

Rede São Paulo de

Formação Docente

Cursos de Especialização para o quadro do Magistério da SEESP
Ensino Fundamental II e Ensino Médio

A Química Da Biosfera

d08



Rede São Paulo de

Formação Docente

Cursos de Especialização para o quadro do Magistério da SEESP
Ensino Fundamental II e Ensino Médio

São Paulo
2012

© 2012, BY UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO

Rua Quirino de Andrade, 215
CEP 01049-010 – São Paulo – SP
Tel.: (11) 5627-0561
www.unesp.br

SECRETARIA ESTADUAL DA EDUCAÇÃO DE SÃO PAULO (SEESP)

Praça da República, 53 - Centro - CEP 01045-903 - São Paulo - SP - Brasil - pabx: (11)3218-2000

Rede São Paulo de
Formação Docente

Cursos de Especialização para o quadro do Magistério da SEESP

Ensino Fundamental II e Ensino Médio



Sumário

1. Atmosfera – Importância da qualidade do ar para a manutenção da vida no planeta	10
Introdução	10
Áreas da Química Ambiental	12
A Química Ambiental em constante movimento	13
As interfaces entre os sistemas água-solo-ar	14
1.1 – Características da atmosfera terrestre	15
1.2 – As regiões da atmosfera terrestre	18
A cama terrestre: Troposfera	18
A Estratosfera	27
Termosfera e exosfera	34
2. A Hidrosfera – “Água” Que Líquido É Esse? Por Que Devemos Cuidar?	36
2.1 - Propriedades da água	39
Ponto de fusão e ponto de ebulição	39
Calor específico	42
Densidade	43
Tensão superficial	45
Decréscimo da temperatura de fusão com aumento da pressão	46
Água como solvente	48
2.2 - Distribuição de Água no Planeta	49



3. Poluição Das Águas	53
Contaminação biológica.....	54
Poluentes Orgânicos recalcitrantes ou refratários	55
Poluição por fertilizantes agrícolas	56
Poluentes orgânicos biodegradáveis	57
Oxigênio presente na água.	58
Contaminação por metais tóxicos	60
Bioacumulação e biomagnificação.....	63
Poluição físico-química	64
4. A química da parte sólida da Terra	66
4.1 - O solo.....	67
4.2 - Formação do solo	71
Clima	71
Relevo	71
Material de origem.....	71
Organismos.....	72
Tempo.....	72
4.3 - Tipos de rochas.....	72
Rochas Ígneas ou magmáticas.....	72
Rochas Sedimentares	73
Rochas Metamórficas.....	73
4.4 - Intemperismo	73
Intemperismo Físico.....	74
Intemperismo Químico.....	75
4.5 - Composição do solo	78
Material inorgânico.....	78



Material orgânico.....	78
Material sólido que compõe o solo.....	78
Tipos de Solos.....	81
Perfil do Solo	82
Características do solo.....	83
4.6 - pH do solo e potencial redox.....	84
Ajuste da acidez do solo	87
Potencial Redox	89
5. Poluentes do solo.....	92
5.1 - Solo Poluído e Solo Contaminado.....	93
5.2 - Poluentes.....	93
Contaminantes inorgânicos.....	94
Metais pesados.....	94
Poluentes orgânicos	94
5.3 - Poluição do solo rural.....	95
Fertilizantes sintéticos.....	95
Defensivos agrícolas	97
Inseticidas	99
Fungicidas.....	101
Herbicidas	101
5.4 - Poluição do Solo Urbano.....	101
5.5 - Resíduos Sólidos Urbanos	102
5.6 - Os Resíduos como Poluentes do Solo.....	103
Classificação de Resíduos – ABNT.....	104
Resíduos radioativos.....	105



5.7 - Fontes da Poluição do Solo.....	106
5.8 - Formas de contaminação do solo.....	106
5.9 - Recuperação do Solo	107
Métodos de recuperação dos solos.....	107
Tecnologias de tratamento	108
Biorremediação	110
Landfarming.....	111
Catabolismo	112
Biosorção.....	112
Bioacumulação	112
Fitorremediação	113
Compostagem.....	114
Práticas de conservação do solo.....	114
5.10 - Caminhando para o fechamento do tema:	
A Natureza como fonte de materiais.....	115
Ocorrência dos metais na natureza	119
6. Relevância da Química para uma Sociedade Sustentável.....	121
6.1 - Legislação Brasileira para a Educação Básica e a Educação Ambiental.....	122
6.2 - A abordagem CTSA no Ensino de Química como motivador do processo de ensino-aprendizagem de Química	127
6.3 - A Formação dos professores para a perspectiva ambiental	129
6.4 - Perspectivas da contribuição da Química e da Tecnologia para Sustentabilidade Mundial.....	130
6.5 - Sugestões para um trabalho interdisciplinar, contemplando a temática ambiental.....	133



A Química da Biosfera



http://www.acervodigital.unesp.br/bitstream/123456789/46934/14/02_Redefor_D08_Quimica_Ficha.flv

Autores

Iêda Aparecida Pastre

Rosebelly Nunes Marques

Palavras-chave

Química, Biosfera, Qualidade do ar, Poluição da água e solo, Sociedade Sustentável



Resumo da disciplina

O ser humano, desde seu surgimento na face da Terra, aprendeu a transformar substâncias encontradas na natureza para melhorar sua qualidade de vida e seu bem estar. Porém, foi nos últimos 100 anos que o ser humano desenvolveu efetivamente sua capacidade de efetuar transformações químicas e industriais que causaram mudanças significativas no meio ambiente. O aumento da produtividade agropastoril e industrial, se de um lado foi positivo amenizando muitos problemas do ser humano como fome, saúde, moradia, etc, por outro lado ações descontroladas como o uso excessivo de produtos químicos e a utilização dos recursos naturais, acarretam sérios problemas ambientais que se constituem em perigos potenciais para a vida do planeta. O crescimento econômico Mundial depende dos processos químicos que vão, desde o tratamento de água, aos mais complexos processos industriais. Neste sentido, aplicam-se os princípios da Química para o entendimento das causas e efeitos desses processos no ambiente. Discute-se também a importância de aspectos relacionados à Formação de Professores na temática ambiental e a inclusão do eixo Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA). Portanto, o gerenciamento da hidrosfera, da atmosfera e litosfera de forma a manter e aumentar a qualidade de vida global no planeta é uma das mais importantes preocupações da sociedade atual.



Atmosfera – importância da qualidade do ar para a manutenção da vida no planeta



http://www.acervodigital.unesp.br/bitstream/123456789/46934/15/02_Redefor_D08_Quimica_Tema_01.flv

Introdução

“Química é a ciência que estuda as substâncias, sua estrutura (tipos e formas de organização dos átomos), suas propriedades e as reações que as transformam em outras substâncias. “Linus Pauling (1901-1994)

10

A partir do desenvolvimento histórico, a Química surgiu da alquimia e, no início foi dividida em dois eixos, a Química Orgânica, que estudava as substâncias formadas com base na combinação de átomos de carbono e seus derivados e a Química Inorgânica que se dedicava ao



estudo dos minerais. Devido a sua importância e distinção, estes dois ramos ainda permanecem até a atualidade.

Atualmente, a Química está dividida de forma mais ampliada e diversificada, sendo que as principais divisões são: Química Orgânica, Química Inorgânica, Físico-química, Química Analítica e Bioquímica.

Com o desenvolvimento dessa Ciência tem-se aumentado muito o conhecimento e suas contribuições para o desenvolvimento de tecnologia, com esse desenvolvimento também se reduz muito a separação entre as principais divisões da Química criando novas áreas em comum entre elas.

Uma nova área da Química que vem crescendo rapidamente é a Química Ambiental que estuda o efeito de agentes químicos, naturais ou artificiais que afetam a biosfera. Esta vem se desenvolvendo para diminuir as ameaças ao meio ambiente tentando compreender a natureza e o tamanho dos problemas e, principalmente, encontrar soluções para superação desses problemas.

Para essa compreensão é necessário reconhecer que a ciência e a tecnologia desempenham um papel muito importante na resolução dos problemas ambientais através da aplicação adequada do conhecimento e da tecnologia.

Aspectos importantes da química ambiental

A parte da Química denominada, Química Ambiental pode ser definida como um estudo de espécies químicas ou agentes químicos que afetam a biosfera, suas origens, reações, efeitos, movimentação e destino desses agentes na água, ar e solo, bem como a influência da atividade humana sobre esses processos, ou seja, a Química Ambiental é a ciência dos fenômenos químicos no meio ambiente.

Outro aspecto da importância das pesquisas também da área da Química Ambiental é a possibilidade de contribuir para a conscientização para a extração e manipulação dos materiais retirados de suas fontes nativas considerando diversos fatores para que se possa preservar o desenvolvimento sustentável. Essa conscientização não só garante para as futuras gerações a possibilidade de utilizar a atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera como fonte de materiais,



assim como, a certeza de um ambiente harmonicamente saudável e equilibrado, preservando todas as espécies existentes.

A seguir as áreas da Química Ambiental e suas interfaces.

Áreas da Química Ambiental

A Química Ambiental estuda as reações químicas que ocorrem na biosfera (hidrosfera, litosfera e atmosfera) e suas interfaces, principalmente as que comprometem o ser humano. A fim de facilitar o entendimento é adequado subdividir o estudo do conhecimento específico da Química Ambiental em: Química da Hidrosfera, Química da Litosfera, Química da Atmosfera e Química da Biosfera.

A Química da Hidrosfera refere-se ao estudo dos oceanos, rios, lagos, represas, reservatórios, picos, geleiras, calotas polares e lençóis freáticos, ou seja, a água em todas as suas formas. Estudam-se também as espécies químicas e as reações que ocorrem na forma líquida da água.

A Química da Litosfera destina-se aos estudos sobre a camada sólida mais externa da Terra que engloba todos os materiais encontrados na crosta como os minerais, matéria orgânica, e principalmente o solo que é a parte mais significativa.

A Química da Atmosfera é entendida como conceitos relacionados à camada gasosa que envolve a Terra e é dividida em regiões diferentes, dependendo da altitude. A composição da atmosfera depende da altitude, da exposição à radiação solar dentre outros fatores.

A Química da Biosfera pode ser entendida como estudos referentes a todos os organismos vivos e é fortemente influenciada pela Química do meio ambiente que exerce uma influência sobre a química dos ambientes como litosfera, hidrosfera e atmosfera.

A Figura 1 apresenta um resumo das áreas da Química Ambiental e suas relações.

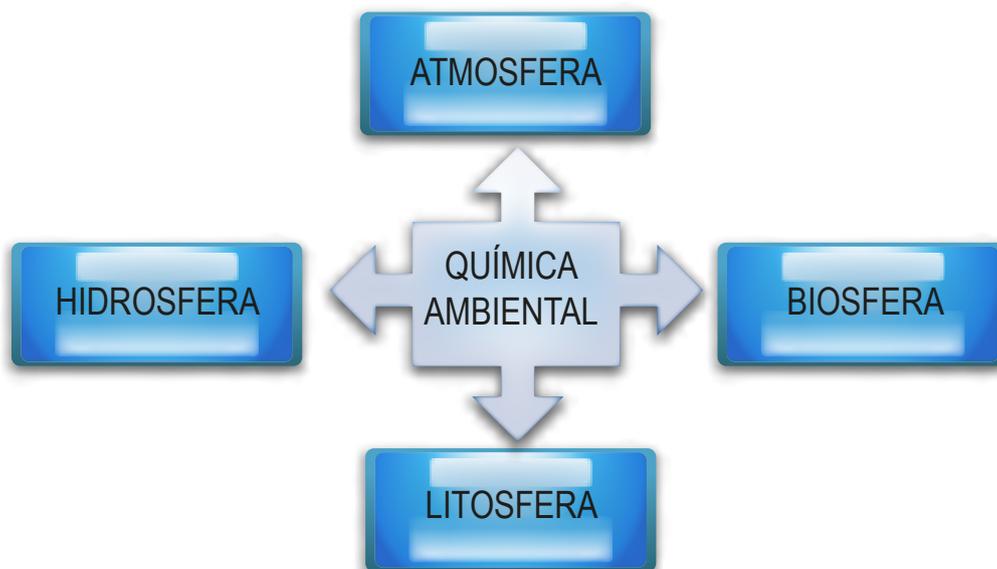


FIGURA 1 – Diagrama resumido das áreas da Química Ambiental (PASTRE;MARQUES, 2011)

A Química Ambiental em constante movimento

Quando uma espécie química é introduzida no meio ambiente pode ser distribuída de forma local ou pode atingir grandes proporções, de forma global. A distribuição depende da espécie química e da forma como é introduzida no meio em questão. Alguns gases poluentes quando lançados na atmosfera atingem uma ampla área geográfica. Os problemas podem ser evitados ou minimizados conhecendo-se as propriedades de cada composto químico e obtendo informações dos fenômenos que ocorrem quando o composto foi introduzido anteriormente. O entendimento dessa dimensão pode contribuir como base conceitual para possibilidade de prever e prevenir problemas futuros.

Uma espécie química pode ser distribuída pelo ambiente, por exemplo, um produto químico introduzido na hidrosfera pode passar para a litosfera ou para a atmosfera contaminando-as, ou ainda ser absorvida por um organismo vivo, causando danos irreversíveis. Esse produto pode ficar se movimentando e interagindo entre os diferentes sistemas, agindo como contaminante e trazendo problemas diversos na atmosfera, litosfera, hidrosfera e biosfera.

Mais adiante neste curso, estudar-se-á que quando uma espécie química está na água possui propriedades que podem ser estudadas e definidas, pois na água haverá uma movimentação dessa espécie através da interação ou reação com outras espécies no meio aquático. Essa mesma



espécie também pode encontrar um caminho para a atmosfera, onde ele pode ser transportado, por exemplo, por fenômenos meteorológicos. Um exemplo mais claro desta ideia é o fato de uma espécie química quando presente no sistema vascular de um animal poder ser transportada por todo o corpo, ou também pode atingir todas as partes de uma planta o que irá depender do transporte de seiva.

No solo o movimento de uma espécie química ocorre principalmente por um processo de difusão. As partículas do solo podem se mover por si só no ar ou no meio aquoso e durante o movimento podem absorver ou adsorver outras partículas. O movimento dessas partículas vai depender do movimento do ar ou da água e será dirigido pelas propriedades do ar e da água, as propriedades ou características da espécie química que é transportada terão influência pouco significativa.

Para o estudo específico e mais aprofundado de um determinado produto químico é importante o conhecimento mais significativo das propriedades químicas desse material, pois esse produto pode se movimentar entre as diversas áreas do ambiente, os parâmetros mais importantes estão relacionados com os fatores termodinâmicos e cinéticos nessa transição.

Nos meios naturais não se têm sistemas que consistem em equilíbrios reversíveis, porém é possível assumir uma condição de equilíbrio para fornecer alguma indicação particular acerca da tendência de transformação e movimentação entre as diversas áreas do ambiente.

Para que se considerem algumas propriedades que podem definir como será a movimentação de determinadas espécies entre as áreas ambientais sugere-se considerar a existência de várias interfaces entre as áreas

As interfaces entre os sistemas água-solo-ar

ÁGUA – AR: O movimento nessa interface se deve a pressão de vapor de uma substância e a sua respectiva solubilidade em água.

ÁGUA – SOLO: É necessário nessa interface o entendimento de algumas propriedades como: constante de solubilidade, coeficiente de partição e calor de solução. Nessa interface o movimento das espécies químicas ocorre principalmente envolvendo a adsorção e dessorção e os fatores que as influenciam bem como a solubilidade em água.



TERRA – AR: Esta interface é a mais complexa e está relacionada à adsorção química sobre o solo, com a pressão de vapor e a influência da água e o efeito do movimento dessa espécie substância química nesse sistema.

MEIO FÍSICO – MEIO BIOLÓGICO: A caracterização dessa interface é bastante distinta das descritas anteriormente, pois se refere à movimentação de espécies químicas dos organismos biológicos, como plantas e animais, para meios físicos como o solo, água ou ar e destes para organismos biológicos. Esta movimentação ocorre normalmente através de membranas.

Nessa discussão pode-se dizer que o movimento de produtos químicos no meio ambiente é um processo contínuo e que envolve todas as interfaces abrangendo várias propriedades químicas e físicas dessas espécies e químicas em cada processo e por mais estático que possa parecer ele está em constante movimento, por esta razão a denominação de que a Química Ambiental é dinâmica.

1.1 – Características da atmosfera terrestre

Iniciaremos a disciplina com o estudo dos gases e seus efeitos do ponto de vista da Química Ambiental, conhecendo um pouco sobre a atmosfera terrestre.

Atmosfera terrestre é a denominação da camada de ar que envolve o planeta Terra. De acordo com LENZI (2009) é possível distinguir três momentos distintos ao longo de sua formação, abordados a seguir.

O primeiro momento, iniciado anterior à vida, é caracterizado pelo fato da atmosfera apresentar características redutoras bem como acúmulo de N_2 . A água contida na superfície terrestre dá origem os mares e oceanos em um prelúdio ao ciclo hidrológico. Estabelecido o ciclo hidrológico, as condições suporte para o princípio da vida também foram estabelecidas.

Relaciona-se o segundo momento com o aparecimento da vida. Durante esse período 21% de ar seco da atmosfera é de O_2 . A formação da camada de ozônio surgiu nesta etapa, permitindo que os seres vivos de então estivessem protegidos da ação dos raios ultravioleta. Com uma significativa quantidade de oxigênio em sua constituição surgem os indivíduos chamados de aeróbios.



O terceiro momento é marcado pela presença do homem e sua influência no meio ambiente (LENZI, op cit.). Neste período, através da ação do homem, é possível evidenciar a intensificação do efeito estufa, bem com a formação da chuva ácida. O buraco na camada de ozônio também surgiu durante o este período.

A atmosfera atual apresenta uma mistura gasosa significativamente diversificada, porém, sendo constituída com cerca de 98% de nitrogênio e oxigênio. Na tabela 1 é possível de visualizar a composição aproximada do ar seco ao nível do mar.

Tabela 1. Composição do ar seco próximo ao nível do mar.

Componente	Teor (fração em quantidade de matéria)	Massa molar
Nitrogênio	0,78084	28,013
Oxigênio	0,20948	31,998
Argônio	0,00934	39,948
Dióxido de carbono	0,000375	44,0099
Neônio	0,00001818	20,183
Hélio	0,00000524	4,003
Metano	0,000002	16,043
Criptônio	0,00000114	83,80
Hidrogênio	0,0000005	2,0159
Óxido nitroso	0,0000005	44,0128
Xenônio	0,000000087	131,30

PASTRE;MARQUES, 2011, a partir de dados obtidos em BROWN, *et al*, 2005.

16

Na maioria das vezes, os gases atmosféricos têm suas concentrações expressas em duas escalas, a absoluta e a relativa. Para a escala absoluta, as concentrações são determinadas em moléculas por centímetro cúbico.



A escala que expressa as concentrações relativas, esta é comumente expressa como fração molar ou molecular. Devido ao fato das concentrações dos componentes de uma mistura gasosa serem significativamente pequenas, frequentemente as frações molares ou moleculares são expressas em partes por milhão, ppm, partes por bilhão, ppb ou partes por trilhão, ppt (BAIRD, 2002).

Para expressar a quantidade traço de substâncias, a unidade de concentração usualmente utilizada é o ppm. Para soluções aquosas, a unidade de ppm, refere-se a gramas de substância em um milhão de gramas de solução. Para gases as unidades, ppm ou ppmv referem-se à parte por volume em um milhão de volume do todo.

Baseando-se na lei dos gases ideais, em que o volume do gás é proporcional a quantidade de moléculas do gás, a fração de volume e a fração em quantidade de matéria são as mesmas. Assim, 1 ppm de um constituinte em traço da atmosfera é correspondente a um mol do constituinte em um milhão de mols de gás total. Ou seja, a concentração em ppm é igual a fração em quantidade de matéria multiplicada por 10^6 .

Como exemplo, tem-se que para o CO_2 , a Tabela 1 fornece a fração em quantidade de matéria para o mesmo na atmosfera como sendo 0,000375. Sua concentração em ppm é $0,000375 \times 10^6 = 375$ ppm.

Exercício de fixação: Considera-se a concentração de CO em uma amostra de ar de 4,1 ppm. Qual é a pressão parcial do CO (P_{CO}) se a pressão total (P_{T}) do ar for 715 torr?

$$\text{Resolução } P_{\text{CO}} = P_{\text{T}} \cdot X_{\text{CO}}$$

$$P_{\text{CO}} = 715 \cdot \frac{4,1}{10^6}$$

$$10^6$$

$$P_{\text{CO}} = 3,0 \times 10^{-3} \text{ torr}$$



1.2 – As regiões da atmosfera terrestre

As regiões da atmosfera terrestre são divididas em cinco regiões distintas, sendo elas: a troposfera, a estratosfera, a mesosfera, a termosfera e a exosfera, com quatro faixas de transição bem definidas: a tropopausa, a estratopausa, a mesopausa e a termopausa (Figura 2). Considerando-se até o limite entre a termosfera e a exosfera, que a espessura da atmosfera pode chegar a aproximadamente 500 km (LENZI, 2009).

A atmosfera terrestre é afetada pela temperatura e pela pressão, bem como pela gravidade. As moléculas e os átomos mais leves são encontrados em altitudes maiores. A densidade do ar diminui com a altitude. A pressão atmosférica também diminui à medida que se sobe às camadas superiores da atmosfera e vai caindo significativamente seu conteúdo de oxigênio, cuja densidade é maior que a do nitrogênio. A pressão diminui de um valor médio de 760 torr ao nível do mar, para $2,3 \times 10^{-3}$ torr a 100 km e 1×10^{-6} a 200 km.

A troposfera e estratosfera juntas, respondem por 99,9% da massa da atmosfera, com 75% da massa sendo da troposfera. Essas duas camadas destacam-se do ponto vista ambiental. Na troposfera, desenvolvem-se todos os processos climáticos importantes para a manutenção da vida na terra. Além disso, é nessa região que ocorre a maioria dos fenômenos relacionados com a poluição do ar. Na estratosfera, em razão da presença do ozônio, ocorrem importantes reações que permitem o desenvolvimento da vida em nosso planeta.

O perfil de temperatura que caracteriza a atmosfera é resultado da estratificação dos gases que se encontram presentes em cada camada, da incidência de radiação solar no planeta e da dispersão dessa radiação de volta para o espaço (BRAGA, et al.2006).

A seguir a descrição das camadas da Terra e seus principais fenômenos nelas existentes.

A cama terrestre: Troposfera

A camada mais baixa da atmosfera é a troposfera, estando compreendida entre a superfície da crosta terrestre até aproximadamente 16 km de altitude (BAIRD, op cit.). Essa camada apresenta-se como a de maior interesse para o homem, visto que é nela que se encontra o ar que respiramos. Uma marcante característica da troposfera é a redução de temperatura com o



aumento da altitude sendo esse decréscimo de aproximadamente $6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por quilometro sendo conhecido como gradiente vertical normal ou padrão de temperatura. Possui importância fundamental do ponto de vista climático, pois essa camada é a responsável pela ocorrência das condições climáticas da Terra.

Os dois componentes mais importantes da atmosfera natural na troposfera são o nitrogênio, N_2 , e o oxigênio, O_2 . É oportuno revisarem-se algumas propriedades químicas dos dois principais componentes da atmosfera. A molécula de N_2 possui ligação tripla. Essa ligação muito forte é basicamente responsável pela baixa reatividade do N_2 . A molécula de O_2 apresenta ligação dupla sendo a energia da ligação no O_2 de 495 kJ/mol , muito menor que a energia de ligação da molécula de N_2 que é de 941 kJ/mol , sendo portanto, o O_2 mais reativo que o N_2 .

O oxigênio reage com muitas substâncias para formar óxidos. Os óxidos dos não metais como o CO_2 , SO_2 e NO_2 , formam soluções ácidas quando dissolvidos em água. Os óxidos de metais como o óxido de cálcio (CaO) formam soluções básicas quando dissolvidos em água.

Importantes fenômenos intensificados pela ação do homem, que interferem direta e indiretamente na vida, inclusive na do homem, acontecem nela. Dentre eles, o *smog* fotoquímico e a chuva ácida e o aquecimento global serão abordados com maiores detalhes.



A Figura 2 representa um esquema da atmosfera com suas variações de temperatura.

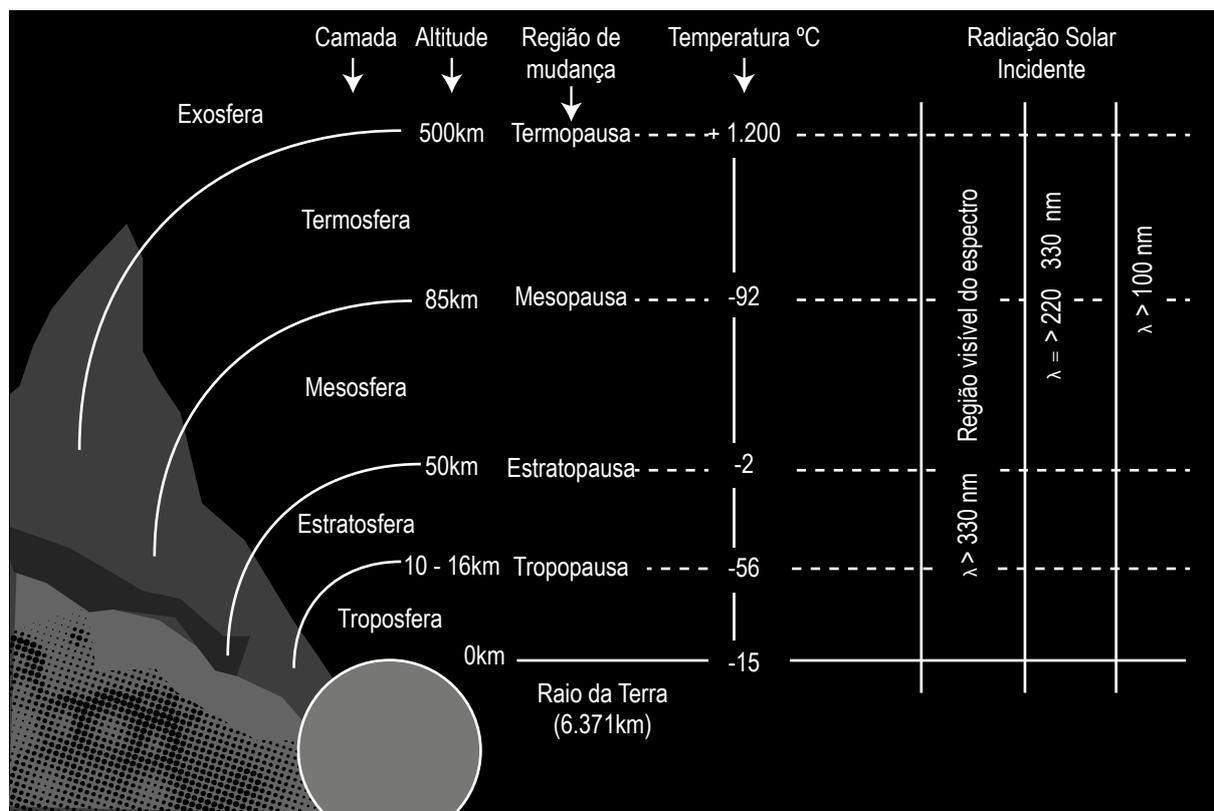


Figura 2. Representação esquemática da atmosfera, com suas variações de temperatura e a penetração da radiação eletromagnética. Fonte: LENZI (2009).

a) A poluição atmosférica e o aquecimento global

A explosão do desenvolvimento industrial leva ao acúmulo de dióxido de carbono (CO_2) no ambiente além de milhares de outros poluentes. As principais fontes de dióxido de carbono são a respiração dos organismos aeróbicos, a queima completa da matéria orgânica como o combustível fóssil, a biomassa, florestas, etc. O dióxido de carbono, juntamente com o gás metano, aparece como um dos principais poluentes responsáveis pelo aumento da temperatura do planeta, ou seja, o aquecimento global.

O ar é considerado poluído quando ele contém uma ou mais substâncias químicas em concentrações suficientes para causar danos aos seres humanos, outros animais, vegetais ou ao patrimônio.



Os poluentes são classificados em primários e secundários. Os primários são aqueles lançados diretamente no ar. Como exemplo, temos o monóxido de carbono (CO), os compostos orgânicos voláteis e particulados em suspensão como poeira e fumaça, etc.. Os secundários são aqueles poluentes formados na atmosfera a partir de substâncias lançadas no ambiente. Como exemplo, temos o ácido sulfuroso (H_2SO_3) formado pela reação entre o dióxido de enxofre (SO_2) e a água na atmosfera.

O vapor de água e o dióxido de carbono (CO_2), presentes na troposfera, são importantes para a manutenção da temperatura na superfície da terra. Retêm a radiação infravermelho que sentimos como calor, originando o chamado efeito estufa que mantém a temperatura média na superfície da terra próxima dos 15°C . Sem o efeito estufa, a temperatura média da Terra seria de 18°C abaixo de zero.

Em razão das atividades humanas o aumento da concentração atmosférica dos gases do efeito estufa (dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e clorofluorcarbono (CFC)) aumentaram a absorção do calor emitido ou refletido pela superfície da terra diminuindo a quantidade que deveria voltar para o espaço ocasionando o aumento do efeito estufa, ou seja, da temperatura média do planeta.

A concentração global de CO_2 medida no período pré - industrial antes de 1750 era de 280 ppmv. De 1958 a 2003, a concentração de CO_2 global aumentou de 316 ppmv para 376 ppmv. O aumento desde o período pré - industrial até o presente foi de aproximadamente 34%. Estes dados revelam uma elevação de 0,3 a $0,6^\circ\text{C}$ na temperatura média global da atmosfera sendo a previsão para 2050 - 2100 um aumento de 1 a 3°C .

b) Smog Fotoquímico

Segundo Baird (2002), o *smog* fotoquímico, ou névoa fotoquímica, é um fenômeno caracterizado pela presença de ozônio na troposfera em regiões urbanas com a estagnação de uma massa de ar. O *smog* é proveniente de uma série de reações químicas, tendo como principais reagentes o óxido nítrico, hidrocarbonetos emitidos, principalmente, pela queima incompleta do combustível dos motores a combustão, os compostos orgânicos voláteis, COV's, oriundos de substâncias contendo hidrocarbonetos voláteis como, combustível líquido, aerossóis e afins.



Com a presença de a luz solar sobre esses compostos há um aumento da quantidade de radicais livres formados no ambiente. A Figura 3 ilustra as sucessivas reações de formação do *smog*.

