquáticas. O oxigênio dissolvido pode sofrer perdas através de diversos processos como a elevação da temperatura da água, consumo pela decomposição da matéria orgânica (oxidação), perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos e a oxidação de íons metálicos (Figura 2).

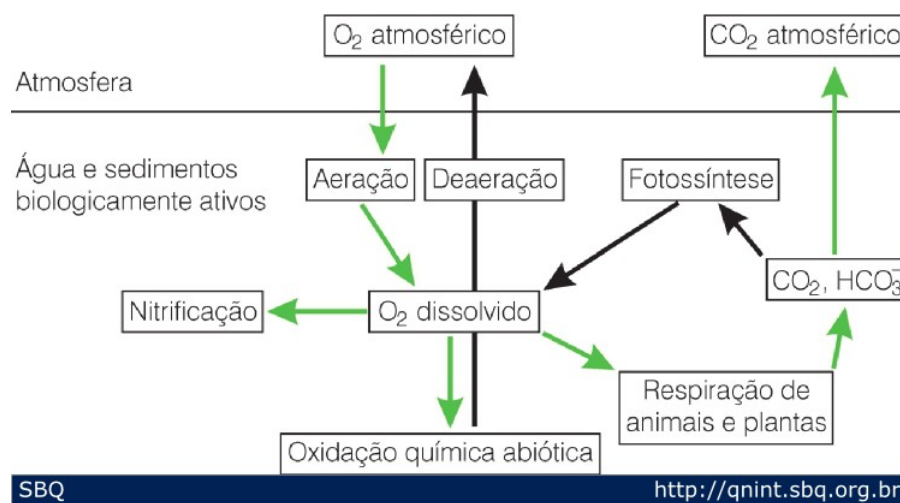
Figura 1 – Gráfico mostra a variação da solubilidade do oxigênio de acordo com a variação da temperatura.



SBQ <http://qnint.s bq.org.br>

Fonte: <http://qnint.s bq.org.br> (acesso em 17/01/2013)

Figura 2 – Fontes e processos de perda do oxigênio dissolvido na água.



SBQ <http://qnint.s bq.org.br>

Fonte: <http://qnint.s bq.org.br> (acesso em 17/01/2013)

Para determinarmos a concentração de oxigênio dissolvido nos corpos hídricos - em mg/L por exemplo - são utilizados métodos de medição como o volumétrico ou o potenciométrico, e a escolha por um destes depende de fatores que interferem na medição deste parâmetro na água e também da precisão desejada pelo pesquisador. Também existem equipamentos que fazem a medição da concentração de oxigênio dissolvido diretamente na água.

## 1.2 Salinidade

A salinidade é a medida de quantidade de sais existentes nas massas de água. O conceito mais simples de salinidade é a razão entre a quantidade total de íons dissolvidos e a massa de água que lhe serve de solvente. Este parâmetro é de grande importância para a caracterização das massas de água, já que determina diversas propriedades físico-químicas, entre elas a densidade da água, o tipo de fauna e flora e os potenciais usos da água.

Os íons sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloro, sulfato e bicarbonato são os maiores contribuintes para a salinidade da água, exercendo um importante papel nos movimentos e na mistura das massas de água, devido ao seu efeito na densidade. Estes sais dissolvidos também condicionam a fisiologia dos organismos. Os métodos de detecção da salinidade são o método salinômetro indutivo, eletrodos e refratômetros.

### *Sódio ( $Na^+$ )*

As concentrações de sódio em corpos de água variam consideravelmente de acordo com as condições geológicas locais e das descargas de efluentes. Uma das suas principais funções é atuar na troca e no transporte de outros íons para os meios intra e extracelular.

### *Potássio ( $K^+$ )*

O potássio é um elemento essencial tanto a nutrição da flora quanto a nutrição humana. Ocorre em águas subterrâneas, sendo resultado da dissolução

mineral de material vegetal em decomposição e do escoamento oriundo da agricultura. Assim como o sódio, sua principal função é atuar no equilíbrio de outros íons durante o metabolismo celular.

### *Cálcio ( $Ca^{+2}$ )*

Este íon encontra-se combinado em duas formas principais: o carbonato ( $CaCO_3$ ) e o bicarbonato de cálcio ( $Ca(HCO_3)_2$ ). A presença do cálcio nos corpos hídricos resulta do seu contato com depósitos de calcita, dolomita e gipsita, sua solubilidade é controlada pelo pH e gás carbônico ( $CO_2$ ) dissolvido. É essencial para o crescimento de algas, macrófitas aquáticas e muitos animais, principalmente os moluscos. Interfere em um dos principais fatores físico-químicos do meio aquático, o potencial hidrogeniônico (pH).

### *Magnésio ( $Mg^{+2}$ )*

O magnésio presente na massa de água é oriundo dos minerais magnetita e dolomita. Sua maior importância é a participação na formação da molécula de clorofila e, além disto, faz parte de diversos processos metabólicos celulares como, por exemplo, o metabolismo do nitrogênio.

### *Sulfato ( $SO_4^-$ )*

O enxofre pode ser encontrado nos ecossistemas aquáticos em diversas formas, porém, dentre todas, a do íon sulfato e o gás sulfídrico são as mais frequentes, sendo o íon sulfato o de maior importância na produtividade do ecossistema por ser a principal fonte de enxofre para os produtores primários. Suas principais fontes são decomposição de rochas, chuvas e agricultura (pela aplicação de adubos contendo enxofre que posteriormente é carregado aos cursos de água).

### *Cloro ( $Cl$ )*

O cloreto é um dos principais sais inorgânicos presentes na água e sua concentração é maior em águas residuais do que em água bruta. Em águas

superficiais a principal fonte de cloreto são as descargas de esgotos sanitários; por isto, durante algum tempo, foi utilizado como indicador da contaminação, associando-se a elevação das concentrações de cloreto de um rio com o lançamento de esgotos sanitários.

### **1.3 Turbidez**

A turbidez é uma característica física da água decorrente da presença de substâncias em suspensão na coluna d'água, ou seja, é uma expressão da propriedade óptica que faz com que a luz seja espalhada ou absorvida e não transmitida em linha reta através da amostra. É a medida de redução da transparência.

