



LABORATÓRIO DE FORMAÇÃO PROFISSIONAL EM VIGILÂNCIA EM SAÚDE
ESCOLA POLITÉCNICA DE SAÚDE JOAQUIM VENÂNCIO
FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ

Brenda Rocha Rodrigues

ACIDIFICAÇÃO DOS OCEANOS:
CONSEQUÊNCIAS NO AMBIENTE MARINHO

Rio de Janeiro

2012

Brenda Rocha Rodrigues

**ACIDIFICAÇÃO DOS OCEANOS:
CONSEQUÊNCIAS NO AMBIENTE MARINHO**

Projeto apresentado ao Curso Médio Integrado
ao Curso Técnico de Vigilância em Saúde como
requisito parcial ao desenvolvimento da
Monografia.

Orientador: Carlos Roberto Vieira

Co-Orientadora: Ray Luiza Muller

Rio de Janeiro

2012

Brenda Rocha Rodrigues

ACIDIFICAÇÃO DOS OCEANOS:
CONSEQUÊNCIAS NO AMBIENTE MARINHO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio como requisito parcial para aprovação no curso técnico de nível médio em saúde com habilitação em Vigilância em Saúde.

Aprovado em ___ / ___ / _____

BANCA EXAMINADORA

Me. Ray Luiza Soares Salgado Müller – LABFORM/EPSJV/FIOCRUZ

Me. Carlos Roberto Barbosa Vieira – LABFORM/EPSJV/FIOCRUZ

Dra. Tânia de Oliveira Camel – LATEC/ EPSJV/FIOCRUZ

Dr. Marcio Sacramento de Oliveira – LAVSA/ EPSJV/FIOCRUZ

*Dedico este trabalho a todos que
participaram de sua produção,
a minha família e amigos.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeira e principalmente a minha família, por todo o apoio que me deram, desde criança até os dias de hoje, para que pudesse chegar até aqui. Agradeço também a pessoas sem as quais esse projeto não teria se viabilizado, meus orientadores, Ray Luiza Müller e Carlos Roberto Vieira, por aceitarem participar desse trabalho, pela atenção que recebi, e pela incrível paciência que tiveram comigo.

Agradeço à Tânia Camel, pelas instruções e materiais concedidos durante o desenvolvimento do trabalho, que me ajudaram a ampliar o conhecimento sobre o tema. Agradeço ao professor e pesquisador Marcio Sacramento por ter participado e ter me ajudado a dar início a esse projeto.

Agradeço a todos os meus amigos que não me deixaram desanimar, nem desistir, muito pelo contrário me deram motivos para sorrir e seguir em frente durante esses anos. E, por fim, mas não menos importante agradeço a todos os membros da minha turma “Visau 2010”, e que apesar de todas as brigas e desentendimentos fizeram parte da minha trajetória ao longo do ensino médio.

*" Não é o mais forte que sobrevive,
nem o mais inteligente, mas o que
melhor se adapta às mudanças. "*

(Charles Darwin)

RESUMO

A acidificação dos oceanos é um dos fenômenos decorrente do aumento da concentração de gás carbônico na atmosfera. Entretanto, este não é muito divulgado, por isso, pouco conhecido. Por sua vez, este trabalho, que foi desenvolvido através de revisão bibliográfica, tem como principal objetivo apresentar as consequências da acidificação dos oceanos sobre a vida marinha, partindo da definição do fenômeno e passando por seus efeitos para analisar sua interferência na cadeia alimentar marinha. Nos últimos anos a eliminação de dióxido de carbono na atmosfera tem aumentado, deixando-a mais concentrada, e conseqüentemente os oceanos sofrem com isso porque estes absorvem uma parte do gás presente na atmosfera, como pode ser observado no ciclo do carbono. Com isso, o gás carbônico ao se misturar com a água formando o ácido carbônico, que após uma série de reações libera íons de hidrogênio, isto provoca uma queda no valor do pH, ou seja, o ambiente fica mais ácido e este é um dos fatores abióticos condicionantes da vida marinha. Além disso, o carbonato de cálcio, produto de umas das reações provocadas pelo gás carbônico, interfere na capacidade de deposição de cálcio das espécies calcificadoras, como os fitoplânctons, que são a base da cadeia alimentar marinha, logo já se pode inferir que esta sofrerá alterações. Apesar da acidificação dos oceanos ser um fenômeno natural que acontece no planeta e, que vem acontecendo ao longo de milhares de anos com a adaptação dos organismos, o homem tem acelerado este processo de forma significativa.

Palavras chave: Acidificação dos oceanos. Gás carbônico. Cadeia Alimentar.

LISTA ICONOGRÁFICA

| | |
|---|----|
| Ilustração 1: Representação de uma espécie de Fitoplâncton | 13 |
| Ilustração 2: Representação da cadeia alimentar marinha | 14 |
| Ilustração 3: Gráfico das flutuações na população de Linces e Lebres do Canadá | 14 |
| Ilustração 4: Molécula do gás carbônico..... | 16 |
| Ilustração 5: Tabela Periódica | 17 |
| Ilustração 6: Propriedades do dióxido de carbono | 18 |
| Ilustração 7: Ciclo do carbono | 19 |
| Ilustração 8: Concentração de CO ₂ na atmosfera global | 20 |
| Ilustração 9: Concentrações de CO ₂ e valores de pH | 22 |
| Ilustração 10: Sistema de carbonato marinho e sua relação com o gás carbônico marinho ... | 23 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 9 |
| 2. ECOSISTEMA MARINHO | 11 |
| 2.1. Fatores abióticos | 11 |
| 2.2. Relações ecológicas: cadeia alimentar | 12 |
| 3. DIÓXIDO DE CARBONO E MEIO AMBIENTE | 16 |
| 3.1. O que é o dióxido de carbono? | 17 |
| 3.2. O dióxido de carbono no ambiente | 19 |
| 4. ACIDIFICAÇÕES DOS OCEANOS | 22 |
| 4.1. O processo químico da acidificação dos oceanos | 22 |
| 4.2. O fenômeno da acidificação no meio ambiente | 24 |
| 5. CONCLUSÃO | 26 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 27 |
| REFERENCIAS ICONOGRÁFICAS | 28 |

1. INTRODUÇÃO

Nos séculos XX e XXI a produção industrial aumentou de maneira significativa e o mesmo aconteceu com a emissão de dióxido de carbono (CO_2) no ambiente, devido à queima de combustíveis fósseis estimulada pelos processos produtivos. Embora o gás carbônico seja de grande importância para a manutenção da vida na Terra (sendo responsável pela fotossíntese e junto com outros gases pelo efeito estufa), alterações em sua concentração no ambiente geram transformações nos processos biológicos do planeta. Existe uma relação entre o aumento da concentração do gás na atmosfera e nos oceanos, esses absorvem uma parte do CO_2 liberado no ambiente aéreo como pode ser observado no ciclo do carbono. Logo, a concentração de CO_2 e suas alterações nos dois ambientes são diretamente proporcionais.

