

Considerações Gerais à Classificação e Monitoração de Qualidade da Água

Luiz Carlos Hermes
Elisabeth Francisconi Fay
Célia Maria Maganhotto de Souza Silva
Ênio Farias de França e Silva

1.1. Classificação de água

O ciclo hidrológico é o processo de transporte de massa que ocorre na atmosfera, na terra e nos oceanos (Reichardt, 1985), havendo alterações na qualidade da água durante este ciclo, em razão das inter-relações dos componentes do ambiente. Os recursos hídricos são influenciados pelo uso para o suprimento das demandas dos núcleos urbanos, das indústrias e da agricultura e pelas alterações dos solos urbano e rural. A classificação da água é limitada pelo tipo de uso, que pressiona a disponibilidade pela quantidade existente e pela qualidade apresentada. A Tabela 1.1 apresenta a classificação sistemática dos usos da água, explicitando algumas características (Barth, 1978).

As quantidades e a natureza dos constituintes presentes na água variam, principalmente, em função da natureza do solo de onde são originários, das condições climáticas e do grau de poluição. Uma análise completa da água natural indicaria a presença de mais de 50 constituintes, que poderiam estar dissolvidos ou em suspensão. Esses, em geral, são sais dissolvidos ionizados, gases, compostos orgânicos, matéria em suspensão, incluindo microrganismos e matéria coloidal, entre outros (Setti, 1996).

O Governo Brasileiro, através do Conselho Nacional de Meio Ambiente — CONAMA, fixou pela Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986, nove classes para as águas superficiais brasileiras, sendo cinco para águas doces, duas para as águas salinas e duas para as águas salobras (Brasil, 1986). Na Resolução, as águas salobras são diferenciadas das águas salinas em função do teor de sais dissolvidos, expresso em partes por milhão (ppm), isto é, miligramas por litro (mg L^{-1}), ou em partes por mil (‰), isto é, grama por litro (g L^{-1}). Foram consideradas para fins de classificação, águas salobras como aquelas com salinidade $\geq 0,5$ partes por mil (‰) e $< 30\%$. E águas salinas como aquelas com salinidade ≥ 30 partes por mil (‰). De acordo com Ayers & Westcot (1985), a salinidade traduz o teor de sais dissolvidos ou em suspensão, dentre os quais podem-se destacar os cloretos de sódio, magnésio e cálcio, os sulfatos de magnésio, potássio e cálcio e os carbonatos e nitratos de cálcio e magnésio.

Tabela 1.1. Usos da água

Forma	Finalidade	Tipo de uso	Uso consuntivo	Requisito de Qualidade	Efeitos nas águas
Com derivação de águas	Abastecimento urbano	Abastecimentos: doméstico, industrial, comercial e público	Baixo, de 10% sem contar as perdas nas redes	Altos ou médios, influenciando no custo do tratamento	Poluição orgânica e bacteriológica
	Abastecimento industrial	Sanitário, de processo, incorporação ao produto, refrigeração e geração de vapor	Médio, de 20% variando com o tipo de uso e de indústria	Médios, variando com o tipo de uso	Poluição orgânica, substâncias tóxicas e elevação de temperatura
	Irrigação	Irrigação artificial de culturas agrícolas segundo diversos métodos	Alto, de 90%	Médios dependendo do tipo de cultura	Carreamento de agrotóxicos e fertilizantes
	Abastecimento	Doméstico, dessedentação de animais	Baixo de 10%	Médios	Alterações na qualidade com efeitos difusos
	Aqüicultura	Estações de piscicultura e outras	Baixo, de 10%	Altos	Carreamento de matéria orgânica
Sem derivação de águas	Geração hidrelétrica	Acionamento de turbinas hidráulicas	Perdas por evaporação do reservatório	Baixos	Alterações no regime e na qualidade das águas
	Navegação fluvial	Manutenção de calados mínimos e eclusagem	Não há	Baixos	Lançamento de óleo e combustíveis
	Recreação, lazer e harmonia paisagística	Natação e outros esportes com contato direto, iatismo, motonáutica	Lazer contemplativo	Não há	Altos, especialmente recreações de contato primário
	Pesca	Com fins comerciais de espécies naturais ou introduzidas através de estações de piscicultura	Não há	Altos, nos corpos de água, correntes, lagos ou reservatórios artificiais	Alterações na qualidade após mortandade de peixes
	Assimilação de esgotos	Diluição, autodepuração e transporte de esgotos urbanos e industriais	Não há	Não há	Poluições: orgânica, física, química e bacteriológica
	Usos de preservação	Vazões para assegurar o equilíbrio ecológico	Não há	Não há	Melhoria da qualidade da água

Fonte: Barth, 1978.

A seguir, lista-se a qualificação das águas doces, salobras e salinas com base nos usos preponderantes (sistema de classes de qualidade) do território nacional (Brasil, 1986):

ÁGUAS DOCES

I - Classe Especial - águas destinadas:

- a) ao abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção.
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

II - Classe 1 - águas destinadas:

- a) ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho);
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película.
- e) à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

III - Classe 2 - águas destinadas:

- a) ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho) ;
- d) à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas;
- e) à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

IV - Classe 3 - águas destinadas:

- a) ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional;
- b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) à dessedentação de animais.

V - Classe 4 - águas destinadas:

- a) à navegação;
 - b) à harmonia paisagística;
 - c) aos usos menos exigentes.
-

ÁGUAS SALINAS

VI - Classe 5 - águas destinadas:

- a) à recreação de contato primário;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

VII - Classe 6 - águas destinadas:

- a) à navegação comercial;
 - b) à harmonia paisagística;
 - c) à recreação de contato secundário.
-

ÁGUAS SALOBRAS

VIII - Classe 7 - águas destinadas:

- a) à recreação de contato primário;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

IX - Classe 8 - águas destinadas:

- a) à navegação comercial;
 - b) à harmonia paisagística;
 - c) à recreação de contato secundário
-

Os corpos de água podem ser totalmente caracterizados por três grandes componentes: hidrológico, físico-químico e biológico. Uma avaliação completa da qualidade da água é baseada na monitoração apropriada destes componentes.

1.2. Disponibilidade e poluição dos recursos hídricos

Os múltiplos usos da água são indispensáveis a um amplo espectro das atividades humanas, onde se destacam o abastecimento público e industrial, a irrigação agrícola, a produção de energia elétrica e as atividades de lazer e recreação, bem como a preservação da vida aquática. A crescente expansão demográfica e industrial observada nas últimas décadas tem como conseqüência o comprometimento da qualidade das águas dos rios, lagos e reservatórios. A falta de recursos financeiros nos países em desenvolvimento tem agravado este problema pela impossibilidade da aplicação de medidas corretivas para reverter esta situação.

A disponibilidade de água doce (2,5%) é limitada na natureza; 2,49% são encontrados em geleiras ou regiões subterrâneas (aqüíferos) de difícil acesso e 0,007% são encontrados em rios, lagos e na atmosfera, de fácil acesso para consumo humano. Conseqüentemente, devem ser consideradas as prioridades preservação, o controle e a utilização racional das águas doces superficiais. Além disso, é alto o custo de obtenção de água doce a partir de formas não convencionais, como é o caso da água do mar (97,50%) e das águas salobras.

O suprimento de água potável em algumas regiões do Brasil depende de fontes subterrâneas. As águas subterrâneas brasileiras estão estimadas em um volume de 112 mil km³. O aqüífero Guarani é a maior reserva de água subterrânea brasileira com uma área de 1,2 milhões de km² e um volume de 48 mil km³. Com 70% dentro do território brasileiro e o restante na Argentina, Paraguai e Uruguai, o aqüífero pode oferecer, em regime auto-sustentável, 43 bilhões de m³ anuais, o suficiente para uma população de 500 milhões de habitantes. O problema é que 16% da área de recarga desse aqüífero está localizada no Estado de São Paulo, em áreas críticas quanto aos riscos de poluição.

A disponibilidade da água tornou-se limitada pelo comprometimento de sua qualidade. A situação é alarmante: 63% dos depósitos de lixo no país estão próximos a rios, lagos e restingas. Na região metropolitana de São Paulo, metade da água disponível está afetada pelos lixões que não têm qualquer tratamento sanitário. No Rio de Janeiro, diminuiu-se a oferta de água para fins de uso doméstico e industrial devido à poluição crescente por esgoto urbano. A Região Norte, que tem a maior reserva de água doce do Brasil, é a que mais contamina os recursos hídricos despejando agrotóxicos, mercúrio dos garimpos e lixo bruto nos rios. A Região Nordeste tem o potencial médio de água doce nos rios (186,2 km³ ano⁻¹) representando apenas 3% do total nacional, e é, relativamente, o mais baixo no Brasil. Por sua vez, essa Região é populosa, resultando numa disponibilidade social de água doce nos rios de 4.384 m³ hab⁻¹ ano⁻¹. Entretanto, têm-se aproximadamente 20.000 km³ de água doce subterrânea nos aqüíferos que ocorrem sob cerca de 50% da sua área. Vale salientar, todavia, que este valor é quase o dobro dos encontrados na maioria dos países mais desenvolvidos da União Européia, e de aproximadamente 12 vezes o que dispõe um israelense - 370 m³ hab⁻¹ ano⁻¹ (Rebouças, 1994 e 1996). Entretanto, a distribuição

espaço-temporal destes recursos não é uniforme, principalmente na região semi-árida (Polígono das Secas), onde as precipitações pluviométricas são inferiores a 800 mm ano⁻¹.