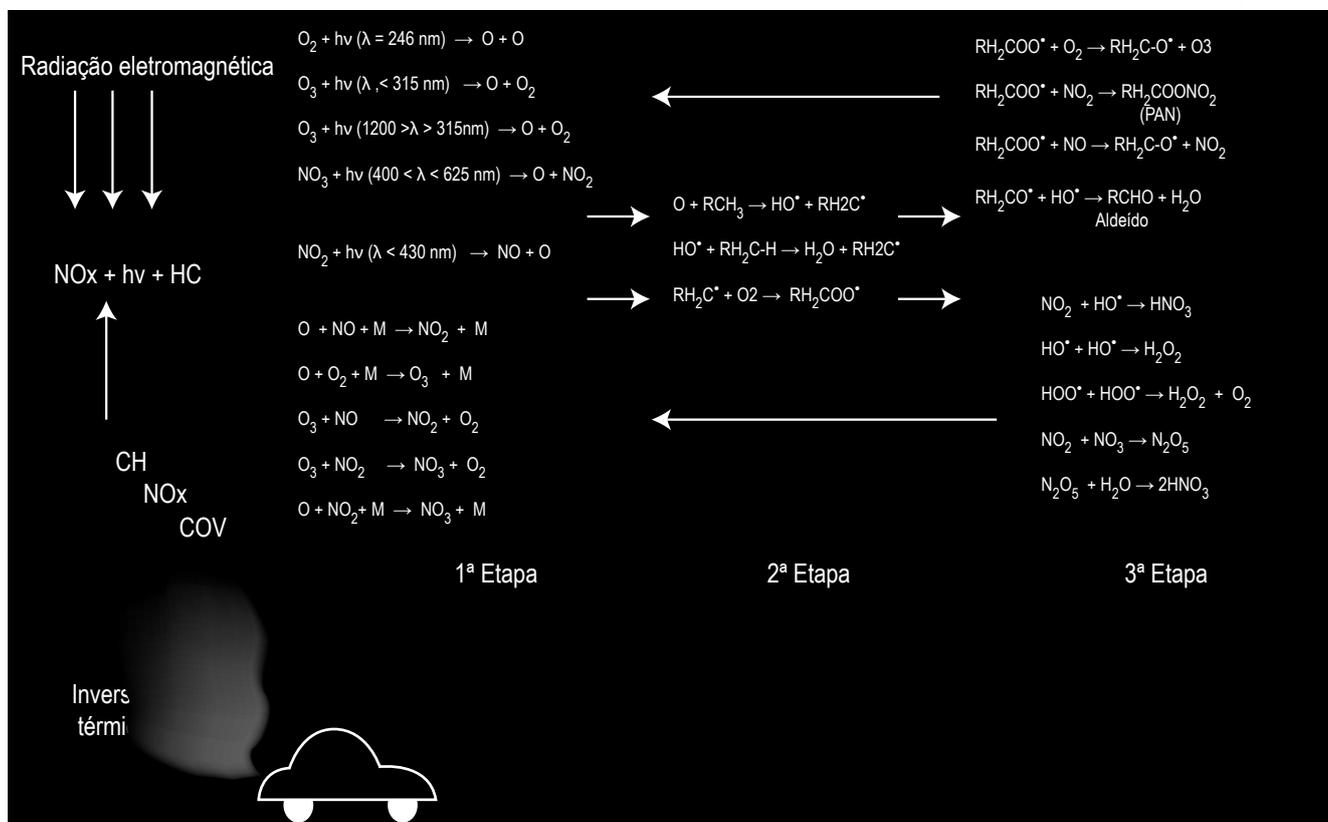


Figura 3: As principais reações durante a formação do *smog* fotoquímico e suas etapas. **Fonte:** LENZI (2009)

De acordo com LENZI (2009), o *smog* fotoquímico pode apresentar efeitos físicos, químicos e biológicos. Fisicamente, o material particulado constituinte do *smog* forma aerossóis que reduz a visibilidade sendo que, para uma umidade relativa do ar inferior a 60%, essa pode ser limitada a 3 milhas.

Biologicamente, todo o efeito pode ser verificado na biota animal e vegetal. Em seres humanos, o *smog* proporciona problemas à saúde bem como desconforto. O *smog* pode ainda contribuir para o surgimento ou agravamento do quadro de alergias e problemas respiratórios. As crianças e idosos são os mais afetados, sendo que em crianças as patologias adquiridas podem se tornar doenças crônicas ao decorrer de suas vidas. Podem ainda contribuir para doenças cardíacas e do cérebro.



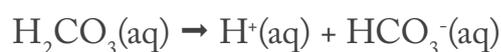
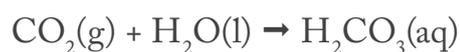
Os PAN, peróxil alquil nitrato, causa irritação nos olhos e o ozônio em concentrações de 0,15 ppm causa problemas respiratórios. De acordo com a organização mundial da saúde, a concentração máxima permitida de O_3 no ar é de 100 ppb medida em média por um período de uma hora.

Em termos de conhecimento químico, os efeitos são devido ao caráter oxidante que o *smog* fotoquímico apresenta. A corrosão de materiais é evidente neste efeito, em que, a água serve de meio de reação.

c) Chuva Ácida

A chuva ácida considerada como uma das principais consequências da poluição atmosférica. A principal causa da ocorrência de chuva ácida se dá pela ação antrópica. Com a queima de carvão ou combustíveis fósseis ocorre à liberação de resíduos gasosos, como o dióxido de enxofre e de nitrogênio para a atmosfera. Esses gases sofrem reações na atmosfera dentre elas a reação com vapor de água presente na atmosfera. Como resultado há a formação das chuvas ácidas.

Vale ressaltar que a água da chuva é naturalmente ácida com pH aproximadamente igual a 5,5 devido ao dióxido de carbono (CO_2) dissolvido oriundo da atmosfera (BAIRD, 2002). As equações abaixo mostram a formação e dissociação do ácido carbônico (H_2CO_3) presente na chuva “natural”, não-poluída:



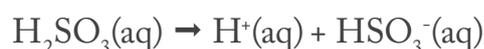
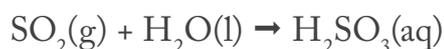
O aumento da acidez da água da chuva, pH menor que 5, ocorre principalmente quando há um aumento na concentração de óxidos de enxofre e nitrogênio na atmosfera. Estes óxidos e o dióxido de carbono são chamados de óxidos ácidos, porque em contato com a água (neste caso água de chuva) formam ácidos, que contribuem para o decréscimo do pH ou aumento da acidez da água da chuva.



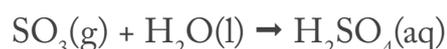
Os dois principais ácidos predominantes na chuva ácida são o ácido sulfúrico (H_2SO_4) e o ácido nítrico (HNO_3) (BAIRD, op cit.).

O dióxido de enxofre (SO_2) é o responsável pelo maior aumento na acidez da chuva. Este é produzido diretamente como subproduto da queima de combustíveis fósseis como a gasolina, carvão e óleo diesel. O óleo diesel e o carvão são muito impuros, e contém grandes quantidades de enxofre em sua composição, sendo responsáveis por uma grande parcela da emissão de SO_2 para a atmosfera (BROWN, *et al.*, 2005).

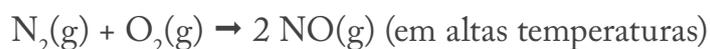
De forma equivalente a outros óxidos, o SO_2 reage com a água formando o ácido sulfuroso:



O dióxido de enxofre também pode sofrer oxidação na atmosfera e formar o trióxido de enxofre (SO_3), que por sua vez, em contato com a água da chuva irá formar o ácido sulfúrico (H_2SO_4), que é um ácido forte:

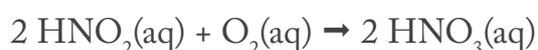
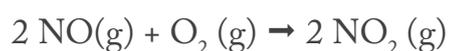


O nitrogênio gasoso (N_2) e o oxigênio molecular (O_2) da atmosfera podem reagir formando o monóxido de nitrogênio (NO). No entanto, esta reação não é espontânea, necessitando de muita energia para ocorrer. Por exemplo, durante a queima de combustível no motor do carro ou em fornos industriais a temperatura é muito elevada, fornecendo a energia necessária para que ocorra a formação do monóxido de nitrogênio de forma eficiente (BAIRD, 2002).





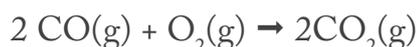
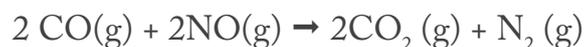
O monóxido de nitrogênio pode ser oxidado na atmosfera (que contém O_2) e formar o dióxido de nitrogênio (NO_2) que apresenta coloração marrom. Muitas vezes, o fato do céu ter um tom marrom em cidades com tantos veículos como São Paulo, se deve à formação do NO_2 na atmosfera, somado com a grande emissão de material particulado (incluindo a fuligem) que também escurece a atmosfera. O dióxido de nitrogênio pode sofrer novas reações e formar o ácido nítrico (HNO_3), que contribui para aumentar a acidez da água de chuva (BAIRD, op cit.):



Um carro produzido em 1995 produz até 10 vezes mais NO que um carro produzido atualmente. Isto porque os carros modernos possuem um conversor catalítico que reduz muito a formação do NO. O conversor catalítico (ou catalisador) contém metais como paládio, platina e ródio, que transforma grande parte dos gases prejudiciais à saúde e ao meio ambiente, em gases inertes como N_2 e CO_2 .

As indústrias automobilísticas estão atentas a esse fato e vem empenhando-se em tecnologias limpas e renováveis, com pesquisas sobre combustíveis alternativos, a fim de minimizar problemas ambientais desta natureza.

Deve-se lembrar de que o CO_2 é um gás que não prejudica diretamente a saúde humana, mas colabora para aumentar o efeito estufa (ATKINS & DE PAULA, 2008).





É importante salientar que com ou sem catalisador o carro continua emitindo imensas quantidades de CO_2 para a atmosfera. O catalisador tem um papel importantíssimo, mas atua de forma a minimizar apenas as emissões de CO e NO (ATKINS & DE PAULA, op cit.).

A chuva ácida causa diversas consequências para o meio ambiente. É maléfica para a saúde da população, pois esta chuva solubiliza metais tóxicos presentes no solo. Esses metais podem contaminar os rios e podem ser utilizados pelo homem causando sérios problemas de saúde (BAIRD, 2002). Nas casas, edifícios e monumentos a chuva ácida também ajuda a corroer alguns dos materiais utilizados nas construções, danificando algumas estruturas, como as barragens, as turbinas de geração de energia, monumentos, etc., como mostra a Figura 4.



Figura 4: Efeito da precipitação ácida em uma estátua em calcário e sobre uma floresta de Picea Erzgebirge, Alemanha). Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Chuva_%C3%A1cida

Os lagos podem ser os mais prejudicados com o efeito das chuvas ácidas, pois podem ficar totalmente acidificados perdendo toda a sua vida.

A chuva ácida causa desflorestamentos, provocando clareiras, matando algumas árvores de cada vez. Pode-se imaginar uma floresta, que vai sendo progressivamente dizimada, podendo eventualmente ser até destruída por completo. Plantações quase da mesma forma que as florestas são afetadas, no entanto a destruição é mais rápida, uma vez que as plantas são todas do mesmo tamanho e assim, igualmente atingidas pelas chuvas ácidas (BAIRD, op cit.).



A Estratosfera

A estratosfera é a região atmosférica compreendida numa faixa de aproximadamente 35 km acima da troposfera. A camada de ozônio está situada na porção inferior da estratosfera, fato que a torna de vital importância.

A estratosfera apresenta como principal característica a inversão de temperatura, isto é, a medida que a altitude aumenta, a temperatura também sofre acréscimo (BAIRD, 2002). Acompanhando-se a variação de temperatura com o aumento da altitude, Figura 5, verifica-se na estratosfera que em sua camada inferior a temperatura apresenta uma tendência a diminuir. Porém, avançando em altitudes superiores a temperatura se eleva. A estratopausa, região limítrofe da estratosfera é marcada pela estagnação da temperatura e posterior decréscimo de temperatura com o aumento da altura.

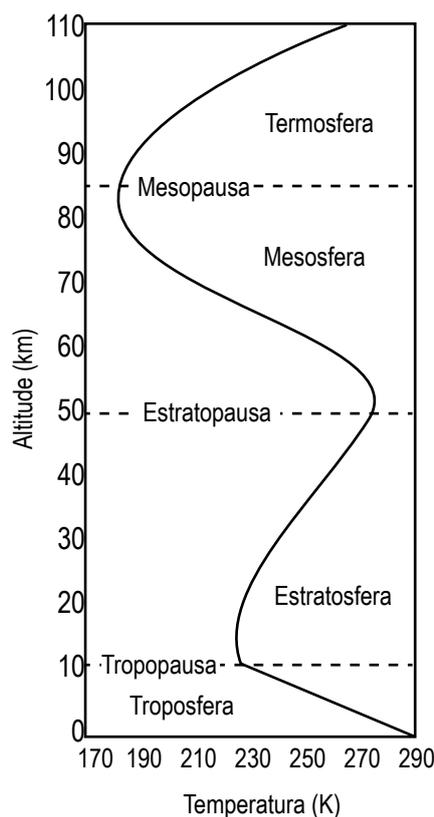


Figura 5: Variação da temperatura em função da altitude na atmosfera. Fonte: Brown et al (2005)



a) Características do ozônio

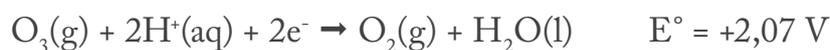
O ozônio (O_3) é um gás instável, com propriedades diamagnéticas e com temperatura de ebulição de $-112^\circ C$. É uma forma alotrópica do oxigênio, constituído por 3 átomos unidos por ligações simples e dupla, sendo um híbrido de ressonância com comprimento médio de ligação de $1,28 \text{ \AA}$. É uma molécula angular com um ângulo de $116^\circ 49'$ entre seus átomos o que o torna mais solúvel em água. Sua alta reatividade o transforma em elemento tóxico capaz de reagir com moléculas proteicas, destruir microorganismos e prejudicar o crescimento dos vegetais. É um gás à temperatura ambiente, de coloração azul-pálida, devido à intensa absorção de luz vermelha, venenoso e com um odor pronunciado e irritante. A sensibilidade de algumas pessoas pode detectar aproximadamente $0,01 \text{ ppm}$ no ar. A exposição à concentração de $0,1$ a 1 ppm produz dores de cabeça, queimação nos olhos e irritação das vias respiratórias.

A molécula dissocia-se facilmente formando átomos de oxigênio reativos:



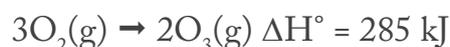
A decomposição é catalisada por metais como Ag, Pt, Pd e muitos óxidos de metais de transição.

É também um agente oxidante poderoso mais fraco apenas que o F_2 , reagindo mais rapidamente que o O_2 . Uma medida desse poder oxidante é o alto potencial padrão de redução de O_3 comparado com F_2 e O_2 .





O ozônio forma óxidos com muitos elementos nas condições para as quais O_2 não reage; ele oxida todos os metais comuns exceto o ouro e a platina. É formado em descargas elétricas, como representado na reação:



É uma molécula usada para tratamento doméstico de água em substituição ao cloro matando bactérias e oxidando compostos orgânicos. O maior uso do ozônio está na preparação de medicamentos, lubrificantes sintéticos dentre outros compostos orgânicos comercialmente úteis, onde O_3 é usado para romper ligações duplas carbono - carbono.

O ozônio apresenta-se como espécie indesejável na atmosfera poluída de grandes centros urbanos, sendo um dos principais constituintes da névoa fotoquímica. Entretanto, o O_3 é um componente importante da atmosfera superior, onde bloqueia a radiação ultravioleta protegendo a terra dos efeitos desses raios de alta energia. Por essa razão, a destruição do ozônio estratosférico é motivo de preocupação científica nos dias atuais.

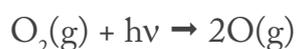
b) Camada de ozônio

Os mecanismos envolvidos na depleção da camada de ozônio, O_3 , dentre outros que ocorrem na estratosfera são controlados pela radiação solar (BAIRD, op cit.). Portanto, é importante entender a capacidade de absorção de ondas eletromagnéticas pelas moléculas, e conseqüentemente a sua ativação, tornando-as potencialmente reativas. Os diferentes níveis de energia dos elétrons que constituem uma determinada substância conferem a esta características distintas no tocante a sua tendência a absorver um certo comprimento de onda. Reações fotoquímicas que ocorrem na camada de ozônio são responsáveis pela absorção de radiação ultravioleta de alta energia extremamente danosa à vida na terra. Portanto, ela serve como um filtro à radiação solar. Enquanto N_2 , O_2 e O (oxigênio atômico) absorvem radiação eletromagnética de comprimento de onda menor que 240 nm, o O_3 é importante absorvedor de radiação eletromagnética com comprimento de onda de 240 nm a 310 nm ($1\text{nm} = 10^{-9} \text{ m}$).

As sucessivas reações que formam o O_3 são iniciadas pela absorção de radiação eletromagnética com comprimento de onda inferior a 242nm (LENZI, 2009).

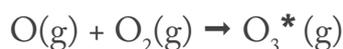


Na região, entre 30 e 90 km de altitude, a radiação de comprimento de onda curto capaz de fotoionizar o oxigênio já foi absorvida. Porém, na região da estratosfera superior chega radiação capaz de dissociar a molécula de O_2 :



Em que, para esta equação química, $h\nu$ representa a energia da radiação eletromagnética absorvida, de frequência ν necessária para a dissociação da molécula de oxigênio e h é a constante de Planck.

Como na baixa estratosfera concentração de $O_2(g)$ é muito maior que a de oxigênio atômico, estes sofrem colisões frequentes com as moléculas de $O_2(g)$, resultando uma velocidade de formação de ozônio maior que a de decomposição:



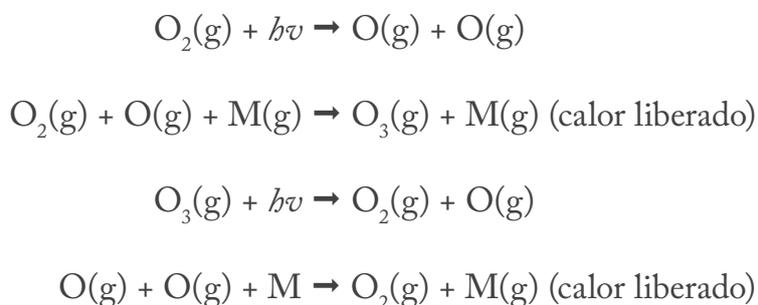
O asterisco sobre O_3 significa que a molécula de ozônio está com excesso de energia. Esta reação libera 105 kJ / mol de O_3 formado. Essa energia deve ser transferida da molécula de O_3^* em um período curto de tempo senão o ozônio se decompõe nos gases de origem. Esses processos variam com a altitude em sentidos opostos, sendo que a velocidade mais alta de formação do ozônio ocorre a uma altitude de aproximadamente 50 km. No total, 90% do ozônio da terra são encontrados na estratosfera entre 10 e 50 km de altitude

A fotodecomposição do ozônio inverte a reação que o forma. O ozônio absorve radiação entre 200 e 310 nm e se decompõe:





Então temos um processo cíclico de formação e decomposição do ozônio estratosférico, resumido a seguir:

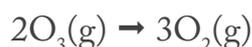
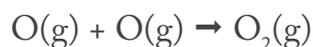
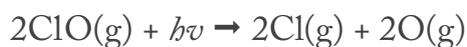
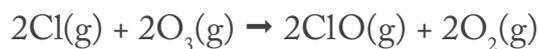


Note que o elemento “M” das reações pode ser, dentre as possíveis moléculas, N_2 ou até mesmo outra molécula de O_2 .

O primeiro e terceiro processos são fotoquímicos, eles usam um fóton solar para iniciar a reação química. O segundo e quarto processos são reações químicas exotérmicas. O resultado líquido é um ciclo onde a energia solar radiante é convertida em energia térmica. O ciclo do ozônio na estratosfera é responsável pelo aumento da temperatura que atinge seu máximo na estratopausa.

Alguns compostos como os CFC (clorofluorcarbonos) e N_2O (óxido nitroso) migram da troposfera para a estratosfera gerando, respectivamente átomos de Cl e NO que são catalisadores importantes da destruição do ozônio estratosférico.

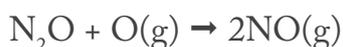
Na estratosfera as moléculas de CFC são expostas à radiação de alta energia que provoca a foto dissociação das ligações C-Cl que são consideravelmente mais fracas que as ligações C-F. Dessa forma os átomos de cloro são formados rapidamente na presença de luz de comprimento de onda na faixa de 190 a 225 nm. Os átomos de cloro livres reagem rapidamente com ozônio produzindo $\text{ClO}(\text{g})$ e $\text{O}_2(\text{g})$ sendo a constante de velocidade (k) da ordem de $7,2 \times 10^9 \text{ mol}^{-1} \text{ L s}^{-1}$ a 298 K. O monóxido de cloro (ClO) sofre foto dissociação regenerando os átomos de cloro livres que reagem com o ozônio como mostrado a seguir:



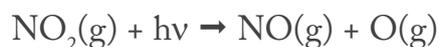
A velocidade da reação dos átomos de cloro livres com o ozônio aumenta linearmente com a concentração de cloro.

O óxido nitroso (N_2O) migra da troposfera para a estratosfera gerando óxido nítrico (NO) que é um importante catalisador da destruição do ozônio na estratosfera média e superior. O óxido nítrico é eliminado na estratosfera pela ação de aviões a jato, este reage instantaneamente com ozônio para formar NO_2 , que por sua vez reage com O regenerando NO que pode reagir sucessivamente com outra molécula de O_3 segundo as equações abaixo:

Reação de decomposição do óxido nitroso:



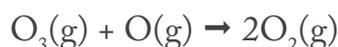
Mecanismo catalítico de decomposição do ozônio:



Na parte inferior da estratosfera como a concentração de oxigênio atômico é baixa estes mecanismos predominam às custas daqueles que requerem oxigênio atômico, pois as reações que requerem oxigênio ficam lentas.



Exemplo de mecanismo que requer oxigênio atômico na degradação do ozônio e que, portanto, ocorre na estratosfera superior é mostrado a seguir:



Na destruição catalítica do ozônio, os compostos mais significativos, segundo Lenzi (2009), são: H[·], HO[·], HOO[·]; NO, NO₂; Cl[·], ClO; Br[·], BrO; I[·], IO, sendo que os pontos como sobrescritos representam as espécies radicalares.

Com a diminuição da camada de ozônio ocorrem diversas consequências prejudiciais ao meio ambiente em geral como o aumento da temperatura global e efeitos maléficos a saúde dos seres vivos.

Com o aumento da temperatura no mundo, está em curso o derretimento das calotas polares. Ao aumentar o nível das águas dos oceanos, pode ocorrer, futuramente, a submersão de muitas cidades litorâneas, devido ao aumento da temperatura da Terra (BAIRD, 2002).

Esse aumento de temperatura acarretará em morte de várias espécies animais e vegetais, desequilibrando vários ecossistemas. Somado ao desmatamento que vem ocorrendo, principalmente em florestas de países tropicais como o Brasil, a tendência é aumentar cada vez mais as regiões desérticas do planeta Terra, diminuindo as plantações e conseqüentemente diminuindo comida para toda a população. O aumento da temperatura também ocasiona uma maior evaporação das águas dos oceanos, potencializando ciclones, tufões, entre outros tipos de catástrofes climáticas (BAIRD, op cit.).

Regiões de temperaturas amenas têm sofrido com as ondas de calor. No verão europeu, por exemplo, tem se verificado uma intensa onda de calor, provocando até mesmo mortes de idosos e crianças.



Uma consequência séria da destruição da camada de ozônio é o risco da saúde pública da população, com grande aumento da incidência de câncer de pele, pelos raios ultravioletas de alta energia que são mutagênicos. A maior preocupação dos cientistas é com o câncer de pele, mas há outras doenças como a catarata, cuja incidência vem aumentando nos últimos vinte anos. É recomendado evitar o sol nas horas em que este esteja muito forte, assim como a utilização de filtros solares, únicas maneiras de se prevenir e de se proteger a pele (SANTOS & MÓL, 2010). Lembrando que em horas de sol forte, mesmo com os bloqueadores solares a eficácia não é significativa. Esse fator é de extrema importância, visto que para determinados trabalhadores que ficam expostos ao sol, o protetor solar é considerado como equipamento de proteção individual e deve ser concedido pelo empregador. Por base a Constituição Federal, a Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), estabeleceu normas sobre a Segurança e a Medicina do Trabalho, que são as chamadas Normas Regulamentadoras (NRs).

A mesosfera, camada de ar que contém pó procedente da destruição de meteoritos, se encontra a partir dos 50 km de altura, tendo como limite inferior a estratopausa. O perfil de temperatura se modifica novamente e passa a diminuir com a altura até os 80 km, chegando a -90°C .

Na mesosfera a queda de temperatura passa a ocorrer em virtude da baixa concentração de moléculas e da diminuição do calor oriundo da camada de ozônio, que se encontra em uma região inferior. Apesar da baixa concentração, o ar presente na mesosfera é suficiente para oferecer resistência a objetos que entrem em nossa atmosfera (BAIRD, 2002).

O calor gerado pela resistência do ar a diversas rochas que colidem com a Terra faz com que os objetos sejam incendiados e dêem origem ao que é conhecido como estrelas cadentes. Esses fenômenos são chamados de meteoros e as rochas de meteoróides (PRESS, *et al.*, 2006).

Termosfera e exosfera

É a zona onde se destrói a maioria dos meteoritos que entram na atmosfera terrestre. A termosfera é a camada superior da atmosfera localizada entre 80 quilômetros e 100 quilômetros de altura. A temperatura sobe novamente na termosfera por causa da absorção da radiação na região do ultravioleta longínquo pelos gases atmosféricos, principalmente o oxigênio atômico. Esses raios ultravioletas de alta energia são capazes de fotoionizar os gases presentes nesta região da atmosfera. Em virtude da baixa densidade de gases nesta região da atmosfera e da radiação



de alta energia é raro haver a recombinação dos fragmentos, e uma fração apreciável dos gases existe na forma de átomos ou íons. Essa camada é importante, pois, nela ocorre a absorção da radiação de altíssima energia.

A exosfera é a região onde se produzem as belíssimas auroras boreais. É a camada mais externa da atmosfera, acima da ionosfera, que mede de 600 a 1600 km. Composta de 50% de *hidrogênio* e 50% de *hélio* suas temperaturas são em torno de 1000° C, devido à grande presença de plasma.



A Hidrosfera – “Água”: que líquido é esse? Por que devemos cuidar?



http://www.acervodigital.unesp.br/bitstream/123456789/46934/16/02_Redefor_D08_Quimica_Tema_02.flv

Após a abordagem sobre alguns aspectos importantes para o entendimento da atmosfera, seguem-se os estudos sobre as questões ambientais e nesta semana inicia-se a abordagem sobre a água, conhecendo um pouco sobre a Hidrosfera.

Olhando nosso planeta do espaço podemos ver que a terra é constituída por vasta extensão de água. A água cobre 71% da superfície terrestre, na forma de água líquida e de gelo; o vapor d'água entra na composição do ar. De toda a água do planeta 97,5% é de águas salgada e apenas 2,5% é de água doce. O total de água doce está assim distribuída: 68,9% está nas calotas polares e geleiras, 29,9% é de água doce subterrânea, 0,3% presente nos rios e lagos e 0,9% compreende outros reservatórios (TUNDISI, 2003). A água condensada na atmosfera pode ser observada



como nuvens, contribuindo para o albedo da Terra, ou seja, refletindo parte da energia solar de volta ao espaço, contribuindo para manter a temperatura do nosso planeta.

O coletivo de massa de água encontrada sobre e abaixo da superfície de um planeta é chamado de hidrosfera. O volume aproximado de água do planeta é de 1.460.000.000 km³. Embora a quantidade de água do planeta seja grande a água própria e disponível ao consumo humano é muito pequena em torno de 0,3% compreendendo as águas de rios, lagos e subsolo até 750 metros de profundidade (PRESS et al., 2006).

A água é um constituinte muito abundante nos seres vivos; certos animais aquáticos chegam a ser formados por 98% de água. Os organismos vivos que possuem menos água chegam a ter 50% de seu peso corporal constituído de água. A água faz parte da seiva, do sangue e do líquido existente no interior das células dos seres vivos. O homem apresenta cerca de 70% de água da sua composição entre todas as biomoléculas responsáveis pela sua vida. Nos vegetais, também, a água constitui cerca de 70% da sua composição, porém, essa composição varia dependendo do órgão considerado. As folhas possuem 80%, o lenho cerca de 60% (BRANCO, 1993). Ela é fundamental para a vida humana, pois na corrente sanguínea, funciona como solvente e transportadora de substâncias orgânicas essenciais. Além disso, participa de reações biológicas e regula a temperatura corpórea do ser humano, através da respiração e transpiração.

As necessidades humanas da água são complexas e representam, em primeiro lugar, uma demanda fisiológica. A ingestão média diária de água por uma pessoa de aproximadamente 90 kg é de 3 litros, obtidos na forma de água pura, outras bebidas ou na alimentação. Em uma pessoa sadia há um equilíbrio entre água ingerida e a água eliminada. Cerca de 53% é eliminada na forma de urina, 42% pela evaporação da pele e pulmões e 5% pelas fezes (TUNDISI, 2003).

A água também exerce um papel importante na regulação do clima do planeta por meio da mudança de fase. Por meio da evaporação retira calor dos ambientes quentes e pela condensação devolve o calor amenizando a temperatura dos ambientes frios.

Salienta-se que enquanto a maioria dos líquidos apresenta diminuição de volume no estado sólido em relação ao estado líquido, com a água é diferente. Temos muitos fatos do cotidiano que nos mostram que a água fica com volume maior no estado sólido em relação à mesma quantidade de matéria de água no estado líquido. Quem já não colocou uma garrafa, de vidro



ou de plástico, quase cheia de água no congelador e quando foi pegá-la, percebeu-se a garrafa quebrada com o líquido ocupando todo o espaço? É possível ver também que nas regiões de clima bem frio onde os rios congelam, o gelo fica na superfície e as pessoas podem até esquiarem sobre os rios congelados. A natureza nos mostra que o gelo é mais leve que a água que está abaixo dele. Que legal, há água e vida abaixo do gelo e sabem por quê? O gelo devido a expansão, na condensação das moléculas de água, funciona como um isolante térmico, similar ao isopor, não permitindo que a água no interior dos lagos e rios condense e fique com temperatura em torno de 4 °C, permitindo que a vida continue naquele ambiente.

Mesmo antes de o homem conhecer a geometria da molécula de água e explicar seu comportamento físico e químico, os esquimós já sabiam construir suas casas, os iglus, com blocos de neve compacta para se protegerem do frio. Apropriavam-se das propriedades da água no estado sólido observando o comportamento do urso polar que escavava suas tocas no gelo para abrigo. Já sabiam, também, que o gelo derrete sob pressão construindo seus veículos de transportes, os trenós de neve, sobre placas de madeira que deslizavam sobre o gelo, não sobre rodas. Tudo isso muito antes da ciência dar as explicações, com o advento da teoria quântica formulada por Max Planck em 1900, e da técnica aperfeiçoar os patins para a prática da patinação no gelo que iniciou na Europa na Idade Média como meio de transporte para atravessar os lagos congelados.

Devido a uma propriedade definida como tensão superficial, a água forma uma película com resistência elástica semelhante a uma membrana plástica permitindo que pequenos objetos flutuem e insetos caminhem sobre a água. É evidente que o peso dos insetos não deve ser maior que a resistência elástica da película de água superficial e que as patas dos insetos devem ser achatadas para não furar essa película. Pode-se associar ao fato de pernilongos e libélulas ficarem posados em águas paradas e limpas. Se a água estiver suja, principalmente contaminada com muito detergente, essa película pode ser desfeita e conseqüentemente, os insetos devem afundar.