Entretanto, as mídias normalmente noticiam as modificações que acontecem na atmosfera, deixando assim o ambiente marinho em segundo plano. Todavia, esse sofre tanto quanto o primeiro e as consequências nesse são pouco ou nada conhecidas pela maioria da população, porém, são bastante severas assim como na atmosfera. O dióxido de carbono absorvido pelos oceanos ao se misturar com a água salgada sofre uma série de reações químicas e no decorrer destas produtos como íons de hidrogênio (H^+) e carbonato de cálcio (CaCO_3) são liberados, ou seja, o ambiente sofre alterações em sua composição química. O meio tem seu pH reduzido, ficando mais ácido. Nada se pode afirmar nada sobre o que acontecerá com a fauna e flora dos locais afetados, mas supõe-se que algumas espécies não conseguirão ou terão dificuldades fisiológicas em se adaptar a essas mudanças. Por exemplo, os calcificadores terão dificuldades na deposição de cálcio, logo sua formação sofrerá complicações, como é o caso dos fitoplânctons, que constituem a base da cadeia alimentar. Partindo do princípio de que para modificar a cadeia alimentar não é necessário que todos os componentes sejam afetados diretamente, basta um sofrer alguma variação para causar um desequilíbrio.

No entanto, estudos mostram que a variação na concentração de gás carbônico é um processo natural do planeta, ele vem passando por isso ao longo de milhares de anos. Porém, atualmente, são lançadas grandes quantidades do gás na atmosfera em um curto período de tempo, de forma que a velocidade é o fator mais significativo para a gravidade do problema. Visto que os organismos durante milênios foram se adaptando e tiveram tempo para tais transformações do ambiente, a questão é que esta transição está sendo muito rápida para a capacidade de adaptação dos organismos, assim esses podem não conseguir acompanhar essas mudanças. Mas a clareza sobre as consequências do fenômeno só será possível daqui a

algumas décadas, por hora são só especulações feitas através da observação do comportamento dos organismos nas áreas mais afetadas e também de análises bioquímicas sobre a composição dos mesmos.

Os oceanos representam a maior parte da superfície terrestre e apresentam uma grande biodiversidade. Eles são o que se pode chamar de “pulmão” do mundo, devido a sua imensidão repleta de seres fotossintetizantes. Além de sua importância ecológica, os oceanos representam uma fonte alternativa para a economia mundial, percebida principalmente através das atividades pesqueiras. Então é necessário que ele e seus recursos recebam atenção e proteção. Este trabalho tem como objetivo divulgar a acidificação dos oceanos e suas consequências, como uma tentativa de promover a conscientização sobre a importância da preservação do meio ambiente, de maneira geral. Relacionando o desequilíbrio de a cadeia alimentar com o fenômeno. A pesquisa será desenvolvida a partir de revisão bibliográfica de matérias, como monografias, livros e artigos científicos e jornalísticos, produzidos entre 1999 e 2012.

2. ECOSSISTEMA MARINHO

O ecossistema é a interação que ocorre entre os fatores bióticos que são os seres vivos e os fatores abióticos que são os locais onde eles vivem. O ecossistema marinho, assim como o terrestre, depende dessa relação entre esses grupos de fatores. Nesse caso, o conjunto dos fatores bióticos é formado pelas algas, peixes, entre outros organismos marinhos. Enquanto, o conjunto de fatores abióticos é composto por elementos físicos e químicos. São classificados como fatores físicos: a temperatura; a energia radiante; a densidade; a pressão e as marés. Os fatores químicos são: o potencial hidrogeniônico (pH); a salinidade, a quantidade de oxigênio (O_2) dissolvido, a de dióxido de carbono que reage com a água e a de carbonatos.

2.1. FATORES ABIÓTICOS

No grupo dos fatores abióticos alguns apresentam maior relevância para os oceanos, como a temperatura que influencia na solubilidade de gases e no controle da distribuição de que e das atividades, como reprodução e crescimento, dos organismos marinhos. A variação de pressão afeta, entre outras coisas, a concentração de gás carbônico e por isso, a formação de ácido carbônico e a solubilidade do carbonato de cálcio ($CaCO_3$). De maneira que quanto maior a pressão, maior a concentração de CO_2 , mais ácido carbônico é formado e maior a solubilidade do $CaCO_3$. A variação da pressão é dada da seguinte forma a cada 10 metros de profundidade contados, a partir, da superfície, a pressão aumenta de uma atmosfera (atm).

Outro fator é a salinidade que nada mais é do que a concentração de sais dissolvidos na água, os quais tem sua origem na dissolução de rochas dos continentes, da erosão e dos sais presentes no magma que se acumularam nos oceanos primitivos. Nos oceanos os principais sais dissolvidos na água são os inorgânicos e ficam na forma de íons (cloreto – Cl^- , sódio – Na^+ , sulfato – $(SO_4)^{+2}$ Magnésio – Mg^{2+} , cálcio – Ca^{2+} e potássio – K^+). Naturalmente ocorre variação da salinidade, entretanto a relação entre os principais íons se mantém constante.

Outro fator abiótico de extrema importância para o ambiente marinho é a quantidade de gás carbônico dissolvido nos oceanos e depende diretamente da temperatura e da pressão, ou seja, quanto maiores os valores de ambos, maior é quantidade de CO_2 dissolvido. É importante ressaltar que a maior parte do dióxido de carbono, presente nos oceanos, encontra-se na forma de carbonatos ou bicarbonatos e não na forma gasosa.

Além desses, o pH é um índice que vai indicar a acidez, neutralidade ou alcalinidade de um meio qualquer. A variação desse fator vai depender da produção ou absorção de íons de

H_3O^+ , que de maneira simplificada fica H^+ que é o íon de hidrogênio livre, a partir do sistema de carbonato marinho. O pH é medido numa escala logarítmica de 1 a 14, onde quanto mais próximo do 1 maior a acidez e quanto maior a proximidade ao 14 mais alcalina é a solução, sendo 7, o valor neutro do pH.

2.2 RELAÇÕES ECOLÓGICAS: CADEIA ALIMENTAR

O grupo dos fatores bióticos é formado por todos os seres vivos do planeta, que podem travar relações tanto intraespecíficas (dentro da mesma população) quanto interespecíficas (em uma comunidade).