As fontes de poluição da água incluem efluentes municipais e industriais, sistema de fossas residenciais, reservatórios ativos e abandonados de óleos e gases, minas de carvão e mineral ativas e inativas, tanques subterrâneos para armazenamento de gasolina, tanto ativos quanto inativos, além de uma vasta quantidade de agrotóxicos, fertilizantes e óleos para motores, descartados erroneamente. Segundo Csuros & Csuros (1999), a qualidade da água superficial e subterrânea, tanto dos mares quanto de rios e lagoas, é progressivamente prejudicada por esses poluentes, os quais podem ser assimilados por organismos aquáticos da cadeia alimentar que se ajustam às mudanças na qualidade da água. A Tabela 1.2 resume os efeitos da poluição da água.

Tabela 1.2. Efeitos da poluição da água

Poluente	Efeitos	Observações
Resíduos orgânicos.	Aumento da DBO na água.	Se o oxigênio está disponível, estas substâncias podem ser degradadas por microrganismos. Se o oxigênio diminui, a decomposição é limitada aos decompositores anaeróbios.
Organismos patogênicos.	Causam enfermidades.	A maioria dos agentes bacterianos é bem controlada na água para consumo humano, mas os vírus, principalmente, os causadores de hepatite, não têm controle.
Compostos inorgânicos e minerais.	Aumentam a salinidade e acidez da água, tornando-a tóxica.	Algumas moléculas podem ser removidas durante o tratamento dos efluentes.
Compostos orgânicos sintéticos (agrotóxicos, detergentes, plásticos e outros resíduos).	Causam defeitos no recém-nascido, câncer, provocam dano ao sistema nervoso, e outras enfermidades.	Estas substâncias são raramente biodegradáveis, podendo ser removidas por meios físicos e químicos. Ocorre biomagnificação de seus efeitos via cadeia alimentar.
Nutrientes de plantas.	Crescimento excessivo de plantas aquáticas, odor indesejável e gosto na água para consumo humano.	A remoção do excesso de fosfatos e nitratos da água, durante o tratamento, é caro e difícil.
Sedimentos provenientes da erosão do solo.	Assentamento de curso de água e destruição de equipamentos hidroelétricos próximos a barragens; reduzem a luz que chega às plantas e o oxigênio na água.	Os efeitos podem sofrer biomagnificação via cadeia alimentar.
Resíduos radioativos.	Câncer e defeitos ao nascer.	
Aquecimento da água.	Reduz a solubilidade do oxigênio em água, altera o habitat e espécies de organismos.	

Fonte: Csuros & Csuros (1999).

Segundo dados do IBGE de 1999, 70,9% dos brasileiros possuem residência. Desse total, apenas 75% dispõem de água potável e 59% de rede de esgoto; 94% dos esgotos não são tratados e 80% das doenças são causadas ou disseminadas pela falta de saneamento. A água de

má qualidade pode ser fatal. A cada ano as doenças provocadas por ela causam 3 milhões de mortes no mundo, na maioria crianças, atingindo mais de 1 bilhão de enfermos (Água...2004).

No Brasil, além dos problemas de poluição dos reservatórios naturais e dos processos desordenados de urbanização e industrialização, há também o desperdício em função das más condições das tubulações e o desperdício doméstico. A boa gestão da água deve ser objeto de um plano que contemple os múltiplos usos desse recurso, desenvolvendo e aperfeiçoando as técnicas de utilização, tratamento e recuperação dos mananciais.

1.3. Monitoração da água e indicadores

A razão principal para avaliação de um ambiente aquático é a necessidade de verificar a qualidade da água e se esta é adequada para o uso pretendido. A monitoração verifica a tendência da qualidade do ambiente aquático e como este é afetado pelas atividades antrópicas.

Para fazer a monitoração, são aplicados atualmente vários métodos físicos, químicos e o uso de bioindicadores - espécies de insetos aquáticos, moluscos, crustáceos, plâncton e até algumas de peixes que costumam viver em determinados locais, com hábitos específicos e que reagem a qualquer tipo de mudança no seu habitat. Essas reações podem ser físicas, morfológicas ou até mesmo comportamentais (Poluição...2004).

Os dois primeiros métodos indicam a qualidade da água em determinado ponto, e refletem a sua qualidade no momento em que a amostra é coletada. Geralmente, há a utilização de equipamentos caros e sofisticados. Já o uso de bioindicadores para a avaliação de alguns parâmetros específicos apresenta custos mais baixos.

O monitoramento dos indicadores de qualidade das águas permite definir suas características no período de análises e fornecer as bases para detectar as tendências e informações capazes de estabelecer as relações causa-efeito. Devido à complexidade de fatores que determinam a qualidade da água e a escolha de variáveis usadas para descrever o estado do corpo de água em termos quantitativos, é difícil simplesmente definir qualidade da água. Além disso, o conceito de qualidade está relacionado à expansão das características para os diferentes usos da água e da capacidade de determinação das variáveis e de interpretá-las de forma isolada e conjunta.

A qualidade física e química das águas pristinas deve ser como a dos tempos pré-históricos, isto é, sem sinais de impactos antropogênicos. As concentrações naturais podem variar em uma ou mais ordens de magnitude entre as diferentes bacias de drenagem. Na prática, estas águas são difíceis de se encontrar devido ao resultado dos diferentes processos de transporte dos contaminantes e sua subsequente deposição em locais bem distantes de sua origem. Antes das águas pristinas alcançarem a condição de poluídas, ocorrem duas fases na degradação em sua qualidade. A primeira fase mostra uma alteração com evidência do impacto humano, mas sem nenhum perigo para a biota ou restrição ao uso da água. Estas modificações somente podem ser detectadas por monitoração das características químicas ao longo do tempo. Como exemplo, pode ser citada a concentração de Cl^- no lago Geneva que aumentou de 2 mg L^{-1} , em 1960, para 6 mg L^{-1} em 1992 (Chapman, 1992). A segunda fase consiste em alguma degradação e possível

restrição para uso específico, porque foram ultrapassados os valores recomendados (local, regional ou global) em função do uso, para a qualidade desta água. Uma vez que a concentração máxima aceitável para uma variável selecionada em relação à água foi excedida, ou que o ambiente aquático e a biota sofreram grande modificação, esta água é normalmente definida como poluída.

A descrição da qualidade do ambiente aquático pode ser feita de diversas maneiras. Pode ser descrita mediante medidas quantitativas, como determinações físico-químicas (na água, material particulado ou tecido biológico) e testes biológicos/bioquímicos (medida da demanda biológica de oxigênio (DBO), testes de toxicidade, entre outros), ou por meio de descrições semiquantitativas e qualitativas, como índice biótico, aspecto visual, inventário de espécies, odor, entre outros. Os bioindicadores usados com maior frequência são os chamados "macroinvertebrados bentônicos", ou seja, são aqueles que habitam o fundo dos sistemas aquáticos e podem ser facilmente visualizados, tais como: os besouros aquáticos, libélulas e as moscas de pedra. A libélula, por exemplo, vive em locais de água lenta, junto à vegetação aquática; e os besouros habitam locais onde tem água corrente e limpa, com altas concentrações de oxigênio. Outros organismos indicam que determinada água é de má qualidade, a exemplo das moscas e mosquitos que gostam de locais com alta concentração de matéria orgânica e das minhocas da água que vivem no fundo, em águas correntes ou paradas.

Estas determinações podem ser feitas no campo e em laboratório, produzindo diversos tipos de dados que podem ser utilizados em diferentes técnicas de avaliação.

1.4. Padrões

Os padrões de qualidade das águas são as características de ordem física, química e biológica, desejáveis nas águas, em função dos usos preponderantes estabelecidos por normas definidas pela sociedade. Usos preponderantes são os usos benéficos determinados para um certo corpo de água. Os usos benéficos são os que promovem benefícios econômicos e/ou o bem estar e a boa saúde da população.

Por exemplo, a água potável ou água para consumo humano é definida como a água distribuída ao consumidor que pode ser usada com segurança para beber, cozinhar e lavar. O controle de saúde pública ajuda a garantir um suprimento contínuo de água, mantendo-a dentro dos limites de segurança de acordo com os padrões atualizados para água de consumo humano. Em outras palavras, a água potável precisa satisfazer parâmetros físicos, químicos, biológicos e radioativos quando fornecida por fontes apropriadas, sendo distribuída ao consumidor por meio de um sistema de distribuição protegido, em quantidade e pressão suficientes.