Deve-se salientar que o planeta necessita de água limpa para a manutenção da vida na forma como a conhecemos. Na história da humanidade observa-se que as civilizações se desenvolveram próximas a rios. As cidades modernas, as habitações na zona rural, todas são construídas próximas a rios ou córregos. O ser humano não consegue viver longe da água que bebe e dos resíduos que produz. Com a revolução industrial e o aumento da população na face da terra, aumenta a demanda de água e aumenta em demasia a poluição dos rios, ou seja, água de qua-



lidade boa para o consumo humano está ficando cada vez mais escassa, como se diz «um bem precioso». Os métodos utilizados para purificação da água foram se tornando mais complexos, mas, mesmo as estações de tratamento têm suas limitações. Elas retiram com facilidade os produtos de uma floresta, de uma condição natural. Mas, esgotos domésticos e a presença de substâncias tóxicas vão tornando esse tratamento cada vez mais caro. Com o grande número de substâncias sintéticas lançadas nos corpos de água nos dias atuais, o tratamento convencional não é eficaz, porque existe uma limitação para a capacidade depuradora de uma estação de tratamento. Desta forma a qualidade da água é comprometida para o uso.

Um assunto de interesse para discussão de conteúdos químicos é a Maresia causada pelas concentrações elevadas de cloretos que podem causar prejuízos econômicos e sociais. Recomenda-se a leitura do artigo Maresia e o Ensino de Química, publicado em 2007 e que discute essa abordagem.

Artigo disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc26/v26a05.pdf>

Veja aqui o **Box1** que apresenta conteúdos sobre Qualidade das águas.

2.1 – Propriedades da água

A água na natureza apresenta-se nos estados: sólido, líquido e gasoso. É o fluido celular usado como agente de troca de calor e como transportador na corrente sanguínea distribuindo O_2 , moléculas de nutrientes, hormônios e todos os agentes contra doenças. Suas propriedades físico-químicas estão relacionadas com sua polaridade e a capacidade de formação de ligações hidrogênio entre suas moléculas.

Consulte também o **Box2** que traz aspectos sobre Misturas e Solubilidade e o **Box3** sobre Propriedades ácido-base em águas naturais.

Ponto de fusão e ponto de ebulição

Apresenta ponto de ebulição e ponto de fusão muito superiores em relação a outras substâncias com elementos do mesmo período do oxigênio ligados ao hidrogênio, que apresentam massa molar similar à da água e que são gases a temperatura ambiente, Tabela 2. Seguindo o



comportamento dos outros elementos do grupo do oxigênio, Tabela 3, a água deveria ter ponto de ebulição (PE) de -100°C porém, a água ferve a $+100^{\circ}\text{C}$, 200 graus acima. Essas diferenças observadas se devem basicamente a sua geometria molecular, sua polaridade e as ligações hidrogênio intermoleculares.

A molécula de água tem forma angular com ângulo de $104^{\circ}40'$. A diferença de eletronegatividade entre os átomos de oxigênio (3,44) e hidrogênio (2,20) gera um deslocamento de cargas nas ligações, ocasionando dipolos elétricos que não se anulam, confere à água polaridade e características peculiares (SANTOS & MOL, 2010).

As ligações de hidrogênio são atração dipolo-dipolo forte que ocorre quando o H está ligado covalentemente a um elemento eletronegativo muito pequeno como: F, O e N. Resultam moléculas muito polares onde o átomo de H carrega uma carga positiva substancial.

Na água, uma molécula muito polar, as ligações de hidrogênio (Figura 6) produzem uma atração muito forte entre as moléculas de água fazendo com que esta seja um líquido à temperatura ambiente. As energias das ligações hidrogênio variam entre 4 kJ/mol a 25 kJ/mol e são bem mais fracas que as ligações químicas que possuem energias maiores que 100 kJ/mol. A ligação hidrogênio é uma forma de interação atrativa entre duas espécies que provém uma ligação $A-H\cdots B$, em que A e B são elementos muito eletronegativos e B possui um par isolado de elétrons. É comum atribuir a formação da ligação hidrogênio aos elementos N, O e F. Porém, se B for uma espécie aniônica como, por exemplo, o Cl^- , também é possível que participe da ligação. Não há uma fronteira nítida na capacidade de formar ligação hidrogênio, apenas os elementos N, O e F participam dela com maior frequência e eficiência, por isso são os mais mencionados nesse tipo de interação intermolecular. Como a ligação depende da superposição de orbitais, é, na prática, uma interação de contato, que se forma quando AH se aproxima de B e desaparece quando o contato é rompido. A ligação hidrogênio é uma interação atrativa dominante e quando presente domina todas as outras interações intermoleculares (Atkins & Paula, 2008).

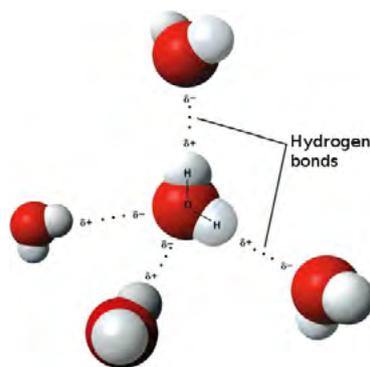


Figura 6: Modelo da ligação de hidrogênio entre moléculas de água.

Disponível em: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:3D_model_hydrogen_bonds_in_water.jpg

Tabela 2: Pontos de fusão e ebulição de compostos similares a água (Pressão=1 atm).

Compostos	CH ₄	NH ₃	H ₂ O	HF
Ponto de fusão / °C	-182	-78	0	-83
Ponto de ebulição / °C	-164	-33	100	+20

PASTRE; MARQUES, 2011, com dados consultados em SPIRO & STIGLIANI, 2009.

Tabela 3: Pontos de ebulição dos hidretos dos elementos do grupo 4A (P = 1atm).

Compostos	Ponto de ebulição / °C
H ₂ Te	-10
H ₂ Se	-50
H ₂ S	-70
H ₂ O	+100 (deveria ser -100°C)

Fonte: PASTRE; MARQUES, 2011, com dados consultados em BAIRD, 2002



Calor específico

A energia interna de uma substância aumenta quando a temperatura se eleva sendo que o aumento depende das condições em que se faz o aquecimento e consideramos que a amostra fique confinada a um volume constante. Nesse caso a energia interna varia com a temperatura a volume constante. As capacidades caloríficas são propriedades extensivas, ou seja, dependem da massa da substância. Por exemplo, 100g de água têm a capacidade calorífica 100 vezes maior que um grama e, portanto, precisamos 100 vezes a quantidade de calor fornecida a 1 g e água para sofrer a mesma variação de temperatura. A capacidade calorífica molar a volume constante é a capacidade calorífica por mol da substância e é uma propriedade intensiva.

A capacidade calorífica específica conhecida como calor específico é a capacidade calorífica da substância dividida pela sua massa, geralmente em gramas. A capacidade calorífica ou o calor específico podem ser usados para relacionar a variação de energia interna de um sistema com a variação da temperatura. Uma grande capacidade calorífica faz com que, para uma certa quantidade de calor, seja pequena a elevação da temperatura da amostra. Numa transição e fase, por exemplo, na ebulição da água a temperatura não se altera, embora se forneça calor ao sistema, pois a energia é utilizada para promover a transição de fase, endotérmica nesse caso, e não para a elevação da temperatura. Portanto, na temperatura de transição de fase, a capacidade calorífica da amostra é infinita.

Cada substância tem a propriedade térmica, calor específico, característico que representa a habilidade que a substância tem para absorver ou perder calor com a variação da temperatura. O calor específico é definido como a quantidade de calor (ganha ou perdida) necessária para mudar a temperatura de 1g da substância de 1°C. Os dados apresentados na Tabela 4 mostram que a água apresenta alto calor específico.

A água é um constituinte essencial de toda a matéria viva e do nosso planeta. Devido ao alto calor específico da água nosso organismo pode absorver ou perder calor com as mudanças de temperatura, sem ameaça a vida. Nosso corpo faz um controle cuidadoso da temperatura do mesmo, tanto em climas quentes quando a temperatura flui para dentro do nosso corpo, como em climas frios quando perdemos calor. Essa propriedade impede variações bruscas na temperatura da água com isso tende a manter a temperatura do organismo constante mesmo quando há uma variação brusca na temperatura do ambiente.

**Tabela 4:** Calor específico de algumas substâncias a 298 K.

Substância	Calor específico (J / g K)
H ₂ O (<i>l</i>)	4,18
H ₂ O (<i>s</i>)	2,03
CH ₄ (<i>g</i>)	2,20
CO ₂ (<i>g</i>)	0,84
Al(<i>s</i>)	0,90
Fe(<i>s</i>)	0,45
Hg(<i>l</i>)	0,14

Fonte: PASTRE; MARQUES, 2011, com dados consultados em Fonte: BROWN *et al.*, 2005

Densidade

Uma importante propriedade física das substâncias, utilizada para caracterizar líquidos é definida como a quantidade da massa na unidade de volume. É comumente expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm³). Uma consequência da ligação hidrogênio é a diferença entre a densidade da água líquida e da água no estado sólido (gelo). Na maioria das substâncias, no estado sólido as moléculas estão mais compactas do que no estado líquido e como consequência o estado sólido apresenta densidade maior que o líquido. No entanto, com a água a densidade da fase sólida é menor que da água na fase líquida como apresentado na Tabela 5. A água tem densidade máxima de 1 g/cm³ a 3,98°C, ou seja na fase líquida. A menor densidade do gelo em relação a da água líquida é explicada pelas ligações hidrogênio entre as moléculas de água. Enquanto na fase líquida as interações são aleatórias, quando a água congela as moléculas se organizam em estrutura aberta ordenada que possibilita o máximo de ligações de hidrogênio entre as moléculas que formam o sólido

O comportamento peculiar da densidade da água tem profunda influência sobre a vida na terra. Em locais de clima frio quando a água dos rios congelam a camada de gelo fica na superfície, isolando o restante que permanece líquido. No congelamento da água há expansão da fase

sólida com formação de canais hexagonais com gases dissolvidos no seu interior apresentando o gelo propriedades de isolante térmico (Figura 6).

Tabela 5: Densidade da água a várias temperaturas.

T / °C	Estado	D / (g / cm ³)	Características
0,00	Sólido	0,9170	Expande em 10% o seu volume devido ao arranjo das moléculas na estrutura cristalina do gelo formando canais hexagonais
0,00	Líquido	0,9998	
3,98	Líquido	1,0000	Os canais hexagonais se desfazem
10	Líquido	0,9997	Aumenta a energia cinética das moléculas e o espaçamento intermolecular
25	Líquido	0,9971	
100	Líquido	0,9584	

Fonte: PASTRE; MARQUES, 2011, com dados consultados em: SIENKO & PLANE, 1976.

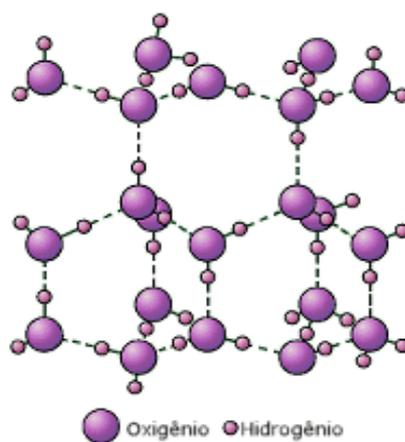


Figura 7: Arranjo das moléculas de água no retículo cristalino do gelo. Fonte: Revista eletrônica do Departamento de Química-UFSC (http://www.ecv.ufsc.br/~nico/agua_qmcweb.html).



Tensão superficial

Os líquidos tendem a adotar formas que minimizam sua área superficial, de modo que o número máximo de moléculas fica no interior da fase líquida, envoltas pelas moléculas vizinhas e interagindo com elas. Devido a essas forças coesivas as gotículas de líquido tendem a ser esféricas. No entanto, outras forças competem contra a tendência do líquido em adquirir essa forma ideal, em particular as forças da gravidade terrestre que tendem a achatá-las e forças adesivas de superfície que fazem a água ascender num capilar de vidro ficando com a superfície curva no interior do mesmo.

A medida da tensão superficial é a energia necessária para aumentar a área superficial de um líquido em quantidade unitária. A tensão superficial surge, porque as moléculas da superfície tendem a permanecer juntas, devido a interação entre as moléculas no líquido serem maiores que entre as moléculas do líquido e o ar (apolar). As moléculas no líquido são igualmente atraídas pelas suas vizinhas enquanto as moléculas da superfície são atraídas para o interior do líquido. Esta propriedade confere à superfície do líquido a característica de uma fina membrana elástica e invisível (Figura 8).

Esta propriedade nos permite polir com fogo rebarbas de tubo de vidro em laboratório. À medida que o vidro amolece, as rebarbas pontiagudas tornam-se arredondadas devido às forças atrativas dentro do vidro que tendem a reduzir a área superficial.

A magnitude da tensão superficial depende:

- a) da força de atração entre as moléculas pois, forças de atração grande resultam em grande tensão superficial.
- b) da temperatura, pois, a elevação da temperatura diminui a eficiência das forças de atração intermoleculares e diminui a tensão superficial.

A tensão superficial da água é elevada (Tabela 6) em virtude da forte interação entre suas moléculas. As forças de interação que mantêm as moléculas de um líquido reunidas são chamadas de forças de coesão. As forças atrativas que unem uma substância a superfície de outra são chamadas de forças adesivas. A alta tensão superficial da água é importante na fisiologia das células e controla certos fenômenos de superfície.

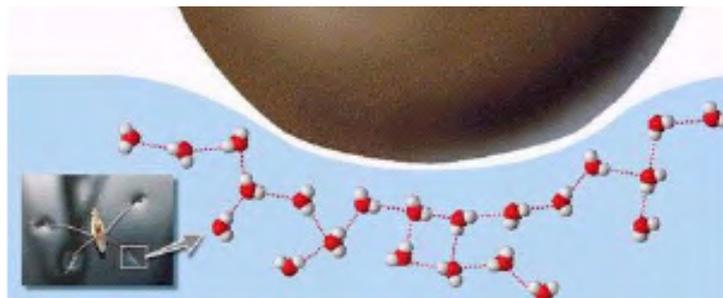


Figura 8: Tensão superficial da água.

Fonte: <<http://curiofisica.com.br/ciencia/fisica/o-que-e-a-tensao-superficial>>.

Tabela 6: Tensão superficial de alguns líquidos determinadas a 293 K.

Líquido	Tensão superficial (g) (mN m ⁻¹)
Benzeno	28,88
Tetracloroeto de carbono	27,0
Metanol	22,6
Hexano	18,4
Água	72,8 58,0 (373 K)
Mercúrio	472

Fonte: PASTRE; MARQUES, 2011, com dados consultados em ATKINS & PAULA, 2008.

Decréscimo da temperatura de fusão com aumento da pressão

A facilidade com que muitos líquidos e sólidos passam de um estado para outro são determinadas pelas suas propriedades químicas como as interações intermoleculares e o arranjo dos átomos ou moléculas no estado sólido. O diagrama de fase da água, Figura 9, representa graficamente as condições sob as quais ocorre o equilíbrio entre os diferentes estados da matéria e identifica também a fase que uma substância se apresenta em determinadas condições de temperatura e pressão. A curva A - E representa a variação do ponto de fusão do gelo com o



aumento da pressão. Para a maioria das substâncias esta curva é ligeiramente inclinada para a direita, pois o sólido é mais denso que o líquido e um aumento de pressão favorece a fase sólida que é mais compacta. No caso da água esta curva apresenta leve inclinação para a esquerda pois, como visto anteriormente, a água no estado sólido é menos densa que a água líquida e, neste caso um aumento de pressão favorecerá a fase líquida.

A curva A - D representa o comportamento da pressão de vapor em função do aumento da temperatura, ou seja, o equilíbrio líquido - vapor.

O ponto A representa o ponto triplo da água que ocorre a $0,0098^{\circ}\text{C}$ e a $4,58\text{ mmHg}$. Neste ponto coexistem as fases sólida, líquida e gasosa. Este ponto indica que para se ter água líquida a sua pressão tem que ser maior que $4,58\text{ mmHg}$. Abaixo de $4,58\text{ mmHg}$ a curva representa o equilíbrio sólido - vapor da água, ou seja, a sublimação que ocorre a pressões muito baixas.

A uma atmosfera de pressão o ponto B representa o ponto de fusão normal que é 0°C e o ponto C representa o ponto de ebulição normal que é 100°C . O ponto D representa o ponto crítico, a temperatura crítica da água é de 374°C e a pressão crítica 218 atm indicam a temperatura e pressão acima dos quais não se distinguem mais as fases líquida e vapor.

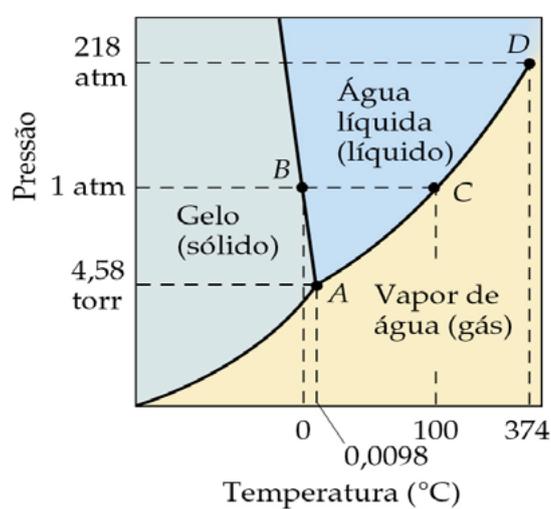


Figura 9: Diagrama de fases da água. Fonte: BROWN *et al.*, 2005.



Água como solvente

Em nível microscópico não podemos esquecer quão importante é a constituição e a geometria da molécula de água. Sendo constituída por dois átomos de hidrogênio ligados a um átomo de oxigênio com um ângulo de $104^{\circ},4'$ e considerando também a diferença de eletronegatividade entre os átomos de H e O, a molécula de água, é um dos líquidos mais polares.

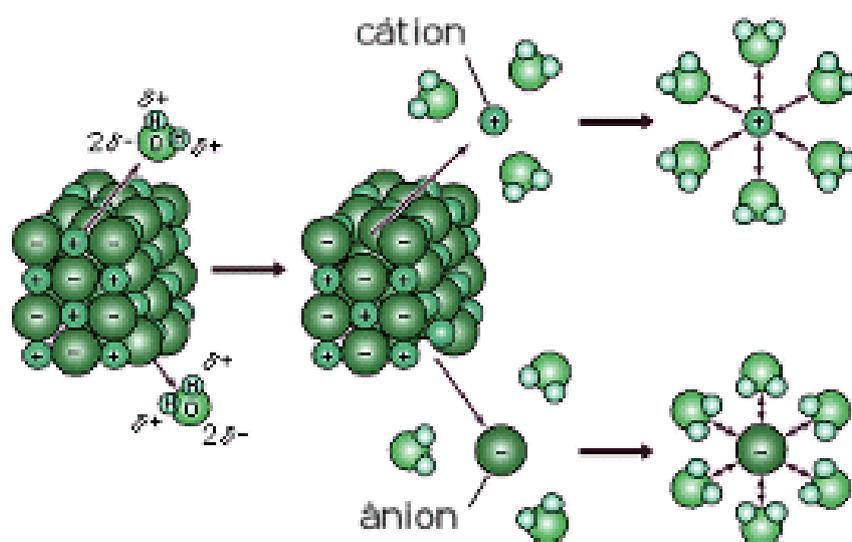
Por meio das interações intermoleculares, por ligações hidrogênio, é capaz de solubilizar grande quantidade de compostos moleculares como os açúcares e ser miscível com grande quantidade de solventes como os alcoóis e cetonas.

A água dissolve bem compostos iônicos como o sal de cozinha cuja unidade formal é representada por NaCl e compostos moleculares como a sacarose cuja fórmula molecular é $C_6H_{12}O_6$.

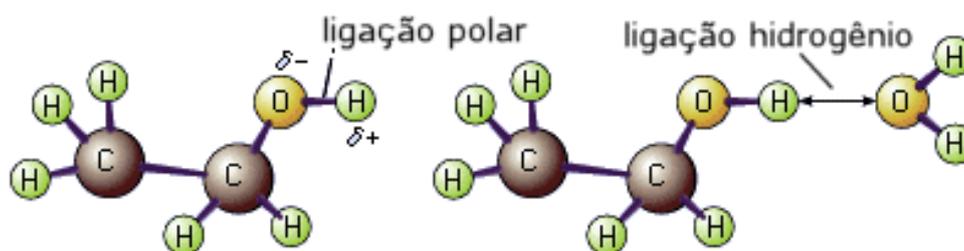
A água é um dos líquidos que apresentam alta constante dielétrica, atualmente denominada de permissividade relativa (ϵ_r). A permissividade relativa é dada pela razão entre a permissividade em determinado solvente em relação à permissividade no vácuo, ou seja, $\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$ sendo ϵ a permissividade do meio e ϵ_0 a permissividade do vácuo. O valor da permissividade no vácuo (ϵ_0) é de $8,854 \times 10^{-12} \text{ J}^{-1} \text{ C}^2 \text{ m}^{-1}$. A constante dielétrica pode ter efeito significativo sobre a intensidade das interações dos íons em solução. Íons não interagem tão fortemente em solvente com alta permissividade relativa como a água que tem $\epsilon_r = 80$ a 293 K como o fazem em solvente com baixa permissividade relativa como o etanol que possui $\epsilon_r = 25$ a 293 K. Sua constante dielétrica só é menor que a do HCN e H_2O_2 (Atkins & Paula, 2008).

A constante dielétrica de uma substância é grande se as suas moléculas forem polares ou muito polarizáveis. A água, devido a sua alta constante dielétrica dissolve bem compostos iônicos mantendo os íons solvatados separados em solução aquosa. Pela sua capacidade de formação de ligações hidrogênio é responsável pela solubilização de compostos orgânicos como a sacarose, o etanol, o ácido acético a acetona, os açúcares, etc., Figura 10.

A sua grande capacidade de dissolver compostos iônicos e moleculares é preocupante, pois a água acaba sendo o destino final de todo poluente lançado, não apenas diretamente na água, mas também no ar e no solo.



Solubilização do NaCl em água



Solubilização do etanol em água

Figura 10: Representação das interações interpartículas envolvidas no processo de dissolução de compostos iônicos e moleculares em água. Fonte: <http://www.qmc.ufsc.br/qmcweb/artigos/agua.html>.

2.2 – Distribuição de Água no Planeta

A hidrologia é o estudo do movimento, distribuição e qualidade da água em toda a Terra. O estudo da distribuição de água é a hidrografia. O estudo da distribuição e circulação de águas subterrâneas é hidrogeologia, das geleiras é glaciologia, das águas interiores é limnologia e da distribuição dos oceanos é a oceanografia. A ecohidrologia é o estudo dos processos ecológicos relacionados com hidrologia (PRESS, *et al.*, 2006).

49



Como verificamos a água possui muitas propriedades incomuns que são críticas para a manutenção da vida. Apresenta-se como um excelente solvente e possui alta tensão superficial. A água pura tem valores de densidade menor ao arrefecer que ao aquecer. Também devemos destacar que por ser uma substância estável na atmosfera, desempenha um papel importante como absorvente da radiação infravermelha, crucial na atenuação do efeito estufa da atmosfera. A água também possui um calor específico peculiarmente alto que desempenha um importante papel na regulação, não apenas da temperatura corpórea como também, do clima global.

Toda água do planeta está em contínuo movimento cíclico entre as reservas sólida, líquida e gasosa. Entretanto a fase de maior interesse é a líquida que é fundamental para satisfazer as necessidades do homem e de todos os outros organismos animais e vegetais. Os componentes do ciclo hidrológico são (TUNDISI, 2003):

- Precipitação; Água adicionada à superfície da terra a partir da atmosfera na forma líquida (chuva) ou sólida (neve ou gelo).
- Evaporação: processo de transferência da água da fase líquida para a fase gasosa (vapor d'água). A maior parte da evaporação ocorre a partir dos oceanos.
- Transpiração: Processo de perda de vapor d'água pelas plantas para a atmosfera.
- Infiltração: Processo pelo qual a água é absorvida pelo solo.
- Percolação: Processo pelo qual a água entra no solo e nas formações rochosas até o lençol freático.
- Drenagem: Movimento de deslocamento da água nas superfícies, durante a precipitação.

A água doce é elemento essencial ao abastecimento do consumo humano e ao desenvolvimento de suas atividades industriais e agrícolas e é de vital importância aos ecossistemas tanto vegetal quanto animal. A distribuição de água no planeta não é homogênea e o suprimento renovável de água por continente está apresentada na tabela 7.

**Tabela 7:** Distribuição do suprimento renovável de água por continente.

Região	Água doce (%)
América do Sul	27
Ásia	26
América do Norte	15
África	11
União Soviética	11
Europa	5
Oceania	5
Mundo	100

PASTRE; MARQUES, 2011, com dados consultados em: TUNDISI, 2003.

O Brasil possui grande disponibilidade hídrica, 17% do total mundial, ou seja, de cada 100 litros de água disponível no mundo 17 litros estão no Brasil, distribuída de forma desigual em relação à densidade populacional. A água disponível no Brasil apresenta-se distribuída da seguinte forma: 64% encontram-se na Amazônia e 36% distribui-se no restante do país, onde se encontra 95% da população (ROCHA, *et al.*, 2009).

Além de servir como bebida, a água é utilizada pelo homem para múltiplas finalidades. O percentual de consumo mundial da água distribuídos por setores de atividades apresenta-se assim distribuído: 10% para consumo residencial, 20% para consumo industrial e 70% usado na agricultura (irrigações).

Deve-se repensar com responsabilidade em cada litro de água que se utiliza, pois sabe-se que a cada dia seu acesso se torna mais difícil e a água de qualidade mais escassa.

O problema da contaminação das águas aliado ao aumento de consumo contribuem para a falta de água potável para a população. Atualmente a população mundial consome cerca de 50% dos recursos hídricos acessíveis, estima-se que em 2025 este consumo será por volta de 75%. A última avaliação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA)



identifica 80 países com sérias dificuldades para manter a disponibilidade de água (quantidade e/ou qualidade). Esses 80 países representam 40% da população mundial (TUNDISI, 2003).

A organização mundial da saúde (OMS) estabelece 300 L de água potável / dia como a quantidade mínima de água necessária para a vida de um ser humano. Considerando o consumo diário de 6 bilhões de pessoas existentes no planeta atualmente, precisamos de aproximadamente 1,8 trilhões de litros por dia para atender a população mundial. Com o aumento populacional e a escassez mundial da água a OMS passa a estabelecer a quantidade de 50 L de água potável / dia como aquela necessária para atender as necessidades de uma pessoa considerando os seguintes usos: 5 L para a ingestão diária direta; 20 L para higiene e saneamento, 15 L para banho e 10 L para a preparação de alimentos (ROCHA, et al., 2009).

Tem havido um aumento constante do consumo de água no século XIX. Os Estados Unidos é um dos maiores usuários de água do planeta e no período entre 1950 e 1985 o uso da água triplicou, indo de 129 bilhões para cerca de 341 bilhões de litros por dia. Depois de 5 anos, ou seja, em 1990 esse número foi para 1,263 trilhão de litros por dia (PRESS, et al., 2006). Os países desenvolvidos começaram a enfatizar a necessidade de um uso mais eficiente desse recurso

Além dos problemas relacionados com a quantidade de água como escassez, intensifica cada vez mais aqueles relacionados com a qualidade da água. A diminuição da qualidade da água agrava o problema da escassez e os países desenvolvidos e aqueles em desenvolvimento como o Brasil começam perceber a extrema necessidade de um uso mais eficiente da água, recurso este classificado agora como finito.

As avaliações sobre a água, sua disponibilidade e seu papel no desenvolvimento, estão mostrando a necessidade de mudanças substanciais na direção do planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos com relação às águas de superfície e subterrânea (BRAGA *et al.*, 2006; GRASSI, 2001).



Poluição das águas



http://www.acervodigital.unesp.br/bitstream/123456789/46934/17/02_Redefor_D08_Quimica_Temas_03_04.flv

Nessa semana continua-se com os estudos sobre a Hidrosfera, mas focando nos problemas ambientais iniciando com a Poluição das águas.

Entende-se por poluição das águas a alteração de suas características por quaisquer ações ou interferências naturais ou provocadas pelo homem que confere à mesma, aspectos indesejados. A poluição deve estar associada ao uso que se faz da água e deve se considerar que mesmo a água com aparência satisfatória pode conter substâncias tóxicas ou microorganismos patogênicos que tornam seu uso inviável enquanto águas com aspecto desagradável podem ter determinadas utilizações.



Os termos poluição e contaminação são às vezes utilizados como sinônimos erroneamente já que são conceitualmente diferentes. A contaminação refere-se à presença na água de substâncias ou microorganismos nocivos a saúde que não causam desequilíbrio ecológico ao ambiente aquático. A poluição refere-se à ocorrência de espécies químicas ou a fatores físicos como calor excessivo nos corpos de água que podem levar a desequilíbrios ecológicos sem que isso signifique necessariamente restrições ao seu consumo pelo homem.

Os poluentes e contaminantes são introduzidos no meio aquático por fontes pontuais ou difusas. As fontes pontuais são localizadas e por isso, facilmente identificadas como, efluentes domésticos e industriais, derramamentos acidentais, atividades de mineração, enchentes, etc.

As fontes difusas são aquelas que não têm um ponto específico de lançamento e ocorrem ao longo das margens dos rios como substâncias provenientes de práticas agrícolas, residências dispersas, deposições atmosféricas, enxurradas em solo, etc. (ROCHA *et al.*, 2009).

Os poluentes são classificados de acordo com sua natureza e com os principais impactos causados pelo seu lançamento no meio aquático originando os diferentes tipos de poluição e contaminação descritos a seguir.

Contaminação biológica

Deve-se a presença de microorganismos patogênicos, especialmente na água potável. Acredita-se que aproximadamente 4 bilhões de pessoas no mundo não têm acesso à água potável tratada e 2,9 bilhões de pessoas vivem em áreas sem coleta ou tratamento de esgoto. Muitas doenças como a cólera, febre tifóide, diarreia, hepatite A, são transmitidas por microorganismos presentes na água. A presença de bactérias, vírus, larvas, parasitas e coliformes fecais nas águas são resultado da precariedade ou falta de saneamento básico das cidades.

O controle ou a desinfecção é simples e feita por meio da fervura da água ou pela adição de hipoclorito de sódio (NaClO).



Poluentes Orgânicos recalcitrantes ou refratários

Esta classe de poluentes inclui principalmente os compostos orgânicos sintéticos não biodegradáveis ou aqueles que apresentam taxa de biodegradação muito lenta. O impacto introduzido por esses compostos está associado à sua toxicidade. Eles não causam a diminuição do oxigênio dissolvido na água em função da baixa taxa de biodegradação apresentada.

É importante que vejam o **Box4** que contém informações importantes para o estudo dos POPs.