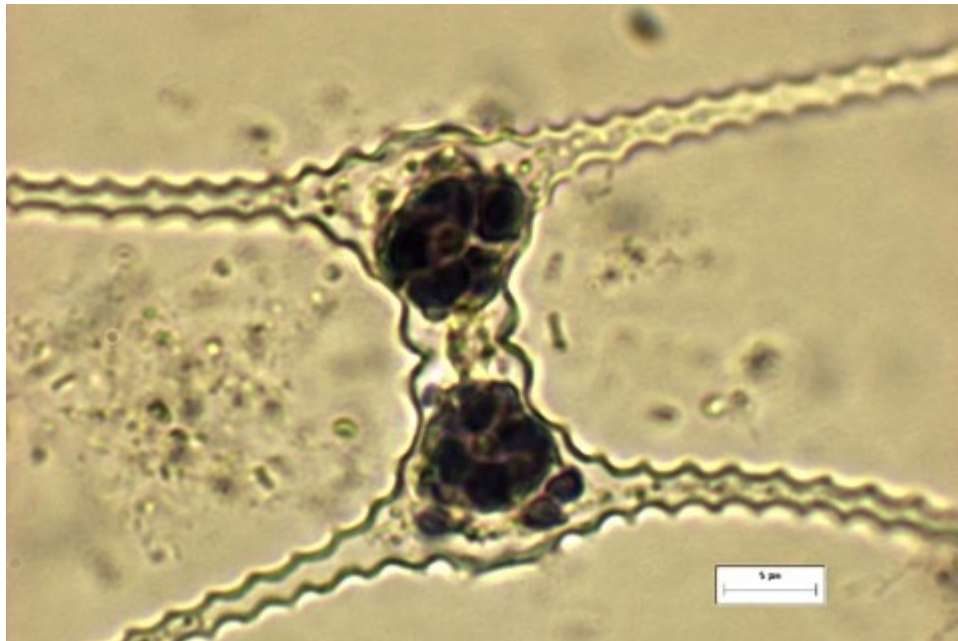
A manutenção do controle quantitativo das espécies estabelecendo um equilíbrio ecológico depende, dentre outros fatores, da cadeia alimentar, que pode ser definida como uma sequência através da qual os nutrientes e a energia seguem, onde um organismo serve como alimento para outro. A cadeia alimentar tem como base os seres produtores, que retiram os nutrientes e água do solo, transformando-os em moléculas orgânicas, no caso a glicose, através de uma série de processos utilizando a energia luminosa solar. Esse conjunto de processos é a fotossíntese que também tem como produto o oxigênio, que é liberado no ambiente.

O Sol é o principal responsável pela vida na Terra. Em primeiro lugar, porque a radiação solar aquece o solo, as massas de água e o ar, propiciando um ambiente favorável à vida. Em segundo lugar, porque a luz solar é captada pelos seres fotossintetizantes e sua energia é transferida de um organismo para o outro, ao longo das cadeias alimentares, permitindo a existência de praticamente todos os ecossistemas da Terra (AMABIS, J.; MARTHO, G., 2010, p.237).

Os produtores, por sua vez, servem de alimento para alguns organismos, os herbívoros, que são designados consumidores primários, ou de primeira ordem. Estes, por sua vez, servem de alimento para outros organismos que são conhecidos como consumidores secundários, ou de segunda ordem, assim como os posteriores serão consumidores terciários, quaternários, de terceira, quarta ordem e assim sucessivamente. Quando algum desses organismos morre, os decompositores, que são os fungos e bactérias, entram em ação, transformando a matéria orgânica em inorgânica. E essa matéria inorgânica é reutilizada pelos

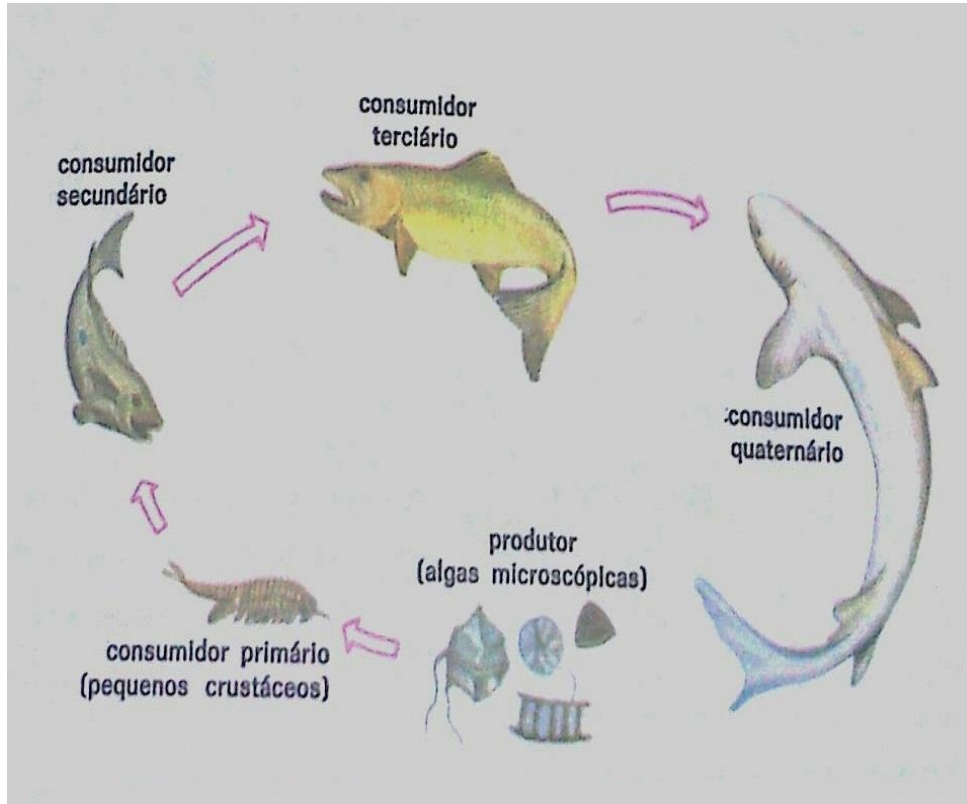
produtores para a produção de alimento, ou seja, a cadeia alimentar nada mais é do que um ciclo dos alimentos e da energia.

Um exemplo de cadeia alimentar que pode ser mencionado é a do ambiente marinho: os fitoplânctons que podem ser definidos como algas microscópicas que vivem em colunas de água e que se movimentam em função dos movimentos das mesmas, são os produtores. Esses organismos são extremamente importantes, além de, serem a base da cadeia alimentar marinha, eles produzem grande parte do oxigênio do planeta. Vale ressaltar que, a Floresta Amazônica ao mesmo tempo que é a maior produtora desse gás, consome tanto quanto produz. Já com os fitoplânctons apesar deles produzirem menos que a floresta, a diferença entre a produção e o consumo é maior, assim, mais oxigênio é utilizado para a respiração dos organismos de maneira geral ao redor da Terra.