Cada classe de água, portanto, é definida e qualificada por padrões de qualidade. Como o presente documento refere-se às águas doces, o interesse recai nas águas que, segundo a Resolução nº 20 do CONAMA podem ser enquadradas nas classes especial e de 1 a 4. Para as águas de classe 1, são estabelecidos os limites e/ou condições seguintes:

- a) materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;
- b) óleos e graxas: virtualmente ausentes;
- c) substâncias que comuniquem gosto ou odor: virtualmente ausentes;
- d) corantes artificiais: virtualmente ausentes;
- e) substâncias que formem depósitos objetáveis: virtualmente ausentes;

- f) coliformes: para o uso de recreação de contato primário deverá ser obedecido o Art. 26 desta Resolução. As águas utilizadas para a irrigação de hortaliças ou plantas frutíferas que se desenvolvam rentes ao solo e que são consumidas cruas, sem remoção de casca ou película, não devem ser poluídas por excrementos humanos, ressaltando-se a necessidade de inspeções sanitárias periódicas. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 200 coliformes fecais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos cinco amostras mensais colhidas em qualquer mês. No caso de não haver na região meios disponíveis para o exame de coliformes fecais, o índice limite será de 1.000 coliformes totais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos cinco amostras mensais colhidas em qualquer mês;
- g) DBO₅ a 20°C até 3 mg L⁻¹ O₂;
- h) OD, em qualquer amostra, não inferior a 6 mg L⁻¹ O₂;
- i) turbidez até 40 unidades nefelométrica de turbidez (UNT);
- j) cor: nível de cor natural do corpo de água em mg Pt L⁻¹;
- l) pH: 6,0 a 9,0;
- m) substâncias potencialmente prejudiciais (teores máximos: (Tabela 1.3)):

Tabela 1.3. Limites estabelecidos para os padrões relativos às águas de Classe 1

Padrão	Limite	Padrão	Limite
Alumínio:	0,1 mg Al L ⁻¹	Sólidos dissolvidos totais:	500 mg L ⁻¹
Amônia não ionizável:	0,02 mg L ⁻¹ NH ₃ .	Substâncias tenso-ativas que reagem com o azul de metileno :	0,5 mg L ⁻¹ LAS 250 mg L ⁻¹ SO ₄
Arsênio:	0,05 mg L ⁻¹ As	Sulfatos:	0,002 mg L ⁻¹ S
Bário:	1,0 mg L ⁻¹ Ba.	Sulfetos (como H ₂ S não dissociado):	0,01mg L ⁻¹ SO ₄ 0,03 mg L ⁻¹
Berílio	0,1 mg L ⁻¹ Be	Tetracloroetano:	0,01 mg L ⁻¹
Boro:	0,75 mg L ⁻¹ B	Tricloroetano:	0,02 mg L ⁻¹
Benzeno :	0,01 mg L ⁻¹	Tetracloroeto de carbono:	0,1 mg L ⁻¹
Benzo-a-pireno:	0,00001 mg L ⁻¹	2, 4, 6 triclorofenol:	0,18 mg L ⁻¹
Cádmio:	0,001 mg L ⁻¹ Cd	Urânio total:	0,01 mg L ⁻¹ U
Cianetos:	0,01 mg L ⁻¹ CN	Vanádio:	0,04 mg L ⁻¹ Va
Chumbo:	0,03 mg/1 Pb	Zinco:	0,002 mg L ⁻¹ Zn
Cloretos:	250 mg L ⁻¹ Cl	Aldrin:	0,005 ug L ⁻¹
Cloro Residual:	0,01 mg L ⁻¹ Cl	Clordano:	0,004 ug L ⁻¹
Cobalto:	0,2 mg L ⁻¹ Co	DDT;	0,056 ug L ⁻¹
Cobre:	0,02 mg L ⁻¹ Cu	Dieldrin:	0,01 ug L ⁻¹
Cromo Trivalente:	0,5 mg L ⁻¹ Cr	Endrin:	0,01 ug L ⁻¹
Cromo Hexavalente:	0,05 mg L ⁻¹ Cr	Endossulfan:	0,02 ug L ⁻¹
1,1 dicloroetano :	0,0003 mg L ⁻¹	Epóxido de heptacloro:	0,03 ug L ⁻¹
1,2 dicloroetano:	0,01 mg L ⁻¹	Heptacloro:	0,001 ug L ⁻¹
Estanho:	2,0 mg L ⁻¹ Sn	Lindane (gama-BHC)	0,001 ug L ⁻¹
Índice de Fenóis:	0,001 mg L ⁻¹ C ₆ H ₅ OH	Metoxicloro:	0,01 ug L ⁻¹
Ferro solúvel:	0,3 mg L ⁻¹ Fe	Dodecacloro + Nonacloro:	0,1 ug L ⁻¹
Fluoretos:	1,4 mg L ⁻¹ F	Bifenilas Policloradas (PCB'S):	0,005 ug L ⁻¹ (0,1 ug L ⁻¹)
Fosfato total:	0,025 mg L ⁻¹ P	Toxafeno:	0,04 ug L ⁻¹
Lítio:	2,5 mg L ⁻¹ Li	Demeton:	0,02 ug L ⁻¹
Manganês:	0,1 mg L ⁻¹ Mn	Gution:	10,0 ug L ⁻¹ em Paration
Mercúrio:	0,0002 mg L ⁻¹ Hg	Malation:	4,0 ug L ⁻¹
Níquel:	0,025 mg L ⁻¹ Ni	Paration:	10,0 ug L ⁻¹
Nitrato:	10 mg L ⁻¹ N	Carbaril:	2,0 ug L ⁻¹
Nitrito:	1,0 mg L ⁻¹ N	Compostos organofosforados e carbamatos totais:	
Prata:	0,01mg L ⁻¹ Ag	2,4 - D:	
Pentaclorofenol:	0,01 mg L ⁻¹	2,4,5 - TP:	
Selênio:	0,01mg L ⁻¹ Se	2,4,5 - T:	

Para as águas de Classe 2, são estabelecidos os mesmos limites ou condições da Classe 1, à exceção dos seguintes:

- a) não será permitida a presença de corantes artificiais que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;
- b) coliformes: para uso de recreação de contato primário deverá ser obedecido o Art. 26 da Resolução nº 20 do CONAMA. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes fecais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos cinco amostras mensais colhidas em qualquer mês; no caso de não haver, na região, meios disponíveis para o exame de coliformes fecais, o índice limite será de até 5.000 coliformes totais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos cinco amostras mensais colhidas em qualquer mês;
- c) cor: até 75 mg Pt L⁻¹
- d) turbidez: até 100 UNT;
- e) DBO₅ a 20°C até 5 mg L⁻¹ O₂;
- f) OD, em qualquer amostra, não inferior a 5 mg L⁻¹ O₂.

Para as águas de Classe 3 são estabelecidos os limites ou condições seguintes:

- a) materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;
- b) óleos e graxas: virtualmente ausentes;
- c) substâncias que comuniquem gosto ou odor: virtualmente ausentes;
- d) não será permitida a presença de corantes artificiais que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;
- e) substâncias que formem depósitos objetáveis: virtualmente ausentes;
- f) número de coliformes fecais até 4.000 por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos cinco amostras mensais colhidas em qualquer mês; no caso de não haver, na região, meios disponíveis para o exame de coliformes fecais, o índice limite será de até 20.000 coliformes totais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos cinco amostras mensais colhidas em qualquer mês;
- g) DBO₅ a 20°C até 10 mg L⁻¹ O₂;
- h) OD, em qualquer amostra, não inferior a 4 mg L⁻¹ O₂;
- i) turbidez: até 100 UNT;
- j) cor: até 75 mg Pt L⁻¹;
- l) pH: 6,0 a 9,0;
- m) substâncias potencialmente prejudiciais (teores máximos (Tabela 1.4)):