Alguns exemplos de compostos orgânicos dessa natureza são:

Petróleo

O petróleo é composto por uma mistura de vários compostos orgânicos que apresentam diferentes taxas de biodegradabilidade e toxicidade para muitos organismos. A Poluição por petróleo afeta principalmente os oceanos nas etapas de extração e transporte do mesmo. 600 Mil Toneladas são derramadas em acidentes ou descargas ilegais e nas plataformas de exploração

Entre os principais impactos causados ao ambiente estão: a formação de uma película de petróleo na superfície da água que dificulta a troca gasosa entre o ar e a água, a vedação dos estômatos das plantas e órgãos respiratórios dos animais e a ação de substâncias tóxicas nele contidas para muitos organismos.

Os oceanos são importantes na manutenção das condições favoráveis para a vida do planeta. Respondem por 16% da oferta de proteína animal do planeta. A fotossíntese realizada por fitoplânctons e por outras plantas marinhas produz oxigênio, $O_2(g)$, que é liberado para a atmosfera, consome gás carbônico, $CO_2(g)$, que é retirado da atmosfera. O $CO_2(g)$ é arrastado por correntes profundas demorando séculos para retornar à atmosfera. Os oceanos são importantes fixadores de gás carbônico, contêm 20 vezes mais $CO_2(g)$ do que o que há em todas as florestas do mundo e em outras biomassas terrestres.

Se o fitoplâncton desaparecer dos oceanos por efeito da poluição, por petróleo, que impede a entrada luz e a realização da fotossíntese, teremos decréscimo da concentração de $O_2(g)$ na atmosfera, excesso de $CO_2(g)$ na atmosfera e elevação na temperatura do planeta e desequilíbrio nos ecossistemas.



Detergentes sintéticos

Esse poluente causa maior impacto nas águas interiores (dos rios e lagos) do que nas águas oceânicas, sendo em geral mais tóxicos para os peixes do que para o homem. São introduzidos nos corpos de água por esgoto doméstico não tratado. Causam desequilíbrio ambiental uma vez que formam uma camada de moléculas de detergente na interface ar - água, afetando a troca de gases entre o ar e a água diminuindo a tensão superficial da água e afetando a vida de insetos que dependem dessa propriedade para sobreviverem. Além disso, os detergentes contêm em sua composição polifosfatos que contribuem para a eutrofização das águas dos rios e lagos. Podem conter também outras substâncias como enzimas que degradam gorduras que podem afetar a vida dos organismos aquáticos.

Defensivos agrícolas

Os defensivos agrícolas são uma classe de compostos sintéticos e na sua maioria recalcitrantes. A contaminação dos corpos de água por esses compostos são atribuídas às más práticas de aplicação nas lavouras. Parcela considerável do total aplicado nos campos agriculturáveis atinge principalmente, rios e lagos por meio de correntes atmosféricas. Agricultores fazem o despejo de restos de soluções e lavagem dos equipamentos utilizados na aplicação de forma inadequada. Fazem também a aplicação fora das normas sendo que o excesso que permanece no solo é carregado aos rios pela ação erosiva das chuvas. Deve-se destacar que a mata ciliar dos rios desempenha papel importante na retenção desse material carregado pela erosão das chuvas protegendo o aporte dos agroquímicos nas águas por essa via.

Muitos são resistentes à biodegradação, são estáveis, entram na cadeia alimentar e podem ser mutagênicos, cancerígenos ou teratogênicos.

Poluição por fertilizantes agrícolas

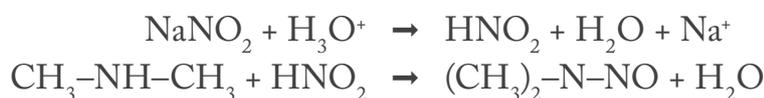
O excesso de fertilizantes agrícolas, a base de sais de nitrogênio e fósforo, aplicados nos campos agrícolas chega aos corpos de água de superfície e subterrânea, principalmente, pela ação das chuvas. O excesso desses nutrientes leva ao crescimento excessivo e acelerado de alguns organismos aquáticos, como as algas macroscópicas, inviabilizando determinados usos dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Esse fenômeno conhecido como eutrofiza-



ção das águas é perceptível pela coloração verde dada pelo excesso de algas na água que causa uma série de desequilíbrios no ambiente aquático. As algas cobrem a superfície prejudicando a difusão do oxigênio atmosférico na água. Impede também a entrada de luz na água diminuindo a atividade fotossintética que leva a um decréscimo na concentração de oxigênio com consequente morte de peixes e putrefação anaeróbica das mesmas liberando substâncias com odor desagradável como o H_2S .

Nitrato em água é também prejudicial à saúde de crianças abaixo de seis meses. Quando presente no meio sanguíneo provoca a redução da habilidade da hemoglobina transportar O_2 . A biomolécula hemoglobina contém Fe(II) que se liga reversivelmente ao O_2 . O trato intestinal de crianças é favorável às bactérias redutoras de nitrato formando nitrito, que com o aumento da concentração no meio biológico promove a oxidação do íon ferroso, Fe(II) , do grupo heme da hemoglobina, formando o íon férrico, Fe(III) , formando assim a metahemoglobina, que perde a capacidade de complexar O_2 , doença chamada de metahemoglobinemia.

Sob as condições ácidas do estômago, nitrito pode ser convertido a ácido nitroso que reage com aminas secundárias presente no organismo formando as N-nitrosaminas.



Amina secundária
Abundante no mundo biológico

N-nitrosamina
Insolúvel em água carcinogênica

Poluentes orgânicos biodegradáveis

A origem antrópica desses poluentes é o despejo de esgotos domésticos sem tratamento prévio em corpos de água. A matéria orgânica biodegradável, constituída principalmente por proteínas, carboidratos e gorduras, será degradada pelos microorganismos decompositores aeróbicos ou anaeróbicos. Se houver oxigênio dissolvido no meio há explosão na população de microorganismos, que consomem oxigênio, como bactérias aeróbicas, com formação de CO_2 , H_2O e os átomos de N e S das proteínas vão a sulfato (SO_4^{2-}) e nitrato (NO_3^-), respectivamente. Se o consumo de oxigênio for maior que a capacidade do meio em repô-lo, haverá seu esgota-



mento e a inviabilidade da existência de vida para os peixes e outros organismos aeróbicos. Na ausência de oxigênio dissolvido no meio, a decomposição será anaeróbica com formação de: gás metano (CH_4), gás sulfídrico (H_2S) e amônia (NH_3) ou íon amônio (NH_4^+) prioritariamente. Aqui tratamos o impacto devido ao despejo de esgotos domésticos em corpos de água como o responsável pelo decréscimo da concentração do oxigênio, dissolvido na água, e não pela presença de substâncias tóxicas nesses despejos.

Oxigênio presente na água.

O O_2 dissolvido é o agente oxidante mais importante em águas naturais, ocorrendo sua redução, passando do estado de oxidação zero a -2 estando o processo representado pelas semi-reações apresentadas a seguir:



O fornecimento de O_2 se dá, por atividade fotossintética e por difusão para a fase aquosa, do oxigênio presente na atmosfera através da superfície líquida atingindo-se o equilíbrio $\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{O}_2(\text{aq})$, sendo a constante de equilíbrio a constante da Lei de Henry (K_H) que determina a quantidade de oxigênio dissolvido em função da pressão parcial do oxigênio (P_{O_2}) e da temperatura.

$$[\text{O}_2] = K_H \cdot P_{\text{O}_2}$$

Tendo a pressão parcial de O_2 no ar seco, $P_{\text{O}_2} = 0,21 \text{ atm}$ e o valor de K_H em dada temperatura, pode - se calcular a quantidade de oxigênio dissolvido na água naquela temperatura.

Alguns fatores como poluição térmica, presença de matéria orgânica e microorganismos aeróbicos em excesso, diminuem a concentração do oxigênio dissolvido ($\text{O}_2(\text{aq})$). No caso de haver um consumo de oxigênio muito rápido, a reposição é lenta e torna-se ineficiente. O déficit de oxigênio é a quantidade de oxigênio em mg/L para se ter a saturação a uma certa temperatura.



Quanto maior a quantidade de matéria orgânica disponível, maior será a população de microorganismo e maior, portanto, a quantidade de oxigênio de que necessitam. Por isso dizemos que quanto maior for a quantidade de matéria orgânica introduzida na água maior será a quantidade de oxigênio que é consumido. Ou seja, a capacidade da matéria orgânica, presente na água, em consumir O_2 é chamada de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) porque se realiza por meio de atividade biológica ou bioquímica de oxidação da matéria orgânica genérica, indicada por CH_2O , representada pela equação: $CH_2O + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + H_2O(l)$. Determina-se a quantidade de $O_2(aq)$ antes e após um período de 5 dias em que a amostra fica selada no escuro (DBO_5).

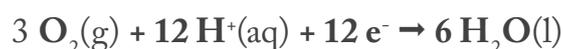
A melhor maneira de quantificar os poluentes orgânicos é fazê-lo pelo oxigênio requerido para sua oxidação. Neste particular, faz-se distinção entre a demanda bioquímica de oxigênio e a demanda química de oxigênio.

A demanda química de oxigênio (DQO) é determinada por meio de uma reação com oxidantes energéticos fortes como o permanganato de potássio ($KMnO_4$) em meio ácido ou o dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) em solução aquosa acidificada com ácido sulfúrico (H_2SO_4). Frequentemente é utilizado o dicromato de potássio cuja equação de redução do mesmo e da oxidação da matéria orgânica é apresentada a seguir,



Na análise adiciona-se um excesso de $Cr_2O_7^{2-}$ e a solução resultante é retrotitulada com Fe^{2+} até o ponto final.

Na oxidação por microorganismos aeróbicos, estes utilizam o oxigênio como fonte oxidante:



Para calcular a DQO deve-se considerar que 3 mols de O_2 oxida 3 mols de C enquanto 2 mols de dicromato oxida 3 mols de C. Portanto, o número de mol de O_2 requerido na oxidação



é 1,5 vezes ($3/2$) o número de mol de dicromato utilizado. A vantagem da DQO é de ser um método mais rápido que a DBO.

Águas poluídas com resíduos de animais, alimentos ou esgoto apresentam demanda de O_2 superior à solubilidade de equilíbrio do oxigênio, como resultado há um rápido decréscimo da concentração de $O_2(aq)$ com a consequente mortandade de peixes e outros organismos aquáticos.

Sugestão de atividade: Uma amostra de 25 mL de água de rio foi titulada com $Na_2Cr_2O_7$ $0,0010 \text{ mol L}^{-1}$, necessitando de 8,3 mL para atingir o ponto final. Qual é a Demanda Química de Oxigênio, em miligramas de O_2 por litro de amostra?

Contaminação por metais tóxicos

Tão problemáticos quanto os poluentes orgânicos, os poluentes inorgânicos constituem-se basicamente dos metais tóxicos, Cobre (Cu), Zinco (Zn), Cromo (Cr), Chumbo (Pb), Cádmio (Cd), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni), Estanho (Sn), Arsênio (As) e seus derivados. Os metais presentes na litosfera podem ciclar no ambiente tanto como resultado de atividade geológica quanto de atividade humana.

Através dos tempos, muitos sais desses metais têm sido retirados naturalmente das rochas num processo de lixiviação indo se acumular nos lagos, rios e oceanos. Apesar disso a concentração natural dos cátions dos metais tóxicos nesses corpos de água nunca chega a ser tóxica, porque há na água substâncias (ácidos orgânicos) que se combinam com determinadas espécies iônicas desses metais, formando compostos inofensivos chamados quelatos, que acabam por sedimentar-se.

Porém, a intensificação das atividades industriais, nos últimos 50 anos, tem introduzido metais tóxicos nas águas numa quantidade muito maior do que a natural, causando a poluição. A Tabela 8 mostra as principais indústrias que apresentam metais tóxicos, em quantidade significativa, nos seus efluentes líquidos.

A ação prejudicial é muito diversificada. Entre os mais perigosos estão o mercúrio, o cádmio, o chumbo e o arsênio. A toxicidade depende da forma química do elemento, isto é, de sua especiação. As formas insolúveis passam através do corpo humano sem causar grandes danos. As



formas mais tóxicas são aquelas que causam doenças imediatas ou morte e aquelas que podem passar através da membrana protetora do cérebro ou da que protege o feto em desenvolvimento.

Tomamos como exemplo o mercúrio. O mercúrio é o mais volátil de todos os metais e seu vapor é altamente tóxico, difunde-se dos pulmões para a corrente sanguínea, penetra no cérebro e o resultado é um grave dano ao sistema nervoso central que se manifesta por dificuldades na coordenação, na visão e no sentido do tato. O íon de mercúrio Hg^{2+} é a espécie menos tóxica, não atravessa as membranas biológicas, mas pode causar danos ao rim e ao fígado. O metilmercúrio (CH_3Hg^+) é a forma mais tóxica do mercúrio, pois pode atravessar tanto a barreira do cérebro quanto a barreira placentária humana, apresentando duplo risco. A espécie Hg_2^{2+} é a menos tóxica porque forma o sal insolúvel Hg_2Cl_2 no estômago. A Organização Mundial da Saúde (OMS) limita em 0,001mg/L a quantidade máxima de mercúrio na água.

Tabela 8: Indústrias que liberam metais tóxicos nos seus efluentes industriais.

Ramo Industrial	Metal Tóxico							
	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Sn	Zn
Papel		X	X	X	X	X		X
Petroquímica	X	X		X	X		X	X
Fertilizantes	X	X	X	X	X	X		X
Refinarias de Petróleo	X	X	X		X	X		X
Usinas Siderúrgicas	X	X	X	X	X	X	X	X

PASTE; MARQUES, 2011, a partir de dados de Magossi & Bonacella, 1990.

Os metais apresentam-se como poluentes da água e como contaminantes de nossos alimentos. São, em sua maioria, transportados por via aérea, seja como gases ou adsorvidos em material particulado em suspensão e a deposição ocorre por via seca ou úmida por meio das águas das chuvas. Os aterros sanitários também contribuem para a contaminação de águas subterrâneas, córregos e riachos; a mineração e o garimpo também poluem rios e mares. Os oceanos recebem



aproximadamente 400.000 toneladas de metais tóxicos sendo cerca de 80.000 toneladas **só de mercúrio (BAIRD, 2002).**

Uma sugestão para fazer com os alunos em sala de aula é uma pesquisa das formas tóxicas do chumbo, arsênio e cádmio.

Embora o vapor de mercúrio seja altamente tóxico, em geral os metais na sua forma de elementos livre condensados não são particularmente tóxicos. Algumas formas catiônicas são tóxicas e também quando ligados a cadeia carbônicas curtas. Do ponto de vista bioquímico, o mecanismo de ação tóxica deriva da forte afinidade dos cátions metálicos pelo enxofre presente nos grupos sulfidrílicos (-SH) presentes em proteínas de importância para o ser vivo e, também, no centro catalítico de certas enzimas que controlam velocidade de reações metabólicas importantes. A ligação metal-enxofre afeta a função biológica da proteína e a ação catalítica da enzima, por meio de inibição específica, afetando assim a saúde humana e, nos casos irreversíveis, ser fatal ao ser vivo. A reação dos cátions metálicos M^{2+} , onde M é Hg, Pb ou Cd (metais pesados) com os grupos sulfidrílicos de proteínas e de enzimas produzem sistemas estáveis como R-S-M-S-R que é análoga a reação do composto inorgânico simples H_2S com os cátions metálicos produzindo o composto insolúvel MS, o que explica o envenenamento do ser vivo.

Um tratamento comum para o envenenamento agudo causado por metais tóxicos consiste na administração de um composto que forma um complexo mais estável com o metal, ou seja, atrai o metal de maneira mais forte que a enzima, sendo o complexo solubilizado no meio fluido biológico e excretado pelo organismo por vias naturais. Um composto muito utilizado no tratamento de envenenamento por mercúrio e chumbo, na segunda guerra mundial, foi o BAL - *Bristh Anti Lewisite* (descoberto pelos cientistas britânicos), cuja fórmula molecular é $CH_2(OH)CH(SH)CH_2(SH)$. Como pode ser visto tal molécula contém dois grupos -SH que complexam com o cátion divalente, mais estável, ou seja, retiram (ou capturam) o cátion do meio biológico revertendo assim o processo de inibição ou envenenamento (tal efeito acontece nos casos de reações reversíveis de inibição enzimática). Outro composto utilizado é o sal de cálcio do ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) que, também, forma complexo solúvel, no meio aquoso, com a maioria dos íons metálicos (BAIRD, 2002).



Bioacumulação e biomagnificação

Os organismos, principalmente os aquáticos podem apresentar dois tipos de comportamento em relação aos metais (íons) e aos compostos orgânicos persistentes, a saber: i) são sensíveis a presença de determinado metal no meio, ocorrendo a ação tóxica ao organismo, ou ii) não são sensíveis, mas bioacumulam potencializando seu efeito nocivo ao longo da cadeia alimentar, colocando em risco os seres vivos, inclusive o humano, situados no topo da cadeia alimentar, por meio de biomagnificação.

BIO-ACUMULAÇÃO é o processo no qual os organismos ou seres vivos (inclusive humanos) podem adquirir contaminantes mais rapidamente do que seus corpos podem eliminá-los.

BIOMAGNIFICAÇÃO é definido como o aumento na concentração de um contaminante a cada nível da cadeia alimentar. Esse fenômeno ocorre porque a fonte de alimento para organismos de um nível superior na cadeia alimentar é progressivamente mais concentrada.

Substâncias orgânicas hidrofóbicas, como muitos agroquímicos, e compostos organometálicos de mercúrio e de chumbo são encontrados em concentrações relativamente altas em tecidos de peixes (relativamente grandes) e outros animais aquáticos. Estes compostos possuem características não polares e, portanto, afinidade por meio apolar. Com isso se solubilizam onde se encontram os lipídios (gordura, membranas celulares,...) não sendo excretados ou possuindo baixa taxa de eliminação, sendo então bioconcentrados nos tecidos dos peixes.

O Hg quando presente no meio aquoso entra na cadeia alimentar, sendo metabolizado na sua forma mais tóxicas (metil-mercúrio, CH_3Hg) e, assim, entra na cadeia trófica chegando aos seres humanos. Os peixes e outros organismos aquáticos (relativamente maiores que os menores servindo como fonte alimentícia) podem concentrar mercúrio 3000 vezes a mais do que o encontrado nas águas (de lagos, rios, mares,..). Portanto, o ideal seria não consumir peixes provenientes de regiões poluídas (BAIRD, 2002).



Poluição físico-química

Vamos verificar como a alteração de parâmetros como a turbidez, presença de substâncias coloridas, aquecimento das águas, alteração do seu valor osmótico e **alteração da acidez das águas, que interferem no equilíbrio da vida naquele ambiente aquático.**

A presença de material particulado em suspensão, que acarreta aumento de turbidez da água, assim como, a presença de substâncias coloridas limitam a penetração da luz restringindo a possibilidade de desenvolvimento de algas pelo decréscimo da capacidade fotossintética e, também, diminuindo a oxigenação das águas levando a mortandade de peixes e outros organismos aquáticos. Em ambientes de turbidez muito elevada peixes morrem asfixiados por obstrução de seus órgãos respiratórios, as suas brânquias. Além disso, adsorvem e concentram os poluentes biológicos e os poluentes químicos

A diminuição da solubilidade de O_2 em água com o aumento da temperatura constitui um dos efeitos da poluição térmica de lagos e rios. O efeito é particularmente sério em lagos profundos, porque água morna é menos densa que água fria e tende a ficar na superfície diminuindo bastante a dissolução de oxigênio, conseqüentemente, impedindo a dissolução necessária de oxigênio nas camadas mais profundas, sufocando e levando à morte toda a vida aquática dependente de oxigênio. Para as águas de um rio na temperatura de $10^\circ C$, $19^\circ C$ e $35^\circ C$ temos que a concentração de oxigênio dissolvido é de $11,3 \text{ mg L}^{-1}$; $9,0 \text{ mg L}^{-1}$ e $7,0 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente.

As membranas em sistema biológicas e substâncias sintéticas como o celofane, são semipermeáveis. Quando em contato com uma solução elas permitem que determinadas moléculas passem através de seus poros e bloqueando moléculas e íons maiores do soluto. Colocando a membrana entre duas soluções de diferentes concentrações as moléculas do solvente movimentam-se em ambos os sentidos pela membrana. Entretanto, a concentração do solvente é maior na solução contendo menos soluto, logo a taxa na qual o solvente passa da solução menos concentrada para a mais concentrada é maior que a taxa no sentido oposto. Esse processo onde há um movimento das moléculas de solvente da solução menos concentrada para a mais concentrada é chamado de osmose. A osmose tem papel importante nos seres vivos. Colocando uma célula em um meio com concentração salina superior à do interior celular (solução hipertônica) a água se move para fora provocando o murchamento e morte da célula, assim como se o meio extracelular for uma solução mais diluída, ou hipotônica, que o meio intracelular o fluxo natural de solvente ocorre



para o interior da célula até a equalização da pressão osmótica, provocando ruptura e morte celular por um processo chamado hemólise. Portanto, para manter a integridade das células do sangue, soluções injetadas no fluxo sanguíneo nas transfusões e alimentação intravenosa devem ser isotônicas com o sangue, o que significa dizer que devem ter a mesma pressão osmótica do sangue. A osmose também constitui a base da diálise.

O aumento da salinidade da água de um rio, provocado por despejos industriais, esgotos, pode destruir grande número de seres principalmente microscópicos. Um animal de água doce, a concentração de sal no interior das células é superior à da água e há tendência da água entrar na célula continuamente existindo também um mecanismo de expulsão sistemática do excesso de água do interior da célula. Esse equilíbrio entre a entrada e saída de água da célula é afetado quando se altera a concentração salina do meio.

A acidez da água também é outro fator que pode afetar a vida dos organismos aquáticos que são adaptados, em geral, a condições próximas da neutralidade. O pH da maior parte das águas naturais contendo organismos vivos está entre 6,5 e 8,5. Para níveis de pH abaixo de 4,0, todos os vertebrados, a maioria dos invertebrados e muitos microorganismos são destruídos. A fonte primária da acidez natural das águas é o $\text{CO}_2(\text{g})$ que reage com a água para formar ácido carbônico (H_2CO_3) e a de alcalinidade natural é o carbonato, proveniente de rochas. A causa provável de variações de acidez e alcalinidade natural é a poluição industrial.

Como verificado no item II.4 as moléculas da superfície da água estão sujeitas a uma atração unilateral, pois a atração pelas moléculas do líquido que estão abaixo é muito maior que a atração pelas moléculas de ar. As moléculas da película superficial são mais coesas entre si originando o fenômeno da tensão superficial. A vida de grande número de seres aquáticos depende dessa película. Os detergentes quando adicionados a água formam uma película superficial reduzindo a força de coesão entre as moléculas de água diminuindo a tensão superficial da mesma. As moléculas de água passam a ter maior poder de difusão ou penetração, e penetram melhor nos tecidos das roupas e solubilizam óleos e gorduras. Os besouros aquáticos perdem suas bolhas de ar e os patos mergulham parecendo afogados. Os detergentes, também, aumentam a permeabilidade da membrana celular, fazendo com que as células mais expostas à água, como as brânquias dos peixes, percam muitos dos seus constituintes essenciais, por dissolução no meio levando a morte dos mesmos.



A Química da parte sólida da Terra

A Terra pode ser dividida em atmosfera, hidrosfera e litosfera. Nesse sentido, estudar-se-á cada uma das partes separadas, mas lembrando-se que tudo está envolvido, pois como se discutiu anteriormente a Química Ambiental é dinâmica.

Considerando-se a que o estudo mais aprofundado da Terra é realizado dentro da Geologia, como sendo a Ciência que trata da Terra, sua história, composição e estrutura interna e suas feições superficiais, apresenta-se um pequeno texto sobre a parte sólida da Terra, para contribuição ao entendimento da Química Ambiental e conteúdos químicos nela contidos.

Nesse momento não será apresentado como se originou o Sistema Solar ou a Teoria do Big Bang, apenas discutir sob o ponto de vista químico a parte sólida da Terra.

Resumidamente a Terra possui o núcleo, o manto e crosta terrestre. A crosta terrestre, por sua vez pode ser dividida em três camadas: rocha matriz, subsolo e solo.

Segundo descrito por PRESS et al (2006), as camadas da Terra (Núcleo, Crosta e manto) são respectivamente constituídas por:

Núcleo da Terra: O ferro correspondia a cerca de um terço do material do planeta primitivo. O ferro e outros elementos pesados, por exemplo o níquel, mergulharam para formar o núcleo central (parte sólida), pois na parte externa é líquido.

Crosta da Terra: Outros materiais líquidos e menos densos separaram-se das substâncias geradoras flutuando em direção à superfície do oceano de magma. Aí resfriaram-se para formar a crosta sólida da Terra.

Manto da Terra: Entre o núcleo e a crosta encontra-se o manto, uma região que forma a maior parte da Terra sólida.

Do ponto de vista ambiental concentraremos a atenção somente no solo e aspectos relevantes da sua manutenção para a sobrevivência humana.



4.1 – O solo

O solo é uma mistura de matéria orgânica oriundas de restos de animais e vegetais, seres vivos e seus detritos em decomposição, fragmentos de rocha partículas minerais água e ar em diversas proporções variadas, dependendo do local em que retiramos a amostra.

Para a floresta é importante, pois contribui com a formação de um planeta verde, para a agricultura é importante, pois através dele obtemos o nosso alimento. Este também funciona como um filtro para a água e dá suporte para o crescimento de plantas, tornando-se assim um dos principais determinantes da composição da atmosfera do clima da Terra. É o ponto de partida para extração de diversos minerais, pois é a partir dele que encontramos inúmeras jazidas. Também é o principal local para depósito e descarte de resíduos sólidos.

Quase todos os organismos que vivem na terra dependem dela direta ou indiretamente do solo para sua existência. As plantas crescem no solo do qual obtêm nutrientes e a maior parte da água, enquanto que muitos animais que vivem na terra dependem das plantas como nutrientes (REED;2011). Cerca de 45% de um solo ideal para a agricultura e jardinagem consiste em material decomposto, principalmente areia, aluvião e argila, com boa parte do volume restante sendo simplesmente espaços vazios ou poros preenchidos com ar/ ou água.

A densidade do solo reflete o conteúdo de minerais, de matéria orgânica, água e ar da sua composição. A matéria orgânica atua como agente de cimentação e desempenha um papel muito importante no desenvolvimento da estrutura do solo. Estrutura é um termo usado para descrever a maneira pela qual as partículas individuais são agregadas para formar unidades maiores

A composição química do solo não é nada homogênea. Em termos médios de ordem de grandeza, os componentes do solo estão na seguinte proporção:

- ~ 45% de elementos minerais;
- ~ 25% de ar;
- ~ 25% de água;
- ~ 5% de matéria orgânica.



Essa proporção de cada um dos componentes varia de um solo para outro e mesmo em determinado local pode ocorrer variação sazonais como em períodos de maior ou menor precipitação de chuva.

A partir da composição média do solo podemos afirmar que o solo é constituído por 3 fases:

- **Fase sólida:** formado de substâncias provenientes de animais mortos, e de produtos da degradação biológica feita por fungos e bactérias e predominantemente oriundas de rochas desagregadas por ações físicas ou químicas no local ou trazidas pelo ar ou água
- **Fase líquida:** A parte líquida é proveniente principalmente por água oriunda de precipitações como chuvas, sereno, neblina, orvalho e degelo, etc. Nessa fase estão presentes substâncias das fases sólida e gasosa. A água do solo pode conter inúmeros materiais orgânicos e inorgânicos. Esta se infiltra, preenchendo os espaços existentes entre as partículas do solo. A quantidade de água absorvida depende da permeabilidade do solo.
- **Fase Gasosa:** A parte gasosa é proveniente do ar existente na superfície e apresenta os mesmos componentes presentes no ar atmosférico com proporções diferentes devido à decomposição de matéria orgânica e as reações ocorridas no solo, em biodegradação aeróbia, por exemplo, predomina o dióxido de carbono (CO_2), em biodegradação anaeróbia predomina outros gases como o metano (CH_4)



Exemplo – *Trabalhando com a presença de água e ar no solo e com a densidade do solo.*

Uma amostra de solo em forma de cilindro, de 8 cm de diâmetro e 10 cm de altura, contém 827 g de massa fresca de solo. Após a secagem do solo a 110°C, a massa obtida foi de 637 g.

Calcular:

- (i) o teor de água gravimétrico do solo,
- (ii) o volume de água contido no solo,
- (iii) a densidade do solo, antes e depois da secagem,
- (iv) a porcentagem de espaço poroso,
- (v) a porcentagem de poros preenchidos com a água, e
- (vi) a porcentagem de espaço poroso preenchido de ar.

Densidade da água: 1,0 g/cm³ ou 1 g/mL

Densidade média das partículas no solo: 2,6 g/cm³ ou 2,6 g/mL

Volume da amostra de solo:

Diâmetro = 8 cm Raio (r) = 4 cm Altura da amostra (h) = 10 cm

$$\text{Volume da amostra cilíndrica} = \frac{\text{área da base circular} \times \text{altura}}{\text{circular} \times \text{altura}} = \pi \cdot r^2 \cdot h = 3,14 \cdot (4)^2 \cdot 10 = 503 \text{ cm}^3 \text{ ou } 503 \text{ mL}$$



(i) o teor de água gravimétrico do solo:

$$[(827 - 637 \text{ g}) / 827 \text{ g}] \cdot 100 = 23\%$$

(ii) o volume de água no solo conteúdo:

$$(827 - 637 \text{ g}) / (1,0 \text{ g/mL} \cdot 503 \text{ mL}) \cdot 100 = 38\%$$

(iii) densidade do solo:

$$827 \text{ g} / 503 \text{ mL} = 1,64 \text{ g/mL} \quad \text{solo úmido}$$

$$637 \text{ g} / 503 \text{ mL} = 1,27 \text{ g/mL} \quad \text{solo seco}$$

(iv) a porcentagem de espaço poroso:

Da densidade de partículas do solo, o volume de partículas na amostra de solo:

$$637 \text{ g} / 2,6 \text{ g/mL} = 245 \text{ mL}$$

$$\text{Portanto: } [(503 \text{ mL} - 245 \text{ mL}) / 503 \text{ mL}] \cdot 100 = 51\%$$

(v) a porcentagem de poros preenchidos com a água: 38%

(vi) a porcentagem de espaço poroso preenchido de ar:

$$51\% - 38\% = 13\%$$

Considerando os dados acima, qual é a massa de solo em uma área de 1 ha e uma profundidade de 15 cm?

1 ha = 10.000 m², portanto, volume de solo a 15 cm:

$$10.000 \text{ m}^2 \cdot 0,15 \text{ m} = 1500 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidade do solo } 1,64 \text{ g/cm}^3 = 1,64 \text{ kg/m}^3$$

$$1500 \text{ m}^3 \cdot 1,64 \text{ kg/m}^3 = 2460 \text{ kg de solo úmido ou}$$

$$1500 \text{ m}^3 \cdot 1,27 \text{ kg/m}^3 = 1905 \text{ kg de solo seco.}$$



4.2 – Formação do solo

O solo é formado a partir dos três grupos de rochas e também a partir de depósitos deixados por geleiras ou outras formas de transporte de matéria para locais como vales, encostas ou áreas mais baixas de montanhas e serras.