A turbidez na água é causada por materiais em suspensão, como por exemplo, argila, silte, matéria orgânica e inorgânica finamente dividida, compostos orgânicos solúveis coloridos, plâncton e outros organismos microscópicos. O tamanho das partículas em suspensão varia dependendo do grau de turbulência do ambiente. A presença destas partículas provoca a dispersão e absorção da luz, deixando a água com aparência turva. A transparência de um corpo d'água natural é um dos principais determinantes da sua condição e produtividade.

### **1.4 Condutividade elétrica**

A condutividade elétrica refere-se à capacidade de uma solução aquosa para conduzir uma corrente elétrica. Considerando-se que esta propriedade depende da concentração de íons, quanto maior a concentração iônica, maior será a capacidade da solução de conduzir a corrente elétrica e vice-versa.

A condutividade é medida por um equipamento chamado condutivímetro e é expressa em  $\mu\text{Scm}^{-1}$  ou  $\text{mScm}^{-1}$ . Sua aplicação prática é a indicação do grau de mineralização da água e indicação rápida de variações nas concentrações de minerais dissolvidos.

### **1.5 Demanda Bioquímica do Oxigênio (DBO)**

A demanda bioquímica do oxigênio é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica para uma forma inorgânica estável. É um parâmetro



utilizado para identificar a presença de matéria orgânica na água, é expresso em  $\text{mg.L}^{-1}$ .

A DBO é um bioensaio que indica o consumo de oxigênio por organismos vivos (principalmente micro-organismos) enquanto utilizam a matéria orgânica, em condições similares às encontradas na natureza. É considerada como a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo (padronizado em 5 dias) em uma temperatura de incubação específica ( $20^{\circ}\text{C}$ ).

Os maiores aumentos da DBO em corpos d'água frequentemente estão associados a despejos de origem principalmente orgânica. O aumento do teor de matéria orgânica num corpo hídrico pode levar ao completo esgotamento do oxigênio na água, causando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida.

## 1.6 Demanda Química do Oxigênio

A demanda química do oxigênio (DQO) é a quantidade de oxigênio consumido na oxidação química da matéria orgânica existente na água, medida através de testes específicos. Não apresenta necessariamente correlação com a DBO, porém assim como ela é expressa em  $\text{mg.L}^{-1}$ .

A DQO é uma medida indireta da matéria orgânica presente na amostra; para se obter a DQO é medida a oxidação da matéria orgânica através de fortes oxidantes como o dicromato de potássio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) em meio ácido ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Este teste mede a quantidade de dicromato (oxidante) consumido durante a degradação da matéria orgânica; assim quanto maior o consumo do oxidante, maiores são os níveis de matéria orgânica no ambiente. Os principais métodos para se medir a DQO são os de refluxo aberto, refluxo fechado tintimétrico e refluxo fechado colorimétrico.

A medida de DQO geralmente é utilizada como indicador do grau de poluição de um corpo de água por água residuária.

## 1.7 Temperatura

A temperatura da água é resultado da radiação solar incidente sobre a água. Exerce grande influência nas atividades biológicas e no crescimento dos organismos; também determina os tipos de organismos que habitam o local, uma vez que estes têm uma faixa preferida de temperatura para se desenvolverem. Se este limite for

ultrapassado, tanto para mais quanto para menos, os organismos são impactados e espécies mais sensíveis podem até mesmo ser extintas do local.

A temperatura influencia a química da água; como vimos anteriormente, corpos de água fria tem maior capacidade de reter o oxigênio dissolvido do que a água quente. A temperatura também é a principal responsável por uma das características físicas da água: a densidade. As diferenças de temperatura geram camadas d'água com diferentes densidades, formando uma barreira física que impede que se misturem, e quando a energia do vento não é suficiente para misturá-las, o calor não se distribui uniformemente na coluna d'água, criando assim a estratificação térmica.

## 1.8 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH é uma medida que determina se a água é ácida ou alcalina, variando de 0 a 14, a partir dos seus valores indica quando uma solução aquosa é ácida ( $\text{pH} < 7$ ), neutra ( $\text{pH} = 7$ ) ou alcalina ( $\text{pH} > 7$ ). Trata-se de um dos parâmetros mais importantes e frequentemente utilizados na análise da água e deve ser acompanhado para melhorar os processos de tratamento e preservação das tubulações contra corrosões ou entupimentos.

A influência direta do pH nos ecossistemas aquáticos é exercida por seus efeitos sobre a fisiologia de diversas espécies. O pH influencia de maneira direta os processos bioquímicos, especialmente as trocas iônicas com o meio extracelular; desta forma, processos de absorção e excreção de substâncias orgânicas e iônicas são diretamente afetados. Determinadas condições de pH têm efeito indireto e podem contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos.

Durante o tratamento da água e de efluentes, praticamente todas as fases, como o processo de neutralização, precipitação, coagulação, desinfecção e controle de corrosão dependem dos valores de pH. Os corpos d'água encontrados na natureza em sua maioria possuem valores de pH na faixa de 4 a 9, sendo a maioria ligeiramente básico. O método de determinação do pH mais utilizado é o potenciométrico.

## 1.9 Sólidos (totais, dissolvidos e sólidos em suspensão)

Os sólidos correspondem a toda matéria que permanece na água como resíduo após a evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um período fixado, ou seja, sólidos totais são o resíduo que resta na cápsula após a evaporação em banho-maria de uma porção de amostra e sua posterior secagem em estufa a 103-105°C até alcançar um peso constante.

A medição dos sólidos totais é importante para definir as condições ambientais, baseado na premissa de que estes sólidos podem causar danos à vida aquática em geral, como por exemplo, a diminuição da incidência de luz, aumento da sedimentação no leito dos rios destruindo organismos que fornecem alimentos, ou também danificar os leitos de desova de peixes. Os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia.

Os sólidos totais dissolvidos (STD) são a soma de todos os constituintes químicos dissolvidos na água. O STD é principalmente medido através da conversão da medida da condutividade elétrica; para isto o valor da condutividade elétrica é multiplicado por um fator de conversão que depende da composição química de STD e pode variar entre 0,54 e 0,96. O resultado é expresso em  $\text{mg.L}^{-1}$  (EMBRAPA, 2011).