Tabela 1.4. Limites estabelecidos para os padrões relativos às águas de Classe 3

Padrão	Limite	Padrão	Limite
Alumínio:	0,1 mg L ⁻¹ Al	Sólidos dissolvidos totais:	500 mg L ⁻¹
		Substâncias tenso-ativas que reagem com o azul de metileno :	0,5 mg L ⁻¹ LAS 250 mg L ⁻¹ SO ₄ 0,3 mg L ⁻¹ S
Arsênio:	0,05 mg L ⁻¹ As	Sulfatos:	0,01 mg L ⁻¹
Bário:	1,0 mg L ⁻¹ Ba	Sulfatos (como H ₂ S não dissociado):	0,03 mg L ⁻¹ (0,003 mg L ⁻¹)
Berilo	0,1 mg L ⁻¹ Be	Tetracloroetano:	0,01 mg L ⁻¹
Boro:	0,75 mg L ⁻¹ B	Tricloroetano:	0,02 mg L ⁻¹
Benzeno :	0,01 mg L ⁻¹	Tetracloro de carbono:	0,1 mg L ⁻¹
Benzo-a-pireno:	0,00001 mg L ⁻¹	2, 4, 6 triclorofenol:	5,0 mg L ⁻¹
Cádmio:	0,01 mg L ⁻¹ Cd	Urânio total:	0,03 ug L ⁻¹ U
Cianetos:	0,2 mg L ⁻¹ CN	Vanádio:	0,3 ug L ⁻¹ Va
Chumbo:	0,05 mg L ⁻¹ Pb	Zinco:	1,0 ug L ⁻¹ Zn
Cloretos:	250 mg L ⁻¹ Cl	Aldrin:	0,03 ug L ⁻¹
Cobalto:	0,2 mg L ⁻¹ Co	Clordane:	0,2 ug L ⁻¹
Cobre:	0,5 mg L ⁻¹ Cu	DDT;	150 ug L ⁻¹
Cromo Trivalente:	0,5 mg L ⁻¹ Cr	Dieldrin:	
Cromo Hexavalente:	0,05 mg L ⁻¹ Cr	Endrin:	
1,1 dicloroetano :	0,0003 mg L ⁻¹	Endossulfan:	
1,2 dicloroetano:	0,01 mg L ⁻¹	Epóxido de Heptacloro:	0,1 ug L ⁻¹
Estanho:	2,0 mg L ⁻¹ Sn	Heptacloro:	0,1 ug L ⁻¹
Índice de Fenóis:	0,3 mg L ⁻¹ C ₆ H ₅ OH	Lindane (gama-BHC)	3,0 ug L ⁻¹
Ferro solúvel:	5,0 mg L ⁻¹ Fe	Metoxicloro:	30,0 ug L ⁻¹
Fluoretos:	1,4 mg L ⁻¹ F	Dodecacloro + Nonacloro:	0,001 ug L ⁻¹
Fosfato total:	0,025 mg L ⁻¹ P	Bifenilas Policloradas (PCB'S):	0,001 ug L ⁻¹ (5,0 ug L ⁻¹)
Lítio:	2,5 mg L ⁻¹ Li	Toxafeno:	14,0 ug L ⁻¹
Manganês:	0,5 mg L ⁻¹ Mn	Demeton:	0,005 ug L ⁻¹
Mercúrio:	0,002 mg L ⁻¹ Hg	Gution:	100 ug L ⁻¹
Níquel:	0,025 mg L ⁻¹ Ni	Malation:	35 ug L ⁻¹
Nitrato:	10 mg L ⁻¹ N	Paration:	70 ug L ⁻¹
Nitrito:	1,0 mg L ⁻¹ N	Carbaril:	100 ug L ⁻¹
Nitrogênio amoniacal	1,0 mg L ⁻¹ N	Compostos organofosforados e carbamatos totais em paration:	20 ug L ⁻¹ 10 ug L ⁻¹ 2,0 ug L ⁻¹
Prata:	0,05 mg L ⁻¹ Ag	2,4 - D:	
Pentaclorofenol:	0,01 mg L ⁻¹	2,4,5 - TP:	
Selênio:	0,01mg L ⁻¹ Se	2,4,5 - T:	

Para as águas de Classe 4, são estabelecidos os limites ou seguintes condições:

- materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;
- odor e aspecto: não objetáveis;
- óleos e graxas: toleram-se iridicências;
- substâncias facilmente sedimentáveis que contribuam para o assoreamento de canais de navegação: virtualmente ausentes;

- e) índice de fenóis até 1,0 mg L⁻¹ C₆H₅OH;
- f) OD superior a 2,0 mg L⁻¹ O₂, em qualquer amostra;
- g) pH: 6 a 9.

1.5. Índice

1.5.1. Índice de Qualidade das Águas (IQA)

Índices de qualidade para águas têm sido amplamente usados como ferramentas para tomadas de decisão em planejamento, mas, de modo geral, qualificam as águas de abastecimento público. O IQA - Índice de Qualidade das Águas, adaptado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), simplifica o processo de divulgação dos dados de qualidade das águas, pois incorpora nove parâmetros como sendo os mais relevantes na avaliação das águas destinadas ao abastecimento público.

A qualidade da água bruta é classificada de acordo com as faixas de valores do índice, da seguinte forma:

COR	QUALIDADE	VALOR
AZUL	ÓTIMA	80 ≤ IQA ≤ 100
VERDE	BOA	52 ≤ IQA ≤ 79;
AMARELO	ACEITÁVEL	37 ≤ IQA ≤ 51;
VERMELHO	RUIM	20 ≤ IQA ≤ 36
PRETO	PÉSSIMA	IQA ≤ 19

Para o aperfeiçoamento da avaliação ambiental, e em cumprimento à Resolução SMA-65, de 13/08/98, a CETESB a partir de 1998, desenvolveu dois novos índices de qualidade de água: o IAP (Índice de Qualidade de Água Bruta para fins de Abastecimento Público) e o IVA (Índice de Proteção da Vida Aquática). Como entre os usos mais importantes da água estão o abastecimento público e a preservação do equilíbrio das comunidades aquáticas, esses dois índices específicos irão compor, em conjunto com o índice de balneabilidade, o IBQA (Índice Básico de Qualidade das Águas). A aplicação desses índices na rede de monitoramento irá permitir uma abordagem mais completa e fidedigna da qualidade das águas, fornecendo um instrumento importante para o controle e o gerenciamento dos recursos hídricos.

1.6. Importância do uso de componentes ambientais de sustentabilidade

A poluição das águas pode ocorrer pela adição de substâncias ou de formas de energia que, direta ou indiretamente, alteram as características físicas e químicas do corpo de água, prejudicando a utilização da mesma para usos múltiplos. É importante ressaltar a existência de duas formas distintas pelas quais as águas poluídas atingem um determinado corpo receptor (rio, baía, lago, lagoa, laguna, reservatório, aquífero subterrâneo e o mar).

A primeira, denominada fonte ou poluição pontual, refere-se à poluição decorrente de ações modificadoras localizadas. A segunda, fonte ou poluição difusa, dá-se pela ação das águas da chuva ao lavarem e transportarem os poluentes nas suas diversas formas, para os corpos receptores. A poluição difusa alcança os rios, lagoas, baías, etc., distribuída ao longo das margens, não se concentrando em um único local como é o caso da poluição pontual.

O grau de poluição das águas é medido através de características físicas, químicas e biológicas das águas, que, por sua vez, são identificadas por parâmetros de qualidade das águas. De maneira geral, as características físicas são analisadas sob o ponto de vista de sólidos (suspensos, coloidais e dissolvidos na água) e gases. As características químicas, nos aspectos de substâncias orgânicas e inorgânicas, e as biológicas, sob o ponto de vista da vida animal, vegetal e organismos unicelulares (algas).

É importante ressaltar que os resultados descritos neste trabalho foram gerados pelo Laboratório de Gestão Ambiental da Embrapa Meio Ambiente utilizando os parâmetros de qualidade de água, descritos a seguir, para melhor compreensão da utilização dos mesmos, na elaboração do Índice de Sustentabilidade Ambiental do Uso da Água (ISA-ÁGUA).

1.6.1. Componentes físico-químicos

Os principais parâmetros físicos de qualidade das águas são: cor, sabor, odor, turbidez, temperatura, sólidos totais dissolvidos e dureza. Os químicos, pH (acidez e alcalinidade), metais (ferro e manganês), cloretos, nitrogênio (nutriente), fósforo (nutriente), oxigênio dissolvido, matéria orgânica, micropoluentes orgânicos e micropoluentes inorgânicos como os metais pesados (zinco, cromo, cádmio, etc).

Cor

A cor da água pode variar em função de diferentes fatores, sendo consequência de substâncias nela dissolvidas. As alterações observadas são decorrentes da absorção e reflexão diferenciada da radiação solar por partículas em suspensão, substâncias em solução ou mesmo das moléculas de água (A COR...2004).

Da radiação que atinge a superfície da água, parte penetra e parte é refletida, voltando para a atmosfera. A quantidade de radiação refletida depende das condições da superfície da água (plana ou ondulada) e, principalmente, do ângulo de incidência da radiação sobre esta. Ao penetrar na coluna d'água, a radiação é submetida a profundas alterações, tanto na sua intensidade quanto na sua qualidade espectral. Estas alterações dependem de vários fatores: quantidade de material dissolvido e quantidade de material em suspensão.

Quando pura e em grandes volumes, a água é azulada; quando rica em ferro, é arroxeada; em manganês, é negra; e em ácidos húmicos, é amarelada (Zimbres, 2004). A matéria orgânica dissolvida também é responsável pela cor de chá das águas de mangues. Praias próximas a desembocaduras de rios mudam a cor da água conforme o ritmo de descarga de água doce. Assim, nos dias subseqüentes a chuvas intensas, o mar se torna marrom, indicando a presença de

muita argila em suspensão, de coloração avermelhada, trazida do solo pelos rios, formando, às vezes, uma pluma. Se por um lado a coloração marrom da água pode ser consequência da argila em suspensão, a cor esverdeada pode ser devida à presença de organismos microscópicos, que possuem clorofila-a, o fitoplâncton, que junto com outros seres compõem o plâncton (A COR...2004).

