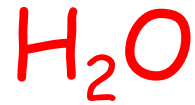


# QUÍMICA DAS ÁGUAS





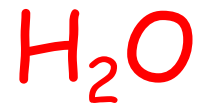
Todas as formas de vida existentes na Terra dependem da ÁGUA. Cada ser humano necessita consumir diariamente vários litros de água doce para manter-se vivo. A ÁGUA é um recurso fundamental para a existência da vida, na forma que nós conhecemos.

Importância para o homem:

- Produção de alimentos depende da oferta de água usada no cultivo.
- Movimentação de máquinas.
- Solvente universal utilizado para limpeza e transporte de praticamente todos os resíduos gerados pelo homem.
- As cidades foram se estabelecendo e crescendo próximas a grandes cursos d'água.

# H<sub>2</sub>O - PROBLEMAS

- Aumento do uso de água por conta do crescimento populacional
- Contaminação da água
- Danos na produtividade dos organismos aquáticos e na saúde humana

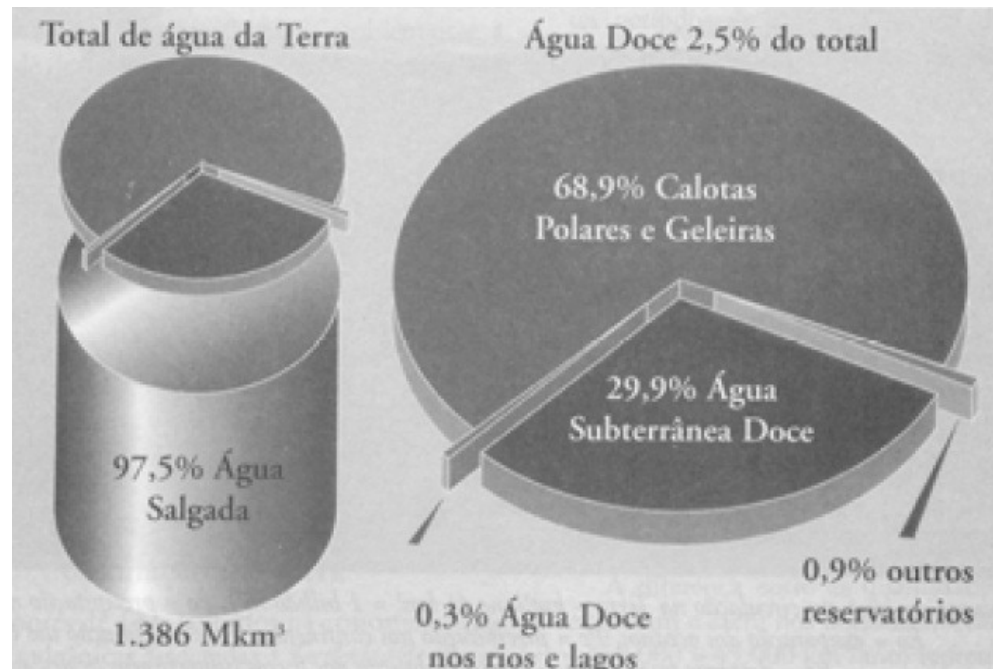


## Sustância mais abundante da Terra

Oxigênio ⇒ elemento mais abundante do planeta

*455.000 ppm (46,6% m/m da crosta, 20,9% v/v atm)*

Hidrogênio ⇒ elemento mais abundante do Universo



# PROPRIEDADES DA H<sub>2</sub>O

- Pode ser encontrada naturalmente nos três estados físicos da matéria (s, l, g).
- Alta capacidade de conduzir e estocar calor.
- Forma líquida é o estado predominante da água na Terra.

Substância	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	HF	H <sub>2</sub> S
P.F. (°C)	-182	-78	0	-83	-86
P.E. (°C)	-164	-33	100	19	-61

- Forma líquida apresenta densidade maior que a forma sólida, sendo a densidade máxima a 4°C.
- Durante o outono a temperatura das águas de inúmeros lagos atinge valores próximos a 4°C. As águas superficiais (mais quentes) tornam-se mais densas que as águas profundas (frias) e se deslocam para o fundo, provocando uma circulação vertical, misturando as espécies dissolvidas na coluna d'água.

**vida em sociedade ↔ uso da água**

produção, manutenção e recreação

(duas grandes revoluções - agrícola e industrial, a água esteve presente em ambas)

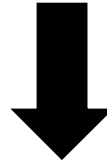
*Platão (426-348 a.C.): “O ouro tem muito valor e pouca utilidade, comparado à água, que é a coisa mais útil do mundo e não lhes dão valor”*

**abundância ⇒ banalidade**

**caráter indispensável ⇒ pouca atenção**

cozinhar ⇒ sal, temperos, componentes  
água??!!