Já os sólidos em suspensão são a quantidade de sólidos determinada com a secagem do material retirado por filtração da amostra, através de um filtro de micromalha de 0,45 micrômetros, e é dado em  $\text{mg/L}$ .

A determinação dos níveis de concentração das diversas frações de sólidos é utilizada nos estudos de controle de poluição das águas naturais, caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais e no controle de sistemas de tratamento de esgotos, resultando em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho (sólidos dissolvidos e em suspensão) e com relação à natureza química (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos).

## 1.10 Série Nitrogenada

De acordo com Esteves (1998), o nitrogênio é um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos. Isto se deve principalmente ao fato

deste elemento participar da formação de proteínas, um dos componentes básicos da biomassa. A presença deste elemento em baixas concentrações pode se tornar um fator limitante para a produção primária em ecossistemas aquáticos.

As principais fontes naturais de nitrogênio são o material orgânico e inorgânico de origem alóctone e a fixação de nitrogênio molecular dentro do próprio ambiente. O nitrogênio está presente nos ambientes aquáticos sob várias formas, sendo as principais o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ), íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) entre outros. Dentre todas estas formas o nitrato, juntamente com o íon amônio, assume grande importância nos ecossistemas aquáticos, por serem as principais fontes de nitrogênio para os produtores primários.

O nitrato ocorre geralmente em quantidades muito pequenas no ambiente; o nitrogênio sob a forma de amônia é transformado em nitrito e posteriormente em nitrato pelo processo de nitrificação. A presença de nitrogênio na forma de nitrato em um corpo d'água é indicador da poluição relacionada ao final do processo de nitrificação e pode caracterizar a presença de efluentes de esgotos sanitários nos corpos hídricos.

O nitrogênio amoniacal corresponde ao nitrogênio proveniente de um composto derivado do amoníaco. A amônia é a mais reduzida forma de nitrogênio orgânico na água; embora seja um pequeno componente no ciclo total do nitrogênio, contribui para a fertilização da água tendo em vista que o nitrogênio é nutriente essencial para a flora aquática e para a comunidade fitoplanctônica.

Já o nitrogênio total representa a soma das concentrações de nitrato, nitrito, amônio e nitrogênio orgânico.

### **1.11 Fósforo**

A importância do fósforo nos sistemas biológicos é notória, e deve-se à sua participação em processos fundamentais do metabolismo dos seres vivos (armazenamento de energia e estruturação da membrana celular). Na maioria dos corpos d'água o fósforo pode ser fator limitador da produtividade e, portanto, é apontado como o principal fator responsável pela eutrofização artificial dos ambientes aquáticos. O fósforo encontra-se na água na forma de fosfato, assim utiliza-se essa denominação para as diferentes formas de fósforo.

O fosfato presente na água tem origem em fontes naturais (rochas das bacias de drenagem, material particulado presente na atmosfera e decomposição da matéria orgânica) e artificiais (esgotos domésticos e industriais e material particulado de origem industrial contido na atmosfera).

A dinâmica do fósforo está intimamente ligada aos sedimentos aquáticos, a retenção ou liberação a partir do sedimento estão altamente correlacionadas às condições de oxirredução na interface água-sedimento. O uso agrícola dos solos em pequenas bacias hidrográficas localizadas em regiões de encosta altera as condições ecológicas naturais. A quantidade e as características dos sedimentos carregados em suspensão pelo escoamento superficial são modificadas pela ação antrópica. Uma vez atingindo um ambiente aquático lântico, os sedimentos podem atuar, tanto como dreno, quanto como fonte de fósforo para a água, diminuindo ou potencializando os processos de eutrofização.

O fósforo pode ser encontrado na forma orgânica (matéria orgânica dissolvida e particulada da biomassa) e inorgânica (fração solúvel representada pelos sais dissolvidos de fósforo e fração insolúvel formada por minerais). O fosfato se apresenta nos mananciais sob três formas: fosfato particulado, fosfato orgânico dissolvido e fosfato total. Todas as formas ou frações de fosfato são importantes, no entanto, o fosfato inorgânico dissolvido é o mais importante por ser a principal forma de fósforo assimilada pelos vegetais aquáticos.

Os dados obtidos de fósforo em conjunto com os de clorofila *a* e transparência da água são de grande importância para se determinar o estado trófico dos corpos de água.

## **1.12 Alcalinidade Total**

A alcalinidade da água é a sua capacidade quantitativa de neutralizar um ácido forte, até um determinado pH, ou seja, é a quantidade de substâncias na água que atuam como solução tampão. A alcalinidade é devida, principalmente, à presença de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos.

Nos ambientes aquáticos, as medidas de pH e alcalinidade são de grande importância para o estudo da produtividade biológica, condicionando os demais

processos físico-químicos de uma massa d'água e afetando o metabolismo dos seres aquáticos. A alcalinidade é determinada através do método da volumetria e expressa em  $\text{mg.L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$ . Estas medidas são utilizadas na interpretação e controle de processos de tratamento de águas de abastecimento e residuárias.

## 1.13 Cloreto Total

O cloreto é um dos ânions mais comuns em águas naturais, nos esgotos domésticos e em despejos. Em água potável, o sabor produzido pelo íon Cl varia em função da sua concentração como também da composição química da água. Não são prejudiciais à saúde do homem, porém conferem sabor salgado à água. Em altas concentrações podem trazer restrições ao sabor da água, além de interferir negativamente no equilíbrio hidroeletrolítico dos organismos aquáticos.

Dejetos humanos e de animais possuem teor elevado de cloreto, devido ao cloreto de sódio ser um ingrediente comum nas dietas e passar inalterado pelo sistema digestório. Nas estações de abastecimento de águas, a presença de concentrações anormais de cloreto é um indício desse tipo de poluição.

## 1.14 Transparência da água

A transparência da coluna d'água pode variar desde alguns centímetros até dezenas de metros. Essa região da coluna d'água é denominada zona eufótica e sua extensão depende, principalmente, da capacidade do meio em atenuar a radiação subaquática. O limite inferior da zona eufótica é geralmente assumido como sendo aquela profundidade onde a intensidade da radiação corresponde a 1% da que atinge a superfície. A extensão da zona eufótica pode ser calculada multiplicando-se o valor da profundidade do disco de Secchi (transparência da água) pelo fator de 2,7. No Brasil o fator 3,0 é o mais frequentemente utilizado por limnólogos.