A quebra física e alteração química dos materiais da Terra, na superfície das rochas, denomina-se Intemperismo. A formação dos solos é resultado da ação combinada de cinco fatores, que determinam as transformações de minerais e produtos orgânicos nesse processo, são eles:

Clima

Os pedólogos consideram que o clima é o mais importante fator isolado nas origens do solo. As interações complexas entre vários fatores são responsáveis pelo tipo de solo, espessura e fertilidade. Em geral as variáveis climáticas mais importantes são as precipitações pluviométricas, que condiciona uma maior disponibilidade de água, facilitando a solubilização e remoção dos constituintes solúveis do solo e facilitando as reações químicas, a temperatura que afeta diretamente a cinética das reações, o vento que aumenta o processo de evaporação e também auxilia no transporte de material de um ponto a outro, e etc.

Relevo

Influencia de forma indireta o intemperismo dos minerais, pois condiciona a formação do solo em função do tipo de paisagem. Dependendo do local pode haver maior quantidade de água infiltrada no solo e aumentando a lixiviação da parte solúvel, pode provocar um maior escoamento da água e aumento da erosão com exposição de novas superfícies. A altitude tem uma influencia direta na presença de matéria orgânica na composição, quanto mais alto menor a quantidade de matéria orgânica.

Material de origem

É o material a partir do qual o solo começa a se formar, ou seja, é o ponto inicial. Nesse estado inicial ele pode ser constituído por material de origem orgânica como produtos de



decomposição de restos vegetais e animais e origina solos orgânicos, e pode ser constituído de material de origem mineral como rochas e sedimentos.

Organismos

São os mais diversos e podem ser exemplificados como a vegetação, micro-organismos decompositores, animais, entre outros, ou seja, a flora e a fauna do solo. Estes organismos podem provocar diversos tipos de reações para o seu desenvolvimento, como reações de oxidação de ferro II a ferro III que estão presentes em diversos minerais. Mesmo depois da formação, o sistema entra em equilíbrio e a ação desses organismos é contínua.

Tempo

É a duração da ação dos processos de formação.

4.3 – Tipos de rochas

A crosta terrestre é composta, principalmente, de rochas cristalinas, um termo que se refere às rochas metamórficas e a maioria das rochas ígneas. As rochas são formadas por dois ou mais minerais agrupados. Um mineral pode ser definido como uma substância inorgânica de composição química bem definida e que toma parte na composição das rochas, são conhecidos aproximadamente 2000 tipos de minerais. As rochas que podem originar os solos são classificadas de acordo com a sua formação:

Rochas Ígneas ou Magmáticas

Procedentes da solidificação do magma expelido por vulcões e podem ser subdivididas em dois tipos: intrusivas e extrusivas. As Rochas magmáticas intrusivas são a formadas por solidificação do magma em grandes profundidades, como por exemplo, o granito. As rochas magmáticas extrusivas são formadas pela solidificação do magma na superfície, como por exemplo, o basalto. Em geral, o tamanho dos minerais de uma rocha ígnea indica se ela se resfriou do magma abaixo da superfície ou da lava na superfície.



Rochas Sedimentares

Procedem da acumulação, compactação e sedimentação de materiais que derivam de outras rochas existentes ou de materiais orgânicos assim como da precipitação de substâncias dissolvidas. São a maioria das rochas da superfície dos continentes. Podem ser divididas em três tipos: Clásticas (ou detríticas), orgânicas e químicas. As rochas sedimentares clásticas são formadas a partir de detritos de outras rochas antigas, como o arenito. Rochas sedimentares orgânicas são formadas por restos de animais e vegetais mortos, como o calcário. Rochas sedimentares químicas são formadas quando os sedimentos de rocha dispersos ou dissolvidos em água atingem a saturação, são exemplos calcita e dolomita. A maioria da evidência fóssil de vida pré-histórica é encontrada em rochas sedimentares, por isso os geólogos estudam as estruturas sedimentares para determinar a história geológica dessas rochas. Alguns sedimentos e rochas sedimentares são recursos naturais em si mesmo ou contêm recursos como petróleo e gás natural.

Rochas Metamórficas

Procedentes da transformação de outras rochas por efeito de alterações na sua estrutura em decorrência das modificações a que estão sujeitas como aumento da temperatura e da pressão, como o mármore. São divididas em dois grupos, de acordo com sua textura. Rochas metamórficas com textura foliada incluem ardósia, xisto e gnaisse. Já aquelas com textura não-foliada incluem o mármore e o quartizito. Muitos minerais metamórficos e rochas são minérios metálicos valiosos, materiais de construção e pedras preciosas.

4.4 – Intemperismo

Vários fatores são importantes para determinar cada tipo de solo e sua fertilidade. A erosão, assim como a deterioração física e química dos solos, causa problemas, especialmente a redução na produtividade. O ambiente ou as condições em que a maioria das rochas é formada é muito diferente do ambiente ou das condições encontradas na superfície do planeta. A maior parte das rochas forma-se em ambientes com elevadas temperatura e pressão, sob ausência de luz, da presença de organismos, entre outros. Quando estas rochas são expostas na superfície do planeta, encontram condições como temperaturas e pressões menores e com grande variação ao longo do ciclo dia e noite e das estações do ano, encontram a presença de uma grade variedade



de organismos, variação de umidade, presença de luz, e etc. O conjunto destes fatores que leva à degradação e decomposição das rochas é denominado de INTEMPÉRIES, e sua ação é chamada intemperismo.

Os processos de degradação e decomposição das rochas estão relacionados com dois fatores o primeiro e a natureza da rocha ou o tipo de rocha e a segunda são as condições do ambiente. Podemos dividir o intemperismo em físico e químico. Na natureza os processos ocorrem juntos e simultaneamente sendo impossível separar o intemperismo físico do intemperismo químico.

Intemperismo Físico

O intemperismo físico é o conjunto de processos que levam a fragmentação da rocha, sem modificação significativa da sua estrutura química. Estas fragmentações podem ocorrer por vários processos, como citados abaixo:

- a) **Variação de temperatura:** as rochas são compostas por diversos minerais que possuem coeficientes de dilatação e contração térmica diferentes, ou seja, estes minerais se dilatam e contraem de maneira diferente. Quando vários minerais estão presentes e unidos em uma única massa da rocha e são submetidos à variações de temperatura, cada mineral irá se dilatar e contrair e em intensidades e direções diferentes. Este fenômeno cria tensões no corpo da rocha, o que ocasiona as fraturas.
- b) **Gelo:** a água acumulada em fendas nas rochas ocupa um determinado volume, com o abaixamento da temperatura e a formação de gelo este volume aumenta, pois o gelo tem uma densidade menor que a água líquida e conseqüentemente leva a fratura das rochas.
- c) **Precipitação de sais:** ocorre de maneira semelhante ao acúmulo de água, a água acumulada nas fendas das rochas contem sais dissolvidos, com a evaporação da água há um aumento na concentração de sais, quando estes começam a cristalizar ocorre a fratura da rocha.
- d) **Crescimento de raízes:** é exemplo típico desta força os danos causados pelas raízes de algumas árvores ao calçamento em várias cidades e locais. As espécies pioneiras arbustivas e arbóreas com o crescimento das raízes exercem grandes pressões sobre as rochas, principalmente com o crescimento das raízes entre as fendas.



Todos os processos físicos fragmentam as rochas e com isso a um aumento de Área Superficial Específica, esse fenômeno é a **maior** contribuição do intemperismo físico a partir dessa etapa ocorre o intemperismo químico.

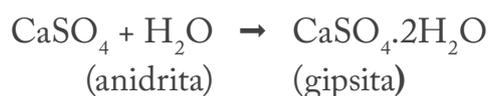
Intemperismo Químico

O intemperismo químico é o conjunto de reações que levam à modificação da estrutura dos minerais que compõem a rocha. O intemperismo químico aumenta com o aumento do intemperismo físico, devido ao aumento de área superficial dos minerais.

Assim como o intemperismo físico, o intemperismo químico ocorre porque o ambiente ou as condições na superfície da crosta são muito diferentes daquelas nas quais as rochas se formaram. O intemperismo químico ocorre a uma velocidade muito lenta do ponto de vista humano. As principais reações são:

a) Hidratação:

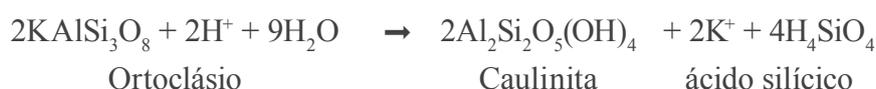
É o primeiro passo para o intemperismo químico. Essa reação com a água ocorre sem mudança na estrutura cristalina do mineral, mas é importante, pois é o primeiro passo para iniciar o processo de hidrólise. Um exemplo de reação é





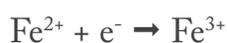
b) Hidrólise:

Com a autoionização da água e formação de H^+ e OH^- ocorre uma reação com os minerais, rompendo ligações e alterando a sua estrutura. Como o H^+ substitui o metal na estrutura esta alteração pode fragmentar a rocha. É uma reação muito importante para silicatos e carbonatos e a intensidade dessa reação é usada como indicador do grau de intemperismo sofrido pelo solo. Esse tipo de reação é intensificado com a chuva ácida. Um exemplo de reação é mostrado abaixo:



c) Oxidação e redução:

É uma reação em que ocorre o processo de transferência de elétrons, e o íon ou espécie receptora de elétrons é reduzida e a espécie doadora de elétron é oxidada. Esse processo é importante em solos que possuem principalmente Ferro e Manganês e no processo de fixação do Nitrogênio. Com o descarte de resíduos em solos, outros elementos podem se tornar importantes, como por exemplo, o Crômio. O exemplo disso é a oxidação do íon ferroso (Fe^{2+}) para íon férrico (Fe^{3+}) na biotita ou mica ferro, que é um silicato hidratado de alumínio, ferro e magnésio podendo conter ainda manganês e titânio e com formula geral $(K(Mg,Fe)_3(OH,F)_2(Al,Fe)Si_3O_{10})$.



O mineral contém Fe^{2+} como um dos constituintes na estrutura cristalina mineral, o qual é o principal responsável pela coloração escura, com a oxidação a Fe^{3+} forma-se $Fe(OH)_3$, esse mineral com o intemperismo dá origem a argila.

As reações de Nitrificação e desnitrificação também são exemplos de reações de oxidação e redução e são realizadas por micro-organismos presentes do solo.



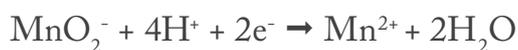
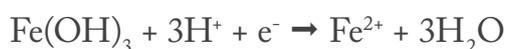


Micro-organismos

Nesse exemplo o O_2 é reduzido e forma a água. E em última instância há a formação de CO_2 e H_2O



Na ausência de O_2 , outras substâncias podem ser oxidadas ou reduzidas.

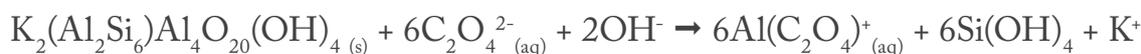


Com outras substâncias como aceptores de elétrons a reação de oxidação é incompleta e vários compostos orgânicos podem ser produzidos, como metano e ácido acético.

d) Complexação:

Complexação se refere a ligação entre um íon metálico e um composto orgânico. A ligação do composto orgânico ao metal ocorre pontos específicos quando esta molécula possui pares de elétrons a serem usados na ligação. Normalmente em reações de complexação a estabilidade do composto é maior quando forma-se um anel, de 5 ou 6 membros, a este tipo de composto dá-se o nome de quelato. Os compostos orgânicos que resultam do metabolismo anaeróbico são as moléculas mais comuns a formarem os quelatos, favorecendo a saída da de metais no ambiente.

Em muitos casos a quelação contribui substancialmente para o intemperismo químico, pois este tipo de reação pode aumentar a solubilidade do metal. A solubilidade do alumínio e do ferro presentes em silicatos em forma não complexada é pequena, mas aumenta consideravelmente a sua solubilidade devido à formação de complexos. Como exemplo, temos a reação com o íon oxalato como abaixo:





4.5 – Composição do solo

A partir da formação o material sólido que faz parte do solo é muito diversificado e pode ser dividido em duas classes: material orgânico e material inorgânico.

Material inorgânico

O material inorgânico é constituído de: partículas coloidais, provenientes da erosão das rochas são compostas de minerais de argila. Minerais: Os principais são silicatos e quartzo. Óxidos, principalmente óxidos de ferro e em menor grau óxidos de magnésio, titânio, alumínio e zinco. Carbonatos: principalmente carbonato cálcio.

Material orgânico

O material orgânico consiste de uma mistura de biomassa, plantas parcialmente degradadas, organismos microscópicos e húmus. O húmus é o resíduo causado pela ação de fungos e bactérias em plantas e é composta de uma fração solúvel e uma fração insolúvel, a humina. O húmus desempenha um papel importante nos processos físicos e químicos que ocorrem no solo. Possui cor escura e partículas pequenas e é fofo, arejado e permeável água bem como retém grande parte desta. Responsável pela fertilidade do solo, fornecendo vários nutrientes para o desenvolvimento das plantas.

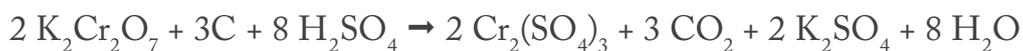
Material sólido que compõe o solo

Considerando todos os processos de formação e todos os principais componentes pode-se afirmar que o solo é formado basicamente por 4 componentes o húmus, a argila, a areia e cálcio, em quantidades muito variáveis.

Exemplo: Determinando o teor de carbono proveniente da matéria orgânica no solo. O conteúdo de carbono orgânico do solo pode ser medido pela oxidação com uma solução ácida de dicromato.



Princípio do método:

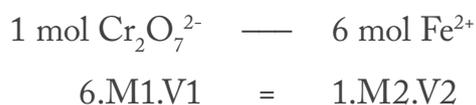


O excesso de dicromato é medido por titulação com uma solução de sulfato ferroso.



Na determinação do carbono orgânico, uma amostra de solo fresco de 0,200 g foi tratada com um volume de 20,0 mL de uma solução de dicromato em meio de ácido sulfúrico de concentração 0,167 mol/L. O excesso de dicromato foi determinado por titulação volumétrica com uma solução de sulfato ferroso de concentração 0,500 mol/L. Uma solução em branco foi usada como controle para determinar a perda de dicromato por decomposição térmica. Os volumes obtidos foram 17,5 mL para amostra de solo e 39,0 mL para o branco. Qual o teor de carbono nessa amostra de solo?

Considerando a reação temos:



Da titulação do branco temos:

Volume da solução de dicromato = 20 mL

Volume de solução de Ferro (II) consumido = 39,0 mL

Concentração inicial da solução de dicromato = 0,167 mol/L

Concentração inicial da solução de Ferro (II) = 0,500 mol/L

Calculando a concentração da solução de dicromato que irá reagir:

$$\begin{array}{rcl} 6 \cdot \text{M1} \cdot 20,0 \text{ mL} & = & 1 \cdot 39,0 \text{ mL} \cdot 0,500 \text{ mol/L} \\ [\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}] & = & 0,163 \text{ mol/L} \end{array}$$



Nessa reação foram consumidos por decomposição térmica

$$[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}] \text{ decomposta} = 0,0045 \text{ mol/L}$$

Da titulação do excesso de dicromato temos:

$$\text{Volume da solução de dicromato} = 20 \text{ mL}$$

$$\text{Volume de solução de Ferro (II) consumido} = 17,5 \text{ mL}$$

$$\text{Concentração da solução de dicromato} = 0,163 \text{ mol/L}$$

$$\text{Concentração inicial da solução de Ferro (II)} = 0,500 \text{ mol/L}$$

Calculando a concentração da solução de dicromato que não reagiu:

$$6 \cdot M_1 \cdot 20,0 \text{ mL} = 1 \cdot 17,5 \text{ mL} \cdot 0,500 \text{ mol/L}$$

$$[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}] = 0,0729 \text{ mol/L}$$

Nessa reação foram consumidos pela carbono da matéria orgânica

$$[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}] \text{ decomposta} = 0,0901 \text{ mol/L}$$

Considerando a reação temos:



$$3 \cdot M_1 \cdot V_1 = 2 \cdot n \text{ (quantidade de matéria)}$$

Da titulação da solução de solo:

$$\text{Volume da solução de dicromato} = 20 \text{ mL}$$

$$\text{Concentração da solução de dicromato que reagiu} = 0,0901 \text{ mol/L}$$

$$\text{Massa inicial de amostra de solo} = 0,20 \text{ g}$$

$$\text{Massa molar do carbono} = 12,011 \text{ g/mol}$$



Calculando a massa de carbono que reage com a solução de dicromato:

$$3 \cdot 0,0901 \text{ mol/L} \cdot 20,0 \cdot 10^{-3} \text{ L} = 2 \cdot m \cdot (1/12,011 \text{ g/mol})$$

$$\text{Massa de carbono} = 0,0325 \text{ g}$$

Calculando o teor de carbono presente na amostra

$$(0,0325 \text{ g de C} / 0,20 \text{ g de amostra}) \cdot 100\% = 16,2 \%$$

16,2% de carbono presente no solo

Tipos de Solos

O solo recebe o nome do componente que se apresenta em maior proporção. Segundo esse critério podemos classificar os solos em vários tipos.

- a) **Solos argilosos:** São solos que possuem mais de 30% de sua composição em argila, são úmidos e muito bem compactados, não permitindo o transporte de calor, ar e água. Quando estão secos pode-se observar a formação de inúmeras rachaduras na sua superfície. Poucas plantas se desenvolvem adequadamente neste tipo de solo.
- b) **Solos Arenosos:** São os solos que contém em sua composição mais de 70% em areia, são solos muito secos, pois a areia retém pouca umidade, e possuem pouca vegetação.
- c) **Solos Calcários:** São solos que possuem em sua composição mais de 30 % de calcário. Este tipo de solo é mais permeável à água do que os solos argilosos, mas são solos secos e também possuem pouca vegetação.
- d) **Solos Humíferos:** Possuem em sua composição mais de 10 % de húmus. O húmus é responsável pela retenção de água da chuva e sais minerais, que são essenciais ao crescimento de diversas plantas. São solos úmidos e muito férteis.
- e) **Solos mistos:** A composição dos solos é uma sempre uma mistura de argila, areia, calcário e húmus, a maioria dos solos se enquadra nessa categoria, a composição adequada desses quatro constituintes resulta em um solo adequado ao uso agrícola.



Perfil do Solo

Na distribuição dos materiais por determinada área para formação do solo o terreno vai evoluindo e as alterações da superfície do solo começam a se tornar cada vez mais profunda e destacam-se sucessivos extratos de cor, textura e estrutura diferente, chamado de horizontes. Todos estes horizontes constituem o perfil do solo e geralmente são identificados por letras, de acordo com suas características. Nem sempre todos estão presentes e são facilmente identificáveis.

Quando o solo atinge está evoluído esses horizontes se apresentam de forma mais evidente e são identificáveis em maior número.

As principais características que um solo pode conter estão na Figura 11 e são descritas a seguir:

Horizonte O – Camada fina de matéria orgânica fresca ou em decomposição. Em condições de má drenagem é denominado horizonte H.

Horizonte A – Resultante do acúmulo de material orgânico misturado com material mineral. Geralmente apresenta coloração mais escura, devido ao material orgânico humificado. É a zona de lixiviação.

Horizonte B – Caracterizado pelo acúmulo de argila, ferro, alumínio e pouca matéria orgânica. É denominado de horizonte de acúmulo ou iluvial. O conjunto de horizontes A e B caracterizam a parte do solo que sofre a influencia das plantas e animais. É a zona de acumulação.

Horizonte C – Camada de material não-consolidado, com pouca influência de organismos, geralmente apresentando composição química, física e mineralógica similar a do material em que se desenvolve o solo. É a matéria parental parcialmente alterada evoluindo para material parental inalterado.

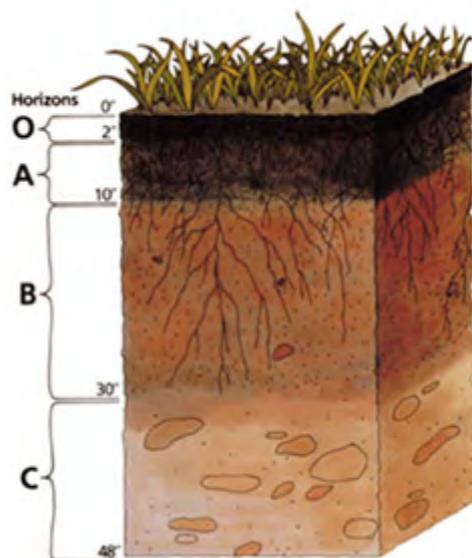


Figura 11: O solo e seus horizontes

(Fonte: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cc/Soil_profile.jpg)

Características do solo

As características do solo podem ser físicas e químicas e são dependentes da composição e da origem do solo, as mais importantes são: cor, textura, agregação, porosidade, capacidade de troca iônica e pH

- a) **Cor:** Os solos possuem uma vasta gama de cores. Na superfície dos horizontes do solo, uma coloração escura normalmente indica a presença de matéria orgânica. Solos com conteúdo de material orgânico significativo apresentam-se com cor marrom escuro ou preto. As cores mais comuns dos solos estão entre o vermelho ao amarelo, obtendo essa coloração de minerais de óxido de ferro que cobrem as partículas do solo.
- b) **Textura:** A textura ou granulometria depende do conteúdo dos três principais componentes, argila, silte e areia, e refere-se à proporção entre eles ou a proporção entre os diferentes tamanhos de partículas. A textura é a percentagem relativa de cada tamanho de partícula dentro do solo. É a propriedade física do solo que menos sofre alteração ao longo do tempo



- c) **Estado de Agregação:** As partículas individuais da terra tendem a se unir formando unidades maiores chamadas agregados ou solo agrupado. Os agregados ocorrem como resultado de forças químicas e a matéria orgânica presente no solo age como um fixador das partículas que se unem. Solos agrupados variam de tamanho muito fino – menos que 1mm – para muito grosso – mais do que 10 mm.
- d) **Porosidade:** O solo é composto de poros de vários tamanhos e espessura. A porosidade do solo é definida pelo tamanho, número, e arranjo dos poros o que afeta muito o movimento de água e a troca de gases. Os Solos mais agregados possuem muitos poros que são importantes para os organismos que vivem no solo e requerem água e oxigênio para sobreviver. A porosidade influencia nas condições de mobilidade dos compostos solúveis e voláteis, que podem ser nutrientes e contaminantes. Por exemplo, em períodos chuvosos existe uma maior penetração e mobilidade da água por entre o solo.
- e) **Conteúdo Iônico:** No solo existem diversos tipos de materiais que contém íons metálicos em sua composição. Estes íons podem ser trocados e essa característica é dada como o número de íons de um determinado metal contido em uma determinada quantidade de solo e que é passível de trocar. Estas trocas iônicas são de importância vital, pois somente assim os íons metálicos podem ser absorvidos pelas plantas para seu desenvolvimento. Assim, a capacidade de troca catiônica de um solo é uma medida importante da sua fertilidade.
- f) **pH:** Outra medida química importante é o pH do solo que depende da acidez ou alcalinidade do solo. O pH do solo irá frequentemente determinar se certas plantas podem crescer com sucesso

4.6 – pH do solo e potencial redox

A acidez do solo ou pH do solo é uma medida da concentração de íons H^+ presente na solução do solo e é um dos indicadores da fertilidade. A faixa de pH que os nutrientes ficam mais disponíveis às plantas e ideal para a agricultura está na faixa entre 5,5 e 6,5.

A acidez do solo acontece durante o processo de decomposição de matéria orgânica quando ocorre a formação de ácidos orgânicos e inorgânicos. A acidez do solo aparece quando há o



contato de ácidos presentes no solo com a água: Ácidos inorgânicos fortes como ácido sulfúrico e ácido nítrico são alguns dos ácidos que fornecem íons H^+ ao solo.

A acidez do solo pode ser dividida em acidez ativa e acidez potencial que pode ser acidez trocável e acidez não trocável.

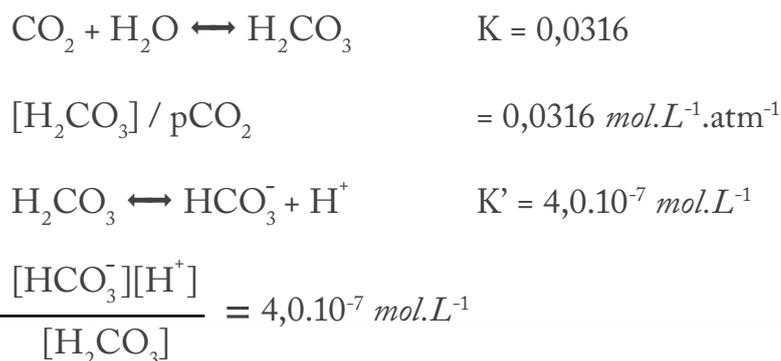
- a) Acidez ativa é resultado do H^+ ionizado e encontrado em solução de solo (água + solo).
- b) A acidez trocável refere-se aos íons H^+ e Al^{3+} que foram detidos na superfície dos colóides pelas forças eletrostáticas, sendo que é a mais prejudicial para o crescimento de grande parte das plantas.
- c) Na acidez não trocável, o H^+ está em ligação covalente com as frações minerais e orgânicas do solo, difícil de ser rompida.
- d) A acidez potencial é o somatório da acidez trocável e da não trocável.

O ácido mais simples, encontrado em maior abundância, é o ácido carbônico que resulta da combinação do óxido carbônico com a água. Mesmo como ácido, por ser um ácido fraco não pode ser responsabilizado pelos baixos valores de pH do solo.



Exemplo – Calculando o pH do solo.

O dióxido de carbono se dissolve na água formando o ácido carbônico que é um ácido fraco. Esse ácido carbônico pode ionizar e produzir os íons hidrogênio e bicarbonato. Considerando a quantidade de dióxido de carbono presente na atmosfera (0,000316 atm), calcule o pH do solo.



Considerando $[\text{HCO}_3^-] = [\text{H}^+] = [x]$

$$[x]^2 = 4,0 \cdot 10^{-7} \cdot [\text{H}_2\text{CO}_3] = 4,0 \cdot 10^{-7} \cdot 3,16 \cdot 10^{-2} \cdot p\text{CO}_2$$

$p\text{CO}_2$ na atmosfera 0,00316 atm

$$[x]^2 = 4,0 \cdot 10^{-7} \cdot [\text{H}_2\text{CO}_3] = 4,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol.L}^{-1} \cdot 3,16 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1} \cdot 3,16 \cdot 10^{-4} \cdot \text{atm}^{-1}$$

$$[x] = [\text{H}^+] = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$\text{pH} = 5,7$$

Considerando a atmosfera do solo, qual o valor do pH se a pressão parcial do dióxido de carbono for 10 vezes maior do que a da atmosfera?

$$[x]^2 = 4,0 \cdot 10^{-7} \cdot [\text{H}_2\text{CO}_3] = 4,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol.L}^{-1} \cdot 3,16 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1} \cdot 3,16 \cdot 10^{-3} \cdot \text{atm}^{-1}$$

$$[x] = [\text{H}^+] = 6,32 \cdot 10^{-6} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$\text{pH} = 5,2$$

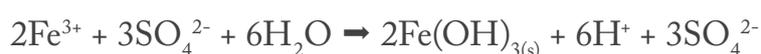


Ajuste da acidez do solo

Para o crescimento de plantas o pH necessário está próximo da neutralidade, mas se o solo se torna mais ácido, este deve ser corrigido para que a maior parte das plantas tenham um melhor crescimento, pois é próximo da neutralidade que a planta absorve melhor os diversos nutrientes, a correção pode ser realizada com a utilização de carbonato de cálcio, que reage no solo conforme equação especificada a seguir:



Em áreas de baixa precipitação pluviométrica os solos podem se tornar mais básico (alcalino) devido à presença de sais básicos, como Na_2CO_3 . Solos alcalinos podem ser tratados com alumínio ou sulfato de ferro, que nas reações de hidrólise liberam ácido:



Enxofre também pode ser adicionado ao solo alcalino, este é oxidado por bactérias com a formação de ácido sulfúrico:



Grandes quantidades de enxofre são removidas de combustíveis fósseis para evitar a poluição do ar por dióxido de enxofre e pode ser usado para fazer o tratamento de solos alcalinos o que é economicamente vantajoso.



Exemplo – *Tampão e calagem do solo.*

Para elevar o pH de 5 g do solo para 6,5 foi necessário 4,0 mL de uma solução 0,005 mol/L de hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Qual a quantidade de carbonato de cálcio necessário para corrigir o pH de 1 ha (massa de solo de 2500 kg/ha)? (Massa molar $\text{CaCO}_3 = 100 \text{ g/mol}$).



4,0 mL de solução 0,005 mol/L resulta em 0,02 mmol de Ca^{2+}

para 5 g de solo são gastos 0,02 mmol de Ca^{2+} ou CaCO_3

ou 0,004 mmol CaCO_3 / g de solo

convertendo para massa

0,004 mmol $\text{CaCO}_3 = 0,4 \text{ g CaCO}_3$

0,4 g CaCO_3 / g de solo

como existem 2.500 kg/ha

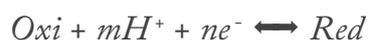
0,4 g CaCO_3 /g de solo . 2.500.000g de solo = 1.000.000 g CaCO_3

ou 1000 kg CaCO_3



Potencial Redox

Potencial redox é a medida do estado de oxiredução de um solo e é determinado por reações redox que envolvem a transferência de elétrons de uma espécie química para outra. Uma reação redox de forma geral pode ser escrita como:



onde 'Oxi' e 'Red' são as espécies oxidada e reduzida, respectivamente.

Note também que os íons H estão envolvidos na reação, e assim o pH afeta o potencial redox.

O potencial envolvido é uma consequência da relação entre a espécie oxidada e a espécie reduzida e é expresso pela equação de Nernst:

$$E = E^{\circ} - \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{Red}]}{[\text{Oxi}]}$$

onde

E = potencial em volts

E° = potencial padrão do eletrodo

R = constante universal dos gases (8,314 J/mol.K)

T = temperatura absoluta em K

n = o número de elétrons envolvidos na reação

F = constante de Faraday 96487 C/mol (a carga quando 1 mol de [Oxi] é reduzida).

Considerando a temperatura de 25°C (298 K), os valores das constantes R e F e a conversão de logaritmo natural para \log_{10} , a equação torna-se

$$E = E^{\circ} - \frac{0,0591}{n} \log \frac{[\text{Red}]}{[\text{Oxi}]}$$



O potencial redox é medido utilizando um eletrodo de platina inerte, que mede o potencial elétrico (E_H) do solo, quando em contato com este ou como uma suspensão do solo. Esse potencial é medido em relação a um eletrodo de referência com um potencial conhecido, como o eletrodo de calomelano (E_{CAL}), que possui potencial de 0,248 V a 25°C. Este potencial deve ser adicionado ao valor medido:

$$E_H = E_{CAL} + 0,248 \text{ V}$$

E_H é medido no pH da amostra, mas pode ser corrigido para pH 7, também pode ser expressa como pe, que é o logaritmo negativo da atividade do elétron (análogo ao pH). Este tipo de abordagem considera o elétron como um reagente ou como um produto da reação. A relação entre os dois é dada por:

$$E_H \text{ (em volts)} = 0,0591 \text{ pe}$$



Exemplo – Calculando os limites de potencial para uma reação no solo.