## **indústria química**

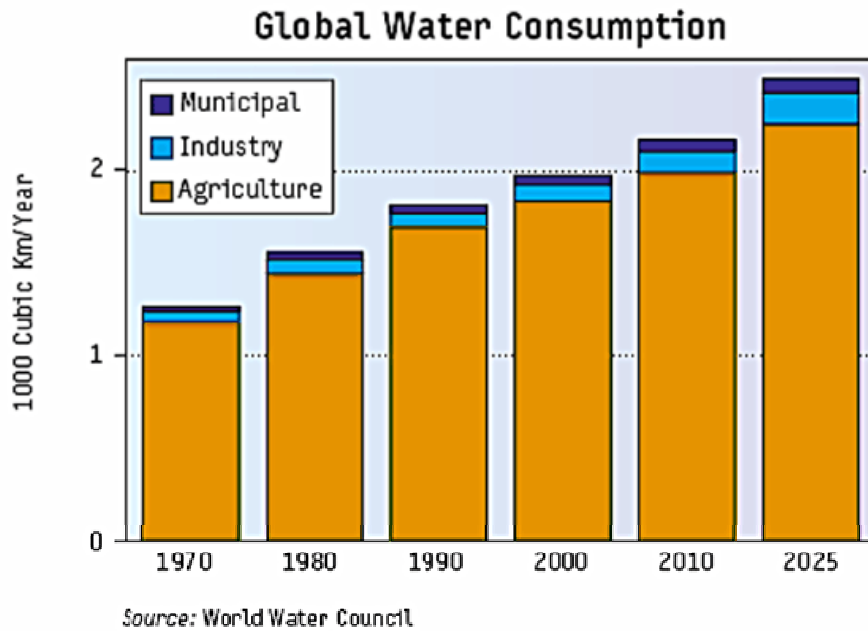


matéria-prima mais usada na manufatura de  
centenas de produtos (ar em segundo lugar)

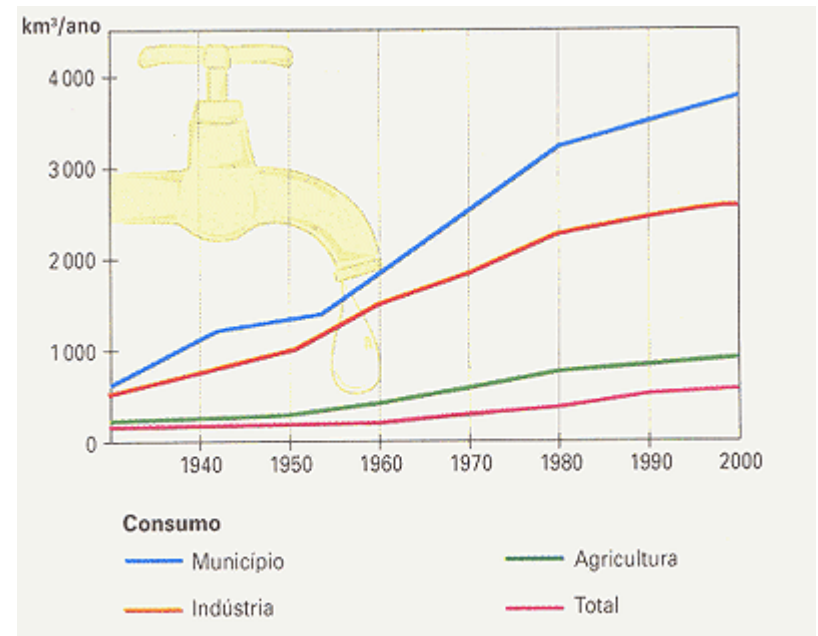
Para produzir:

- um quilo de papel → 540 litros de água;
- um litro de leite → 4 mil litros de água;
- uma tonelada de aço → 260 mil litros de água;

# Consumo mundial de água



Uso mundial da água por setores (fonte Teixeira, W. e colaboradores "Decifrando A Terra", São Paulo - USP - Oficina de texto, 2000).



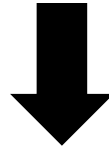
<http://www.worldwatercouncil.org/>



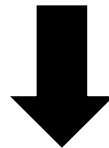
❖ pessoa (em média) precisa  $\cong 5 \text{ L H}_2\text{O/dia}$  para sobreviver num clima e nível de atividade moderados

❖ beber, cozinhar, banhar e higienização  $\cong 50 \text{ L/dia}$

crescimento desordenado da população mundial



quantidade de água no mundo tem permanecido quase constante nos últimos 500 milhões de anos  
(quantidade de água doce produzida pelo ciclo hídrico é hoje basicamente a mesma que em 1950 e que deverá ser em 2050)



volume em circulação depende do ciclo hidrológico  
precipitação, escoamento e fluxo de águas subterrâneas

Visão sistêmica



geologia, hidrologia, biologia, meteorologia, física, química



litosfera, hidrosfera, atmosfera, biosfera

ciência cartesiana  $\Rightarrow$  qualquer sistema complexo, o comportamento do todo poderia ser analisado em termos das propriedades de suas partes

ciência sistêmica  $\Rightarrow$  propriedades das partes só podem ser entendidas dentro do contexto do todo maior

mundo como um todo integrado, e não como uma coleção de partes independentes

**Águas superficiais:** são corpos d'água em contato direto com a atmosfera (lagos, lagoas, rios, riachos, reservatórios). Pode ser dividida em duas categorias **ÁGUA DOCE** e **ÁGUA SALINA**.