A medida da cor de uma água é feita pela comparação com soluções conhecidas de platina-cobalto ou com discos de vidro corados calibrados com a solução de platina-cobalto. Uma unidade de cor corresponde àquela produzida por 1 mg L^{-1} de platina (Pt), na forma de íon cloroplatinato. Cuidado especial deve ser tomado na anotação do pH em que foi realizada a medida, pois sua intensidade aumenta com o pH. Da mesma forma, a cor é influenciada por matérias sólidas em suspensão (turbidez), que devem ser eliminadas antes da medida. Para águas relativamente límpidas, a determinação pode ser feita sem a preocupação com a turbidez. Neste caso, a cor obtida é referida como sendo aparente. Para ser potável, uma água não deve apresentar nenhuma cor de considerável intensidade. Segundo a OMS, o índice máximo permitido deve ser 20 mg Pt L^{-1} (Zimbres, 2004).

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.

Do ponto de vista óptico, a transparência da água pode ser considerada o oposto da turbidez. Sua avaliação de maneira mais simples é feita através de um disco branco de 20 a 30 cm de diâmetro, denominado disco de Secchi. A medida é obtida mergulhando-se o disco branco no lado da sombra do barco, através de uma corda marcada. A profundidade de desaparecimento do disco de Secchi corresponde àquela profundidade na qual a radiação refletida do disco não é mais sensível ao olho humano. A profundidade obtida em metros é denominada transparência de disco de Secchi.

Turbidez

É a medida da dificuldade de um feixe de luz atravessar uma certa quantidade de água. Quanto maior for a quantidade de material que está em suspensão na água, mais turva ela está. As maiores fontes causadoras da turbidez são as argilas, areias, resíduos orgânicos, material mineral, detritos e plâncton. O material particulado e demais produtos agregados chegam aos corpos de água carregados pelo escoamento superficial das áreas de entorno. A forma de uso destas áreas ou o tipo de atividade nelas exercidas definirá o nível de desequilíbrio do ambiente aquático. A turbidez é uma variável extremamente importante na monitoração de microbacias hidrográficas, atuando como indicador de programas de manejo e conservação de solos nas microbacias.

As mudanças no ambiente aquático, causadas pela turbidez, podem alterar a composição do sistema de diversas maneiras. Se por exemplo, a turbidez é devido a um grande volume de sedimento em suspensão, vai ocorrer uma diminuição na penetração dos raios solares na água alterando a atividade fotossintética de macrófitas e algas sub-superficiais. Se a população de

organismos na superfície for basicamente de algas, a luz não penetra nas camadas mais profundas; e a produção primária será limitada às camadas superiores de água, favorecendo, então, a proliferação de cianobactérias produtoras de toxinas. Se, por outro lado, a turbidez ocorrer devido à maior massa de partículas orgânicas, deve ocorrer diminuição do oxigênio dissolvido, causando, em casos extremos, a morte de peixes.

A turbidez é medida através do turbidímetro, comparando-se o espalhamento de um feixe de luz ao passar pela amostra com o espalhamento de um feixe de igual intensidade ao passar por uma suspensão padrão. Quanto maior o espalhamento, maior será a turbidez. Os valores são expressos em Unidade Nefelométrica de Turbidez (UNT). A cor da água interfere negativamente na medida da turbidez devido à sua propriedade de absorver luz. Segundo a OMS (Organização Mundial da Saúde), o limite máximo de turbidez em água potável deve ser 5 UNT. As águas subterrâneas normalmente não apresentam problemas devido ao excesso de turbidez. Em alguns casos, águas ricas em íons Fe, podem apresentar uma elevação de sua turbidez quando entram em contato com o oxigênio do ar (Zimbres, 2004).

Odor e sabor

Odor e sabor são duas sensações que se manifestam conjuntamente, o que torna difícil sua separação. O odor e o sabor de uma água dependem dos sais e gases dissolvidos (Tabela 1.5). O paladar humano tem sensibilidade distinta para os diversos sais, por exemplo, poucos miligramas por litro de alguns sais (ferro e cobre, por exemplo) são detectáveis, enquanto várias centenas de miligramas de cloreto de sódio não são percebidos.

Em geral, as águas subterrâneas são desprovidas de odor. Algumas fontes termais podem exalar cheiro de ovo podre devido ao seu conteúdo de H₂S (gás sulfídrico). Da mesma maneira, águas que percolam materiais orgânicos em decomposição (turfa, por exemplo) podem apresentar H₂S (Zimbres, 2004).

Tabela 1.5. Sais e gases dissolvidos na água e a respectiva sensação de sabor

Cloreto de sódio (NaCl)	Salgado
Sulfato de Sódio (Na ₂ SO ₄)	Ligeiramente salgado
Bicarbonato de Sódio (NaHCO ₃)	Ligeiramente salgado a doce
Carbonato de Sódio (Na ₂ CO ₃)	Amargo e salgado
Cloreto de Cálcio (CaCl ₂)	Fortemente amargo
Sulfato de Cálcio (CaSO ₄)	Ligeiramente amargo
Sulfato de Magnésio (MgSO ₄)	Ligeiramente amargo em saturação
Cloreto de Magnésio (MgCl ₂)	Amargo e doce
Gás Carbônico (CO ₂)	Adstringente, picante

Fonte: (A COR...2004)

Temperatura

A temperatura é um fator que influencia a grande maioria dos processos físicos, químicos e biológicos na água, bem como outros processos como a solubilidade dos gases dissolvidos; uma elevada temperatura faz diminuir a solubilidade dos gases.

Este parâmetro varia nos diferentes corpos de água em função de flutuações sazonais, sendo influenciado pela latitude, altitude, época do ano, hora do dia e profundidade. Essas variações acontecem de forma gradual, uma vez que a água pode absorver ou mesmo perder calor sem alterações significativas.

Os organismos aquáticos possuem limites de tolerância térmica superior e inferior, temperaturas ótimas para crescimento, temperatura preferencial em gradientes térmicos e limitações de temperatura para migração, desova e incubação dos ovos. Variações de temperatura são partes do regime climático normal e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical (Projeto...2004).

Em lagos que apresentam temperaturas uniformes em toda a coluna, a propagação do calor através de toda a massa líquida pode ocorrer de maneira bastante eficiente, uma vez que a densidade da água nessas condições é praticamente igual em todas as profundidades, sendo o vento o agente fornecedor da energia indispensável para a mistura das massas de água.

Por outro lado, quando as diferenças de temperatura geram camadas de água com diferentes densidades e se a energia do vento não for suficiente para misturá-las, o calor não se distribui uniformemente, criando a condição de estabilidade térmica. Quando ocorre este fenômeno, o ecossistema aquático está estratificado termicamente. Os estratos formados freqüentemente estão diferenciados física, química e biologicamente.

Este componente torna-se um parâmetro muito importante no aspecto qualitativo da água, em virtude de a mesma influenciar diretamente nas diferentes atividades e processos. Os efeitos da temperatura sobre a qualidade da água são função da inter-relação entre os processos químicos, físicos e biológicos.

Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido é essencial para a manutenção de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e estações de tratamento de esgotos. A quantidade de matéria orgânica presente nos corpos de água depende dos organismos que aí vivem, dos resíduos de plantas e animais carreados para as águas e também do lixo e dos esgotos nela jogados. Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio, podendo vir a causar uma redução de sua concentração no meio. Se a quantidade de matéria orgânica for muito grande, a poluição das águas será alta e uma série de processos poderá ser alterada. A maior proliferação dos organismos acarretará maior consumo de oxigênio, ocorrendo diminuição de OD, o que provoca a mortalidade de peixes. Portanto, a determinação do OD é de fundamental importância para avaliar as condições naturais da água e detectar impactos ambientais como eutrofização e poluição orgânica.

O nível de disponibilidade de OD na água vai depender do balanço entre a quantidade consumida por bactérias para oxidar a matéria orgânica (fontes pontuais e difusas) e a quantidade produzida no próprio corpo de água através de organismos fotossintéticos, processos de aeração natural e/ou artificial. A fotossíntese é a principal fonte de oxigênio dissolvido nos corpos de água. Durante o dia, o fitoplâncton retira o CO₂ da água e produz o O₂ de forma muito mais rápida que os consumidores conseguem retirar da água pelo processo de respiração. À noite, apesar de cessar o fornecimento de energia, continuam os processos de respiração celular que por sua vez retiram o O₂ da água e liberam o CO₂ causando um declínio do OD. Se o crescimento do fitoplâncton for muito intenso as concentrações podem atingir níveis de risco durante a noite e pela manhã. Se o balanço do nível de OD permanece negativo por tempo prolongado, o corpo de água pode tornar-se anaeróbico, gerando maus odores, crescimento de outros tipos de bactérias e morte de diversos seres aquáticos aeróbios, inclusive peixes.

a) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

É definida como a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica biodegradável sob condições aeróbicas. Isto é, avalia a quantidade de oxigênio dissolvido, em mg L⁻¹. Um período de tempo de 5 dias numa temperatura de incubação de 20°C é freqüentemente usado e referido como DBO_{5,20°C}. Os maiores aumentos em termos de DBO, num corpo de água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir à completa extinção do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática. Um elevado valor da DBO pode indicar um incremento da microflora presente e interferir no equilíbrio da vida aquática, além de produzir sabores e odores desagradáveis.

b) Demanda Química de Oxigênio (DQO)

É a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica através de um agente químico. Os valores da DQO normalmente são maiores que os da DBO, sendo o teste realizado num prazo menor e orientando o teste da DBO. A vantagem é o tempo do teste, realizado em poucas horas, enquanto o teste da DBO requer no mínimo 5 dias (período de incubação).