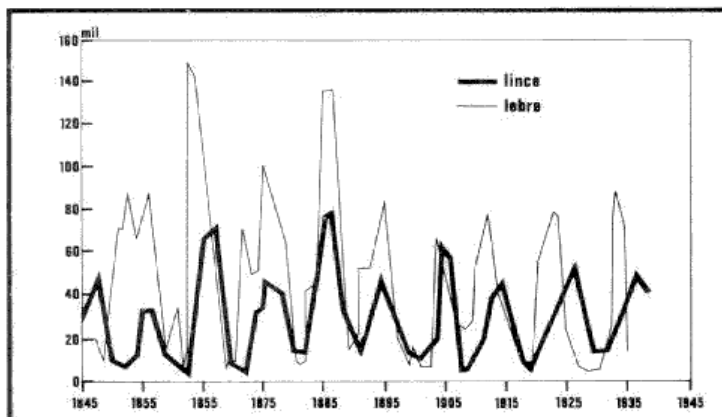
(Ilustração 1. Representação de uma espécie de Fitoplâncton.)

Os fitoplânctons servem de alimento para os zooplânctons, consumidores primários. Então, pequenos crustáceos alimentam-se desses zooplânctons, e por isso são os consumidores secundários. Esses, por sua vez, servem de alimento para alguns peixes, que são os consumidores terciários. Quaisquer uns desses organismos, ao morrerem, são decompostos pelas bactérias.



(Ilustração 2. Representação da cadeia alimentar marinha)

É através da sequência de eventos da cadeia alimentar que ocorre o controle natural das populações, importante para o equilíbrio ecológico, que acontece da seguinte forma: se uma espécie é predadora da outra e a quantidade de presas aumenta, o mesmo acontece com a quantidade de predadores. Mas com o aumento desses a quantidade de presas sofre uma queda, diminuindo a oferta de alimento, resultando na diminuição do número de predadores. Assim, a população das presas volta a crescer, recomeçando o ciclo. Logo, pode se concluir que tanto a presa quanto o predador servem, um para o outro, como fator limitante do crescimento populacional. O gráfico a seguir é uma ilustração dessa dinâmica ambiental, através da comparação da quantidade de lebres e linces.



(Ilustração 3. Gráfico da variação das populações de linces e lebres)

Mas esse equilíbrio, naturalmente estabelecido pelos fatores citados, pode ser facilmente rompido, seja pela introdução ou retirada de uma espécie ou por alguma alteração dos fatores abióticos nesse meio. Fatores naturais como tempestades e temperaturas extremas, furacões, terremotos, vendavais e maremotos, entre outros, também podem causar desaparecimento de determinadas populações e, levando em conta a ligação existente entre os seres vivos, podem levar a um desequilíbrio nas cadeias alimentares.

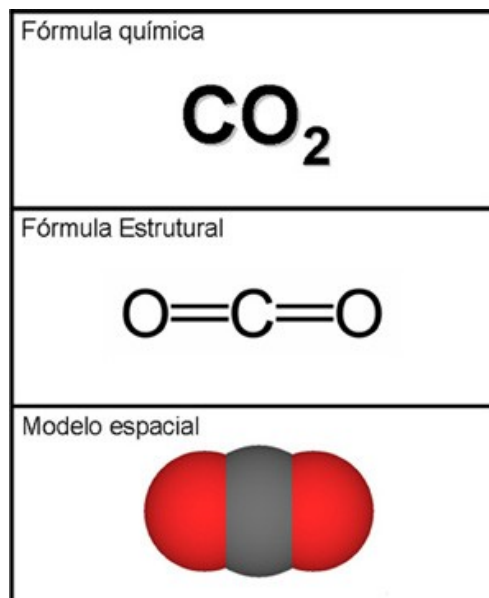
Se considerarmos que cada espécie tem um papel no funcionamento do ecossistema ao qual pertence, podemos inferir que quando há alguma alteração significativa no número de um componente no ecossistema, podendo ser para mais ou para menos, origina-se um desequilíbrio ecológico. Mesmo que esse possa ter origens naturais, vem sendo agravado por ações humanas.

Já no caso do ambiente marinho, além de todos os fatores de desequilíbrio já citados, os organismos são altamente sensíveis a variações na composição química dos oceanos, como por exemplo, variação do pH ou da salinidade. Uma vez que os processos fisiológicos desses seres são dependentes do meio em que estão inseridos, é necessário ressaltar que um dos condicionantes das atividades enzimáticas é o pH.

3. DIÓXIDO DE CARBONO E MEIO AMBIENTE

3.1. O QUE É O DIÓXIDO DE CARBONO?

O dióxido de carbono é constituído estruturalmente por moléculas de geometria linear e de carácter apolar, apesar de possuir ligações polares. Sendo assim, as atrações intermoleculares do dióxido de carbono são muito fracas, tornando-o, nas condições ambientais, um gás. O gás carbônico, como também é chamado, é formado por um átomo de carbono e dois de oxigênio e apresenta a seguinte fórmula molecular: CO₂.



(Ilustração 4. Molécula do gás carbônico)

Para que se possa compreender o dióxido de carbono é necessário que as características de cada um desses átomos sejam conhecidas. O oxigênio, por exemplo, é um átomo que está na família 6A e no segundo período da tabela periódica, sendo muito eletronegativo e apresenta massa atômica de aproximadamente dezesseis u.m.a.¹, com um número atômico igual a oito prótons e com seis elétrons na camada de valência. Por isso, para atingir o estado de estabilidade (oito átomos na camada de valência, segundo a teoria do octeto) ele tende a receber dois elétrons tendo como $nox^2 - 2$. Para alcançar esse equilíbrio ele pode realizar duas ligações simples (sigmas) ou uma ligação dupla formada por uma ligação pi e uma sigma. (FELTRE, 2005).