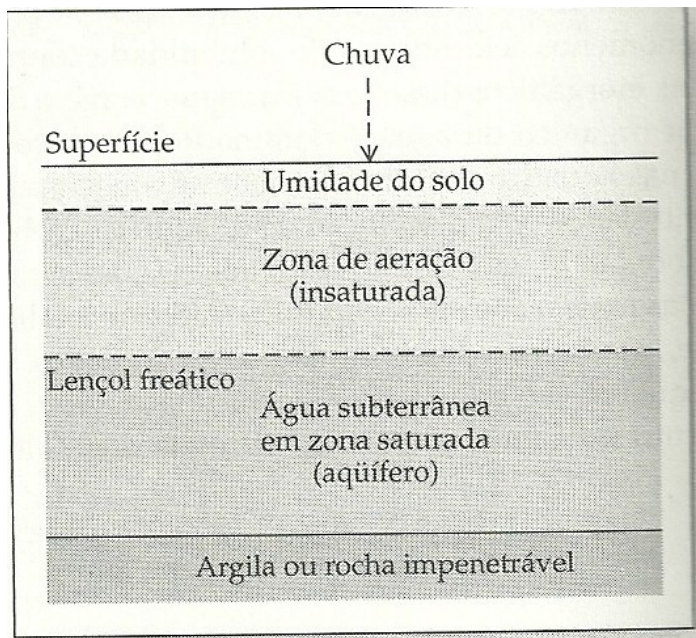
Água doce apresenta baixo conteúdo de sais. Ex: lagos e rios.

Água salina apresenta salinidade, teores de sais dissolvidos, de  $35 \text{ g L}^{-1}$ .

Ex: oceanos

**Estuário:** uma extensão de água costeira, semi fechada, que tem uma comunicação livre com o alto-mar.

**Águas subterrâneas:** encontram-se abaixo da superfície em formações rochosa porosa. A maior parte da água doce disponível na Terra encontra-se no subsolo, sendo metade dessa água encontra-se a profundidades que excedem 1 km.



**Zona de aeração ou insaturada:** onde as partículas do solo estão cobertas com um filme de água, mas existe ar entre as partículas.

**Zona saturada:** região mais profunda, em que deslocou todo o ar. O nome dado à água doce presente nesta zona é **lençol de água subterrâneo**; ele constitui 0,6% do suprimento total de água mundial.

**Lençol freático:** é a parte superior da região (saturada) das águas subterrâneas.

Em alguns locais, ele ocorre exatamente na superfície do solo, um fenômeno que dá lugar a pântanos.

Quando o lençol freático repousa sobre o solo, encontramos lagos e água corrente.

**Aquífero:** quando a água subterrânea contida em solo composto por rochas porosas, como arenito, ou rochas fraturadas, como pedregulho ou areia, e se as águas mais profundas estão em contato com uma camada de argila ou rochas impermeáveis, então constitui-se um reservatório permanente, uma espécie de lago subterrâneo.

Dona da maior bacia hidrográfica do mundo e do Rio Amazonas e, a Região Norte do Brasil também pode passar a ter o status de possuidora da maior reserva mundial de águas subterrâneas. Estudos da Universidade Federal do Pará (UFPA) apontam que o chamado **Aquífero Alter do Chão** localizado sob os estados do Pará, Amazonas e Amapá, pode ser o maior manancial de água doce do mundo.

Os dados iniciais do trabalho indicam que o reservatório seria maior que o **Aquífero Guarani** localizado entre o Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina, considerado atualmente o maior manancial subterrâneo de água doce do mundo.

A existência do Aquífero Alter do Chão já era conhecida há vários anos mas, segundo Milton Matta, geólogo da UFPA, não haviam estudos comprovando seu potencial. "Não temos dúvidas de que se trata do maior aquífero do mundo", afirma ele, que participa da equipe técnica que vem analisando o manancial. Os estudos serão divulgados nos próximos dias.

Os técnicos estão preparando projeto para apresentar ao Banco Mundial, para obter financiamento para a elaboração de um levantamento mais detalhado sobre o potencial do aquífero. A intenção é obter dados para comprovar para a comunidade científica que se trata do maior reservatório subterrâneo de água doce do mundo.

Matta não tem dúvidas que o Aquífero Alter do Chão pode abastecer toda a população do mundo por centenas de anos. O acesso à água, segundo ele, é fácil. "Em algumas regiões é possível obter água a 300 metros de profundidade, enquanto na reserva do Guarani, às vezes é preciso cavar mais de mil metros", explica o geólogo.