Os limites de potencial redox para um sistema aquoso é determinado pela oxidação e redução da água

Oxidação da água



$$\log K = \log p\text{O}_2 + 4\log\text{H}^+ + 4\log \text{e}^-$$

$$-83,1 = \log p\text{O}_2 + 4\log\text{H}^+ + 4\log \text{e}^-$$

$$83,1 = -\log p\text{O}_2 + 4\text{pH} + 4\text{pe}$$

$$\text{Para } p\text{O}_2 = 1\text{atm}; \log p\text{O}_2 = 0$$

$$83,1 = 4\text{pH} + 4\text{pe}$$

$$\text{pe} = 20,8 - \text{pH}$$

$$E_{\text{H}} = 0,0591 \cdot \text{pe} = 0,81 \text{ V}$$

Redução da água



$$\text{pK} = \log p\text{H}_2 - 2\text{pH} - 2\text{pe}$$

$$\text{Para } p\text{H}_2 = 1\text{atm}; \log p\text{H}_2 = 0$$

$$\text{pe} = -\text{pH}$$

$$E_{\text{H}} = 0,0591 \cdot \text{pe} = -0,41 \text{ V}$$

No pH 7, os valores teóricos limites para o solo é +0,81 V para oxidação e -0,41 V para redução. Na prática o solo não contém 1 atm de pressão de oxigênio ou hidrogênio.



Poluentes do Solo



http://www.acervodigital.unesp.br/bitstream/123456789/46934/18/02_Redefor_D08_Quimica_Tema_05.flv

Para o fechamento do tema Litosfera e sua influência nas questões ambientais envolvidas, nessa semana a abordagem será mais direcionada aos poluentes do solo e consequências de um solo poluído ou contaminado.

Dentre todos os elementos e compostos que formam ou compõem um solo natural, temos substâncias que, pela sua natureza podem ser considerados contaminantes ou poluentes, não é o fato de se encontrar em quantidades ínfimas ou em nível de traço que uma substância pode ser definida como poluente.



5.1 – Solo Poluído e Solo Contaminado

Solo poluído é quando este contém qualquer tipo de substância que altera suas características, tornando-o desfavorável aos seres vivos. As substâncias que promovem esta alteração são denominadas poluentes. Dos poluentes, os que mais afetam o solo são de origem de atividades industriais, agrícolas e o lixo doméstico.

Lixo é o conjunto de resíduos produzidos pelo homem como papel, restos de alimentos, embalagens plásticas, madeira, garrafas, resíduos industriais, entre outros. O lixo possui uma parte que é denominada biodegradável, esta parte é constituída por restos de animais, de alimentos e de plantas que é denominado lixo orgânico, este lixo orgânico é decomposto no solo formando substâncias úteis a este. O lixo também possui uma parte que não é facilmente decomposta e que pode ficar depositada no solo por muito tempo como décadas ou até séculos para se decompor.

Solo contaminado é quando este contém agentes causadores de doenças, como substâncias tóxicas, vírus, bactérias, micróbios, vermes, protozoários, entre outros. As substâncias tóxicas quando em baixa concentração podem existir no solo e não causar doenças, mas serão consideradas agentes de contaminação quando a sua concentração atingir certo valor que possa causar qualquer tipo de doença nos seres vivos.

5.2 – Poluentes

A poluição do ambiente ou qualquer modificação ou alteração, como o desmatamento, são situações que implicam em um desequilíbrio que afeta todas as características do solo e altera todos os processos que ocorrem alterando a fertilidade do solo.

Uma definição de solo é: uma porção definida de terra (superficial ou subterrâneo), cujas características originais foram modificadas pela ação humana ao incorporar algum agente de contaminação. Os agentes de contaminação podem ser classificados em:

- **Contaminação física:** Quando ocorrem alterações nos parâmetros como temperatura e radioatividade.



- **Contaminação biológica:** Quando ocorrem alterações como a putrefação de espécies patogênicas.
- **A poluição química:** Quando ocorre a incorporação de elementos ou de compostos em concentrações que alterem a composição original do solo.

O critério para definir um limite máximo de concentração para potenciais contaminantes no solo leva em consideração a capacidade do solo em degradar estas espécies sem perder suas características originais sem, portanto gerar um risco de dano ao meio ambiente.

A variedade e quantidade de poluentes no solo são imensas nesse trabalho iremos discutir apenas contaminantes químicos mais característicos e perigosos:

Contaminantes inorgânicos

Os materiais inorgânicos também se encontram presente de forma natural no solo. A quantidade desses compostos inorgânicos é regulada pelos ciclos biológicos associados a cada um no solo. O desequilíbrio acontece quando ocorre um aumento da concentração de alguns destes compostos dentro do ciclo, o que é considerado como contaminação, alterando assim o ciclo e a capacidade regulatória do solo.

Metais pesados

Esses tipos de metal se encontram presentes naturalmente no solo, mas sempre se apresentam em pequenas quantidades. O risco ocorre quando estes se acumulam em grandes quantidades no solo.

Poluentes orgânicos

È o maior grupo de poluentes, pois são inúmeras substâncias que na maioria são produzidas pelo homem. Estas substâncias têm efeitos diferentes sobre o meio ambiente e muitos deles altamente tóxicos.



5.3 – Poluição do solo rural

Atualmente, é comum, em áreas rurais, o emprego de substâncias químicas no solo em busca de fertilização ou para evitar o ataque de pragas. Por este motivo que, nesta seção, você vai estudar os efeitos dessas substâncias químicas no solo e também o efeito de salinização devido ao mau uso da prática de irrigação do solo.

O uso exagerado e abusivo de fertilizantes sintéticos e defensivos leva a uma série de impactos ambientais imediatos e a outros, que dependem do fator tempo para se manifestar (anos ou décadas) e ser avaliadas as suas consequências finais.

O uso de fertilizantes sintéticos e defensivos até pode ser justificado por muitos para assegurar os níveis de produção, principalmente de alimentos, para o atendimento de uma população que continua a crescer em taxas elevadas, da qual cerca de dois terços têm graves problemas de desnutrição.

Mas devemos pensar com respeito aos riscos do uso desses fertilizantes. Se não é possível abolir o uso desses fertilizantes em curto prazo, então, é preciso limitar seu uso ao estritamente indispensável, cortando os desperdícios geradores de resíduos poluidores, usando técnicas de preparo, controlando o descarte de embalagens e frascos, restringindo o emprego dos defensivos aos ambientalmente mais seguros e empregando técnicas de aplicação que reduzam os acúmulos e propagação pela cadeia alimentar.

As principais substâncias que interferem na qualidade do solo e práticas que levam a impactos ambientais nas áreas rurais são o uso de fertilizantes e defensivos agrícolas que se destacam como substâncias interferentes e poluidoras dos solos.

Retorne ao **Box4** para maiores informações acerca dos poluentes orgânicos recalcitrantes ou persistentes.

Fertilizantes sintéticos

Os fertilizantes mais usados eram os compostos de origem natural, tais como, restos de vegetais decompostos e dos excrementos de animais (estrume) e o Salitre do Chile.



Sendo todos produtos naturais, sua biodegradação e incorporação ocorrem mais facilmente no solo, diminuindo os riscos de desequilíbrio ou danos ao meio ambiente, levando em consideração a quantidade de emprego desses.

Desde a produção do adubo artificial, acabaram as barreiras que limitava sua disponibilidade, ocasionando assim o crescimento de riscos de sua acumulação ambiental até a concentração tóxica, desde nutrientes essenciais até de outros elementos.

A adição de fertilizantes ao solo visa atender a demanda de nutrientes das culturas. Em ordem decrescente das quantidades exigidas pela planta, são cerca de dezesseis os elementos, em suas formas minerais ou mineralizadas, encontrados em solução nos solos. Esses nutrientes são denominados macronutrientes principais e secundários e micronutrientes.

Os macronutrientes principais são: o nitrogênio, fósforo e potássio. Em seguida, estão os macronutrientes secundários: o cálcio, magnésio e enxofre. Por fim, os micronutrientes como o ferro, manganês, cobre, zinco, boro, molibdênio e cloro.

Como em qualquer processo físico, químico e biológico, mesmo quando o fertilizante é aplicado com uma boa técnica e de modo que seja mais facilmente assimilável pelo vegetal, a eficiência nunca é de 100%. Assim, provoca em consequência, um excedente que passa a incorporar-se ao solo, fixando-se à sua porção sólida ou solubilizando-se e movimentando-se em conjunto com sua fração líquida ou ainda sendo acumulado na cadeia trófica.

A eficiência dessa aplicação, além de depender da técnica utilizada (modo e local da aplicação, momento da aplicação e ocorrência ou não de agentes que o carreguem e lixiviem etc.) depende também das quantidades adotadas. Essa dependência é expressa pela conhecida lei econômica 'dos rendimentos decrescentes'. Por essa lei, a eficiência cai e quantidades crescentes de fertilizantes incorporam-se ao ambiente, e não à planta. É fácil prever que alguns dos fertilizantes poderão vir a integrar-se a corpos de água e outros ficarão no solo, próximos à superfície em que ocorrem os cultivos. Os fertilizantes que atingem os corpos de água poderão elevar os teores com que naturalmente se apresentam nas águas, ocasionando diferentes formas de poluição, que são: contaminação e eutrofização.



Defensivos agrícolas

Entende-se por defensivos agrícolas ou também chamados de agrotóxicos quaisquer produtos de natureza biológica, física ou química que têm a finalidade de exterminar pragas ou doenças que ataquem as culturas agrícolas, prejudicando seu desenvolvimento saudável. Classificam-se os agrotóxicos em grupos de acordo com o tipo de praga que combatem:

- pesticidas ou praguicidas combatem insetos em geral)
- fungicidas (atingem os fungos)
- herbicidas (que matam as plantas invasoras ou daninhas)

Outro tipo de classificação dos agrotóxicos utiliza os seguintes critérios:

Quanto à finalidade:

- ovicidas (atingem os ovos dos insetos),
- larvicidas (atacam as larvas), acaricidas (específicos para ácaros),
- formicidas (atacam formigas).

Quanto à maneira de agir:

- através de ingestão (a praga deve ingerir a planta com o produto),
- microbiano (o produto contém microorganismos que atacam a praga ou o agente causador da doença)
- por contato (ao tocar o corpo da praga o produto já faz efeito).

Quanto à origem:

- inorgânicos: Os pesticidas inorgânicos foram muito usados no passado, atualmente representam ~10% do total de pesticidas em uso. São produtos à base de arsênico e flúor e outros compostos minerais.



- orgânicos: Os pesticidas orgânicos compreendem os de origem vegetal e os organo-sintéticos. Os primeiros são de baixa toxicidade e de curta permanência no ambiente (como o piretro contido no crisântemo e a rotenona extraída do timbó). Já os organo-sintéticos, são persistentes e se mantêm muitos anos nos ecossistemas.

A característica que tornou a prática dos defensivos agrícolas popularizada foi sua resistência no ambiente. O uso com sucesso do DDT em programas de saúde pública e na contribuição para o aumento da produtividade agrícola foi ocasionado pela resistência em decompor-se no ambiente, impedindo o desenvolvimento de organismos indesejados.

O DDT (sigla de Dicloro-Difenil-Tricloroetano) é o primeiro pesticida moderno foi sintetizado em 1939. Ele é sintetizado pela reação entre o cloral e o clorobenzeno, usando-se o ácido sulfúrico como catalisador. O estado químico do DDT é sólido em condições de temperatura entre 0° a 40°C. É insolúvel em água, mas solúvel em compostos orgânicos como a gordura e o óleo e tem um odor suave.

DDT foi utilizado no combate à malária, ao tifo, à febre amarela, à dengue entre outras doenças transmitidas por insetos. Mas sua permanência no ambiente amplia a sua disseminação pela biosfera, seja por meio de fenômenos físicos (como a movimentação das águas e a circulação atmosférica), seja por cadeias alimentares dos ecossistemas presentes no local de sua aplicação original.

O DDT foi detectado nas calotas polares e em tecido celular de animais e aves com habitat bastante afastado dos locais de sua aplicação costumeira.

Na circulação das águas e da atmosfera em conjunto com os deslocamentos dos organismos ligados às cadeias alimentares, justificavam a disseminação dos defensivos em escala mundial, as concentrações elevadas são consequência da biomagnificação ou amplificação biológica.

A biomagnificação ocorre quando substâncias persistentes ou cumulativas, como os compostos organoclorados, migram do mecanismo da nutrição de um organismo para os seguintes da cadeia alimentar.

Os defensivos agrícolas presentes no solo transferem-se, parcialmente, para o tecido celular da planta, mas são dependentes principalmente das concentrações existentes no solo e do tipo



de planta. Essas transferências levam a efeitos ambientais diretos ou indiretos que podem ser resumido em:

Mortandade inespecífica: mesmo quando sintetizada na tentativa de se combater especificamente certa praga por meio da propagação pela cadeia alimentar, essa mortandade pode tornar-se inespecífica.

Redução da natalidade e da fecundidade de espécies: mesmo naquelas que só longinquamente e apenas por meio da cadeia alimentar se ligam à praga combatida. A severidade dos efeitos indiretos depende também da quantidade aplicada e do modo pelo qual essa aplicação é feita.

Quando aplicado 0,19 ppm de heptacloro no solo, é detectado na cenoura a presença de concentração no vegetal de 0,140 ppm enquanto que a batata apresenta uma concentração no vegetal de 0,050 ppm.

Difícilmente a adoção de um único método (controle biológico, manejo de pragas, as mudanças no padrão de plantio, as plantas geneticamente modificadas e o uso de agrotóxico) soluciona os diversos problemas envolvidos na redução populacional da praga. A seguir, os principais grupos de defensivos agrícolas sintéticos:

A partir de 31 de dezembro de 2009 com a execução global do Codex Alimentarius pela FAO e OMC, organizações subordinadas a ONU, o DDT está para ser autorizado novamente no comércio mundial de alimentos, onde serão liberadas margens mínimas de concentração do DDT nos alimentos.

Maiores informações disponíveis em: <http://www.codexalimentarius.net>.

Inseticidas

Clorados: grupo químico dos agrotóxicos compostos por um hidrocarboneto clorado que tem um ou mais anéis aromáticos. Mesmo que sua toxicidade seja menor (se fosse aguda ocasionava morte imediata) que outros organo-sintéticos, são mais persistentes no corpo e no ambiente, ocasionando efeitos patológicos a longo prazo. Estes agrotóxicos agem no sistema nervoso, causando interferência nas transmissões dos impulsos nervosos. Compõe



este grupo o DDT, Aldrin, Dieldrin, Heptacloro etc. Estes são extremamente persistentes (DDT permanece 40% após 15 anos da aplicação).

Cloro-fosforados: grupo químico dos agrotóxicos que têm um éster de ácido fosfórico e outros ácidos à base de fósforo, possuindo em um dos radicais da molécula um ou mais átomos de cloro. Possui toxidez aguda, podendo de provocar morte imediata, e age sobre uma enzima colinesterase, importante no sistema nervoso e nas transmissões de impulsos nervosos.

Fosforados: grupo químico formado apenas por ésteres de ácido fosfórico e outros ácidos à base de fósforo. Quando comparados com os agrotóxicos clorados e carbamatos, os organofosforados são mais tóxicos, mas se degradam rapidamente e não se acumulam nos tecidos gordurosos. Sua atuação ocorre na inibição da enzima colinesterase na transmissão dos impulsos nervosos. Parathion, Malathion, Phosdrin etc. São compostos orgânicos derivados do ácido fosfórico e seus homólogos (ácido fosfórico, tiofosfórico, ditiofosfórico e fosfônico) e também seletivos para os insetos e se degradam mais rapidamente que os organoclorados. Os compostos organofosforados são os utilizados mundialmente, e infelizmente são também os que mais causam intoxicações e até morte.

Carbamatos: são praguicidas sintéticos do grupo químico dos agrotóxicos compostos por ésteres de ácido metilcarbônico ou dimetilcarbônico possuem alta eficiência praguicida, especialmente, atividade inseticida, baixa ação residual e baixa toxicidade em longo prazo. Quando comparados aos pesticidas organoclorados e organofosforados, os carbamatos podem ser classificados como tendo toxicidade aguda média, sendo degradados de maneira rápida e não se acumula em tecidos gordurosos. Tem também papel fundamental na inibição da enzima colinesterase, que tem função importante na transmissão dos impulsos nervosos cerebrais. Os pesticidas organofosforatos também inibem essa enzima, mas de forma irreversível, o que causa a forma mais severa de envenenamento. Muitos desses produtos foram proibidos em diversos países também em virtude de seu efeito altamente cancerígeno.



Fungicidas

- **Sais de cobre** - mais comumente usados.
- **Organomercúricos** - uso restrito às sementes.

Herbicidas

- **Derivados do arsênico** - uso decrescente e limitado.
- **Derivados do ácido fenoxiacético** - 2,4D; 2,4,5T; Pichloram. Os dois primeiros foram utilizados no Vietnã em dosagens muito elevadas (superiores às máximas recomendadas na agricultura) e provocam efeitos catastróficos sobre a fauna, a flora e as populações, esse herbicida ficou conhecido pelo nome de agente laranja.

5.4 – Poluição do Solo Urbano

A poluição do solo urbano é proveniente de resíduos diversificados, todos gerados pelas atividades típicas das cidades, como a indústria, o comércio, a residencial e os serviços.

Os resíduos urbanos quando lançados ou expostos nos limites do território urbano, intensificam os problemas de poluição do solo, e também causam o empobrecimento nas áreas onde se origina a matéria e a energia que, após a utilização no meio urbano, transformam-se em resíduos.

Provoca-se a poluição do solo por resíduos nas fases sólida, líquida e gasosa sendo que, os resíduos líquidos atingem o solo urbano e são provenientes dos efluentes líquidos de processos industriais e, principalmente, dos esgotos sanitários que não são lançados nas redes públicas de esgoto.

Os esgotos sanitários, e às vezes os de processos industriais, completamente irregulares, são desprezados sobre o terreno superficial, vias públicas, sarjetas etc., gerando problemas graves não só provenientes da poluição que ataca o olfato e a visão, podendo gerar ocorrências de saúde pública, endêmicas e epidêmicas, quando esses materiais estão contaminados por substâncias patogênicas e tóxicas.



O efeito poluidor dos resíduos gasosos sobre o solo se dá através da precipitação nas áreas urbanas, que podem chegar ao solo na forma de poluentes em solução, trazidos, por exemplo, pelas chuvas ácidas.

A poluição por resíduos sólidos é o problema de poluição de solo urbano mais comum, por isso, deve ser estudado com maior atenção nesse momento.

A geração de resíduos sólidos destaca-se principalmente por duas razões, que são:

1. As quantidades geradas;
2. As características de imobilidade ao seu transporte no meio ambiente.

5.5 – Resíduos Sólidos Urbanos

Os resíduos sólidos de uma área urbana são constituídos por desde o que comumente se denomina de lixo até resíduos especiais, provenientes de processos industriais e de atividades médico-hospitalares.

Lixo pode ser entendido como toda mistura de resíduos produzidos nas residências, comércio e serviços, e nas atividades públicas, na preparação de alimentos, no desempenho de funções profissionais e na varrição de logradouros.

De maneira mais específica e prática, a norma brasileira NBR 10.004 caracteriza como resíduos sólidos todos os “[...] resíduos, nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Um exemplo disso são os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água.

O denominado ‘lixo’, em função de sua proveniência variada, apresenta também constituintes bastante diversos, e o volume de sua produção varia de acordo com sua procedência, com o nível econômico da população e com a própria natureza das atividades econômicas na área onde é gerado.

Os estudos arqueológicos valorizam os resíduos como fonte de conhecimento dos costumes e da civilização de povos mais antigos. Os resíduos coletados nos aglomerados urbanos há certo grau de similaridade em sua composição. Tem-se trabalhado no sentido de organizar os



serviços públicos ou privados e a orientar e educar a população para manusear, acondicionar, coletar, transportar e dispor, de maneira diferenciada, os resíduos sólidos conforme a classe (NBR 10.004) em que se enquadram.

Nos centros urbanos uma organização pública que considere como prioridade a limpeza de logradouros, da coleta, disposição e tratamento do lixo que acabe com os riscos de saúde pública e elimine ou reduza a níveis aceitáveis os demais impactos sobre o ambiente vinculados ao lixo.

5.6 – Os Resíduos como Poluentes do Solo

O homem tem uma proximidade física muito grande com o solo, tornando este o local mais provável para depósito de resíduos originados da atividade humana. Estes são rapidamente incorporados ao solo através de processos de degradação.

Esses resíduos inicialmente eram facilmente metabolizados e assimilados pela natureza, mas com o crescimento da sociedade e da indústria, os resíduos gerados são cada vez mais perigosos. A época atual é marcada por uma sociedade de consumo, e o agravante é que a quantidade diária de resíduos gerada no planeta, a partir de todos os tipos de atividades, não pode mais ser degradada naturalmente, pois o tempo necessário para isso é muito grande e esses resíduos então são fontes potenciais de contaminação.

O resultado deste aumento na quantidade de resíduos gerado é a redução da oferta de matérias-primas e o aparecimento de sérios problemas ambientais devido ao descarte destes resíduos de forma inadequada e descontrolado. Isso leva a uma dispersão de poluentes e, com isso, uma ampliação do problema.

Cabe ressaltar que se entende por resíduo somente aqueles produtos gerados nas atividades de produção e consumo e não aqueles no contexto em que são produzidos.

Podemos estender ainda que resíduo é aquele que não possui nenhum valor econômico agregado devido à falta de tecnologia apropriada para seu aproveitamento ou como a falta de mercado para os possíveis produtos recuperados.



Classificação de Resíduos – ABNT

A Norma Técnica Brasileira (NBR 10.004) traz o conceito de periculosidade de um resíduo:

“Periculosidade é a característica apresentada por um resíduo, que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, pode apresentar: a) risco à saúde pública, provocando ou acentuando, de forma significativa, um aumento de mortalidade por incidência de doenças, e ou;b) riscos ao meio ambiente, quando o resíduo é manuseado ou destinado de forma inadequada”.

No Brasil, os resíduos são classificados quanto à periculosidade, segundo a Norma Técnica NBR 10.004, da seguinte maneira:

Resíduo Classe I - Perigosos

São os resíduos que em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podem apresentar riscos à saúde pública, provocando ou contribuindo para o aumento de mortalidade ou incidência de doenças, e que apresentam riscos ao meio ambiente, quando manejados ou dispostos de forma inadequada. Ex.: Solventes usados, fluídos dielétricos, resíduos de tintas, entre outros

Resíduo Classe II - Não Inertes

Podem ter propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, porém não se enquadram como resíduo I ou III.

Ex.: Resíduos de gesso, areia de fundição, borra de fundição.

Características: Combustibilidade, biodegradabilidade, solubilidade.

Resíduos inertes Classe III

Estes resíduos não representam qualquer risco para o meio ambiente. São resíduos com certas características que não necessitam de qualquer tipo de tratamento para o devido descarte no meio ambiente. Quando submetidos a teste de solubilidade nenhum de seus constituintes solubilizados se encontram em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água,



excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor. Exemplos, rochas, tijolos, vidros, certos plásticos e borrachas que não são decompostos prontamente.

Para maiores informações acesse:

<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/residuos/res06a.html>

Resíduos radioativos

Rejeito radioativo é definido como qualquer material resultante de atividades humanas, que contenha radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de isenção especificados na Norma CNEN-NE-6.02 - Licenciamento de Instalações Radioativas, e para o qual a reutilização é imprópria ou não prevista. Esta propriedade apresenta os núcleos atômicos de algumas espécies é um decaimento espontâneo do mesmo, com emissões de partículas e radiação eletromagnética.

Estes resíduos radioativos podem ser classificados pelos seguintes itens.

- estado físico: sólido, líquido ou gás.
- A meia-vida: é de grande importância tendo em vista um armazenamento final.
- atividade específica: o número de desintegrações nucleares por unidade de tempo e massa de material radioativo.
- a natureza da radiação determina as barreiras.
- a toxicidade dos resíduos radioativos: este parâmetro reside nas radiações ionizantes emitidas por radionuclídeos nele contidas.
- a quantidade de radioatividade contida nos resíduos por unidade de volume ou de massa.

Para maiores informações acesse:

<http://www.cnen.gov.br/seguranca/normas/mostra-norma.asp?op=602>



5.7 – Fontes da Poluição do Solo

O abandono ou o depósito de todos os tipos de materiais no solo é uma prática comum que tem sido utilizada por décadas sendo uma solução eficaz e barata de se livrar dos resíduos.

Infelizmente, são jogados no solo muitos compostos químicos sintéticos, não existentes naturalmente no ambiente, chamados Xenobióticos, em que *xeno* tem origem grega e significa estranho e biótico, vida.

Nas últimas décadas tem-se observado que esta prática traz severas consequências para o homem, tendo inúmeros casos em diversos países de casos de contaminação por intoxicação da população com resíduos enterrados durante anos.

No Brasil e em muitos outros países não existem meios adequados para o tratamento de descarte de resíduos industriais de substâncias tóxicas e perigosas atualmente mesmo com um grande investimento não há capacidade suficiente de atender a demanda e a já existente é muito inferior às necessidades reais.

5.8 – Formas de contaminação do solo

São várias as Formas de contaminação do solo com origem antrópicas comuns entre elas podem ter (não excludentes):

- **Superficial:** Devido ao acúmulo de resíduos descarregados acidentalmente ou voluntariamente na superfície do solo.
- **Subterrânea:** Corresponde ao acúmulo de resíduos em aterros. A contaminação é muito complexa, e o indicio de uma contaminação fica evidenciada apenas como uma aparente mudança na textura da superfície do solo.
- **Descarga clandestina:** Consiste em um derramamento ou descarga de qualquer produto de forma ilegal. É uma das formas mais perigosas de poluição devido à presença de substâncias perigosas e do não conhecimento do foco poluente.
- **Descarga acidental:** São aqueles em que a fonte da contaminação é acidental, principalmente por falta de conhecimento ou por negligência na gestão dos poluentes. São os



casos de vazamento de substâncias tóxicas de tanques, em acidentes, com a liberação do conteúdo no meio ambiente.

5.9 – Recuperação do Solo

Métodos de recuperação dos solos

Atualmente há diversas técnicas para que seja realizada a recuperação de solos e também de águas subterrâneas contaminadas. A seleção da técnica apropriada é um processo muito completo e envolve o conhecimento de diversas e detalhadas características do local e do poluente, além disso, deve-se ter um estudo da viabilidade econômica e da viabilidade técnica da aplicação do processo adequado ou das várias alternativas para o local e o poluente específico.

Para aplicação de qualquer método de recuperação deve-se atentar para todos os aspectos de ordem institucional, legal e política. Inicialmente, é necessário uma remediação adequada à proteção da saúde dos seres humanos e também à do meio ambiente. Assim é importante considerar:

- incertezas quanto à disposição do poluente no terreno;
- persistência, toxidez, mobilidade e tendência à bioacumulação das substâncias;
- riscos à saúde humana a curto e longo prazo;
- risco potencial à saúde e meio ambiente associado com escavação, transporte, disposição ou confinamento.
- custos de manutenção;
- caso de a remediação não funcione, custos de limpeza e procedimentos adequados.



Tecnologias de tratamento

Existem diversas tecnologias para o tratamento de solos contaminados, mas deve-se considerar que existem vantagens e desvantagens de cada um. Alguns problemas encontrados para uma dada tecnologia são difíceis de contornar, pois são muitos os fatores que podem prejudicar o tratamento. Alguns exemplos destes problemas são as emissões gasosas, a produção de grandes quantidades de resíduos contaminados e o elevado custo do tratamento.

Dentre alguns métodos de descontaminação do solo a incineração permite a eliminação ambiental dos poluentes orgânicos, através da sua mineralização. Abaixo temos a descrição de técnicas disponíveis para tratamento de solos contaminados:

Tratamento Térmico

Para o tratamento térmico a altas temperaturas é necessário um grande consumo de energia, que pode ser contornado em determinadas situações, com temperaturas mais baixas e consequentemente diminuindo o consumo de energia. Nesse processo sempre há a possibilidade de emissões gasosas de contaminantes perigosos, mas se realizado de forma adequado, com o tratamento das emissões pode-se minimizar ou eliminar outros tipos de poluição ambiental, outro fator é onde depositar os resíduos sólidos. O material necessário para a acomodação deste tipo de tratamento pode ser semimóvel, sendo que os custos financeiros dependem do processo em geral e também do teor de umidade, tipo de solo e concentração de poluentes, bem como de medidas de segurança e das regulamentações ambientais em vigor. A aplicabilidade deste sistema é adequada a muitos poluentes, por exemplo, óleos e petróleo, solventes clorados e não-clorados, cianetos e outros.

Tratamento Físico-Químico

Os métodos atualmente mais usados baseiam-se na lavagem do solo (Extração, ou lixiviação do solo). Estes métodos se baseiam no princípio da transferência de um contaminante do solo para outro meio, que pode ser uma fase líquida ou gasosa. O principal produto obtido com a técnica é o solo tratado e os poluentes concentrados. O processo de tratamento depende das características do contaminante, ou mais especificamente no tipo de interação do contaminante



com o solo e do contaminante com a fase adequada. Outros fatores a se considerar para a utilização deste sistema de tratamento são as características do solo, a quantidade de solo a ser tratado, as variações na concentração do contaminante, o destino do solo tratado e tratamento e eliminação de águas residuais.

Um exemplo são as argilas que possuem elevada afinidade por grande parte das substâncias poluentes, para a separação dos contaminantes desse tipo de local é necessário romper as possíveis ligações entre estes e as partículas do solo e a transferência para outra fase, ou ainda extrair as partículas do solo que estão contaminadas.

Nessa técnica outros processos e mecanismos podem ser necessários como filtros para tratamento de líquidos e do ar para evitar novas formas de contaminação. Este tratamento não é apropriado quando a fração de argila do solo for superior a 30%, por causa do alto custo e à quantidade de resíduo contaminado formado.

Tratamento Biológico

Nos métodos biológicos utilizam-se microorganismos para metabolizar compostos químicos. O solo possui um grande número de microorganismos que se adaptam as fontes de energia e carbono disponíveis. No tratamento biológico, os microorganismos naturais e já presentes naquele ambiente, são estimulados a degradar os contaminantes. A estimulação é realizada com a criação de uma ambiente propício, com controle de temperatura, pH, umidade, fornecimento de oxigênio, nutrientes, etc. Em certas situações é adequado o uso de microorganismos específicos ou a microorganismos geneticamente modificados com a função de metabolizar poluentes muito persistentes para obter a otimização da biodegradação.

Atualmente as principais técnicas biológicas de tratamento incluem:

- "Landfarming - sistema de tratamento de resíduos através de um processo biotecnológico, que utiliza a população microbiana do solo para a degradação destes.
- Compostagem: decomposição aeróbia (sob presença de oxigênio) ou decomposição (sob ausência de oxigênio), em resíduos orgânicos por populações microbianas in situ, sob condições total ou parcialmente controladas, que produzem um material parcialmente estabilizado.