O carbono, por sua vez, pertence à família 4A e está no segundo período, assim como o oxigênio, e apresenta massa atômica aproximada de doze u.m.a, com número atômico igual

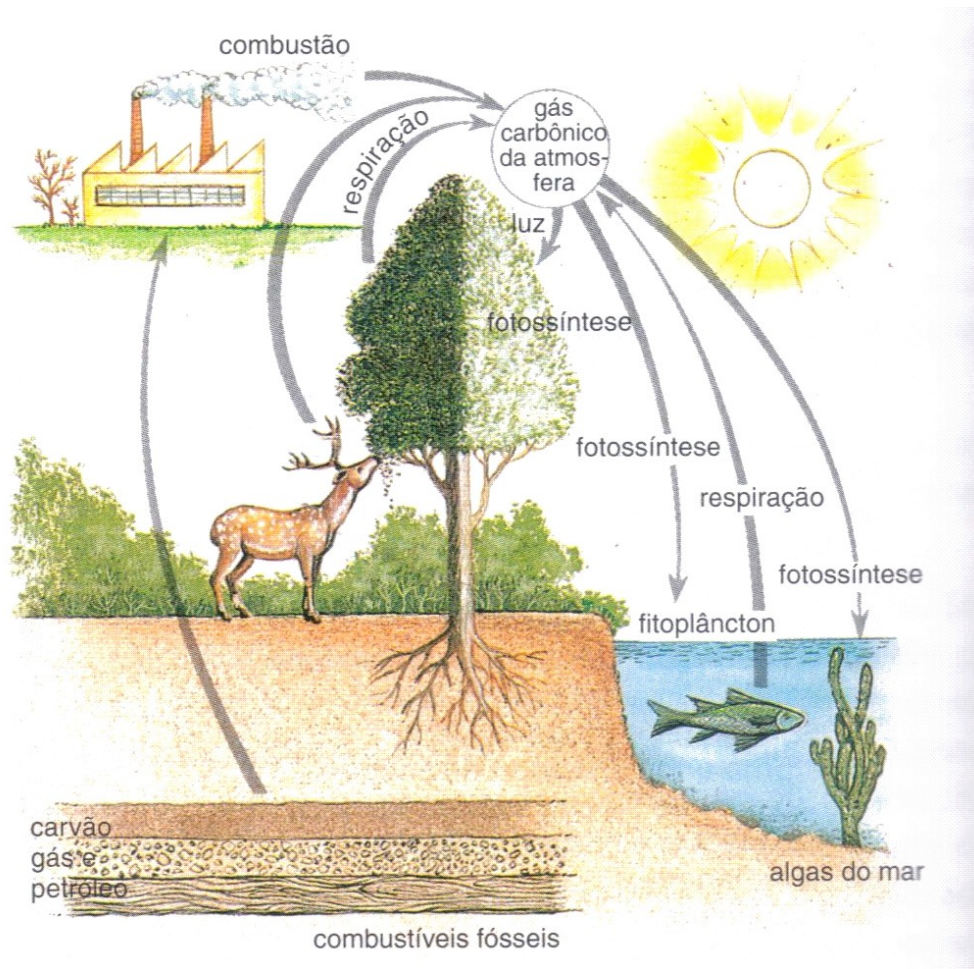
| Massa molar / g mol ⁻¹ | Densidade / g dm ⁻³ | Ponto de fusão / °C | Ponto de ebulição / °C | Número de Onda / cm ⁻¹ | Comprimento de ligação / pm |
|--------------------------------------|--------------------------------|---------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 44,01 | 1,799 | -56,56 | -78,4 | 2449 / 1338 | 116 |

(Ilustração 6. Propriedades do dióxido de carbono)

3.2. O DIÓXIDO DE CARBONO NO AMBIENTE

O dióxido de carbono na atmosfera é absorvido pelas plantas pelo processo de fotossíntese, onde os átomos de carbono são combinados com átomos de hidrogênio para produzir moléculas de carboidratos. Então, o fluxo de carbono coincide com o fluxo de energia, que nos seres vivos é armazenada como carboidratos ou gordura. O carbono é passado ao longo da cadeia alimentar e é liberado na forma de gás carbônico como subproduto da respiração dos seres vivos, entretanto boa parte desse composto volta à atmosfera devido à decomposição de matéria orgânica. Boa parte do dióxido de carbono existente no planeta fica retido sob forma de carvão, petróleo, gás natural, rochas e nos recifes de corais. (MARQUES, 2009)

O carbono também é trocado entre os oceanos e a atmosfera. Isto acontece em ambos os sentidos na interação entre o ar e a água. Esse é o ciclo do carbono. O gás carbônico que é emitido na atmosfera, junto com outros gases, forma uma camada em torno do planeta que tem como função controlar a temperatura da Terra, esse fenômeno é chamado de efeito estufa. (SOARES, 1999)

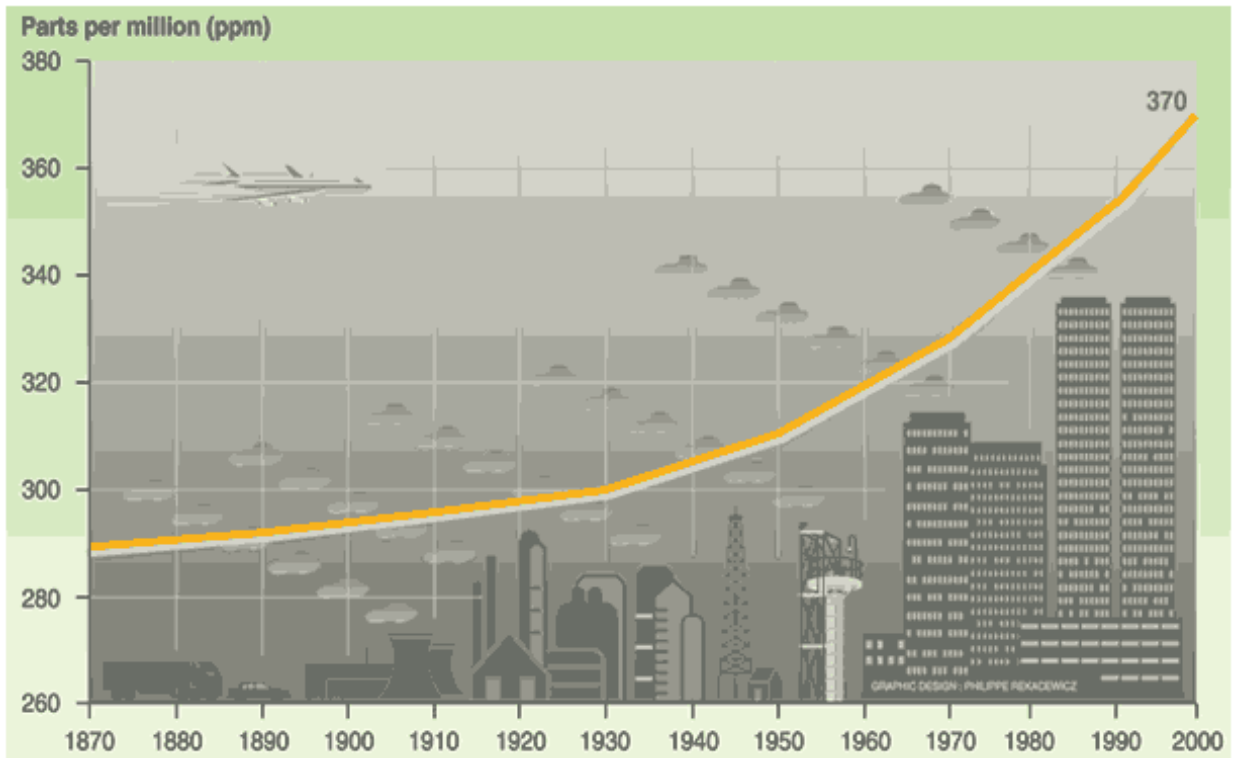


(Ilustração 7. Ciclo do carbono)