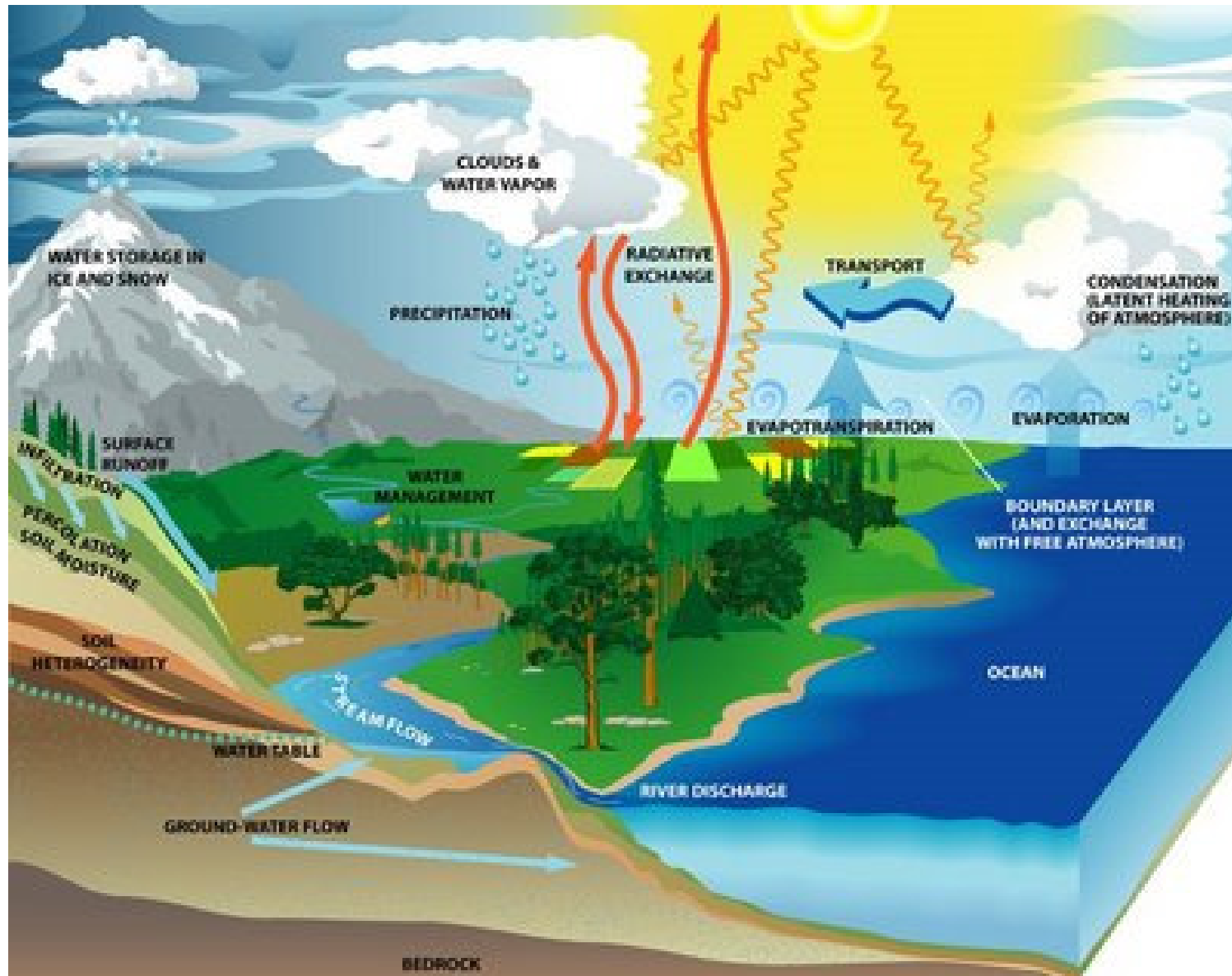
A Agência Nacional de Águas (ANA) também vai estudar o potencial do reservatório. O órgão está preparando edital de licitação para contratar empresa de consultoria para elaborar estudos geológicos sobre o Aquífero Alter do Chão.

#### **Melhor qualidade**

Segundo dados da ANA, os aquíferos ocupam 48% da área territorial do Brasil. A utilização de águas subterrâneas para abastecimento de cidades, ainda segundo dados da agência, tem crescido nas últimas décadas e a tendência é que o crescimento deve continuar, especialmente nos estados mais desenvolvidos. Cerca de 90% das cidades do Paraná e do Rio Grande do Sul são abastecidas por águas subterrâneas. O potencial total explorável dos aquíferos brasileiros é estimado em 4.095 m<sup>3</sup> por segundo.

Segundo o geólogo Milton Matta, o Aquífero Alter do Chão ocupa área menor que a do Guarani, mas possui espessura maior e uma capacidade de produção de água mais intensa. Outra característica do reservatório, segundo os estudos iniciais, é a qualidade da água, que seria melhor que a do manancial do Sul do Brasil.

# CICLO HIDROLÓGICO





# CICLO HIDROLÓGICO

**Evaporação:** responsável pelo transporte de água atmosfera

**Precipitação:** chuva, neve, granizo

**Interceptação vegetal:** refere-se à coleta de chuva sobre a superfície das plantas.

Pode atingir até 25% da precipitação anual total

**Infiltração:** renovação das águas subterrâneas. Refere-se a entrada de água pela superfície do solo

**Retenção superficial:** refere-se à água permanente retida nas depressões da superfície do solo

**Detenção superficial:** refere-se à água temporariamente detida na superfície do solo, a qual deve originar a enxurrada.

# QUÍMICA DAS ÁGUAS NATURAIS

Entender os tipos de processos químicos que ocorrem em águas naturais e como a ciência e o uso da química podem ser empregadas para purificar a águas destinada ao consumo humano.

**-Reações de óxido-redução:** teor de compostos orgânicos

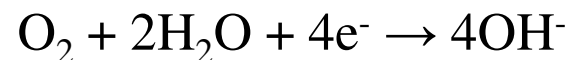
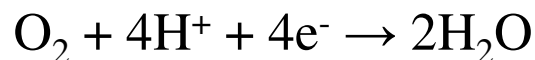
**-Reações ácido-base:** controlam as concentrações de íons inorgânicos dissolvidos



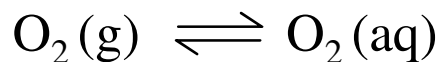
# A QUÍMICA DE OXIDAÇÃO-REDUÇÃO EM ÁGUAS NATURAIS

## *O OXIGÊNIO DISSOLVIDO*

Agente oxidante mais importante em águas naturais, sendo o produto da reação a  $\text{H}_2\text{O}$  (em meio ácido) e  $\text{OH}^-$  (em meio alcalino).



A concentração de oxigênio dissolvido em água é baixa e diminui com o aumento da temperatura.