A transparência do corpo d'água é um dos parâmetros físicos observados na análise de sua qualidade. Este parâmetro pode ser obtido através da leitura da profundidade do disco de Secchi, ou seja, a partir da observação do

desaparecimento de um disco, com quadrantes, branco e preto, mergulhado na água (Figura 3). O valor do disco de Secchi tem uma relação direta com a transparência da água e inversa à quantidade de compostos orgânicos e inorgânicos no percurso da luz e também ao coeficiente de atenuação da irradiância.

A transparência da água é uma característica física de fácil obtenção em campo. A utilização do disco de Secchi é às vezes criticada, porém sua simplicidade, custo reduzido, facilidade de transporte e principalmente o número de informações possíveis de serem extraídas a partir de sua leitura justificam sua utilização para análises de ambientes aquáticos. Assume importância também em pesquisas científicas, visto que por ser um parâmetro universal, permite comparações; além disso, juntamente com os índices de fósforo e a clorofila *a*, é um excelente indicador do estado trófico dos corpos hídricos.

Figura 3 – Disco de Secchi



Fonte: [http://www.consulpesq.com.br/figuras/disco\\_secchi.html](http://www.consulpesq.com.br/figuras/disco_secchi.html) (acesso em 23/01/2013)

## 1.15 Carbono Orgânico Total

O carbono é um elemento químico que entra na constituição dos seres vivos e de todos os compostos orgânicos. Como sua oxidação consome o oxigênio dissolvido na água, a quantificação do carbono orgânico total é um bom indicador da qualidade

da água e está intimamente relacionado com a matéria orgânica existente nos meios hídricos. O ciclo biogeoquímico do carbono é um dos mais complexos e abrangentes, englobando todos os aspectos da limnologia, desde a produção primária, passando por cadeias alimentares até fenômenos de sucessão biológica. Para maior conhecimento sobre o ciclo biogeoquímico do carbono recomendamos a leitura de Esteves (1998).

Os diferentes tipos de carbono orgânico presentes nos ecossistemas aquáticos podem ser agrupados em: carbono orgânico dissolvido (COD), carbono orgânico não dissolvido (COND), carbono orgânico volátil (COV) e carbono orgânico não volátil (CONV). O carbono orgânico total é obtido pela oxidação do carbono, portanto, é uma medida direta da quantidade de compostos orgânicos em diferentes estágios de oxidação na água, sendo desta forma, um excelente indicador da qualidade da água.

## 2. VARIÁVEIS BIOLÓGICAS

### 2.1 Clorofila *a*

O termo clorofila se refere a um grupo de pigmentos produzidos nos cloroplastos das folhas e em outros tecidos vegetais e microbianos fotossintéticos. Estes pigmentos, responsáveis pela cor verde das plantas, funcionam como fotorreceptores da luz visível utilizada no processo de fotossíntese. As diferenças aparentes nas cores dos vegetais são devidas à presença de outros pigmentos associados, como carotenóides, os quais sempre acompanham as clorofilas.

As concentrações de clorofila *a* são utilizadas para expressar a biomassa fitoplanctônica. Desta forma o estudo do fitoplâncton e da biomassa fitoplanctônica associada aos parâmetros físicos e químicos, são capazes de detectar possíveis alterações na qualidade da água, bem como avaliar tendências sazonais, que se refletem em modificações do habitat ou no comportamento de organismos aquáticos. A concentração de clorofila *a* na água está diretamente associada à quantidade de algas presentes.

O crescimento dos primários resulta do carbono que é fixado pelos mesmos.



A quantidade de clorofila *a* é correspondente à resposta da biomassa (somatória da massa orgânica viva existente num determinado espaço e tempo). A concentração de clorofila *a* vem sendo utilizada há muitos anos como indicação direta do estado trófico do sistema aquático sendo, inclusive, juntamente com os parâmetros fósforo e transparência da água, variáveis utilizadas para determinação do índice de estado trófico (IET).

### **2.2 Coliformes Totais e Termotolerantes**

Os ambientes aquáticos são habitados por diversos tipos de bactérias heterotróficas que são importantíssimas, pois oxidam de matérias orgânicas e consomem toda a carga poluidora que é lançada nestes corpos de água (processo de decomposição), sendo assim, as principais responsáveis pela autodepuração. Porém, quando corpos hídricos recebem esgotos, passam a conter outros tipos de bactérias relacionadas ao efluente considerado, e que podem ou não causar doenças aos seres humanos. Um dos principais grupos bacterianos de interesse é o dos coliformes (BRASIL, 2006).

As bactérias denominadas coliformes totais não são causadoras de doenças; a razão da escolha desse grupo de bactérias como indicador de contaminação da água deve-se aos seguintes aspectos: estão presentes nas fezes de animais de sangue quente (inclusive seres humanos), sua presença possui relação direta com o grau de contaminação fecal, são facilmente detectáveis e quantificáveis por técnicas simples e economicamente viáveis em qualquer tipo de água, possuem maior tempo de vida na água que as bactérias patogênicas intestinais, além de serem incapazes de se reproduzir no ambiente aquático, sendo mais resistentes à ação de agentes desinfetantes do que germes patogênicos.

Os coliformes fecais também são conhecidos como coliformes termotolerantes, pois toleram temperaturas acima de 40°C e reproduzem-se nesta temperatura em menos de 24 horas. Pelo estudo da concentração dos coliformes nas águas pode-se estabelecer um parâmetro indicador da possível existência de micro-organismos patogênicos que são responsáveis por doenças de veiculação hídrica, tais como a febre tifóide, febre paratifóide, disenteria bacilar e cólera.