O efeito estufa é um fenômeno natural que possibilita a vida na Terra, decorrente da concentração de gás carbônico e outros gases presentes na atmosfera, como o metano (CH_4) e o ozônio (O_3), que até capturam mais calor por molécula do que o dióxido de carbono, entretanto, esse último, depois do vapor de água, é o que apresenta maior concentração atmosférica. Além desses gases também participam do efeito estufa em menores proporções o óxido nitroso (N_2O), o hexafluoreto de enxofre (SF_6), hidrofluorcarbonetos (HFC), clorofluorcarbonetos (CFC). Esses gases funcionam como uma espécie de barreira para a radiação infravermelha, e têm como finalidade impedir que uma parte dos raios ultravioletas, provenientes do Sol que incidem no planeta, retorne ao espaço. Já que o calor é emitido na forma de radiação infravermelha, serve para a regulação térmica na Terra, sendo que uma parte desse calor retido retorna à superfície e a outra fica na atmosfera. De acordo com Ricardo Feltre (2005) aproximadamente 30% da luz refletida pela Terra volta ao espaço enquanto 70% do que foi absorvido serve para aquecer a superfície. Caso o efeito estufa não

existisse os raios solares seriam refletidos integralmente o que faria com que a temperatura do planeta fosse muito baixa porque não ocorreria um acúmulo de calor. (FELTRE, 2005)

Entretanto, a partir da Revolução Industrial no século XIX, com o avanço tecnológico, a industrialização, e o uso de veículos que tem como fonte de energia a queima de combustíveis fósseis, a quantidade de dióxido de carbono na atmosfera aumentou. Isso porque uma parte considerável do gás que se encontrava retida em reservas naturais foi liberada, com isso o efeito estufa foi intensificado, o que originou um novo fenômeno chamado de aquecimento global. (TOLENTINO, 2008)



(Ilustração 8. Gráfico sobre a variação da concentração de CO₂ na atmosfera)

Inicialmente, esse aumento de temperatura era atribuído à destruição das florestas e à liberação do dióxido de carbono na atmosfera. Atualmente, a causa dominante tem sido a queima de combustíveis fósseis à base de carbono, como o carvão e petróleo. O aquecimento global pode ser entendido como o aumento da temperatura média do planeta. Isso pode gerar algumas consequências negativas para a vida na Terra, podendo influenciar no regime de chuvas e secas em várias partes do planeta, afetando plantações e florestas. Além disso, algumas florestas poderão sofrer o processo de desertificação, enquanto plantações podem ser destruídas por alagamentos. As calotas de gelo polares correm o risco de degelo, com isso, fatalmente o nível do mar sofrerá um aumento, o que por sua vez poderá fazer com que ilhas e cidades costeiras fiquem submersas. Muitas espécies tanto marinhas quanto terrestres poderão

desaparecer, o que ocasionará desequilíbrios ecológicos. Além de tudo o aquecimento global pode fazer com que aumente a incidência de algumas catástrofes naturais como furacões, tufões, tsunamis, entre outros, devido à variação da temperatura média do planeta. (Tolentino, 2008)

4. ACIDIFICAÇÕES DOS OCEANOS

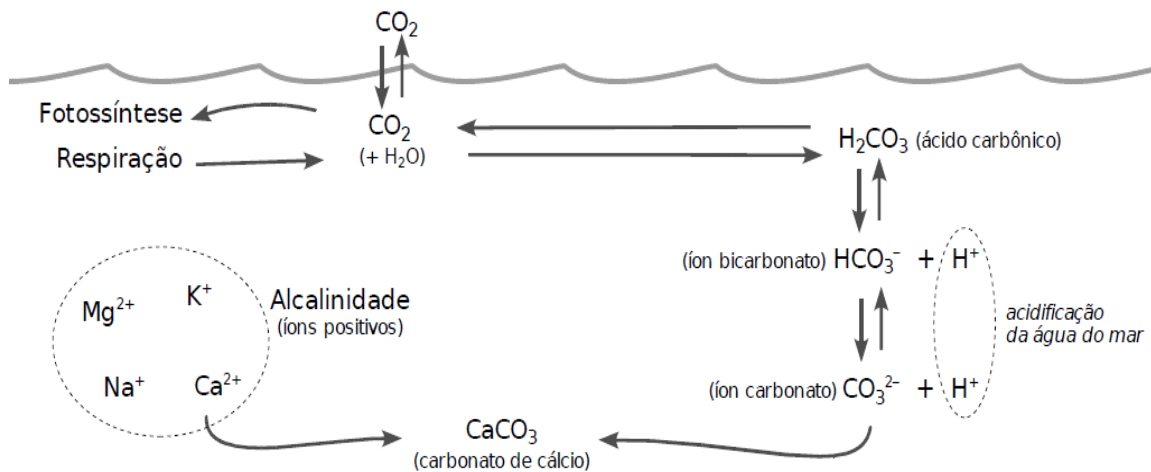
4.1. O PROCESSO QUÍMICO DA ACIDIFICAÇÃO DOS OCEANOS

“Acidificação dos oceanos” é um termo usado para definir um fenômeno relativo às mudanças na composição química dos oceanos por conta do aumento da concentração do dióxido de carbono atmosférico e, por sua vez, da absorção desse pelos oceanos, de acordo com Carlos Eduardo Amancio. Essas mudanças não se referem apenas à redução dos valores do índice de pH devido a liberação de íons de hidrogênio (H^+), mas também pelo aumento nas concentrações de íons de bicarbonato (HCO_3^-) e pela redução do ponto de saturação do carbonato de cálcio ($CaCO_3$). Pode-se observar a relação entre a concentração de CO_2 e os valores de pH na seguinte figura:

| Período | Concentração de CO_2 (ppm) | Valores de pH |
|-----------------------|------------------------------|---------------|
| Pré-industrial | 300 | ~ 8.2 |
| Presente (“Controle”) | 400 | ~ 8 |
| Ano 2050 | 560 | ~ 7.8 |
| Final do século | 1140 | ~ 7.6 |

(Ilustração 9. Concentrações de CO_2 e valores de pH)

O fenômeno da acidificação dos oceanos pode ser compreendido através do sistema de carbonato marinho, que é iniciado pela absorção de dióxido de carbono pelos oceanos ou pela própria respiração dos organismos desse ambiente. Esse gás reage com a água formando o ácido carbônico (H_2CO_3), esse por sua vez se dissocia formando íons de bicarbonato (HCO_3^-) e de H^+ . Enquanto o último é liberado e é responsável pela redução do pH, o primeiro sofre uma dissociação formando o carbonato (CO_3^{2-}) e libera mais íons de hidrogênio. O carbonato reage com íons de cálcio (Ca^{2+}), que estão dispersos no mar, formando o carbonato de cálcio ($CaCO_3$).