Temperatura	0°C	25°C	35°C
Solubilidade $\text{O}_2$ / ppm	14,7	8,7	7,0

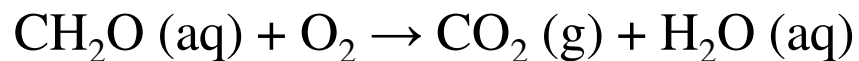
Os peixes necessitam de água que contenha pelo menos 5 ppm de oxigênio dissolvido para manter-se vivos.

Poluição térmica, freqüente em usinas geradoras de energia elétrica (que retiram água fria de um rio ou lago e a utilizam para refrigeração, devolvendo continuamente água aquecida à sua origem) põe em risco a sobrevivência destas espécies.

## *DEMANDA DE OXIGÊNIO*

A substância mais habitualmente oxidada pelo oxigênio dissolvido em água é a matéria orgânica de origem biológica, como a procedente de plantas mortas e restos de animais.

A maior parte da matéria orgânica é composta por carboidratos polimerizados (fibras de plantas).



De maneira similar, o oxigênio dissolvido na água pode ser consumido nas reações de oxidação da amônia ( $\text{NH}_3$ ) e do íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), oriundos das atividades biológicas.



## *DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)*

É a quantidade de oxigênio consumido para a oxidação de matéria orgânica degradada pela ação de bactérias presentes em águas naturais em condições aeróbicas.

Parâmetro mais usual de indicação de poluição por matéria orgânica  $\Rightarrow$  muito importante em qualquer estudo de avaliação de impacto de fontes poluentes.

Experimentalmente: determinação das concentrações de oxigênio dissolvido antes e após um período durante o qual uma amostra selada de água é mantida no escuro à temperatura constante (20 ou 25°C).

$$DBO = [O_2]_0 - [O_2]_t$$

A estabilização completa demora na prática vários dias (> 20 dias).

Para evitar demoras e permitir comparações  $\Rightarrow$  padronização

Um período de tempo de 5 dias numa temperatura de incubação de 20°C é frequentemente usado e referido como DBO padrão (expressa como:  $\text{DBO}_5^{20}$ )

$$\text{DBO} = [\text{O}_2]_0 - [\text{O}_2]_5$$

CRÍTICAS  $\Rightarrow$  condições ambientais de laboratórios não reproduzem aquelas dos corpos d'água (temperatura, luz solar, população biológica e movimentos das águas).

(mas mesmo com críticas  $\Rightarrow$  considerado um parâmetro significativo para avaliação da carga orgânica lançada nos recursos hídricos)

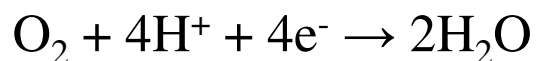
Fatores químicos, físicos e biológicos que determinam a DBO:

- 1) Oxigênio dissolvido;
- 2) Microrganismo: deve existir um grupo misto de microrganismo (denominado de semente), que seja capaz de oxidar a matéria orgânica em água e gás carbônico;
- 3) Nutrientes: como nitrogênio, fósforo, enxofre, magnésio, ferro e cálcio são indispensáveis para garantia de microrganismos vivos durante todo o período de incubação;
- 4) Temperatura: qualquer reação bioquímica, tem como fator de importância a temperatura, que aumenta ou diminui a velocidade da reação de oxidação;
- 5) pH: as reações que ocorrem na DBO, para garantia de sobrevivência dos microrganismos, tem como faixa ideal de pH de 6,5 a 8,5;
- 6) Tempo;
- 7) Tóxicos: A presença de mercúrio, cobre, zinco, cádmio, chumbo, cianetos, formaldeídos, influenciam no sistema enzimático dos microrganismos, podendo levá-los à morte.

## *DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)*

Quantidade de “O<sub>2</sub> ” necessária para a oxidação da matéria orgânica através de um agente químico.

Baseia-se no fato de alguns compostos orgânicos, serem oxidados por agentes químicos oxidantes considerados fortes, como por exemplo, o K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em meio ácido, sendo o resultado final desta oxidação o dióxido de carbono e água.



⇒ número de mols de O<sub>2</sub> requeridos para a oxidação é 1,5 vezes (6/4) o número de mols do dicromato utilizado

processo → oxidação de matéria orgânica por uma mistura em ebulição de ácido crômico e ácido sulfúrico (dicromato de potássio em meio ácido); excesso de dicromato é titulado com  $\text{Fe}^{2+}$

✓ podem ser utilizadas várias substâncias químicas como oxidantes

✓ proporção de matéria orgânica a ser oxidada depende do oxidante, da estrutura dos compostos orgânicos presentes na amostra e do processo de manipulação dos reagentes e dos equipamentos



## **Vantagem**

- ❖ teste não é afetado pela nitrificação, dando indicação apenas da oxidação da matéria orgânica carbonácea e não da nitrogenada
- ❖ processo não está sujeito a tantas variáveis, como no sistema biológico, e não requer tantos equipamentos
- ❖ tempo (2 a 3 horas)

## **Desvantagem**

- ❖ no processo de avaliação da DQO são oxidadas, tanto a fração biodegradável, quanto a fração inerte do efluente, o que leva a uma superestimação do oxigênio consumido
- ❖ certos constituintes inorgânicos podem ser oxidados e interferir no resultado ( $DQO > DBO$ )
- ❖ o teste não fornece informação sobre a taxa de consumo da matéria orgânica ao longo do tempo

relação DQO/DBO  $\Rightarrow$  conclusões sobre a biodegradabilidade dos despejos/MO