- Reatores biológicos - unidades onde ocorre a remoção da matéria orgânica pela ação de microorganismos aeróbios submetidos à aeração, presença constante de ar.

O tratamento biológico do solo diminui os riscos para a saúde pública, bem como para o ecossistema e, ao contrário da incineração ou dos métodos químicos, não interfere nas propriedades naturais do solo.

Biorremediação

Biorremediação é a utilização de organismos vivos, especialmente microorganismos, para degradar ou transformar poluentes ambientais em substâncias de menor toxicidade. É uma técnica mais utilizada para substâncias orgânicas, como combustíveis e solventes orgânicos, podendo também ser aplicada em substâncias inorgânicas.

Na biorremediação de substâncias orgânicas, geralmente os poluentes são degradados a CO_2 ou CH_4 e H_2O , dependendo das condições do meio, podendo ocorrer em condições aeróbicas e anaeróbicas. Em condições aeróbicas, os micro-organismos usam oxigênio atmosférico disponível para oxidar os poluentes em CO_2 e H_2O . Em condições anaeróbicas, as substâncias formadas pela degradação do composto original, geralmente, estarão nas suas formas mais reduzidas, o carbono, por exemplo, na forma CH_4 . A estrutura química dos poluentes orgânicos tem grande influência na propriedade dos micro-organismos metabolizarem essas moléculas, principalmente com respeito às taxas e à extensão da biodegradação. De modo geral, compostos ramificados e polinucleados são mais difíceis para degradar que moléculas mono aromáticas ou com cadeias simples, e aumentando o grau de halogenação da molécula, diminui-se a biodegradabilidade. Ainda considerando poluentes orgânicos, os micro-organismos utilizam o catabolismo e o cometabolismo como principais rotas para a degradação destes contaminantes.

As principais vantagens da biorremediação é o baixo custo, o baixo consumo de energia e principalmente que este processo provoca poucas mudanças nas características físicas, químicas e biológicas do meio.



Biorremediação de solos contaminados por petróleo e derivados

O petróleo é um dos maiores contaminantes do solo, os vazamentos são a fonte mais comum dessa contaminação, esses ocorrem por vários motivos, principalmente por derrame incidental.

Quando o solo encontra-se contaminado por petróleo ou derivado é possível fazer o tratamento por processos biológicos, físicos, químicos, físico-químicos ou térmicos.

Os processos biológicos visam reduzir ou eliminar diversos tipos de compostos orgânicos que se acumulam no ambiente. Quando se trata do petróleo parte dos componentes são evaporados ou biodegradados de maneira fácil, enquanto outros persistem como recalcitrantes na natureza. O petróleo é constituído por várias centenas de compostos orgânicos como hidrocarbonetos alifáticos e hidrocarbonetos aromáticos, variando da simples molécula do metano a moléculas com alta massa molecular.

A Agência de Proteção Ambiental (*Environmental Protection Agency – EPA*) dos Estados Unidos da América lista hidrocarbonetos como carcinogênicos, mutagênicos, teratogênicos, além de terem a capacidade de se bioacumularem nas diferentes cadeias alimentares.

Landfarming

Esta é um tipo de técnica de biorremediação bastante utilizada no tratamento de solos contaminados com hidrocarbonetos. Utiliza-se de microrganismos heterotróficos da camada superficial do solo, aos quais são fornecidas condições adequadas para estimulação com o propósito de degradar os contaminantes ali presentes, transformando-os em substâncias inertes, como a água e o dióxido de carbono (CO_2). As condições para estimulação podem ocorrer simplesmente através do revolvimento mecânico do solo em operações de aração e gradagem, nesse processo ocorre a aeração e a homogeneização das camadas com diferentes concentrações de contaminantes, outras condições são a adição de corretivos para o solo ou o uso de fertilizantes e, se necessário, de água através da biorremediação.



Catabolismo

Catabolismo é um processo de biorremediação em que se usa a parte do metabolismo referente ao processamento de qualquer material para obtenção de energia. O processo começa a partir de moléculas grandes, que contêm grandes quantidades de energia e termina com a geração moléculas pequenas, com pouca energia (H_2O , CO_2 , NH_3), durante a degradação o organismo se aproveita da energia resultante liberada no processo.

Biosorção

Compostos inorgânicos, como metais e metalóides, não podem ser degradados biologicamente. Apesar disso, podem ser transformados ou imobilizados, sendo que a biosorção, a bioacumulação e a oxi-redução são os procedimentos mais comumente usados pelos micro-organismos.

A biosorção ocorre quando certos tipos de biomassa microbianas, que estão inativas ou mortas, se ligam a metais tóxicos. Esse tipo de biomassa age como um trocador iônico de origem biológica. A estrutura da parece celular de certas algas, fungos e bactérias são o agente responsável por esse fenômeno (formação de complexos metal-orgânico), podendo-se acumular um excesso de 25% de seu peso seco ou mais, como chumbo, cádmio, zinco, cromo, urânio e outros.

Bioacumulação

A **bioacumulação** ocorre principalmente na cadeia alimentar de uma espécie para outra, mas também pode ser resultado do metabolismo de metais essenciais em muitos micro-organismos que possuem diversas formas para complexar metais. A bioacumulação intracelular ocorre numa faixa muito menor do que a atingida por adsorção. Reações de oxidação e redução com metais tóxicos podem ocorrer via micro-organismos, aumentando assim a disponibilidade de diversas espécies metálicas, que podem diminuir sua toxicidade. Alguns micro-organismos têm a capacidade de metilar e, em alguns casos, a forma metilada é menos tóxica, em outros casos a forma metilada é potencialmente mais tóxica como é o caso do mercúrio.

Os principais fatores que influenciam na biorremediação são condições ambientais – como tipo de solo, quantidade de água, nível da água, concentração de nutrientes, potencial redox, pH e temperatura. Para a execução de um projeto de biorremediação, inicialmente deve-se



avaliar natureza e a extensão das substâncias químicas do solo; levando em conta a necessidade de reabilitação e as opções disponíveis. Uma estratégia adequada de biorremediação pode ser então desenvolvida e implementada. Esta avaliação é importante para que se possa reconhecer se os solos afetados possuem substâncias que não são adequadas para a biorremediação.

A gestão da biorremediação vai depender da natureza e da concentração das substâncias químicas, assim como a proximidade do processo de biorremediação de ambientes sensíveis e garantias adequadas para a saúde do ser humano e à do ambiente.

Fitorremediação

A fitorremediação é uma técnica nova e o seu uso vem crescendo nos últimos anos, nesse processo se utiliza plantas para remediar o solo contaminado. Pode ser utilizado em solos contaminados com os mais diversos poluentes como por metais pesados, compostos orgânicos e radionuclídeos. Para o uso com metais pesados, os trabalhos envolvendo fitorremediação procuram estudar a utilização de plantas hiperacumuladoras, ou seja, plantas que tenham a capacidade de estocar grandes quantidades de metais pesados sem um uso aparente no metabolismo.

No estudo desta técnica biológica procura-se estudar e compreender os mecanismos de defesa e tolerância das plantas. O acúmulo na planta pode ocorrer como mecanismo de defesa, para tentar evitar ou diminuir a entrada do metal, a planta pode acumular por exclusão, pode produzir proteínas – fitoquelatinas – que podem complexar com os metais e assim poder eliminá-los, ou ainda pode transformar o resíduo tóxico em outros menos tóxicos. Um experimento conduzido pelos Pesquisadores do Laboratório Nacional de Pesquisa em Fitorremediação da Coreia conseguiu criar uma planta transgênica na qual um gene da levedura *Saccharomyces cerevisiae* foi transferida para o DNA da *Arabidopsis thaliana*, planta modelo em pesquisas genéticas. O gene aumentou a capacidade de tolerar metais pesados, como o chumbo e o cádmio dessa espécie vegetal. Deste procedimento resulta em uma planta transgênica com a capacidade de absorver esses poluentes da terra e de prevenir a contaminação de seres humanos, especialmente em regiões industriais.



Compostagem

Pode ser definida como um processo de tratamento auxiliado por micro-organismos em que há uma decomposição controlada de matéria orgânica, o produto dessa transformação se apresenta como um material umidificado, de cor escura, odor de terra denominado “composto” e pode ser utilizado como adubo orgânico sendo benéfico para o solo e para as plantas. Na compostagem os micro-organismos presentes transformam a matéria orgânica, como estrume, folhas, papel e restos de comida.

Esse processo é realizado utilizando-se dos próprios micro-organismos presentes nos resíduos, e acertando-se outras condições como a temperatura, aeração e umidade. A maneira como se controla o processo pode ser simples ou complexa onde os diversos fatores são muito bem controlados. Os sistemas de compostagem agrupam-se em três categorias:

- a) **Sistemas de leiras revolvidas (Windrow):** Nesse sistema os resíduos são misturados entre si e a mistura obtida é disposta em leiras, que passam por um revolvimento mecânico o que promove a aeração da mistura.
- b) **Sistema de leiras estáticas aeradas (Static pile):** Como no método anterior a mistura obtida é colocada sobre uma tubulação perfurada com a finalidade de promover a aeração desta. Neste processo não ocorre o revolvimento mecânico das leiras.
- c) **Sistemas fechados ou reatores biológicos (In-vessel):** Nesse sistema toda matéria orgânica é colocada em um recipiente fechado, esse sistema permite um ótimo controle das condições utilizadas na compostagem.

Práticas de conservação do solo

Problemas vivenciados no passado contribuíram o desenvolvimento de métodos para minimizar a erosão do solo em terras de agricultura como por exemplo (REED;2011):

- **Construção de terraços:** Criação de áreas planas em terrenos com declive, ajuda a conservar o solo e a água;



- **Plantação em faixas:** Cultivo de diferentes produtos em faixas alternadas ou paralelas de terra para minimizar a erosão pelo vento e pela água;
- **Rotatividade das plantações:** Alternar anualmente a plantação sobre a mesma terra reduz a erosão, pois quando a colheita que esgota o solo é alternada com outras que enriquecem o solo;
- **Quebra-ventos:** Plantar árvores ou grandes arbustos ao longo das laterais de um campo;
- **Plantação não-lavrar:** Plantar sementes com resíduo de uma colheita anterior.

5.10 – Caminhando para o fechamento do tema: A Natureza como fonte de materiais

Para finalizar a reflexão acerca da diversidade de materiais da atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera, fez-se um estudo descritivo sobre diversos desses materiais e sua importância. O uso dos materiais extraídos e sintéticos para a sobrevivência humana foi provocado pela demanda crescente de novos materiais, sendo alavancados pela Revolução industrial (LISBOA; PITOMBO, 2001). Esses materiais obtidos de fontes naturais e utilizados na agropecuária, na construção civil, indústria e combustíveis. Alguns são processados industrialmente para serem utilizados e outros tendo o uso imediato como rochas e minerais e cloreto de sódio da água do mar. De acordo com os autores, é possível inserir esses materiais e seus processos de obtenção e utilização no desenvolvimento de conteúdos químicos importantes no ensino da Química, significativa e que faça sentido para o estudante do Ensino Básico. Ainda, de acordo com os autores “o ambiente natural (atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera) e o ambiente construído são sistemas globais complexos, muito propícios para o trabalho interdisciplinar”.

A tabela 9 apresenta exemplos de substâncias extraídas de diferentes fontes e sua utilização.

**Tabela 9** – Mostra de substância(s) extraída(s) de determinada fonte e respectiva utilização.

Fonte natural	Principais substâncias extraídas	Algumas utilizações
Ar	Oxigênio	Utilizado na siderurgia e medicina
Ar	Neônio, argônio, criptônio, xenônio	Lâmpadas fluorescentes, incandescentes, e raio laser
Água do mar	Sal comum (NaCl)	Conservantes alimentícios,
Água doce	Água potável, água de irrigação	Alimentação, higiene, indústria
Rochas (em solos)	fosfatos	Fertilizantes
Bauxita (em solos)	alumínio	Janelas, portas, aviões
Peixes	Carne, óleos	Alimentos, medicamentos
Cana-de-açúcar	Bagaço, melão, açúcar bruto	Alimento, açúcar refinado

Fonte: (PASTRE;MASQUES, 2012), adaptado de LISBOA;PITOMBO, 2001.

A vida da forma que conhecemos, não seria possível sem os recursos minerais fornecidos pelo planeta. Iniciando pela complexa reação que ocorre nos seres produtores entre substâncias como o CO₂, água, nitrogênio e outros nutrientes obtidos do ar e do solo em estruturas mais complexas tais como açúcares, pigmentos (p.e.: a clorofila), dentre outras. Essas substâncias sintetizadas pelos produtores, a partir de substâncias obtidas do solo e do ar sob a ação da luz do sol, são importantes para os seres que estão em níveis superiores da cadeia trófica como os animais. Importante também salientar que os animais necessitam também de algumas substâncias presentes no ar como o oxigênio e da água pura para a manutenção da sua vida.

116

O estilo de vida foi se tornando cada vez mais complexo em consumo de matéria e energia na medida em que o homem foi aprimorando seu conhecimento e explorando mais e mais a natureza com objetivos de melhorar sua qualidade de vida.



Com a industrialização começa a ocorrer a exploração intensiva dos recursos naturais e a produção em série de novos produtos industriais. Começam a se desenvolver as indústrias têxteis que necessitam inicialmente do algodão, de corantes sintéticos e posteriormente de fibras sintéticas cuja matéria prima é o petróleo. Há inicialmente a necessidade de madeira obtida do corte de árvores ou de carvão mineral extraídos de jazidas do subsolo, para a obtenção de energia.

O advento da exploração de minérios com a necessidade de criação de novas ligas metálicas de interesse industrial. O aparecimento da indústria farmacêutica, de alimentos e de cosméticos que se utilizam cada vez mais de matéria prima natural como extratos orgânicos, solventes como a água ou álcoois, excipientes como silicatos, carbonatos e polímeros naturais ou sintéticos atóxicos. Também se deve considerar a evolução da indústria de transporte no aspecto do desenvolvimento de ligas leves e resistentes e na utilização de combustíveis alternativos e também a indústria da construção civil com o aumento na produção de cimento, cal e tijolos cuja fonte de matéria prima é a natureza.

A indústria de polímeros sintéticos, cuja matéria prima básica é oriunda do petróleo, que vão originar garrafas e frascos de envase, sacolas, sacos, borrachas, vestimentas, peças para indústrias, etc., também teve um grande crescimento no final do último século.

Neste modelo de desenvolvimento pautado pelo consumo e pela produção de bens de consumo com o enfoque na melhora da qualidade de vida do homem, entramos na era da informática na qual os equipamentos, que com curto tempo de vida se tornam obsoletos, também contém ligas metálicas e polímeros cuja matéria prima são os minerais e o petróleo.

Também é importante salientar que com todo esse desenvolvimento houve uma demanda crescente de energia que, além de ser obtida da queima da madeira ou biomassa, passou a ser fornecida por:

- Hidroelétricas, que produzem energia elétrica aproveitando o potencial hidráulico.
- Queima de combustíveis fósseis como o gás natural (metano, CH_4), a gasolina (fração de hidrocarbonetos oriundos do petróleo com 6 a 12 átomos de carbonos), o gás liquefeito de petróleo (propano e butano, hidrocarbonetos do petróleo com 3 e 4 carbonos), o carvão mineral extraído do subsolo.



- Queima de biocombustível como o etanol ($C_2H_5(OH)$) cuja fonte primordial de obtenção é a sacarose ($C_{12}H_{22}O_{11}$), obtida de plantas e vegetais como a cana de açúcar e a beterraba.
- Pelo aproveitamento do potencial eólico (energia eólica)
- Pelo aproveitamento da energia solar.

Atualmente, o metano utilizado na geração de energia, também é obtido da decomposição anaeróbica de matéria orgânica.

O etanol é obtido industrialmente, em grande quantidade, pela fermentação da sacarose. Atualmente, pesquisas estão sendo desenvolvidas para se fazer a obtenção de etanol por meio da clivagem da celulose, por via química ou microbiológica, como formas do aproveitamento de resíduos da biomassa, como o bagaço, gerada pela indústria da cana de açúcar.

Não podemos deixar de mencionar que toda atividade, quer seja ela industrial ou artesanal, consome energia e geram, em menor ou maior escala, resíduos de matéria e energia. Falamos do resíduo de energia porque nas indústrias, em geral grande parte da energia elétrica ou química ou biológica é transformada em energia mecânica e parte é perdida na forma de calor para o ambiente. Também a transformação da matéria não é 100% eficiente havendo, em qualquer transformação química, geração de resíduos de matéria.

Pesquisas na área de eletroquímica buscam encontrar maneiras efetivas de gerar eletricidade a partir das reações químicas. A eletroquímica permite-nos compreender como a eletricidade pode ser obtida por meio de reações químicas. Uma forma de obter a energia necessária para o futuro é encontrando maneiras efetivas de geração de eletricidade a partir das reações químicas. Fontes de eletricidade portáteis e eficientes são necessárias para equipamentos pequenos como, corações artificiais, computadores de bolso e até para automóveis elétricos.

A eletroquímica é o ramo da química que trabalha com o uso de reações químicas, particularmente reações redox, espontâneas para produzir eletricidade, e com o uso da eletricidade para forçar as reações químicas não-espontâneas acontecerem, neste último caso temos a eletrólise.

A eletrólise é usada em uma série de processos industriais como aqueles para produzir alumínio e magnésio; para extrair metais de seus sais; para preparar cloro, flúor e hidróxido de



sódio; para refinar cobre; e em eletrodeposição como na indústria de cromação e de niquelação, formação de filmes de ouro em adornos (bijuterias), etc.

Ocorrência dos metais na natureza

Os metais, substâncias muito utilizadas pelo homem por serem bons condutores de eletricidade e calor, maleáveis (capazes de serem transformados em lâminas) e dúcteis (capazes de serem transformados em fios), são exemplos de substâncias extraídas dos minerais presentes no solo. Quando esses minerais são encontrados em depósitos que contém quantidade suficiente para sua extração economicamente viável são chamados de minérios. (CANTO;1998)

Os metais são reativos, por isso são normalmente encontrados na natureza na forma de óxidos, sulfetos e carbonatos. Existem alguns metais, chamados metais nobres que se encontram na natureza na sua forma nativa, isto é, não combinados com outros elementos. São exemplos de metais nobres o ouro e a platina.

A maioria dos elementos situados à esquerda do carbono na tabela periódica são metais. Estes apresentam elétrons livres no nível mais externo de energia, o que é fator importante para explicar as suas propriedades. Estes elétrons mais externos são os responsáveis pela alta condutividade elétrica. (LEE; 2003)

A metalurgia é a ciência e a tecnologia que trata da obtenção de metais a partir dos minerais existentes no solo. Existem cinco etapas importantes no processo de obtenção dos metais e suas ligas:

- Mineração (remoção do minério do solo);
- Concentração (preparação para tratamento futuro);
- Redução (obtenção do metal livre no estado de oxidação zero);
- Refino (obtenção do metal puro) e
- Mistura com outros metais (para formar uma liga).



Os principais metais de importância tecnológica, são ferro, cobre, alumínio, pela abundância na crosta terrestre e respectivamente sua forma de como são encontrados na natureza.

O Ferro é encontrado na natureza na forma de minérios. Os principais minérios de ferro são: hematita (Fe_2O_3); magnetita (Fe_3O_4); limonita ($\text{FeO}(\text{OH})$) e a siderita (FeCO_3). É empregado em automóveis, barcos e componentes estruturais de edifícios.

O alumínio, mesmo com sua abundância é raramente encontrado livre na natureza, sendo comumente encontrado na forma de um minério chamado bauxita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$). Sua aplicação é bem ampla, envolvendo estruturas para avioes, navios e automóveis. Amplamente utilizado também em recipientes para alimentos e utensílios domésticos.

O cobre é encontrado na natureza como minério, combinado com outros elementos formando compostos. O minério mais comum é a calcopirita, sulfeto duplo de cobre e ferro (CuFeS_2), ela tem brilho metálico e aparência semelhante à da pirita (FeS_2) (ouro dos tolos), também pode ser citado como minério de cobre a calcocita (Cu_2S) de coloração cinza escuro, o carbonato básico de cobre $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ (malaquita verde), óxido cuproso (Cu_2O) que é mais conhecido como cuprita de coloração vermelho-rubi e o minério chamado bornita (Cu_5FeS_4) que apresenta uma mistura de cores iridescentes azul, vermelho, castanho e púrpura. Existe ainda um minério de cobre a Turquesa ($\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) que é considerada uma pedra semipreciosa, apreciada por sua coloração azul. O cobre metálico é muito empregado em fios de eletricidade, placas de aquecimento, trocadores de calor, tubulações, entre outros.



Relevância da Química para uma Sociedade Sustentável



http://www.acervodigital.unesp.br/bitstream/123456789/46934/19/02_Redefor_D08_Quimica_Tema_06.flv

Nessa última semana propõem-se uma reflexão mais ampla acerca das questões ambientais e o árduo trabalho do professor em sala de aula para atingir os objetivos relacionados à aprendizagem dos alunos e o cumprimento do currículo oficial. Para isso, ressalta-se a importância do professor ter acesso a elementos que proporcionem sua formação para um trabalho interdisciplinar que o tema Ambiental proporciona.

Após o pequeno estudo sobre Atmosfera, Litosfera e Hidrosfera, pergunta-se: Como está o professor no meio das exigências da legislação e também às condições de trabalho para desenvolver os temas ambientais com êxito?

Com esse objetivo, essa semana foi desenvolvida, certos de que a valorização do professor da educação básica deve ser preservada.

121



6.1 – Legislação Brasileira para a Educação Básica e a Educação Ambiental

A construção do currículo escolar passou por vários momentos históricos, sendo que todos trazem sua contribuição e também suas limitações, frente à prática pedagógica do professor em sala de aula, principalmente no sentido da autonomia. Nesta apresentação mantém-se como foco as políticas provenientes dos movimentos após a Lei de Diretrizes e Bases (Lei 9394/96), mas lembrando de que este desenvolvimento educacional e político anterior deve ser retomado em discussões posteriores pela contribuição ao currículo educacional brasileiro.

Um dos aspectos apontados pela Lei 9394/96, é a valorização das atividades não-formais, tendo a perspectiva da inclusão de práticas que interajam escola/família/comunidade.

O papel da disciplina de Química na Educação Básica tem se caracterizado pela evolução do conhecimento científico, o aspecto interdisciplinar, a contextualização e o foco, principalmente, na tecnologia e meio ambiente. De certa forma, esse enfoque passou a ser mais discutido com a publicação dos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM), (BRASIL, 1999), que até então a Química era vista como Ciência Pura, conceitual e pronta. Neste sentido, a Química é desenvolvida por meio de temas restritos aos livros didáticos, com um ensino distante do cotidiano dos alunos, memorização de fórmulas, nomes e conhecimentos que não trazem significado para esses alunos e nem para a realidade de suas vidas.

Após os PCNEM (1999), surgiram os documentos: PCNEM+ (BRASIL, 2002), Orientações Curriculares para o Ensino Médio (BRASIL, 2004, reedição em 2006). Nestes documentos, de certa forma, o objetivo é trazer o ensino da Química de forma ampla, contextualizada e significativa para a aprendizagem dos alunos.

Outro aspecto a ser considerado é a noção da Ciência como transmissão de verdades absolutas, prontas e terminadas, que deve ser superada pela visão da Ciência dinâmica, proveniente da ação coletiva de elaboração de conhecimentos e conceitos.

É oportuno ressaltar que para esse “novo formato” de trabalho foi necessário à intensa dedicação do professor para a interpretação e entendimento adequado aos objetivos a serem atingidos. Assim, os professores passaram por um processo de transição pedagógica para conseguir



acompanhar as novas diretrizes, superando as dificuldades. Assim, cabe o mérito para o trabalho dos professores que se envolveram intensamente e desenvolveram suas aulas adequadamente, dentro da realidade escolar brasileira e condições profissionais adversas, sem reconhecimento e valorização profissional.

Para o estado de São Paulo, o documento norteador, além dos PCNs são as Propostas Curriculares de São Paulo, recentemente chamada de *Currículo Oficial de São Paulo*, (SÃO PAULO, 2008), que foi divulgada em janeiro de 2008 e passou a ser exigida a sua aplicação já em março de 2008, início do ano letivo. Outro impacto para os professores, pois os mesmos tiveram que seguir o material sem muitas orientações. Nesta proposta, valorizam-se as boas práticas existentes, com a intenção de “apoiar o trabalho realizado nas escolas estaduais e contribuir para a melhoria da qualidade das aprendizagens de seus alunos” (SÃO PAULO, 2008, p.8).

A diferença dos documentos anteriores é que nesta proposta há as orientações gerais, da disciplina específica e também, os Cadernos do Professor, organizados por bimestre, contendo situações de aprendizagem que buscam auxiliar o trabalho do professor no ensino dos conteúdos disciplinares específicos. Em 2009, criou-se também como complemento das Propostas Curriculares, além do Caderno do Professor, o Caderno do Aluno (MARTINS, 2008).

Com foco nas questões ambientais, se faz necessário apresentar algumas definições para esclarecer o objetivo do trabalho docente nessa temática.

As questões ambientais são definidas como o conjunto de temáticas relativas não só à proteção da vida no planeta, mas também à qualidade de vida das comunidades, preservando o meio ambiente em todos os seus aspectos. Esses aspectos relevantes são discutidos oficialmente desde a Conferência de Estocolmo e concretizando suas ações e preocupações mundiais envolvendo desenvolvimento sustentável visando à melhoria e qualidade de vida no planeta. O grande desafio é considerar o processo de evolução industrial e tecnológica, atendendo às necessidades da população atual, sem comprometer ou por em risco o direito das futuras gerações atenderem suas próprias necessidades (PENTEADO, 2001).

A Conferência de Estocolmo, em 1972, levou a UNESCO e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) a criarem, no ano de 1975, em Belgrado, o Programa Internacional de Educação Ambiental (PIEA). Em cumprimento à Recomendação 96 dessa



Conferência realizou-se, em 1977, em Tbilisi - Georgia/CEI (antiga URSS), a primeira Conferência Intergovernamental sobre Educação Ambiental. Nessa Conferência consolidou-se o PIEA, tendo sido definidas as finalidades, objetivos, princípios orientadores e estratégias para o desenvolvimento da Educação Ambiental. (MARQUES, 2007).

Em 1992, no Rio de Janeiro, foi realizada uma reunião com mais de 170 países que fazem parte da ONU, na qual foi assinado um tratado reconhecendo o papel principalmente da educação para a construção de um mundo socialmente justo e ecologicamente equilibrado, o que requer uma responsabilidade individual e coletiva em níveis local, nacional e internacional. (MARQUES, 2007).

Nessa mesma Conferência, destacam-se o documento Agenda 21, que consagra, no capítulo 36, a promoção da educação, da consciência política e do treinamento e apresenta um plano de ação para o desenvolvimento sustentável.

O Protocolo de Kyoto foi implantado no Japão, em 1997 e estabeleceu metas para a redução da emissão de gases poluentes que intensificam o efeito estufa. Em 2002, aconteceu em Joanesburgo, com o objetivo de estabelecer um plano de implementação que acelerasse e fortalecesse a aplicação dos princípios aprovados no Rio de Janeiro. O papel do Brasil nessas reuniões tem se intensificado significativamente com a participação de órgãos governamentais e não governamentais, além da comunidade acadêmica e outros interessados, pela preocupação do País em torno do desenvolvimento sustentável. (LAGO, 2006). Este autor afirma ainda que devido ao fato “conter grandes reservas de recursos naturais – entre as quais as maiores de água potável – e por ser o maior repositório de biodiversidade do planeta, o Brasil é alvo de constante atenção”.

Na Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, ocorrida em 2002 na cidade de Joanesburgo, na África do Sul, além do compromisso com o Desenvolvimento Sustentável, ou seja, atendimento às necessidades humanas sem o esgotamento das fontes de satisfação dessas necessidades, houve também uma reflexão maior acerca das decisões que foram tomadas e o que foi realizado nos 30 anos após Estocolmo. Uma questão importante é como superar os desafios sistematizados em 2002, principalmente a “erradicação da pobreza, a mudança dos padrões de consumo e produção e a proteção e manejo da base de recursos naturais para o desenvolvimento econômico e social” (BRASIL, 2003).



Em 2004, um importante avanço sobre o controle de poluentes orgânicos ocorreu na Convenção de Estocolmo sobre os Poluentes Orgânicos Persistentes - *Convenção POPs*. Nesta, as decisões incluem a obrigatoriedade da adoção de medidas dos Países Parte de adotarem medidas de controle relacionadas a todas as etapas do ciclo de vida - produção, importação, exportação, disposição e uso, das substâncias classificadas como poluentes orgânicos persistentes - POPs.

A Convenção POPs entrou em vigor em 17 de maio de 2004, e o Brasil ratificou a Convenção em 16 de junho de 2004, tomando-se parte da mesma no nonagésimo dia após essa data - 14 de setembro de 2004. O Decreto Executivo nº 5.472, de 20 de junho de 2005, promulgou o texto da Convenção.

Em 2012, o Brasil sediou novamente a uma importante reunião mundial, a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, sendo que os temas definidos foram:

- a) Economia verde no contexto do desenvolvimento sustentável e erradicação da pobreza;
- b) Estrutura institucional para o desenvolvimento sustentável.

O Tratado de Educação Ambiental para Sociedades Sustentáveis e Responsabilidade Global, de caráter não oficial, celebrado por diversas Organizações da Sociedade Civil, por ocasião da Conferência do Rio, reconhece a educação como um processo dinâmico em permanente construção. Reconhece, ainda, que a: **“Educação Ambiental para uma sustentabilidade equitativa é um processo de aprendizagem permanente, baseado no respeito a todas as formas de vida”**. (MARQUES, 2007).

A Carta Brasileira para a Educação Ambiental – formalizada por ocasião da Conferência – entre as suas recomendações destaca a necessidade de um compromisso real dos poderes públicos federal, estaduais e municipais no cumprimento e complementação da legislação e das políticas para educação ambiental.

Nela, o Brasil assumiu como obrigação nacional a educação ambiental garantida pela constituição de 1988. O Brasil é um dos maiores países do mundo em extensão, possuindo vários recursos naturais de fundamental importância para todo o planeta, desde os ecossistemas importantes como as suas florestas tropicais, o pantanal, o cerrado e o mangue.



A Lei que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei no 6.938/81) consagra a educação ambiental em todos os níveis de ensino, inclusive a educação da comunidade, objetivando capacitá-la para participação ativa na defesa do meio ambiente. Na verdade, a Constituição Federal é explícita ao definir a promoção da Educação Ambiental como responsabilidade do Poder Público. Diz a Constituição Federal em seu Art. 225:

“Todos têm direito ao Meio Ambiente ecologicamente equilibrado...”.

§1o Para assegurar a efetividade desse direito incumbe ao Poder Público:

VI – Promover a Educação Ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente”.

As Constituições Estaduais também consagram em seus textos, a promoção da Educação Ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente.