(Ilustração 10. Sistema de carbonato marinho e sua relação com o gás carbônico marinho)

É importante lembrar que todas as reações citadas ocorrem simultaneamente nos dois sentidos (reação direta e reação inversa), e por isso são chamadas de reações reversíveis. Quando as velocidades da reação direta quanto da inversa se igualam atinge-se o equilíbrio químico, desde que a quantidade de elementos permaneça a mesma, e as condições químicas e físicas não se alterem. Por exemplo, no caso da reação do gás carbônico com a água originando o ácido carbônico, os reagentes iniciais são “produzidos” pelo consumo do produto da reação inicial, na mesma velocidade em que o ácido é gerado. Sendo assim, essa reação está em equilíbrio químico. E por se tratar, nessa sequência de reações, de íons dispersos em meio aquoso, trata-se de equilíbrio iônico na água. Mas nem sempre, esse equilíbrio é mantido e quando a velocidade da reação, seja ela direta ou inversa, é alterada, fazendo com que as concentrações das substâncias se modifiquem, ocorre o que se chama de deslocamento do equilíbrio. Esse pode ser explicado pelo princípio de Le Chatelier que diz que: “Quando um fator externo age sobre o sistema em equilíbrio, este se desloca, sempre no sentido de minimizar a ação do fator aplicado.” (FELTRE, 2005, p.389).

Na situação em questão, trata-se do aumento do gás carbônico absorvido pelos oceanos. Sendo assim, pode-se entender como uma adição de substância, já que está reagindo uma quantidade maior do que o natural. E, quando isso acontece esse gás adicionado desloca o equilíbrio no sentido que irá consumi-lo, ou seja, na direção contrária ao do CO_2 colocado, por isso, mais ácido carbônico será produzido, para compensar essa mudança. E, como consequência do aumento deste ácido, o mesmo acontece com a produção de íons de bicarbonato e de H^+ , de maneira a consumir o H_2CO_3 . Aumentando o HCO_3^- , uma maior quantidade de íons de carbonato e de H^+ é produzida. Com mais CO_3^{2-} disperso no ambiente

marinho, aumenta o número de ligações com os íons de cálcio formando o carbonato de cálcio. Com isso aumenta a liberação de íons H^+ no meio, deixando-o mais ácido. (Feltre, 2005)

4.2. O FENÔMENO DA ACIDIFICAÇÃO NO MEIO AMBIENTE

A partir do momento em que o carbonato de cálcio é formado, o ambiente começa a perder os íons de cálcio livres que estavam dispersos nos oceanos. Os efeitos do fenômeno para o ambiente marinho estarão relacionados a problemas fisiológicos devido à alteração na disponibilidade e captação de íons, além dos organismos calcificadores que utilizam o carbonato de cálcio para a sua formação e terão dificuldade em se formar devido ao comprometimento da capacidade de deposição do carbonato de cálcio. Com isso, o desenvolvimento desses organismos, como por exemplo, os fitoplânctons que tem em sua composição o cálcio, fica comprometido. E estes ficam mais vulneráveis em relação a seus predadores, e sabe-se que basta uma alteração em uma etapa da cadeia alimentar para que todo o resto do ciclo seja comprometido. (AMANCIO, 2007)

Segundo estudos, algumas espécies da fauna e da flora dos locais afetados não conseguirão ou terão dificuldades fisiológicas em se acostumar com essas mudanças. No caso dos organismos calcificadores, eles poderão ter problemas relacionados à sua capacidade de deposição do carbonato de cálcio, importante para a sua formação. Embora pareça contraditório, já que foi dito anteriormente que um dos produtos das reações provocadas pelo aumento de CO_2 é o $CaCO_3$, o ambiente fica saturado desse carbonato. Entretanto a acidez dos oceanos dificulta o processo de deposição do cálcio na formação dos indivíduos, tornando-os mais frágeis.

Com isso, problemas relacionados à cadeia alimentar serão gerados tendo em vista que basta um nível trófico sofrer uma alteração, para que todo o processo seja afetado. E na situação em questão os fitoplânctons, produtores, terão dificuldades para sua formação já que são organismos calcificadores. Esses servem de alimento para pequenos peixes e crustáceos, consumidores primários. Que por sua vez são o alimento de peixes maiores, consumidores secundários, e assim acontece sucessivamente. E quando qualquer organismo morre os seres decompositores, em geral bactérias, desempenham sua função que é transformar matéria orgânica em inorgânica que é utilizada pelos produtores para gerarem energia e reiniciarem o

ciclo. Então, se a população dos fitoplânctons sofrer alguma alteração todo o processo é comprometido gerando um desequilíbrio ambiental.

Em estudos feitos, segundo uma reportagem de Elizabeth Kolbert para o National Geographic, sobre estudos do pesquisador Hall-Spencer, nas ilhas de Catstello Aragonense e de One Tree, defende-se que essa ilha é um exemplo natural do fenômeno em questão.

“Antes de entrar na água já notamos seu impacto. Aglomerados de cracas formam uma faixa esbranquiçada na base dos penhascos fustigados pelas ondas. "As cracas são muito resistentes", diz Hall-Spencer. Mas, nas áreas em que o mar estava mais ácido, elas haviam desaparecido” (KOLBERT,2011)

Ao redor das ilhas vem ocorrendo pouco a pouco o que possivelmente vai ocorrer aos oceanos, de maneira geral à medida que absorvem cada vez mais o dióxido de carbono atmosférico. Desde 2003, o pesquisador, Hall-Spencer estuda o mar em torno da ilha, medindo as propriedades da água e fazendo o levantamento dos organismos ali presentes. Ele diz que as cracas (animal artrópode, da classe dos crustáceos) no geral, são resistentes, entretanto com a redução do pH elas tem ficado mais frágeis ou até mesmo desaparecido. Além das cracas foi observado que outras espécies também foram fragilizadas e algumas não existem mais naquela região, ou nas proximidades. (KOLBERT,2011)

5. CONCLUSÃO

Nos últimos anos a emissão de dióxido de carbono na atmosfera tem aumentado, deixando-a mais concentrada, e conseqüentemente os oceanos sofrem com isso porque estes absorvem uma parte do gás presente na atmosfera, como pode ser observado no ciclo do carbono. Com isso, o gás carbônico ao se misturar com a água salgada após uma série de reações libera íons de hidrogênio (H^+), o que provoca uma queda no valor do pH, ou seja, o ambiente fica mais ácido e este é um dos fatores abióticos condicionantes da vida marinha.