- Relação DQO/DBO baixa: a fração biodegradável é elevada, o que indica a utilização de tratamento biológico
- Relação DQO/DBO elevada: a fração inerte, ou seja, não biodegradável é alta, não em termos de poluição do corpo hídrico receptor

esgotos domésticos brutos  $\rightarrow$  a relação DQO/DBO se enquadra na faixa de 1,7 a 2,4

industriais  $\rightarrow$  a relação varia numa faixa mais ampla

A relação  $DQO/DBO_5$  varia também a medida que o esgoto passa pelas diversas unidades da estação de tratamento



tendência para a relação é de aumentar devido à redução da fração biodegradável, ao passo que a fração inerte permanece aproximadamente inalterada



efluente final do tratamento biológico possui valores de  $DQO/DBO_5$  superiores a 3



quanto maior a eficiência do tratamento maior esta relação

## *CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT)*

Caracteriza a matéria orgânica dissolvida e em suspensão em águas naturais

Águas subterrâneas → 1 ppm C

## *CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO (COD)*

Caracteriza apenas o material orgânico que está realmente dissolvido

Águas superficiais → 5 ppm

Pântanos e lamaçais → 50 ppm

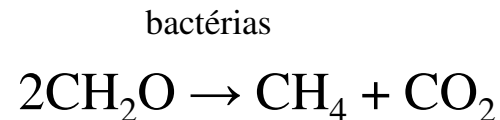
Esgoto não tratado → centenas de ppm

## *DECOMPOSIÇÃO AERÓBICA DA MATÉRIA ORGÂNICA*

Quando as bactérias apropriadas estão presente, a MO dissolvida na água decompõe-se sob condições anaeróbicas (ausência de oxigênio).

As condições anaeróbicas ocorrem na natureza em águas estagnadas, como as de pântanos, e as que se encontram na parte inferior de lagos profundos.

As bactérias provocam a oxidação ( $\text{CO}_2$ ) e redução ( $\text{CH}_4$ ) da MO.



condição anaeróbica → redutora → compostos insolúveis de  $\text{Fe}^{3+}$  (sedimentos no fundo dos lagos) são convertidos em compostos solúveis de  $\text{Fe}^{2+}$ , que se dissolvem, então na água do lago

The diagram illustrates a cross-section of a lake with a wavy top surface. A horizontal dashed line divides the lake into two zones. The upper zone is labeled 'Condições aeróbicas (água morna)' and contains the chemical species  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ , and  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . The lower zone is labeled 'Condições anaeróbicas (água fria)' and contains the chemical species  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4^+$ , and  $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ .

Condições aeróbicas (água morna)	$\text{CO}_2$	$\text{H}_2\text{CO}_3$	$\text{HCO}_3^-$
	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{Fe}(\text{OH})_3$
Condições anaeróbicas (água fria)	$\text{CH}_4$	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{NH}_3$
	$\text{NH}_4^+$	$\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$	

## *ESCALA DE pE*

$$pE = -\log a_{e^-}$$

Caracteriza a extensão com que águas naturais são de natureza redutora.

Valores de pE baixos: há elétrons facilmente disponíveis por parte das substâncias dissolvidas na água (água de natureza muito redutora) → situação de corpos d'água anóxicos como pântanos

Valores de pE altos: há poucos elétrons disponíveis para causar redução. As substâncias dissolvidas são predominantemente oxidantes (água de natureza oxidante) → situação de corpos d'água bem oxigenados

❖ na prática: valores de pE em águas naturais variam entre -12 e 25



$$K_{eq} = \frac{a_{\text{Fe}^{2+}}}{a_{\text{Fe}^{3+}} \cdot a_{\text{e}^{-}}} \Rightarrow \frac{a_{\text{Fe}^{3+}} \cdot K_{eq}}{a_{\text{Fe}^{2+}}} = \frac{1}{a_{\text{e}^{-}}}$$

$$-\log a_{\text{e}^{-}} = \log K_{eq} + \log \frac{a_{\text{Fe}^{3+}}}{a_{\text{Fe}^{2+}}}$$

$$pE = \log K_{eq} + \log \frac{a_{\text{Fe}^{3+}}}{a_{\text{Fe}^{2+}}}$$



$$\left. \begin{array}{l} \Delta G^0 = -2,303RT \log K_{eq} \\ \Delta G^0 = -nFE^0 \end{array} \right\} \log K_{eq} = \frac{nFE^0}{2,303RT} = \frac{nE^0}{0,0591}$$

para  $n = 1$ :

$$pE = \frac{E^0}{0,0591} + \log \frac{a_{Fe^{3+}}}{a_{Fe^{2+}}}$$

condições padrões:  $a_{Fe^{3+}} = a_{Fe^{2+}} = 1$

$$pE = \frac{E^0}{0,0591} = pE^0$$

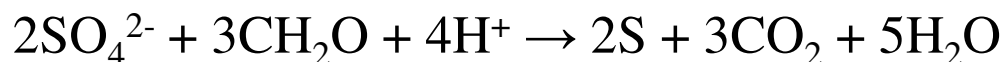
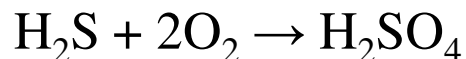
condições não padrão:

$$pE = pE^0 + \log \frac{a_{Fe^{3+}}}{a_{Fe^{2+}}}$$

## *COMPOSTOS DE ENXOFRE EM ÁGUAS NATURAIS*

Estado de oxidação do S	Níveis crescentes de oxidação do enxofre <span style="float: right;">→</span>				
	-2	-1	0	+4	+6
Soluções aquosas e sais	H <sub>2</sub> S			H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	HS <sup>-</sup>			HSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
	S <sup>2-</sup>	S <sub>2</sub> <sup>2-</sup>		SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Fase gasosa	H <sub>2</sub> S			SO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>
Sólidos moleculares			S <sub>8</sub>		