Na área educacional, a medida mais efetiva aconteceu a partir da implementação dos Parâmetros Curriculares Nacionais (Brasil, 1998), instituídos pela Secretaria de Ensino Fundamental do Ministério da Educação, em 1997, que passou a orientar metodologicamente a implantação do tema nas escolas. Logo depois, a Lei no. 9.795, de 27 de abril de 1999, criou a política nacional de Educação Ambiental. A definição oficial de Educação Ambiental, do Ministério do Meio Ambiente diz:

“Educação Ambiental é um processo permanente, no qual os indivíduos e a comunidade tomam consciência do seu meio ambiente e adquirem conhecimentos, valores, habilidades, experiências e determinação que os tornam aptos a agir – individual e coletivamente – e resolver problemas ambientais presentes e futuros”.

A educação ambiental contribui para a formação de cidadãos conscientes, aptos para decidir e atuarem na realidade socioambiental de um modo comprometido com a vida com o bem estar de cada um na sociedade local e global. Para isso deve-se promover a educação ambiental, através de informações e atitudes para a melhoria da vida local e global. Entretanto, a responsabilidade do Poder Público não exclui a participação da comunidade em todo processo.



Os problemas ambientais não se restringem a um espaço definido, pois podem atingir grandes proporções ou áreas do planeta, como o caso da destruição da camada de ozônio. Outro item a destacar é o fato de que a maior parte dos problemas ambientais acontece em nível local. Pretende-se assim, desenvolver a consciência ambiental para o desenvolvimento de atitudes e condutas que favoreçam o exercício da cidadania, a preservação do ambiente e a promoção da saúde e do bem-estar. (MARQUES, 2007).

A componente *Educação Ambiental* é fundamental, pois permite à população o conhecimento dos benefícios trazidos por esse, além de conscientizá-la sobre a importância da mudança de comportamento, visando à preservação do meio ambiente na busca de uma melhoria na qualidade de vida.

A melhor forma de conseguir esta conscientização é implementando-se programas de ações com ampla participação pública, através da veiculação de campanhas educativas e de mobilização comunitária, capacitação de agentes multiplicadores, promoção e articulação entre os setores públicos, privados e comunitários. A maneira adequada para colocar estas questões em prática é utilizar o método de ação participativa que capacita as pessoas e os grupos a analisarem criticamente uma situação, identificarem e priorizarem problemas, indicarem e a se organizarem para promover as soluções. Portanto, a Educação Ambiental tem por objetivo informar e sensibilizar as pessoas sobre os problemas e possíveis soluções, existentes em sua comunidade, buscando transformá-los em indivíduos que participem das decisões sobre seus futuros, tornando-se instrumento indispensável no processo de desenvolvimento sustentável, exercendo, desse modo, o direito à cidadania. (MARQUES, 2007).

6.2 – A abordagem CTSA no Ensino de Química como motivador do processo de ensino-aprendizagem de Química

O movimento mundial CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) originou-se no início da década de setenta, devido ao impacto da ciência e tecnologia na sociedade moderna. Nesse sentido, é caracterizado pelo ensino interdisciplinar, atentando-se aos aspectos sociais relativos às aplicações de ciência e tecnologia relacionadas à formação de cidadania (SANTOS e SCHNETZLER, 2003). A abordagem desse movimento propõe que o ensino tenha foco na aplicação dos conteúdos químicos vinculados a evolução científica e tecnológica, seus impactos,



assim como a preocupação na formação do aluno como cidadão, participativo, crítico e autônomo. Na década de noventa é incorporado ao eixo CTS, a preocupação com os problemas ambientais, originando assim o movimento CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente) (MARCONDES e col., 2009).

Nessa perspectiva pode-se identificar o movimento CTSA com a ideia de que a ciência e a tecnologia façam parte dos propósitos dos saberes escolares e, que, a sociedade e o ambiente possam servir de cenários de aprendizagem, em que questões sociais sejam investigadas como suporte dos saberes científicos e tecnológicos. (RICARDO, 2007).

Há um consenso geral de que é imprescindível o domínio do conhecimento específico dos conteúdos a serem ensinados, cabendo assim uma formação adequada, com base sólida para concretizar um ensino interdisciplinar, inovador e motivador. A perspectiva do ensino CTS, vai além de inserir tópicos do cotidiano dos alunos, ele pretende alcançar um ensino que leve os alunos a construir seu conhecimento mediante a interação dos conteúdos químicos com a evolução tecnológica, trazendo significado para os problemas de Ciência, Tecnologia e Sociedade vivenciados por eles em suas vidas ou no seu contexto (VANNUCCHI, 2004). Assim como afirma Carvalho e Perez (2001), em relação à matéria a ser ensinada, “Conhecer as interações Ciências/Tecnologia/Sociedade associadas à referida construção, sem ignorar o caráter, em geral, dramático, do papel das Ciências; a necessidade da tomada de decisões”. Assim, considera-se essencial para dar uma margem correta da Ciência.

O ensino de Química traz elementos importantes para formação do aluno como cidadão, é necessário, por exemplo, que ele conheça como utilizar as substâncias no seu dia-a-dia, assim como, posicionar-se criticamente com relação aos efeitos ambientais da utilização da Química, na perspectiva de encontrar soluções (SANTOS e SCHNETZLER, 2003).

Para a aprendizagem dos alunos é interessante serem considerados não só aspectos relacionados ao cotidiano escolar, mas também do ponto de vista social, familiar e psicológico. Hoje o trabalho docente requer uma série de habilidades que extrapolam o essencial domínio do conteúdo, metodologias adequadas e dedicação.



6.3 – A Formação dos professores para a perspectiva ambiental

As questões de interesse ambiental têm sido apresentadas aos professores para que desenvolvam seus trabalhos em sala de aula, dando ênfase ao ensino CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente), mas como afirma Penteado (2001), é importante que haja *informação e vivência participativa*, para que possam ser inseridos no *processo de ensino e aprendizagem voltados para o desenvolvimento da cidadania e conscientização ambiental*. Para tal, são necessários conhecimentos específicos das Ciências da Natureza, assim como, a) deveres e direitos previstos em leis; b) novos direitos e deveres a serem construídos; c) o próprio conceito de ambiente; d) concepção do meio ambiente imediato (onde e como vivo?); e) movimento dinâmico do meio (como os elementos do ambiente se transformam?); f) reações do meio (como o meio ambiente reage às ações humanas; g) ter vivências ou participações em movimentos que valorizem a harmonia ambiental, buscando a melhoria de vida.

O termo “ter experiências”, neste contexto, tem significado mais amplo no sentido de realmente vivenciar situações individuais ou coletivas buscando um significado maior para a ampla divulgação e conscientização, tendo por norteador um determinado fim. Isto é, como o professor pode falar em conscientização ambiental, entre outros, se ele mesmo não se importa com isso? Como pode falar de consumismo exagerado e desnecessário, se ele mesmo possui, por exemplo, centenas de pares de sapatos? O ensino e a postura estão diretamente relacionados ao modo de como a pessoa faz a sua leitura de mundo, ou seja, a sua maneira de ver, entender e fazer relações aos fatos observados.

Dentro dessa linha de pensamento e com um ensino ativo e participativo é que o trabalho docente pode desenvolver a cidadania e a conscientização ambiental, dentro ou fora da escola. Marques (2007) salienta que para seguir as recomendações da perspectiva CTSA, assim como promover a Educação Ambiental, é necessário a aquisição de conhecimento e informação para que se possa desenvolver um trabalho adequado junto aos alunos. Deve-se pensar em educar os futuros cidadãos para que compreendam a importância do respeito ao ambiente, tanto local como global.

Em termos de formação inicial de professores em Química, é preciso ter um olhar mais profundo para inserção da temática ambiental na estrutura curricular. Leal e Marques (2008) alertam sobre a pouca ênfase nas questões ambientais em cursos de licenciatura e da análise de



alguns desses cursos constaram que a tendência segue para um currículo com “uma base conceitual sólida, de importantes conhecimentos instrumentais e técnicos, mas com pouquíssima articulação entre a Química e a problemática ambiental. Ou seja: uma formação científica tradicional, que muito pouco considera e trabalha as relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente”

6.4 – Perspectivas da contribuição da Química e da Tecnologia para Sustentabilidade Mundial

O próprio processo de evolução histórica da Química já demonstra sua importância e relevância do seu papel educativo e também para o avanço nas diversas áreas, como por exemplo, saúde, alimentação, metalurgia e tecnologia. Cada vez mais a Química faz suas contribuições e aumenta as suas áreas de atuação em função da demanda e da evolução do conhecimento científico. Os próprios eventos científicos aderem ao crescimento das áreas e começa a diferenciá-las devido à alta demanda de trabalhos científicos. Se inicialmente haviam as tradicionais: Analítica, Bioquímica, Inorgânica, Orgânica, Físico-química e Química Teórica, de certo período até os dias atuais, tem-se valorização e reconhecimento formal da Química em áreas como Química Medicinal, Alimentos e bebidas, Química Biológica, entre outras apresentadas na 34ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. Em um evento específico de alguma das áreas existem diversas subáreas de interesses mais dirigidos, e assim consequentemente, de forma a não esgotar questões para as pesquisas em desenvolvimento e muito menos as perspectivas de pesquisas futuras.

Um aspecto negativo das interpretações da Química é a fama de vilã, tóxica, poluidora, que faz mal à saúde e que é responsável pelos “males do mundo”. Infelizmente, essa visão é ainda é valorizada na sociedade, principalmente na comunidade escolar. Os alunos ainda têm receios quanto os aspectos positivos, inovadores e essenciais para o desenvolvimento mundial. É comum ouvir que alguém não quer comer determinado alimento porque tem “química” ou até alguns tratamentos para cabelos intitulados “totalmente sem química”. Talvez muito dessa fama também se deva a forma estereotipada do *cientista louco* que estuda não só a Química, mas como Física.



Na tentativa de superar essa fama, as comemorações do Ano Internacional da Química (<http://quimica2011.org.br>), buscaram superar essa fama valorizando as contribuições positivas sobre essa ciência.

Cristhante (2011) traz um resgate das contribuições positivas da Química para a humanidade, mostrando aspectos da evolução e desenvolvimento das pesquisas e descobertas científicas. Aborda ainda aspectos da Química Verde e energia limpa.

No que se refere aos recursos renováveis, tem destaque o uso etanol e de bicombustíveis (extraídos de girassol, mamona, etc.). O uso de fontes renováveis de matéria-prima (biomassa) tem sido um alerta na atualidade. Os materiais derivados de plantas e outras fontes biológicas renováveis ou reciclados precisam ser usados quando possível. Apesar do “CO₂ e metano não serem efetivamente biomassas, são considerados renováveis, porque podem ser obtidos tanto por métodos sintéticos como naturais”, como destaca Lenardão *e col.* 2003

É importante destacar a importância da manutenção do solo, para que possa ser utilizado de forma eficiente nas plantações das matérias-primas em questão, como discutido anteriormente.

Dentro da Química Moderna, há destaque para a Química Verde ou também chamada de Química Sustentável, criada em 1991, através do Programa “Rotas Sintéticas Alternativas para Prevenção de Poluição”, desenvolvido pela a agência ambiental norte-americana EPA (“Environmental Protection Agency”) (LENARDÃO *e col.* 2003).

(PRADO, 2003)

A utilização efetiva e cotidiana da química verde é o grande desafio a ser vencido. Para isso, é necessária a formação de pessoal com consciência em um desenvolvimento sustentável, a regulamentação de leis rígidas no âmbito ambiental e o desenvolvimento de processos verdes mais econômicos, os quais são os pilares para o enraizamento desta filosofia científica, para que ela se torne cotidiana nas práticas científicas e tecnológicas ao redor do planeta.

A nanotecnologia tem ganhado algum espaço na academia científica e cabe aqui apresentar algumas de suas contribuições para a problemática ambiental. Alguns estudos acerca das possíveis influências do uso de nanopartículas no ambiente são discutidos por Siqueira-Baptista e col., 2010, em que apontam como recente essas investigações e também ressalta que não há uma



definição clara sobre a utilização e regulamentação. No artigo os autores também apresentam algumas aplicações de nanopartículas veiculadas à resolução de problemas ambientais:

- (a) *Detecção e acompanhamento da poluição*, por meio da preparação de nanosensores, mais sensíveis e mais específicos, para a detecção e o monitoramento ambiental de poluentes - orgânicos e inorgânicos -, com aplicabilidade, por exemplo, na avaliação dos níveis de poluentes em alimentos e em outros produtos de consumo humano; (b) *Tratamento da poluição*, em decorrência da relevante propriedade de adsorção de diferentes substâncias - por exemplo, metais e compostos orgânicos -, pela grande área superficial das nanopartículas; tem sido descrito, igualmente, o emprego de nanopartículas magnéticas e a utilização de nanotubos de carbono para a dessalinização da água; ademais, é pensável, a longo prazo, que *nanobots* sejam capazes de agir na descontaminação ambiental; (c) *Profilaxia dos agravos relacionados à poluição*, destacando-se o emprego de nanomateriais catalíticos - os quais amplificam a eficiência e a seletividade de processos industriais -, concorrendo para um maior aproveitamento de matérias-primas, com reduzido dispêndio de energia e menor produção de resíduos indesejáveis. (SIQUEIRA-BAPTISTA, e col., 2010, p.484-485)

A Química não só é uma ciência completa e maravilhosa, mas em parceria com outras ciências, também faz contribuições importantes para a promoção da sustentabilidade mundial, favorecendo e trazendo elementos, para a criação de energias limpas e renováveis, a manutenção dos recursos naturais, assim como, a conscientização para o desenvolvimento da cidadania.

Veja o **Box5** que traz os 12 princípios da Química Verde, sendo de grande importância para o conhecimento do professor.



6.5 – Sugestões para um trabalho interdisciplinar, contemplando a temática ambiental

Sabendo da existência desses temas gerais, inclusive citados nos PCN+ (Química e biosfera, Química e atmosfera, Química e hidrosfera e Química e litosfera), é interessante que a seleção dos mesmos para o trabalho pedagógico, leve em consideração as condições e os interesses dos sujeitos no âmbito da comunidade escolar. Há essa liberdade de ação para o planejamento pedagógico da escola, desde a lei 9394/96 (BRASIL, 1996). Os temas contextuais organizadores do currículo da escola podem ser identificados a partir de uma diversidade de temas locais ou globais, espaços esses que constituem dimensões sempre presentes e impossíveis de serem esgotadas ou isoladas em si mesmas. É possível realizar uma aula, por exemplo, “a partir de temas como poluição, recursos energéticos, saúde, cosméticos, plásticos, metais, lixo, química agrícola, energia nuclear, petróleo, alimentos, medicamentos, agrotóxicos, águas, atmosfera, solos, vidros, cerâmicas, nanotecnologia, entre tantos outros temas abordados, também, em livros paradidáticos, orientados para o ensino médio” (DCNEM, 2004). Vale à pena destacar que diversos temas sugeridos são encontrados em artigos de revistas de divulgação científica, como por exemplo, a revista *Ciência Hoje* e a *Química Nova na Escola*.

Há também algumas sugestões de filmes e desenhos animados que podem ser trabalhados em sala de aula, como por exemplo:

O premiado “A ilha das flores”, do ano de 1989, escrito e dirigido pelo cineasta Jorge Furtado. Com seus alunos, após assistir ao filme é possível discutir diversos aspectos, inclusive sociais.

Endereço para o filme: <http://www.youtube.com/watch?v=Hh6ra-18mY8>

Outro destaque é o desenho “WALL-E”, da Disney Produções e Pixar, dirigido por Andrew Stanton. Aborda aspectos sobre o consumismo exagerado e a qualidade de vida.

Outra opção é a técnica de FUROSHIKI que trata-se de Origami em tecido, que ensina a manusear tecidos para embalagens de presentes personalizados. O que fazer com o papel de presente que gasta-se muito simplesmente para ser jogado fora?



Assista o vídeo e mude sua forma de presentear seus amigos e também aprenda a fazer uma linda bolsa:

Um dos endereços para essa técnica interessante que além de útil é relaxante, pode ser visto em: <http://www.youtube.com/watch?v=Bn6zdyCAwJs&feature=related>

Cabe ressaltar que ainda há muito para ser abordado do ponto de vista químico, mas que pelo objetivo do curso, fez-se necessário ter foco em alguns conteúdos gerais, deixando como continuidade o aprofundamento dos mesmos.

Assim, encerramos a disciplina, promovendo essa reflexão sobre a importância do domínio do conteúdo químico para entendimento das questões ambientais, buscando elementos relevantes sobre a sólida formação do professor para que possa com segurança desenvolver seu trabalho em sala de aula, abordando temas atuais e conseqüentemente trazendo a conscientização dos alunos e cidadãos.



Bibliografia

- ATKINS, P.; DE PAULA, J. **Atkins, Física-Química**. LTC: Rio de Janeiro, v. 1, 2008. ISBN: 978-85-216-1600-9.
- BAIRD, C. **Química Ambiental**. Bookman: Porto Alegre, 2ª ed., p. 607, 2002. ISBN: 85-363-0002-7.
- BERNARDO, L. Di; BERNARDO, A. Di; CENTURIONE FILHO, P. L.. **Ensaio de Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. São Carlos - Sp: Rima, 2002. 237 p.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental**. Pearson Prentice Hall, São Paulo. 2ª ed., p. 313, 2005. ISBN: 85-7605-041-2.
- BRAGA, Benedito et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. Segunda edição São Paulo: Person Prentice Hall, 2005.
- BRANCO, S. M. **Água: origem, uso e preservação**. Moderna: São Paulo. 2ª ed., 1993.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Declaração de Joanesburgo sobre Desenvolvimento Sustentável**, 2003. Disponível em <http://www.mma.gov.br/estruturas/ai/arquivos/decpol.doc>, acesso em 15 de abril de 2011.
- BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado, 1988.
- BRASIL. Decreto, Nº 5.472, de 20 de junho de 2005. Promulga o texto da Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes, adotada, naquela cidade, em 22 de maio de 2001. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 20 jun. 2005.
- BRASIL. Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 31 ago. 1981.
- BRASIL. Lei 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a Educação Ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 27 abr. 1999.
- BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 20 dez. 1996.
- BRASIL. Ministério da Educação – MEC, Secretaria de Educação Média e Tecnologia. –Semtec. **PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC/Semtec, 2002.
- BRASIL. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC/SEB, 2006.



- BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Ministério da Educação – MEC. Secretaria da Educação Média e Tecnologia. Brasília: Ministério da Educação, 1998.
- CARVALHO, A. M. P. e GIL-PEREZ, D. **Formação de professores em Ciências: tendências e inovações**. 5ª ed. São Paulo: Cortez, 2001.p.26-30.
- CFSG – COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLOS DE GOIÁS. **Recomendações de corretivos e fertilizantes para Goiás**. 5ª aproximação. Goiânia. UFG/EMGOPA, 1988. 101 p. (Informativo Técnico, 1).
- CHRISTANTE, L. Uma ciência em transformação. **Unespciência**, fev. 2011.
- D.L. ROWELL, **Soil Science: Methods and Applications**, Longman Scientific & Technical, Harlow, 1994.
- **É tempo de química, densidade, peso, massa e volume**. Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=M8Qt6zrK63o&feature=related>>. Acessado em 31 de maio de 2011.
- F.J. STEVENSON, **Humus Chemistry**, Wiley, New York, 1982.
- FELIX, E. P.; CARDOSO, A. A. Fatores ambientais que afetam a precipitação úmida. **Química Nova na Escola**, nº 21, maio de 2005.
- FERNANDES, P.; **Estabilização e Higienização de Bioossólidos**. In: BETTIOL. W e CAMARGO, O.A. Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto. Jaguariúna, SP. Embrapa Meio Ambiente, 2000. 312p.
- FERNANDO FERNANDES, SANDRA M. C. P. DA SILVA **MANUAL PRÁTICO PARA A COMPOSTAGEM DE BIOSSÓLIDOS**, Londrina UEL,1996, 91
- FIORUCCI, A. R.; BENEDETTI FILHO, E. A importância do oxigênio dissolvido em Ecossistemas aquáticos. **Química Nova na Escola**, nº 22, novembro de 2005.
- FONTES, M. A. e SILVA, I. R. **Uma Nova Forma de Aprender Ciências**. Lisboa: Edições Asa, 2004.
- G. SPOSITO, **The Chemistry of Soils**, Oxford University Press, New York, 1989.
- GRASSI, M. T. **As águas do planeta Terra**. Caderno temático de Química Nova na escola. Edição especial-Maio de 2001.
- HAMILTON, C.L. **Chemistry in the Environmental**. W.H. Erceman and Company San Francisco. 1973
- HINRICH L. BOHN, BRIAN L. MCNEAL, GEORGE A. O’CONNOR, **Soil Chemistry**, 3th Ed. John Wiley & Sons, Inc, New york
- KIEHL, E.J.; **Fertilizantes Orgânicos**. Piracicaba. Editora Ceres, 1985. 492



- LAGO, A. A. C. **Estocolmo, Rio, Joanesburgo**: O Brasil e as três Conferências Ambientais das Nações Unidas. Brasília: Instituto Rio Branco, 2006.
- LAURENTI, Ariane. **Qualidade da água I**. Florianópolis: Imprensa Universitária - UFSC, 1997.
- LEAL, A. L. E e MARQUES, C. A. O Conhecimento Químico e a Questão Ambiental na Formação Docente. **Quím. Nova na Escola**. 2001, n.29, pp. 30-33.
- LEITE, M. PLoS e SciELO dão o que falar. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, 16 nov. 2003. Caderno Mais, p. 3.
- LENARDAO, Eder João et al. "Green chemistry": os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. **Quím. Nova**. 2003, vol.26, n.1, pp. 123-129.
- LIABOA, J. F., PITOMBO, L. R.M. Sobrevivência Humana-Um caminho para p Desenvolvimento do Conteúdo Químico no Ensino Médio. **Quim. Nova**, n.14, nov. 2001.
- **Ligação do hidrogênio entre moléculas de água**. Disponível em: <http://www.qmc.ufsc.br/qmcweb/artigos/forcas_intermoleculares.html>. Acessado em 31 de maio de 2011.
- LOPES, A.S.; SILVA, M.C.; GUIMARÃES GUILHERME, L.R. **Correção da acidez do solo**. São Paulo: ANDA. 1991.22p. (Boletim Técnico 1).
- M.B. McBride, **Environmental Chemistry of Soils**, Oxford University Press, New York, 1994
- MACÊDO, Jorge Antônio Barros de. **Introdução a Química Ambiental**. 1ª ed Juiz de Fora: Crq-mg, 2002. 487 p. Acessado em: 07 jun. 2008.
- MAGOSSO, L. R.; NONACELLA, P. H. **Poluição das águas**. Moderna: Coleção Desafios, São Paulo, 4ª ed., 1990.
- MARCONDES, M.E.R., e col. Materiais Instrucionais Numa Perspectiva CTSA: Uma análise de unidades didáticas produzidas por professores de química em Formação Continuada. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14(2), pp. 281-298, 2009.
- MARQUES, M. C. N. **SAÚDE E MEIO AMBIENTE** – Conhecer os riscos para a compreensão dos problemas e possibilidades de prevenção. 2007. 35 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Faculdade de Ciências da Saúde, São Paulo.
- MARTINS, J. R.S., MARQUES, R.N., MARQUES, C.M.P. **Aspectos apontados por professores da rede pública referente à Proposta Curricular do Estado de São Paulo na prática do Ensino de Química em sala de aula**. Relatório de Pesquisa. UFSCar. São Carlos, 2008.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente, **Declaração de Joanesburgo sobre Desenvolvimento Sustentável**: Das nossas origens ao futuro: Relatório Técnico. Brasília: MMA, 2002.
- **O que é a tensão superficial?** Disponível em: <<http://curiofisica.com.br/ciencia/fisica/o-que-e-a-tensao-superficial>>. Acessado em 31 de maio de 2011.



- PASTRE, I. A.; MARQUES, R. N. REDEFOR: **A Química da Biosfera**: Atmosfera, Hidrosfera e Litosfera como Fonte de Materiais, Influência do Ser Humano e Avanços Tecnológicos. Redefor - Rede São Paulo de Formação Docente. São Paulo. 2011, 112 p.
- PENTEADO, Heloísa D. **Meio ambiente e formação de professores**. São Paulo: Cortez, 2001.
- PRADO, A. C.S. Química verde, os desafios da Química no novo milênio. **Quím. Nova**. 2003, vol.26, n.5, pp. 738-744.
- PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para entender a Terra**. Bookman, 4ª ed., 2006.
- R.E. WHITE, **Principles and Practice of Soil Science**, 3rd edn, Blackwell Science Ltd., Oxford, 1997.
- REBOUÇAS, A. C. **Panorama da degradação do ar, da água doce e da terra no Brasil**. IEA/USP: São Paulo; Academia Brasileira de Ciências: Rio de Janeiro, 1997.
- REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. Escrituras Editora: São Paulo. 3ª ed, p. 748, 2006.
- RICARDO, E. C. Educação CTSA: Obstáculos e possibilidades para sua implementação no contexto escolar. **Ciência & Ensino**, vol. 1, número especial, nov. 2007.
- ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à química ambiental**. Bookman: Porto Alegre, 2ª ed., p. 256, 2009. ISBN: 978-85-7780-469-6.
- ROY M HARRISON **Principles of Environmental Chemistry** The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 2007
- SANTOS, W.; MÓL, G. **Química cidadã**: materiais, substâncias, constituintes, química ambiental e suas implicações sociais. Editora Nova Geração: São Paulo. 1ª ed., v. 1 e 2, 2010.
- SANTOS, W.L.P. e SCHNETZLER, R.P. **Educação em Química**: compromissos com a cidadania. 3ª ed. Ijuí: Ed. Ijuí, 2003.
- SÃO PAULO (Estado). Secretária da Educação, Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas. **Proposta Curricular para o ensino de Química**: 2º grau. 3. ed. São Paulo: SE/CENP, 1994.
- _____ . Secretaria da Educação. **Proposta curricular do Estado de São Paulo /** Coord. Maria Inês Fini. São Paulo: SEE, 2008a.
- _____ . Secretaria da Educação. **Proposta curricular do Estado de São Paulo: Química /** Coord. Maria Inês Fini. São Paulo: SEE, 2008b.
- SIENKO, M. J.; PLANE, R. A. **Química**. Editora Mc Graw-Hill: Nova Iorque, 5ª ed., 1976. ISBN: 0-07-057335-2.
- SIQUEIRA-BATISTA, Rodrigo et al. Nanociência e nanotecnologia como temáticas para discussão de ciência, tecnologia, sociedade e ambiente. **Ciência e Educação**, vol.16, n.2, pp. 479-490, 2010.



- SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N. DE; LOBATO, E.; CASTRO, L.H.R. de Métodos para determinar as necessidades de calagem em solos dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 13(2): 193 - 198, maio/ago. 1989.
- SPIRO, T. G.; STIGLIANI, W. M. **Química ambiental**. Pearson Prentice: São Paulo. 2ª ed, p. 328, 2009. ISBN: 978-85-7605-196-1.
- STANLEY E. MANAHAN., Environmental Chemistry, 8th Ed., CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, 2005
- TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. Rima: São Carlos, p. 248, 2003. ISBN: 85-86552-51-8.
- VANNUCCI, A. I. A relação Ciência, Tecnologia e Sociedade no Ensino de Ciências. In: CARVALHO, A. M. P. (org.). **O Ensino de Ciências: Unindo a Pesquisa e a Prática**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. p.77-92.
- VOLKWEISS, S.J.; TEDESCO, M.J. **A calagem dos solos ácidos: prática e benefícios**. Porto Alegre, UFRGS. Fac. De Agronomia, Dep. De Solos, 1984.
- WICANDER, R. MONROE, J. S. **Fundamentos de Geologia**. Revisão técnica Carneiro, M. A. São Paulo: Cengage Learning, 2011.



GOVERNO DO ESTADO
DE SÃO PAULO

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

Governador

Geraldo Alckmin

SECRETARIA ESTADUAL DA EDUCAÇÃO DE
SÃO PAULO (SEESP)

Secretário

Herman Jacobus Cornelis Voorwald



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Vice-Reitor no Exercício da Reitoria

Julio Cezar Durigan

Chefe de Gabinete

Carlos Antonio Gamero

Pró-Reitora de Graduação

Sheila Zambello de Pinho

Pró-Reitora de Pós-Graduação

Marilza Vieira Cunha Rudge

Pró-Reitora de Pesquisa

Maria José Soares Mendes Giannini

Pró-Reitora de Extensão Universitária

Maria Amélia Máximo de Araújo

Pró-Reitor de Administração

Ricardo Samih Georges Abi Rached

Secretária Geral

Maria Dalva Silva Pagotto

FUNDUNESP

Diretor Presidente

Luiz Antonio Vane

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
Secretaria de Estado da Educação
Secretaria Estadual da Educação de São Paulo (SEESP)
Praça da República, 53
CEP 01045-903 – Centro – São Paulo – SP

UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Pró-Reitoria de Pós-Graduação
Rua Quirino de Andrade, 215
CEP 01049-010 – São Paulo – SP
Tel.: (11) 5627-0561
www.unesp.br

REDEFOR

Rede São Paulo de Formação Docente

REDE SÃO PAULO DE FORMAÇÃO DOCENTE

Pró-Reitora de Pós-graduação

Marilza Vieira Cunha Rudge

Coordenadora Acadêmica

Elisa Tomoe Moriya Schlünzen

Equipe Coordenadora

Ana Maria Martins da Costa Santos

Cláudio José de França e Silva

Rogério Luiz Buccelli

Coordenadores dos Cursos

Arte

Rejane Galvão Coutinho (IA/Unesp)

Filosofia

Lúcio Lourenço Prado (FFC/Marília)

Geografia

Raul Borges Guimarães (FCT/Presidente Prudente)

Sub-coordenador de Geografia

Antônio Cezar Leal (FCT/Presidente Prudente)

Inglês

Mariangela Braga Norte (FFC/Marília)

Química

Olga Maria M. de Faria Oliveira (IQ Araraquara)

Secretaria/Administração

Vera Reis

Equipe Técnica - Sistema de Controle Acadêmico

Ari Araldo Xavier de Camargo

Valentim Aparecido Paris

Rosemar Rosa de Carvalho Brena



NÚCLEO DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA DA UNESP

Coordenador Geral

Klaus Schlünzen Junior

Secretaria/Administração

Sueli Maiellaro Fernandes

Aline Gama Gomes

Jessica Papp

João Menezes Mussolini

Suellen Araújo

Sueli Maiellaro Fernandes

Tecnologia e Infraestrutura

Pierre Archag Iskenderian

André Luís Rodrigues Ferreira

Ariel Tadami Siena Hirata

Guilherme de Andrade Lemeszenski

Marcos Roberto Greiner

Pedro Cássio Bissetti

Rodolfo Mac Kay Martinez Parente

Produção, veiculação e Gestão de material

Cauê Guimarães

Dalner Mori Palomo

Elisandra André Maranhe

Erik Rafael Alves Ferreira

Fabiana Aparecida Rodrigues

Jéssica Miwa

Lia Tiemi Hiratomi

Lili Lungarezi de Oliveira

Luciano Nunes Malheiro

Márcia Debieux

Marcos Leonel de Souza

Pamela Bianca Gouveia Túlio

Rafael Canoletti Buciotti

Rodolfo Paganelli Jaquetto

Soraia Marino Salum