## 2.3 Fitoplâncton, Perifiton, Zooplâncton e Macroinvertebrados Bentônicos

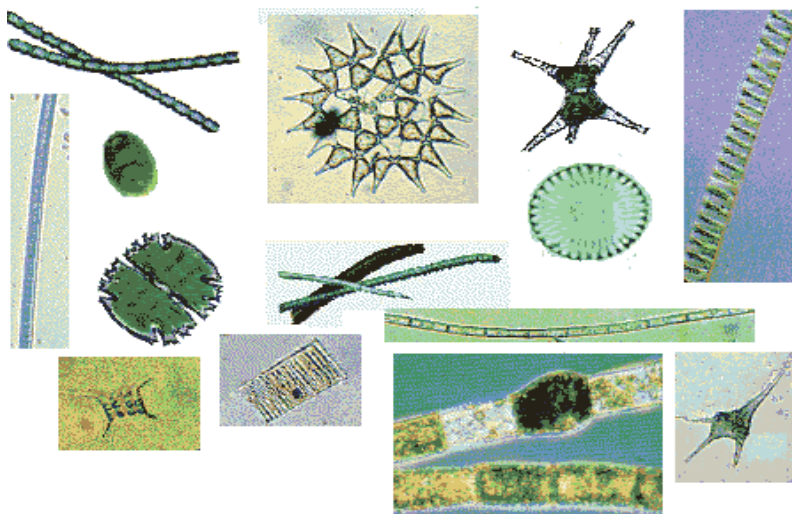
### *Fitoplâncton*

É o conjunto de organismos aquáticos microscópicos que possuem capacidade fotossintética e que vivem dispersos flutuando na coluna d'água (Figura 20). Estes organismos sintetizam matéria orgânica utilizando a energia solar e os nutrientes essenciais (fósforo, nitrogênio, sílica entre outros) requeridos para o seu metabolismo e desenvolvimento, juntamente com o dióxido de carbono e água.

Devido à necessidade de permanecerem na zona fótica, apresentam grande diversidade de formas que contribuem para sua flutuabilidade, uma vez que estes organismos são em sua grande maioria mais densos do que a água. Possuem importante papel como produtores primários nos ecossistemas aquáticos, uma vez que constituem o início da teia trófica, deles dependendo diretamente os organismos dos demais níveis. Além disso, calcula-se que cerca de 90% do oxigênio atmosférico seja produzido por estas microalgas, importantes bioindicadores da qualidade da água e de seu estado trófico (SOURNIA, 1969).

O fitoplâncton está constituído de diversos grupos de microalgas, podendo-se distinguir seis grupos principais: Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanophyta, Euglenophyta, Pyrrophyta e Chrysophyta. O grupo Cyanophyta assume grande importância sanitária e de saúde pública; as algas também chamadas cianofíceas ou cianobactérias, são tratadas pela resolução 357/05 do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) e pela portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, por serem capazes de produzir toxinas, inclusive letais, que afetam outros organismos aquáticos de todos os níveis tróficos e, uma vez que são termotolerantes e permanecem na água após processos convencionais de tratamento para abastecimento, constituem importante risco à saúde humana.

Figura 4 – Representantes do fitoplâncton.



Fonte: <http://www.ufrj.br> (acesso em 23/01/2013)

## *Perifiton*

Podemos definir este grupo de organismos como uma comunidade complexa de algas, bactérias, fungos, protozoários e animais, além de detritos, aderidos a substratos submersos orgânicos ou inorgânicos vivos ou mortos. O estudo destas comunidades pode fornecer importantes informações sobre a produtividade de um ecossistema aquático para a aquicultura ou sobre eventuais poluentes que afetam uma massa de água costeira ou lacustre (WATANABE, 1990).

A comunidade perifítica apresenta uma clara heterogeneidade espacial e temporal, apresentando variações em sua composição, biomassa e produtividade. O entendimento dessa heterogeneidade no perifiton é importante porque seus componentes são a base da cadeia alimentar em muitos sistemas lóticos; atuam como redutores e transformadores de nutrientes, além de promoverem habitat para uma diversidade de organismos. Ainda, além da alta diversidade, os organismos perifíticos possuem tempo de regeneração curto e ciclo de vida relativamente simples, o que permite usá-los com bastante eficácia para desenvolver e testar modelos ecológicos.

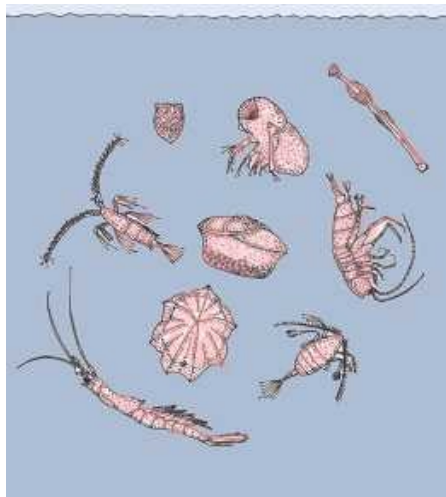
## *Zooplâncton*

Zooplâncton (Figura 5) é um termo genérico para um grupo de animais de

diferentes categorias sistemáticas, tendo como característica comum a incapacidade de grandes deslocamentos autônomos e a coluna d'água como seu habitat principal. É formado por protistas não fotossintéticos planctônicos e animais, variando desde formas unicelulares até pequenos vertebrados como larvas de peixes, geralmente de tamanho microscópico. Embora possuam movimentos natatórios, as correntes de água, a turbulência e a grandeza da densidade determinam seus deslocamentos; assim a capacidade de locomoção do zooplâncton se reduz a migrações verticais.

A maior parte dos organismos que compõem o zooplâncton alimenta-se de microalgas, embora sejam observados, além dos organismos herbívoros, também carnívoros, onívoros e detritívoros. Por outro lado, são alimento de muitas espécies de peixes e outros animais. O zooplâncton é essencial para a manutenção do ecossistema aquático, pois está na base da cadeia alimentar, transferindo energia na forma de fitoplâncton-bacterioplâncton ou na de detrito orgânico particulado para os demais elos da teia trófica. Tem grande importância também como indicador biológico, à medida em que é bastante sensível à poluição presente na água.

Figura 5 – Representantes da comunidade zooplanctônica.