O teste de Demanda Química de Oxigênio (DQO) baseia-se no fato de que todos os compostos orgânicos, com poucas exceções, podem ser oxidados pela ação de um agente oxidante forte em meio ácido. Uma das limitações, entretanto, é o fato de que o teste não diferencia matéria orgânica biodegradável e matéria orgânica não biodegradável, a primeira determinada pelo teste de DBO.

A análise da DQO é útil para detectar a presença de substâncias resistentes à degradação biológica. O aumento da concentração da DQO num corpo de água se deve principalmente a despejos de origem industrial.

pH e alcalinidade

O termo pH (potencial hidrogeniônico) define o caráter ácido, básico ou neutro de uma solução, sendo a expressão da concentração de íons hidrogênio em uma solução. As medidas de

pH são importantes no fornecimento de informações a respeito da qualidade da água. Os organismos aquáticos estão geralmente adaptados às condições de neutralidade e, em consequência, alterações bruscas do pH de uma água podem ocasionar o desaparecimento dos seres presentes na mesma (Projeto...2004).

O pH da água é controlado pelo equilíbrio na concentração de compostos dissolvidos. Por exemplo, em águas naturais, este equilíbrio (pH 7) depende da presença de íons carbonatos, dióxido de carbono (CO_2), ácido carbônico (H_2CO_3), carbonatos e bicarbonatos (HCO_3^-) (EPA, 1999) e de outros componentes naturais, como os ácidos húmicos e fúlvicos resultantes da degradação da matéria orgânica. O valor do pH muda consideravelmente com a hora do dia em função dos processos bioquímicos que ocorrem na água. Um exemplo típico é a incidência de radiação solar na água, que desencadeia a fotossíntese, processo pelo qual as plantas verdes convertem o dióxido de carbono (CO_2) em carboidrato ($\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_n$) e oxigênio livre (O_2), usando a luz do sol como fonte de energia. Como o dióxido de carbono reage com as moléculas de água produzindo o íon hidrogênio, portanto, o pH tende para a acidez, e a remoção deste CO_2 faz com que menor número de íons de hidrogênio se formem, dando ao pH tendência de alcalinidade que se reflete no seu pico máximo à tarde. Como, durante a noite, o processo de fotossíntese é interrompido devido à falta da energia solar, as plantas não fixam mais o CO_2 , e a respiração libera novamente o CO_2 , que se acumula na água, gerando a acidez. Em lagoas com grande população de algas, nos dias ensolarados, o pH pode subir muito, chegando a 9 ou até mais. Isso porque as algas, ao realizarem fotossíntese, retiram muito gás carbônico, que é a principal fonte natural de acidez da água.

Geralmente, um pH muito ácido ou muito alcalino está associado à presença de despejos industriais. A alcalinidade representa a capacidade que um sistema aquoso tem de neutralizar (tamponar) ácidos a ele adicionados. A alcalinidade é a quantidade de íons na água que reagirão para neutralizar os íons hidrogênio. Os principais constituintes da alcalinidade são os bicarbonatos, carbonatos e os hidróxidos. As origens naturais da alcalinidade são a dissolução de rochas e as reações do dióxido de carbono (CO_2), resultantes da atmosfera ou da decomposição da matéria orgânica com a água. Esta variável deve ser avaliada por ser importante no controle do tratamento de água, estando relacionada com a coagulação, redução de dureza e prevenção da corrosão em tubulações (Projeto...2004).

Outros processos importantes podem ser alterados, como, por exemplo, os mecanismos sortivos que ocorrem com colóides em suspensão na água e nos sedimentos. Em pH mais ácido, pode ocorrer, por exemplo, a liberação (dessorção) dos agroquímicos dos sítios de ligação, ficando, assim, disponibilizados para serem absorvidos pelas plantas aquáticas e/ou ingeridos pelos animais. Por outro lado, a acidificação dos sistemas aquáticos inibe a atividade microbiana bentônica, reduzindo a decomposição e a ciclagem de nutrientes. Isto pode levar a uma redução de plânctons e organismos invertebrados que são vitais para a cadeia alimentar.

Dureza

É a concentração de cátions multimetálicos em solução. Os cátions mais freqüentemente associados à dureza são os cátions divalentes Ca^{2+} e Mg^{2+} , além de outros elementos como Fe, Mn, Cu, Ba, etc. Os íons de cálcio e magnésio combinam com sulfatos, cloretos, nitratos e outros, dando origem a compostos solúveis. A dissolução de minerais contendo

cálcio e magnésio (rochas calcárias) e os despejos industriais são as principais fontes de Ca^{2+} e Mg^{2+} na água.

A dureza pode ser expressa como dureza temporária, permanente e total, em miligrama por litro (mg L^{-1}) ou miliequivalente por litro (meq L^{-1}) de CaCO_3 (carbonato de cálcio), independentemente dos íons que a estejam causando.

Condutividade Elétrica

A capacidade da água em conduzir uma corrente elétrica é denominada condutividade elétrica, determinada pela presença de substâncias dissolvidas em ânions (carbonatos, bicarbonatos, sulfatos e cloretos) e cátions (cálcio, magnésio, potássio, sódio) influenciados pela temperatura. Portanto, essas medidas devem estar sempre associadas (Rhoades et al., 1999). As principais fontes antropogênicas de sais, nas águas, são: descargas industriais e efluentes domésticos e agropecuários.

A condutância específica fornece uma boa indicação das modificações na composição de uma água, podendo contribuir para o reconhecimento dos impactos ambientais que ocorrem na bacia de drenagem, ocasionados por lançamentos de resíduos industriais, mineração, esgotos, etc. Como cada corpo de água tende a ter um grau relativamente constante de condutividade, mudanças significativas podem ser indicadoras de que processos de poluição estão ocorrendo como a descarga de material na água. Altos índices de condutividade são ocasionados por meio de fontes não pontuais, como efluentes de áreas residenciais/urbanas, águas de drenagem de sistemas de irrigação e escoamento superficial de áreas agrícolas; principalmente em regiões áridas e semi-áridas, onde baixas precipitações associadas às elevadas taxas de evapotranspiração podem ocasionar fluxo ascendente de sais com conseqüente acúmulo. Efluentes industriais como fontes localizadas, também liberam altos teores de íons dissolvidos. Altos valores podem indicar características corrosivas da água.

A unidade básica de medida da condutividade elétrica era representada em mhos m^{-1} , entretanto, nos dias atuais torna-se mais corriqueiro expressar a mesma em Siemens m^{-1} , sendo comumente apresentada na forma de submúltiplos (mS cm^{-1} , uS cm^{-1} , dS m^{-1}).

Material em Suspensão

Material em suspensão é o material particulado, encontrado em corpos de água, composto por substâncias inorgânicas e orgânicas, incluindo os organismos planctônicos (fito e zooplâncton). Sua principal influência é na diminuição da transparência da água, impedindo a penetração da luz, o que pode inibir as atividades fotossintéticas das plantas aquáticas. Processos de assoreamento e bloqueio total de rios ou lagos devido ao alto conteúdo de material em suspensão são responsáveis pelo desequilíbrio entre espécies e desaparecimento completo de algumas formas de vida do ambiente aquático.

Sólidos em suspensão servem como carreadores de substâncias tóxicas adsorvidas. Agrotóxicos, fertilizantes e metais são facilmente adsorvidos nas partículas de solo e, na maioria

das vezes, podem não ser detectados em pontos de coleta próximos ao local de sua aplicação, podendo ser encontrados em locais muito distantes, em sedimentos de lagos e rios. As alterações bruscas nas características químicas da água podem mobilizar este material, podendo ocasionar efeitos tóxicos em organismos e animais.

Os sólidos em suspensão, contidos em uma amostra de água, apresentam características diferentes, em função do método analítico escolhido, e, conseqüentemente, têm designações distintas. Nos sólidos filtráveis encontram-se, além de uma parcela de sólidos turvos, os sólidos flutuantes que são determinados através de aparelhos adequados, em forma de peso ou volume. Sólidos sedimentáveis são os que em determinadas condições afundam. Neste caso, o resultado é anotado preferencialmente como volume (mL L^{-1}) acrescentado pelo tempo de formação. Sólidos não-sedimentáveis, são aqueles que não sofrem flotação, nem sedimentação.