E, além disso, o carbonato de cálcio ($CaCO_3$), produtos de umas das reações provocadas pelo CO_2 , interfere na capacidade de deposição de cálcio das espécies calcificadoras, como os fitoplânctons que são a base da cadeia alimentar marinha, logo já se pode notar que esta sofrerá alterações. Além disso, esses seres produzem grande parte do oxigênio do planeta, a partir da fotossíntese.

Todavia, a acidificação dos oceanos é um fenômeno natural do planeta, e vem acontecendo ao longo de milhares de anos e os seres vão se adaptando, porém o homem tem acelerado isso de forma significativa. Então, a gravidade do problema não está no processo propriamente dito e sim na velocidade com que está ocorrendo. Apesar de a acidificação estar ocorrendo em uma velocidade alta à dimensão de suas conseqüências só será observada a médio ou em longo prazo, o que não quer dizer que o ambiente não terá grandes prejuízos. Uma vez que, se trata de um sistema muito complexo e que suas respostas, no geral, não são imediatas mesmo quando são negativas.

Devido a grande quantidade de gás carbônico que foi emitido na atmosfera, e conseqüentemente, do nível de acidez dos oceanos talvez o fenômeno já seja irreversível, mesmo que parasse hoje a emissão desse gás, o que no atual modelo de produção e da sociedade é algo impensado, o processo natural de neutralização dos oceanos dado através dos sedimentos provenientes das rochas, demoraria muito tempo para que os mares voltassem a sua condição natural. E um procedimento artificial de inserir cal nas águas não seria viável por causa da enorme quantidade desse gás emitida.

Então, para tentar minimizar os danos que a acidificação dos oceanos tem causado seria necessário que ao menos a quantidade de dióxido de carbono fosse reduzida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMABIS, José Mariano; Martho, Gilberto. **Biologia**: Biologia das populações. 3ª Ed. São Paulo. Moderna, 2010. v.3.

AMANCIO, Carlos Eduardo. **Precipitação de CaCO₃ em algas marinhas calcárias e balanço de CO₂ atmosférico**: os depósitos calcários marinhos podem atuar como reservas de carbono?. Dissertação de Mestrado. São Paulo: USP, Departamento de Botânica, 2007. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41132/tde-06112007-144852/>>, acesso em 01/08/2012)

ATKINS, P. W.; SHRIVER, D. F.; OVERTON, T. L.; ROURKE, J. P.; WELLER, M. T.; ARMSTRONG, F. A., **Química Inorgânica**. 4ª Ed. Bookman, São Paulo, 2008.

FELTRE, Ricardo. **Fundamentos da química**: Química. Tecnologia. Sociedade. 4ª Ed. São Paulo. Moderna, 2005. v. único.

KOLBERT, Elizabeth. **Mar ácido**. National Geographic Brasil. São Paulo. n. 133, p. 68–87, abr. 2011

MARQUES, Nayara de Paiva. **A perspectiva brasileira sobre o Mercado de Carbono: Um viés econômico – ambiental**. Monografia de graduação. Brasília: Uniceub, Departamento de Direito. 2009. Disponível em <<http://www.repositorio.uniceub.br/bitstream/123456789/843/1/20504210.pdf>>, acesso em 01/08/2012)

ROCHA, Julio Cesar; ROSA, André Henrique; CARDOSO; Arnaldo. **Introdução a química ambiental**. São Paulo. Bookman, 2004.

SOARES, José Luís. **Biologia no terceiro milênio**. Editora Scipione, São Paulo. 1999. v.3.

PACHECO, Flávia Gonçalves. **Estudo da Captura de Dióxido de Carbono por Misturas de Hidróxido de Cálcio e Óxido de Magnésio em Baixas Temperaturas**. Dissertação de mestrado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Química do Instituto de Ciências Exatas. 2012

PEREIRA, Renato Crespo (org); GOMES, Abílio Soares (org). **Biologia Marinha**. Editora Interciência. Rio de Janeiro. 2009.

TOLENTINO, Mario; ROCHA-FILHO, Romeu; SILVA; Roberto. **A atmosfera terrestre**. 2ª Ed. São Paulo. Moderna, 2008.

REFERENCIAS ICONOGRÁFICAS

Ilustração 1: **Staurastrum**. Altura: 320 pixels. Largura: 480 pixels. Formato JPEG. Disponível em: <<http://www.brasildasaguas.com.br/sete-rios/pesquisas/fitoplancton>>. Acesso em: 10/12/2012

Ilustração 2: GEWANDSZNAJDER; LINHARES, **Exemplo de cadeias alimentares**, 1980, p.117

Ilustração 3: **Gráfico das flutuações na população de Lincos e Lebres do Canadá, conforme os registros de peles tratadas pela Hudson's Bay Company (baseado no BSCS; Versão Verde)**. Altura: 315 pixels. Largura: 500 pixels. Formato JPEG. Disponível em: <<http://www.photographia.com.br/biosfe.htm>>. Acesso em: 15/11/2012.

Ilustração 4: [Sem título]. 2006. Altura: 363 pixels. Largura: 300 pixels. Formato JPEG. Disponível em: <<http://www.risco.com.br/NL/MOL/02/CO2-1a-Parte.htm>>. Acesso em 28/10/2012

Ilustração 5: **Tabela Periódica**. Altura: 641 pixels. Largura: 967 pixels. Formato JPEG. Disponível em: <<http://hypescience.com/misterio-%E2%80%93-o-que-acontece-se-voce-misturar-todos-os-elementos-da-tabela-periodica/>> . Acesso em 28/10/2012.

Ilustração 6: PACHECO, F., **Propriedades do dióxido de carbono**, 2012, p. 4

Ilustração 7: SOARES, J., **Ciclo do carbono**. 1999. v.3. p.456

Ilustração 8: **Concentração de CO₂ na atmosfera global**. Altura: 274 pixels. Largura: 400 pixels. Formato JPEG. Disponível em: <<http://www.tamflightsafety.com.br/sfs/jsp/default.jhtml?adPagina=390&adArtigo=16483>>. Acesso em 20/11/2012.

Ilustração 9: REIS, V., **Concentrações de CO₂ e valores de pH**, 2012, p.14.

Ilustração 10: AMANCIO, E., **Sistema de carbonato marinho e sua relação com o gás carbônico marinho**, 2007, p.7.