Fonte: <http://www.regmurcia.com> (acesso em 23/01/2013)

### *Macroinvertebrados Bentônicos*

A comunidade de macroinvertebrados bentônicos de água doce é composta

por organismos com tamanho superior a 0,5 mm, portanto, visíveis a olho nu (Figura 6). Os organismos bentônicos possuem grande diversidade de espécies, dentre os quais destacamos os insetos aquáticos, que tem parte da sua vida neste ambiente; apresentam diversas formas e modos de vida, podendo habitar fundos de corredeiras, riachos, rios, lagos e represas. Em geral se situam numa posição intermediária na cadeia alimentar, tendo como principal alimentação algas e micro-organismos, sendo os peixes e outros vertebrados seus principais predadores (METCALFE, 1989).

Os macroinvertebrados bentônicos desempenham importante papel na dinâmica de nutrientes. Ocupam extensamente a zona litorânea de ambientes lênticos e promovem o biorrevolvimento da superfície do sedimento e a fragmentação do *litter* (folheto, resíduos vegetais) proveniente da vegetação ripária, liberando nutrientes para a água.

O biomonitoramento de corpos hídricos através do uso de macroinvertebrados bentônicos é cada vez mais usado e aceito como uma importante ferramenta na avaliação da qualidade da água. Algumas das vantagens que destacam os invertebrados bentônicos como os mais utilizados nas avaliações de efeitos de impactos antrópicos sobre os ecossistemas aquáticos são o fato de constituírem um grupo bastante diverso e cosmopolita, sendo sensíveis a vários tipos de poluentes e distúrbios físicos; sua coleta é de baixo custo e requer aparelhagem relativamente simples e barata; por estarem associados ao sedimento e serem relativamente sésseis, permitem registrar um tempo maior de impactos do que a avaliação de parâmetros físicos, químicos e físico-químicos, servindo como testemunhas tanto de impactos recentes como de médio prazo, permitindo associar sua presença ou ausência às alterações das condições de seu hábitat. Finalmente, a presença de espécies com ciclo de vida longo em relação a outros organismos possibilita uma melhor integração temporal de efeitos de ações antrópicas sobre a comunidade.

Figura 6– Representantes dos macroinvertebrados bentônicos.



Fonte: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br> (acesso em 23/01/2013)

## 2.4 Ictiofauna

Podemos denominar ictiofauna como sendo o conjunto de espécies de peixes que existem numa determinada área de estudo, e apresenta as seguintes propriedades: riqueza (número de espécies), diversidade (composição relativa de abundância de espécies), atributos morfológicos e fisiológicos e estrutura trófica.

O monitoramento, com suficiente abrangência espacial e temporal, fornece importantes informações sobre a estrutura das comunidades de peixes. O conhecimento dos processos ecológicos que influenciam as relações das espécies com o ambiente são fatores importantes para uma abordagem mais eficiente e para o melhor entendimento da composição e estruturação das assembléias de peixes.

Peixes ocupam diferentes estratos na coluna d'água; são considerados pelágicos, quando circulam em águas abertas, e demersais, quando vivem próximos ao fundo. Formas jovens de algumas espécies (ovos e larvas) ocupam ainda o estrato planctônico, enquanto outras podem apresentar ovos adesivos, construção de ninhos e cuidado parental.

Comunidades aquáticas tropicais íntegras apresentam frequentemente elevada diversidade íctica com espécies ocupando diferentes níveis tróficos; podem ser planctívoros, herbívoros, onívoros, carnívoros (muitas vezes piscívoros) ou iliófagos (quando alimentam-se de substrato - lodo). É nesta comunidade que se encontram os organismos considerados "topo de cadeia", cuja ocorrência e estrutura populacional refletem o status de equilíbrio geral do ecossistema. Esta mesma propriedade leva à exploração de espécies de peixes como eficientes bioindicadores de distúrbios antrópicos, inclusive fatores específicos, como poluição por compostos sujeitos à biomagnificação.

Seus ciclos de vida também estão intimamente relacionados aos ciclos sazonais, especialmente o hidrológico; o recrutamento de muitas espécies depende estritamente de pulsos de inundação e das alterações físico-químicas da água, carreamento de nutrientes e isolamento de lagoas dependentes destes fenômenos (TUNDISI, TUNDISI, 2008).

Alterações decorrentes do barramento de rios e constituição dos reservatórios invariavelmente acarretam mudanças da estrutura da assembléia íctica, em resposta às mudanças da diversidade e heterogeneidade de habitats, disposição de áreas para desova, disponibilidade de recursos alimentares e demais alterações limnológicas. Este é um dos aspectos da construção de reservatórios mais perceptíveis para a sociedade, de acordo com a importância econômica e social assumida pela pesca em cada circunstância individual (AGOSTINHO, JÚLIO Jr., BORGHETTI, 1992).

### 3. POLUENTES ESPECÍFICOS

#### 3.1 Cianotoxinas

Temos por definição que as cianotoxinas são toxinas produzidas por algumas espécies de cianobactérias e podem ser classificadas como:

- *Hepatotoxinas* (microcistina e nodularina): são capazes de provocar mal estar, vômitos e cefaléia. Comprometem a circulação de sangue no fígado, resultando em hemorragias, o que pode levar a uma hepatoenterite,

gastroenterite e eventualmente câncer.

- *Neurotoxinas* (anatoxina-a, anatoxina-as, homoanatoxina-a e saxitoxina): diferentes tipos de neurotoxinas são produzidas e afetam a neurotransmissão inibindo a ação da acetilcolinesterase o que, conseqüentemente, impede a degradação da acetilcolina ligada aos receptores neurais.
- *Citotoxinas* (cilindrospermopsina): este tipo de toxina é inibidora da síntese protéica, afetando principalmente os rins e o fígado, em casos de intoxicação grave pode levar a necrose celular generalizada.
- *Dermatotoxinas* (lingbiatoxina): esta toxina afeta principalmente a pele e pode causar irritações cutâneas.

As altas concentrações de cianobactérias são causadas pela floração destes organismos (Figura 7) devido a condições ambientais propícias ao seu crescimento. Em altas concentrações as cianotoxinas afetam, primeiramente, as comunidades aquáticas, provocando mortandade de peixes e outros animais.

Os métodos de análise para detecção, identificação e quantificação variam muito de acordo com o tipo de informações que proporcionam. Para análises de campo, testes rápidos e de baixo custo são os mais indicados para avaliar o grau de risco de uma floração e direcionar as medidas corretas a serem tomadas. Para uma análise mais detalhada, convém utilizar-se de técnicas analíticas e técnicas moleculares com maior poder de descrição qualitativa e quantitativa das cianotoxinas (CARNEIRO; LEITE, 2008).