A unidade de medição normal para o teor em sólidos não dissolvidos é o peso dos sólidos filtráveis, expresso em mg L^{-1} de matéria seca. Dos sólidos filtrados pode ser determinado o resíduo calcinado (em % de matéria seca), que é considerado uma medida da parcela da matéria mineral. O restante indica a parcela de sólidos orgânicos como voláteis.

Compostos de Nitrogênio e Fósforo

O nitrogênio apresenta-se no ambiente em diversas formas, isto é:

- a) nitrogênio molecular (N_2), livre na atmosfera;
- b) nitrogênio orgânico (dissolvido e em suspensão no corpo de água);
- c) amônia (livre – NH_3 e ionizada – NH_4^+);
- d) nitrito (NO_2^-);
- e) nitrato (NO_3^-).

A importância do conhecimento da presença e quantificação do nitrogênio nas suas diversas formas na água refere-se ao consumo de OD necessário durante o processo de nitrificação. Esse processo indica a conversão de nitrogênio amoniacal a nitrito e este a nitrato. A proliferação de algas tem no nitrogênio um elemento vital para seu crescimento.

As águas naturais contêm nitrato em solução e, principalmente, tratando-se de águas que recebem esgotos, podem conter quantidades variáveis de compostos mais complexos, ou menos oxidados, tais como: compostos orgânicos quaternários, amônia e nitritos. Em geral, a presença destes compostos indica a existência de poluição recente, uma vez que essas substâncias são oxidadas rapidamente na água, principalmente devido a presença de bactérias nitrificantes. Por essa razão, constituem um importante índice da presença de despejos orgânicos recentes. A concentração total de nitrogênio é altamente importante considerando-se os aspectos tóxicos do corpo de água.

a) Nitrato

O nitrogênio sob forma de amônia transforma-se com o tempo, dependendo das condições físicas e químicas do meio aquático, em nitrito e, posteriormente, em nitrato (nitrificação). A presença do nitrato no corpo de água é um indicador de poluição antiga relacionada

ao final do período do processo de nitrificação ou pode caracterizar o efluente de uma estação de tratamento de esgotos sanitários em nível terciário, onde o processo de nitrificação é induzido e controlado com o objetivo de redução de nutrientes.

Concentrações de nitrato superiores a 5 mg L^{-1} demonstram condições sanitárias inadequadas, pois a principal fonte de nitrato são os dejetos humanos e animais. O nitrato pode sofrer também um processo de desnitrificação onde é reduzido a nitrogênio gasoso (N_2). Em altas concentrações, nas fontes domésticas de água (poços), pode trazer graves problemas de intoxicação tanto ao ser humano como aos animais. Estimula o desenvolvimento de plantas, sendo que organismos aquáticos, como algas, multiplicam-se, podendo ocorrer um crescimento exagerado, processo denominado de eutrofização.

A eutrofização é um fenômeno indesejável, pois modifica substancialmente as características físicas, químicas e biológicas do corpo de água. O crescimento excessivo de vegetação aquática causa eventuais maus odores, mortandade de peixe, mudança radical de cor, diminuição excessiva de OD, secreções tóxicas de certas algas, etc., que são algumas das conseqüências do fenômeno. Os processos de eutrofização somados ao de assoreamento aumentam, gradativamente, o material sedimentado no fundo provocando, lentamente, a morte e o desaparecimento do corpo de água.

b) Nitrito

É uma forma química do nitrogênio normalmente encontrada em quantidades diminutas nas águas superficiais, pois o nitrito é instável na presença do oxigênio, ocorrendo como uma forma intermediária. O íon nitrito pode ser utilizado pelas plantas como uma fonte de nitrogênio. A presença de nitritos em água indica processos biológicos ativos influenciados por poluição orgânica.

c) Nitrogênio amoniacal (amônia)

A amônia é uma substância tóxica, não persistente e não cumulativa, de concentração normalmente baixa. Grandes quantidades podem causar sufocamento de peixes. A amônia pode ocorrer na forma livre, que é o nitrogênio amoniacal (NH_3), tóxica aos peixes, e na forma ionizada (NH_4^+), não tóxica. Para valores de pH menores que 8 a amônia passa a sua forma ionizada, amônio, NH_4^+ .

A medição do nitrogênio amoniacal, geralmente avaliado em miligramas por litro (mg L^{-1}) é importante não só para se constatar a presença de esgotos domésticos lançados recentemente no corpo de água, mas também como um indicador de futuro consumo de oxigênio no processo de nitrificação anteriormente citado e o possível crescimento de algas.

d) Fósforo total

A presença de fósforo nas águas pode ter origem natural em função da dissolução de compostos do solo (em pequena escala) e origem antropogênica, oriunda dos despejos domésticos e industriais, detergentes, excrementos de animais e fertilizantes. Sendo nutriente, não traz problemas de ordem sanitária para a água. Os compostos de fósforo são um dos mais importantes fatores limitantes à vida dos organismos aquáticos. Sua presença em uma massa de água é de importância fundamental no controle ecológico das algas. Concentrações elevadas podem

contribuir, da mesma forma que o nitrogênio, para a proliferação de algas e acelerar, indesejavelmente, em determinadas condições, o processo de eutrofização.

Os lagos, represas e reservatórios receptores de vários fluxos de água servem de "depósito" do material transportado por estes fluxos, ficando assim os corpos de água mais susceptíveis à eutrofização. Organismos aquáticos, como macrófitas e fitoplânctons, são estimulados principalmente por nutrientes como fósforo e nitrogênio. Para sua manutenção necessitam de concentrações muito baixas destes nutrientes, de forma que, mesmo modestas alterações em seus níveis de concentração, podem desencadear uma série de eventos não desejáveis. Exemplo destes eventos é o crescimento acelerado de plantas, principalmente de algas, com conseqüente desaparecimento da fauna aquática.

Por outro lado, o fósforo é um nutriente fundamental para o crescimento e multiplicação das bactérias responsáveis pelos mecanismos bioquímicos de estabilização da matéria orgânica. A presença do fósforo na água pode se dar de diversas formas. A mais importante delas, para o metabolismo biológico, é o ortofosfato. O fósforo total (PT) é medido geralmente em miligramas por litro (mg L^{-1}).

Metais Pesados

Os metais pesados são micropoluentes inorgânicos provenientes, na sua maioria, de efluentes industriais. São altamente tóxicos para a vida aquática e, por reação em cadeia, podem atingir os seres humanos. Os principais metais pesados presentes nas águas, em forma dissolvida, são: cádmio (Cd), cromo (Cr), chumbo (Pb), mercúrio (Hg), níquel (Ni) e zinco (Zn).

Em geral, as concentrações de metais pesados na água estão muito aquém dos padrões de qualidade estabelecidos. Por outro lado, a tendência dos metais pesados é de aderirem aos sólidos em suspensão que, por sua vez, sedimentam no fundo do corpo de água. O comportamento dos metais nos ecossistemas aquáticos é, portanto, dependente da composição do sedimento, composição do material em suspensão e dos demais constituintes presentes na água. Este conjunto de elementos controla o direcionamento da presença dos metais via reações de adsorção e dessorção nas diferentes fases da água. A adsorção remove os metais da fase dissolvida e os deposita no sedimento ou no material em suspensão. A dessorção faz o caminho contrário, retornando os metais para a coluna de água, onde a recirculação e os processos de biomagnificação acontecem. Os metais também são dessorvidos do sedimento com o aumento da salinidade, diminuição do potencial redox e decréscimo do pH.

Procura-se analisar as concentrações de metais pesados nos sedimentos, cujos valores podem ser significativos e representam uma ameaça à biota e, conseqüentemente, ao ser humano que está no topo da cadeia alimentar. Os metais pesados, além de serem tóxicos, são cumulativos no organismo e podem provocar diversos tipos de doenças no ser humano com a ingestão de pequenas doses, por períodos consideráveis. Os metais são medidos, geralmente, em miligramas por grama (mg g^{-1}) ou microgramas por grama (ug g^{-1}), expressos em peso seco.

Agrotóxicos

Muitas são as evidências que indicam a presença de agrotóxicos em áreas onde não são utilizados, como a atmosfera, solos não-agricultáveis, e nos diferentes corpos de água. Os

agrotóxicos e seus subprodutos de degradação podem entrar nos corpos de água superficiais e subterrâneos dissolvidos na água, na forma de emulsão ou ligados às partículas do solo.

Mesmo considerando os efeitos benéficos do uso de agrotóxicos na produção agrícola e controle de insetos transmissores de doenças, alguns destes produtos químicos são resistentes à degradação, podendo persistir e acumular-se nos ambientes aquáticos. As principais formas de contaminação de água por agrotóxicos são o uso direto na água, escoamento superficial carreando agrotóxicos, deriva e volatilização e subsequente deposição atmosférica. A quantidade de agrotóxicos que chega aos corpos de água depende do método de aplicação utilizado; da intensidade e duração da chuva ou irrigação; do tempo decorrido entre a aplicação e a ocorrência de chuva; da quantidade aplicada e do coeficiente de partição solo/água; dos sistemas de produção utilizados; do grau de inclinação do terreno; da proximidade do corpo de água; e da forma de controle da erosão. As maiores concentrações de resíduos de agrotóxicos que atingem a água ocorrem quando acontecem chuvas intensas logo após a aplicação.