Em moléculas orgânicas e bioinorgânicas, como os aminoácidos, o enxofre está presente com graus de oxidação intermediários. Sua decomposição em via anaeróbica, leva a emissão de H<sub>2</sub>S e outros gases contendo enxofre reduzido (metanotiol - CH<sub>3</sub>SH, dimetilsulfeto - CH<sub>3</sub>SCH<sub>3</sub> – gás do pântano)



# ESTUDO

Pesquisar sobre drenagem ácida de minas

## *COMPOSTOS DE NITROGÊNIO EM ÁGUAS NATURAIS*

	Níveis crescentes de oxidação do enxofre <span style="font-size: 1.2em;">→</span>						
Estado de oxidação do N	-3	0	+1	+2	+3	+4	+5
Soluções aquosas e sais	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>				NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Fase gasosa	NH <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	NO		NO <sub>2</sub>	

**Processo de nitrificação:** catalisado por microorganismos; NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NH<sub>3</sub> são oxidados para NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

**Processo de desnitrificação:** NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NO<sub>2</sub><sup>-</sup> são reduzidos para N<sub>2</sub>

(óxido nitroso, N<sub>2</sub>O – subproduto minoritário em ambos os processos)

**Ambientes aeróbicos** (superfície de lagos) → NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

**Ambientes anaeróbicos** (fundo dos lagos estratificados) → NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NH<sub>3</sub>

NO<sub>2</sub><sup>-</sup> → ambiente anaeróbico → solos alagados, que não são redutores o suficiente para converter todo o nitrogênio em amônia

Plantas → pode absorver nitrogênio unicamente na forma de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. NH<sub>3</sub> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup> usados como fertilizantes devem ser primeiramente oxidados através de microorganismos para que sejam úteis.

## *NITRATOS E NITRITOS EM ALIMENTOS E ÁGUA*

O excesso de nitrato na água potável constitui um risco para a saúde, visto que pode resultar em METEMOGLOBINEMIA tanto em bebês recém-nascidos, como em adultos com deficiência enzimática.

A fonte de nitrato é o excesso de fertilizantes químicos aplicados nas áreas agrícolas é arrastado pelas chuvas e levados para os rios e águas subterrâneas.

### SÍNDROME DO BEBÊ AZUL

As bactérias, presentes, por exemplo, em mamadeiras que não são esterilizadas ou no estômago do bebê, reduzem parte do  $\text{NO}_3^-$  para  $\text{NO}_2^-$ . O nitrito combina-se com hemoglobina do sangue e promove sua oxidação, impedindo a absorção e o transporte de oxigênio para as células. O bebê torna-se azul e sofre insuficiência respiratória.

C. Baird, Química Ambiental, 2ª ed., Bookman, 2002.

O excesso de íons  $\text{NO}_3^-$  na água potável e nos alimentos pode levar a um aumento na incidência de câncer de estômago em seres humanos, dado que parte desses íons é convertida em íon  $\text{NO}_2^-$  no estômago.

O problema reside no fato de que os nitritos poderiam reagir com aminas para produzir **N-nitrosaminas**, compostos conhecidos por sua ação carcinogênica em animais.

Limites estabelecidos:

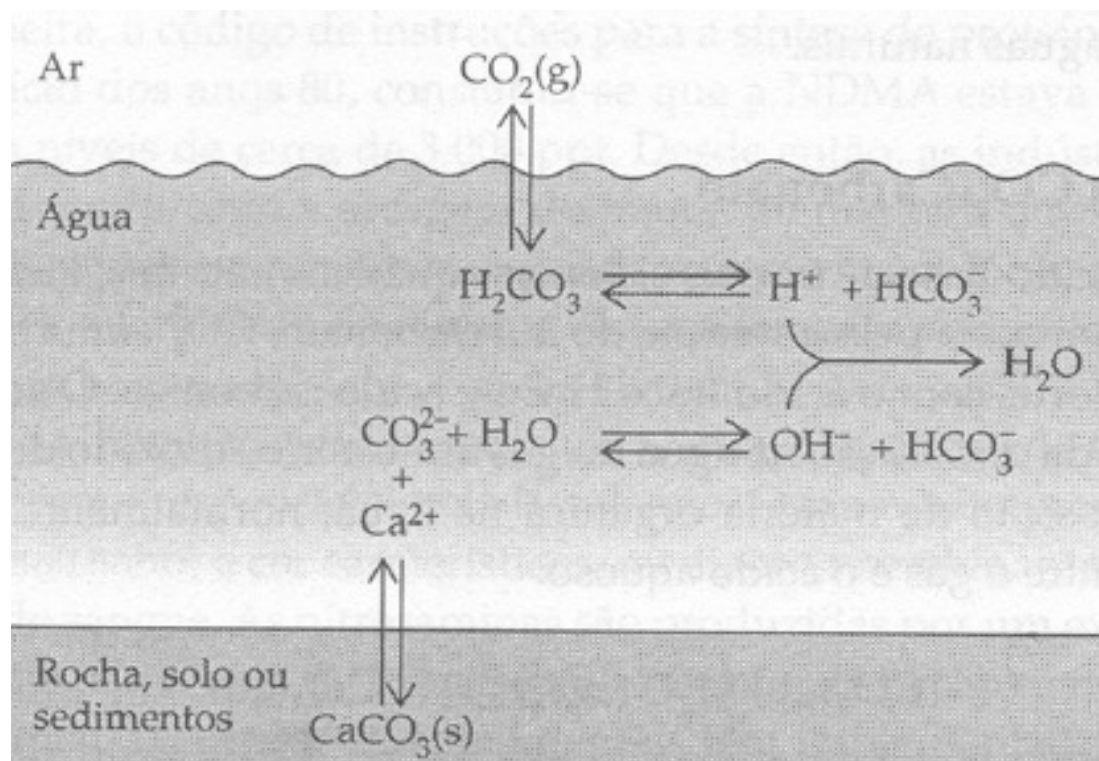
União Européia → 50 ppm

EPA → 10 ppm

# A QUÍMICA ÁCIDO-BASE EM ÁGUAS NATURAIS

## SISTEMA CARBONATO

As águas naturais, mesmo as consideradas “puras”, contém quantidades significativas de  $\text{CO}_2$  dissolvido e de seus ânions derivados, assim como  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ .



## CO<sub>2</sub> EM ÁGUA

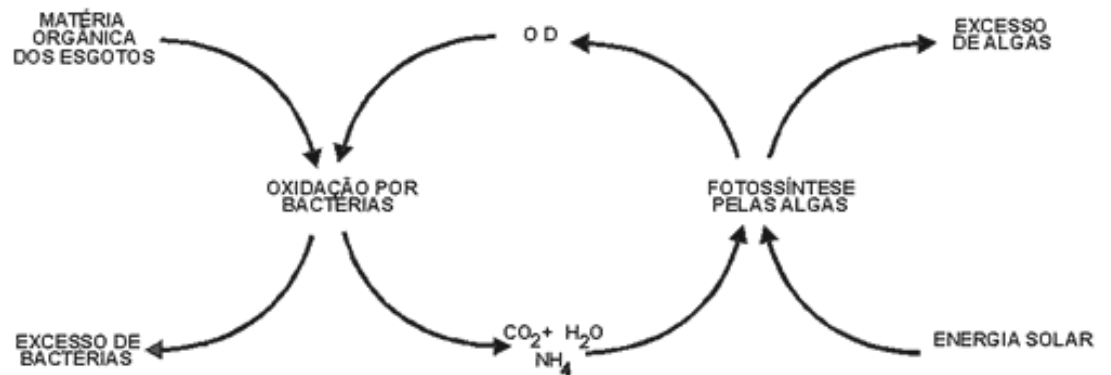
CO<sub>2</sub> {  
⇒ ar (água da chuva → grande área superficial)  
⇒ respiração (produção a partir da degradação microbiológica da MO)  
⇒ geológica (rochas calcárias)

CO<sub>2</sub> dissolvido (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) → presente em todas as águas naturais e efluentes  
água da chuva (mesmo de atmosferas não poluídas) → levemente ácidas  
Ácido carbônico → ácido fraco mais importante em água

CO<sub>2</sub>(aq) / H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>,  
HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> {  
•química da ácido-base água  
(efeito tamponante da água)  
•deposição de sais de carbonato  
(formação de minerais)  
•fonte de CO<sub>2</sub> para síntese de biomassa

biotransformação /  
metabolismo MO  
respiração

altas [CO<sub>2</sub>(aq)] → efeito adverso na  
respiração e troca gasosa  
(pode levar a morte de animais  
aquáticos p/ níveis > 25 mg L<sup>-1</sup>)





## *ALCALINIDADE*

➤ concentração real (em água) de ânions básicos

(em água doce maior contribuição carbonato e bicarbonato, mas também: íon hidróxido, ânions dos ácidos fosfórico, bórico, etc )

➤ capacidade da água para aceitar  $H^+$

(capacidade de uma amostra de água para se comportar como uma base nas reações com prótons)

• medida da capacidade de um corpo d'água de resistir a acidificação (por exemplo, quando recebe uma chuva ácida)

alta basicidade  $\neq$  alta alcalinidade

elevado pH  
(fator de intensidade)

capacidade de aceitar  $H^+$

solução de NaOH  
 $1 \text{ mmol L}^{-1}$



bem básica: pH = 11,0



Requer 1 L de HCl  $1 \text{ mmol L}^{-1}$   
para neutralização

solução de  $\text{NaHCO}_3$   
 $0,10 \text{ mol L}^{-1}$



levemente básica: pH = 8,34



Requer 1 L de HCl  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$   
para neutralização



100x mais alcalina

determinação na prática  $\Rightarrow$  número de moles de  $H^+$  necessários para titular um litro de amostra até atingir o ponto final

➤ alcalinidade total  $\Rightarrow$  alaranjado de metila

$$\text{alcalinidade (total)} = 2 [CO_3^{2-}] + [HCO_3^-] + [OH^-] - [H^+]$$

(não muda de cor até  $pH = 4 \rightarrow$  todo  $CO_3^{2-} \Rightarrow HCO_3^-$  e  $HCO_3^- \Rightarrow H_2CO_3$ )

➤ alcalinidade à fenolftaleína  $\Rightarrow$  fenolftaleína

(muda de cor entre  $pH = 8 - 9$  ligeiramente alcalino, só  $CO_3^{2-} \Rightarrow HCO_3^-$ )

alcalinidade à fenolftaleína =  $[CO_3^{2-}]$