De acordo com FUNASA (2003) a presença de algas e cianobactérias na água bruta aduzida às estações de tratamento pode causar problemas operacionais em várias etapas de tratamento, tais como: dificuldade de coagulação e floculação, baixa eficiência do processo de sedimentação, colmatção dos filtros e aumento da necessidade de produtos para a desinfecção. Como consequência desses problemas operacionais, verifica-se, geralmente, a redução na eficiência dos processos de tratamento e o surgimento de problemas na água tratada associados à



presença de cianobactérias e seus subprodutos extracelulares (como consequência podem dar sabor e odor a água e a presença de toxinas).

Figura 7 – Floração de cianobactéria.



Fonte: ASCOM/UFJF (2013)

### 3.2 Pesticidas, Herbicidas e demais Agrotóxicos

Os pesticidas estão presentes nas águas subterrâneas ou de superfície em concentrações na ordem de microgramas. A presença destes compostos na água é resultado da intensa atividade agrícola. Os pesticidas mais comuns encontrados na água são o atrazina, DDT, lindano e carbofurano. Em sua maioria são hidrofóbicos e facilmente removidos por adsorção de carbono ativado. Apesar da legislação brasileira proibir o uso de alguns pesticidas, como por exemplo o DDT, sua utilização ainda é feita em algumas lavouras.

Dentre os pesticidas empregados na agricultura destacam-se os herbicidas, que correspondem à maior parte comercializada mundialmente. Os herbicidas são agentes biológicos ou substâncias químicas que agem matando ou suprimindo o desenvolvimento de espécies daninhas que comprometem a produtividade de culturas de interesse comercial. O problema é que muitas destas substâncias têm grande probabilidade de contaminar os recursos hídricos, graças a características

como alto potencial de deslocamento no perfil do solo (lixiviação), elevada persistência no solo, baixa a moderada solubilidade em água e adsorção moderada à matéria orgânica presente no solo.

A contaminação da água por estas substâncias hoje é a segunda causa de contaminação dos recursos hídricos, perdendo somente para a contaminação por esgotos domésticos. Resulta da aplicação direta, de partículas trazidas pelas enxurradas ou pela deriva dos produtos aplicados por meio de despejos industriais. As águas superficiais contêm a maior fração de agrotóxicos, distribuídos em diversos espaços geográficos onde a preservação do ambiente aquático depende de práticas adequadas. Para a preservação das águas é necessário implementar práticas agrícolas mais adequadas ao uso de agrotóxicos. O segundo desafio é tornar estas práticas obrigatórias e garantir a difusão destas informações para a sua efetiva realização.

### **3.3 Metais Pesados**

Sabemos que uma das principais causas de poluição dos recursos hídricos é a atividade humana. No caso dos metais pesados tal fato é ainda mais evidente, pois a contaminação dos ecossistemas aquáticos naturais é proveniente de atividades como a mineração, industriais e despejo de efluentes domésticos.

As principais fontes de contaminação das águas de rios são as indústrias de tintas, de cloro, de plástico PVC e as metalúrgicas, que utilizam em seus processos metais pesados como o mercúrio, entre outros. Esses metais, muitas vezes, são descartados nos cursos de água após sua utilização nas linhas de produção. Porém não só as indústrias produzem este tipo de poluição, os incineradores urbanos de lixo produzem fumaça rica em metais como mercúrio, cádmio e chumbo, lançando metal pesado a longas distâncias.

Para os humanos, os metais são úteis apenas em pequenas quantidades, como o ferro, zinco, magnésio, cobalto. Enquanto o ferro constitui a hemoglobina, alguns destes metais são cofatores enzimáticos importantes. Entretanto, se essas quantidades forem ultrapassadas, os mesmos metais podem se tornar tóxicos.

A resolução 357/05 do CONAMA apresenta os limites máximos para as

diferentes classes de rio e para os diferentes tipos de metais pesados. Um dos riscos que as concentrações acima dos limites máximos permitidos trazem é a bioacumulação nos organismos, isto ocorre independentemente do seu nível trófico. A exposição de um ser vivo aquático a uma água contaminada por metais pesados pode provocar absorção pelo organismo, entrando assim em seus tecidos, e posteriormente, ao servir de alimento a seres de um nível trófico superior, contaminará esse outro organismo, fazendo com que o contaminante suba na cadeia alimentar.

### **3.4 Óleos e Graxas**

Os óleos e graxas são substâncias orgânicas de origem mineral, vegetal ou animal. São geralmente hidrocarbonetos, gorduras, ésteres, entre outros. Raramente encontramos estes compostos em águas naturais, sendo normalmente provenientes de despejos e resíduos industriais, esgotos domésticos, efluentes de oficinas mecânicas, postos de gasolina, estradas e vias públicas.

Os despejos industriais são os que mais contribuem para o aumento de matérias graxas nos corpos d'água. Dentre estes, pode-se citar os de refinarias, frigoríficos, saboarias, etc. A baixa solubilidade dos óleos e graxas constitui um fator negativo no que se refere à sua degradação em unidades de tratamento de despejos por processos biológicos e, quando presentes em mananciais utilizados para abastecimento público, causam problemas em seu tratamento. Além disso, diminuem a área de contato entre a superfície da água e o ar atmosférico, impedindo, dessa maneira, a transferência do oxigênio da atmosfera para a água. Os óleos e graxas, em seu processo de decomposição, elevam a DBO e a DQO, causando alteração no ecossistema aquático.

## **RESUMO UNIDADE 3**

Nesta unidade aprendemos a identificar as diversas variáveis limnológicas que servem como parâmetros de avaliação da qualidade da água e que algumas dessas

variáveis são utilizadas em conjunto e são de grande valia para a determinação do estado trófico dos corpos hídricos.

Aprendemos que a água contém diversos componentes, os quais são originados no ambiente natural (autóctones) ou foram introduzidos a partir do ambiente de entorno ou atividades antrópicas (alóctones), que interferem na qualidade da água.