Muitos problemas de contaminação por agrotóxicos estão ligados tanto à falta de conhecimento para o uso, como a não observação do meio a que ele é aplicado. Pelo senso comum, pode-se prever que aplicações imprudentes de agrotóxicos altamente solúveis em água, em culturas irrigadas em solos arenosos, resultarão na presença destes agrotóxicos nos aquíferos mais rasos que estão abaixo destes campos irrigados.

1.6.2. Componentes biológicos

O monitoramento microbiológico da água para consumo humano tem sido praticado desde o início do século passado. A água potável pode ser contaminada com coliformes e bactérias patogênicas provenientes de dejetos humanos ou de outros animais. Esses parâmetros microbiológicos oferecem uma informação única sobre os efluentes e a qualidade da água e indicam os riscos à saúde pública.

Para assegurar um suprimento contínuo e de qualidade à água potável quanto a segurança da água recreacional, é necessário o monitoramento freqüente das fontes de água quanto à presença de patógenos. Contudo, a detecção e enumeração de todas as bactérias patogênicas que podem estar potencialmente presentes na água são caras e consomem muito tempo, tornando-se impraticável executá-las de forma regular. A monitorização microbiológica mais efetiva para as fontes de água é uma determinação simples, rápida e barata da presença de bactérias e algas. Dois grupos de bactéria, coliformes e estreptococcus fecais, são usados como indicadores de uma possível contaminação por esgoto, uma vez que são comumente encontrados em fezes humanas e de animais. Embora a maioria delas não seja propriamente patogênica, servem como indicadores de potencial de contaminação por bactérias patogênicas, vírus e protozoários que também vivem no sistema digestivo.

Grupo dos coliformes

O rio é habitado, normalmente, por muitos tipos de bactérias, assim como por várias espécies de algas e de peixes. Essas bactérias são importantíssimas porque, alimentando-se de materiais orgânicos, são elas que consomem a carga poluidora que lhe é lançada, sendo assim as principais responsáveis pela auto-depuração, ou seja, limpeza do rio. Porém, quando o rio recebe

esgotos, ele passa a conter outros tipos de bactérias que não são benéficas e que podem ou não causar doenças às pessoas que beberem dessa água.

Um grupo importante, dentre estas bactérias, é o grupo dos coliformes. A densidade do grupo coliforme é um critério significativo do grau de poluição e, assim, da qualidade sanitária. A detecção e enumeração do grupo coliforme têm sido usadas como base para o monitoramento padrão da qualidade bacteriológica do suprimento de água.

O grupo coliforme das Enterobacteriaceae que fermenta a lactose constitui-se numa parte da flora intestinal normal dos mamíferos. As bactérias coliformes fecais, predominantemente *E. coli*, que habitam o intestino de mamíferos são detectadas pela sua capacidade em fermentar lactose a 44,5°C. Estas bactérias normalmente não ficam no sistema aquático por muito tempo. Assim, sua presença na água serve como um indicador de recente contaminação fecal, a qual é a maior fonte de muitas doenças enteropatogênicas transmitidas pela água.

Os órgãos ambientais utilizam-se deste indicador para diagnosticar também as condições para o banho de mar. Esse serviço informa à população a adequabilidade ou não de banho nas águas litorâneas (excelente, muito boa, satisfatória e imprópria) e é denominado de condições de balneabilidade.

Comunidade planctônica

O conjunto de alterações que ocorre num reservatório ao longo de uma escala temporal desencadeia diferentes respostas por parte da comunidade planctônica, que podem ser utilizadas como parâmetros em estudos limnológicos. A utilização da comunidade fitoplanctônica como bioindicadora de um ecossistema aquático se fundamenta na avaliação da base de uma cadeia alimentar, na qual os efeitos oriundos das alterações ambientais serão refletidos em todos os seus componentes e, conseqüentemente, no bioma como um todo. Mudanças na dinâmica da comunidade fitoplanctônica são reflexos das alterações físicas, químicas e/ou biológicas que ocorrem num corpo de água.

Clorofila

A clorofila é um tipo de pigmento que existe nos vegetais em geral, aí se incluindo os diversos gêneros de algas. O papel da clorofila é fundamental na fotossíntese, isto é, no mecanismo de nutrição dos vegetais.

A reação de síntese que ocorre nas células vegetais possuidoras de clorofila é uma reação fotoquímica, na qual o gás carbônico retirado do ar é combinado à água, consumindo energia armazenada pela clorofila, através da luz, para formar compostos orgânicos e, como subproduto, o oxigênio. Portanto, o conhecimento quantitativo da clorofila permite estimar a capacidade de reoxigenação das águas no seu próprio meio, inferir sobre a densidade da população de algas e avaliar o aporte da quantidade de nutrientes.

Como citado anteriormente, a floração das águas, determina o crescimento anormal de algas no meio aquático pelo excesso de nutrientes (nitrogênio e fósforo).

1.7. Considerações Finais

A água é essencial à vida e necessária a quase todas as atividades humanas, além de ser um fator de equilíbrio dos ecossistemas. O ciclo hidrológico é indissociável. As águas superficiais e subterrâneas são o mesmo recurso fluindo por meios físicos diferentes. O binômio quantidade e qualidade é indivisível. O suprimento de água potável às populações deve ser a principal prioridade, discriminando-se e protegendo-se mananciais de abastecimento atuais e futuros. O aproveitamento dos recursos hídricos deve considerar sua distribuição eqüitativa e seu uso racional, a maximização do desenvolvimento econômico e social e a minimização dos impactos ambientais. A gestão de qualidade da água deverá compatibilizar: os potenciais de assimilação pelos corpos de água de cargas poluidoras urbanas, industriais, agrícolas e outras; os padrões admissíveis de lançamento de efluentes; o enquadramento dos corpos de água em classes de uso preponderantes; a outorga de usos; e o licenciamento de atividades potencialmente poluidoras.

A bacia hidrográfica é uma unidade natural que recebe toda a influência da região que ela drena, sendo a água o seu principal componente. A qualidade da água (dados físicos, químicos e biológicos) é um dos indicadores mais importantes na caracterização ambiental da bacia hidrográfica. Uma série de medidas pode indicar adequadamente os efeitos das atividades antrópicas, como, por exemplo, desmatamento, despejo de resíduos industriais, erosão e entrada de material em suspensão de origem terrestre. As duas abordagens, bacia hidrográfica e qualidade da água, permitem, portanto, compor um sistema que indica mecanismos de funcionamento das bacias hidrográficas e seus efeitos na qualidade da água.

1.8. Referências

A COR das águas. Disponível em: <<http://www.cttmar.univali.br/algas/cor.htm>>. Acesso em: 13 abr. 2004.

ÁGUA: abundância e escassez. Disponível em:

<<http://www.comciencia.br/reportagens/aguas/aguas02.htm>>. Acesso em: 13 abr. 2004.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. Roma: FAO, 1985. 174 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 29, Rev. 1)

BARTH, F. T. **Fundamentos para gestão dos recursos hídricos**. Brasília: ABRH, 1978.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986. **Diário Oficial da União**, Brasília, 30 jul. 1986.

CHAPMAN, D. **Water quality assessment**. London: E&FN Spon, 1992. 626 p.

CSUROS, M.; CSUROS, C. **Microbiological examination of water and wastewater**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1999. 324 p.

EPA. **Watershed Information Network**: index of watershed indicators. Disponível em: <<http://www.epa.gov/iwi>>. Acesso em: 27 out. 1999.

POLUIÇÃO hídrica. Disponível em: <<http://www.gpca.com.br>>. Acesso em: 13 abr. 2004.

PROJETO águas de Minas. Disponível em:

<http://www.igam.mg.gov.br/aguas/htmls/p_indicativos.htm>. Acesso em: 13 abr. 2004..

REBOUÇAS, A. C. Water crisis: facts and myths. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 66, supl. 1,. p. 135-147, 1994.

REBOUÇAS, A. C. A transposição do Rio São Francisco sob o prisma do desenvolvimento sustentável. In: REUNIÃO ESPECIAL DA SBPC, 4., 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBPC, 1996. p. 79-84.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 445 p.

RHOADES, J. D.; CHANDUVI, F.; LESCH, S. **Soil salinity assessment: methods and interpretation of electrical conductivity measurements**. Rome: FAO, 1999. 150 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 57).

SETTI, A. A. **A necessidade do uso sustentável dos recursos hídricos**. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, 1996.

ZIMBRES, E. **Química da água subterrânea**. Disponível em:

<<http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/quimica.htm>>. Acesso em: 13 abr. 2004.