Durante o estudo desta unidade nos tornamos capazes de identificar e caracterizar um corpo hídrico de acordo com os diversos parâmetros, os quais representam as suas características físicas, químicas e biológicas. Estudamos que estes parâmetros são utilizados como indicadores da qualidade da água e que quando estão acima dos limites estabelecidos para determinado tipo de uso da água, são considerados como “impurezas”, ou seja, indicam poluição do ambiente.

## REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, A. A.; JÚLIO JR., H. F.; BORGHETTI, J. R. **Considerações sobre os impactos dos represamentos na ictiofauna e medidas para sua atenuação**. Um estudo de caso: Reservatório de Itaipu. Rev. Unimar. v.14 (supl.) p. 89-107. 1992.

ALMEIDA, S. D. B.; COSTA, E.; GOMES, M. A. F.; LUCHINI, L.; SPADOTO, C.; MATALLO, M. B. **Sorção de Triazinas em Solos Tropicais. I. Pré-seleção para recomendação de uso na região de Ubatuba, São Paulo, Brasil**. In: *IV Congresso Iberoamericano de Física Y Química Ambiental, 2006, Cáceres*. MEDIOAMBIENTE EN IBEROAMERICA - Visión desde la Física y la Química en los albores del siglo XXI, v. 2. p. 17-24. 2006.

BRANDIMARTE, A. L.; SHIMIZU, G. Y.; ANAYA, M.; KUHLMANN, M. L. **Amostragem de invertebrados bentônicos**. In: BICUDO, C. E. M.; BICUDO, D. C. (Ed.). *Amostragem em limnologia*. Rio de Janeiro, p.213-230. 2004.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 2º Ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 146p.

CAMPEAU, S.; MURKIN, H. R.; TITMAN, R. D. **Relative importance of algae and emergent plant litter to freshwater marsh invertebrates**. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, v. 51, p. 681-692, 1994.

CARNEIRO, T. G.; LEITE, F. **Cianobactérias e suas toxinas**. Revista Analytica, n. 32. 2008.

CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E.; EATON, A. D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20<sup>th</sup> ed. Washington DC: American Public Health Association; American Water Works Association, Water Environment Federation., 1998. 1325p.

DEVAI, G.; **Ecological background and importance of the change of chironomid fauna in shallow Lake Balaton**. Hidrobiologia v.321, p.17-28. 1990.

DUDLEY, T. L.; COOPER, S. D. **Effects of macroalgae on a stream invertebrate community**. Journal of the North American Benthological Society, v. 5, p. 93-106, 1986.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: FINEP/Interciência. 1988. 575 p.

FUNASA. **Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde: Fundação Nacional de Saúde. 2003.

LAMBERTI, G. A. **The role of periphyton in benthic food webs**. In: STEVENSON, R. J.; BOTHWELL, M. L.; LOWE, R. L. (Ed.). **Algal ecology; freshwater benthic ecosystems**. San Diego: Academic Press. p. 533-564. 1996.

LOCK, M. A.; WALLACE, R. R.; COSTERTON, J. W.; VENTULLO, R. M.; CHARLTON, E. **River epilithon: toward a structural-functional model**. Oikos, v. 42, p. 10-22, 1984.

MARQUES, M. G. S. M., FERREIRA, R. L E BARBOSA, F. A. R. **A comunidade de Meio Ambiente**. Documentos n. 36, Embrapa, 2004, 68 p.

METCALFE, J. L. **Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: history and present status in Europe**. Environmental Pollution, v. 60, p. 101-39, 1989.

PASCHOAL, A. D. Pragas. **Praguicidas e a Crise Ambiental: Problemas e soluções**. FGV, Rio de Janeiro, 1979. 102 p.

PEREIRA FILHO, W. **Influência dos diferentes tipos de uso da terra em bacias hidrográficas sobre sistemas aquáticos da margem esquerda do Reservatório de Tucuruí – Pará**. São Paulo, 2000. 130 p. Tese (Doutorado em Geografia) – USP. 2000.

PÉREZ, G. R. **Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos Del**

**Departamento de Antioquia.** Universidad de Antioquia, 1996. 217p.

ROMAN, E. E.; BECKIE, H.; VARGAS, L.; HALL, L.; RIZZARDI, M.A.; WOLF, T. M. **Como funcionam os herbicidas da biologia à aplicação.** Passo. Fundo: Gráfica Editora Berthier, 2007. 160 p.

SILVEIRA, M. P.; QUEIROZ, J. F. DE; BOEIRA, R. C. **Protocolo de coleta e preparação de amostras de macroinvertebrados bentônicos em riachos. Comunicado técnico n. 19,** Embrapa, 2004, 7 p.

SOURNIA, A. **Cycle annuel du phytoplankton e de la production primaire dans les mers tropicales.** Marine Biology. v. 3, n.4, p.287-303. 1969.

STEVENSON, R. J. **Scale-dependent causal frameworks and the consequences of benthic algal heterogeneity.** Journal of the North American Benthological Society, v. 16, p. 248-262, 1997.

SWEENEY, B. W.; JACKSON, J. K.; NEWBOLD, J. D.; FUNK, D. H. **Climate change and the life histories and biogeography of aquatic insects in eastern North America.** In: FIRTH H. P.; FISHER R. S. G. *Global climate change and freshwater ecosystems.* New York: Springer-Verlag, p. 143-176. 1992.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia.** Editora Oficina de Textos. São Paulo, SP. 2008. 631 p

UETA, J.; SHUNAMA, I. K.; CERDEIRA, A. L. **Biodegradação de herbicidas e biorremediação: microrganismos degradadores de atrazina provenientes de solos da Região do Aquífero Guarani.** Revista Plantio Direto. v. 24, p. 25-30. 2001.

WATANABE, T. **Perifíton. comparação de metodologias para caracterizar o nível de poluição das águas.** Acta Limnologica Brasiliensis, v. 3, p. 593-615, 1990.

WETZEL, R. G. **Benthic algae and nutrient cycling in lentic freshwater ecosystems.**In: STEVENSON, R. J.; BOTHWELL, M. L.; LOWE, R. L. (Ed.). *Algal ecology; freshwater benthic ecosystems.* San Diego: Academic Press, p.641-667. 1996.