



Licenciatura em Física
Instituto de Física – UFRJ
Universidade Federal do Rio de Janeiro

MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO

MUDANÇA CLIMÁTICA E O LIVRO DIDÁTICO

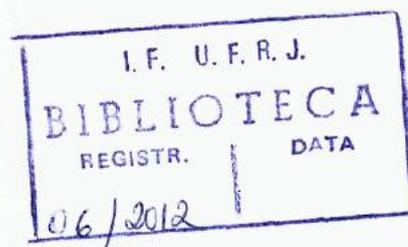
Odylio Denys Soares Marques

Orientador

Professor Dr. Fernando de Souza Barros

Rio de Janeiro

05 de junho de 2012



ERRATUM

Folha	Linha	Onde se lê	Leia-se	Notas
6	3	autores conhecidos,	autores conhecidos, Beatriz Alvarenga e Ramalho,	
6	7	Considerando a LDB e os Parâmetros Curriculares Nacionais	Considerando que tanto a LDB como os Parâmetros Curriculares Nacionais	
6	9	tanto com relação às novas	relacionadas às novas	
6	10	quanto na capacidade de análise	capacitando-o à análise	
6	17	sobrevivência	preservação ecológica ¹	Nota 1 – deve ser observado que o estudo da variação climática em escala planetária considera unicamente os aspectos naturais. O homem aparece apenas como agente modificador de microclimas urbanos.
7	1	uma formação	um aprendizado	
7	18	site	site ²	Nota 2 – As informações do site da NASA são disponíveis somente no idioma inglês. Em português, temos o site na UFRGS do Professor Kepler de Souza e Maria de Fátima http://astro.if.ufrgs.br/ com informações diversas da astronomia.
8	3	aquecimento	aquecimento ³	Nota3 – Embora só seja abordado no Capítulo 1 o cálculo da energia cinética do impacto de um asteroide com a Terra, como o que caiu na província de Yucatán, México, há 65 milhões de anos, o problema pode ser repetido no estudo das implicações termodinâmicas desse evento.

8	22	derretimento	derretimento ⁴	Nota4 – Existem evidências sobre o caráter cíclico das mudanças climáticas globais; com período de 600 a 700 anos. A Idade Média foi mais fria que o período contemporâneo. Presenciamos atualmente o desaparecimento dos glaciares dos Andes, além da redução das calotas polares. Dados do Capítulo 5 permitem inferir sobre a variação anual no volume de gelo da Groelândia e Antártica.
11	5	puxões	atrações	
11	12	tempos	tempos ¹	Nota1- Na publicação de Roemer em 1676 no "Journal des Sçavans" não há cálculo da velocidade da luz, mas a informação do tempo entre os eventos observados. C. Huygens em seu trabalho "Traité de la Lumière", de 1690, considera o método de Roemer muito engenhoso e faz cálculos da velocidade da luz com o intervalo de tempo de 22 minutos informado por Roemer para a luz cruzar toda a órbita da Terra. Em valores contemporâneos de medida do raio médio da órbita da Terra essa velocidade calculada seria de aproximadamente 227 000 km/s, ou ~ 76% da velocidade da luz no vácuo. O valor de c atual aceito é de 299.792.458 m/s, exato. Vale lembrar que atualmente o metro é definido no SI como a distância que a luz percorre no vácuo em 1/299.792.458 do segundo. Essa definição facilita a criação de padrões locais do metro, sem a necessidade de aferição com o protótipo original internacional conservado em Paris.
23	6	dilatação irregular da água	variação anômala da densidade da água	
23	19	interessante	de relevância didática	
28	1	quantificação dos números	quantificação das grandezas físicas	

28	28	carro parado	carro parado ¹	Nota 1- há várias situações em que mantemos o veículo em funcionamento por mera comodidade, como nos congestionamentos, espera em estacionamentos de lojas de conveniências e redes de vendas de alimentos rápidos- drive thru. Em muitas situações, com a lentidão no atendimento, compensa o desligamento do veículo.
39		Foto [1] ... toneladas de matéria são transformados em energia.	Foto [1] ...toneladas de núcleos leves são transformados em energia por fusão nuclear.	
43	1	vento solar	fluxo solar	
47	1	Variações climáticas ocorrem localmente	Perturbações locais do clima ocorrem	
54	2	causas naturais	causas naturais ¹	Nota 1 – A natureza cíclica das mudanças climáticas na escala global é um processo natural. Os ciclos são caracterizados por períodos de 500 anos a 700 anos. A Idade Média foi mais fria que a época atual. Estamos vivenciando um período de aquecimento global, evidenciado pelo desaparecimento dos glaciais da Cordilheira dos Andes, à ruptura da capa polar do Ártico. O aumento das taxas pluviométricas no Brasil é explicado pela elevação de águas quentes do Oceano Atlântico, consequência do mergulho das águas frias que descem o oceano devido ao degelo da calota polar.

ODYLIO DENYS SOARES MARQUES

MUDANÇA CLIMÁTICA E O LIVRO DIDÁTICO

Monografia apresentada junto ao Curso de
Licenciatura em Física da UFRJ, como requisito parcial
para obtenção do diploma.

Orientador Prof. Dr. Fernando de Souza Barros

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Arthur Braun Chaves

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Vitorvani Soares

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Antônio Carlos Fontes dos Santos

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro 05 de junho de 2012

AGRADECIMENTOS

À Minha mãe, Julieta Soares “in memoriam”, pelo incentivo nos estudos e ao meu pai, Luiz Marques “in memoriam”, pela perseverança no trabalho.

À minha família pelo incentivo na realização do curso de Licenciatura em Física. Principalmente Jane, minha esposa, pelo maior apoio quando muitas vezes teve que resolver tudo sozinha em casa e mesmo assim sempre esteve ao meu lado. Serei eternamente grato, pois, do contrário, jamais teria conseguido tudo isso. Aos meus filhos Alex, Jéssica e Henrique, pelas contribuições e comentários dos rascunhos e apresentação inicial da Monografia.

Aos meus irmãos, minha tia Ednir e aos primos Júnior, Bosco e Max, que também contribuíram com apoio, incentivos ou estímulos.

Aos amigos e colegas de trabalhos pelo incentivo, dos quais destaco o apoio de meus amigos Altamiro e Varela. Também de meu amigo Nilson, pela disposição quando precisei de permuta na escala de trabalho em função de provas. Aos colegas de curso que em algum momento contribuíram para essa busca do conhecimento.

Aos professores pelo conhecimento transmitido. Agradecimento especial à Professora Susana, “in memoriam”, pelas brilhantes aulas de Introdução à Física, sempre valorizando os trabalhos voltados para a educação; à Professora Wilma, que inicialmente contribuiu com sugestões; ao Professor Marcos Gaspar, sem esquecer-se dos outros professores do laboratório; aos professores de cálculo Jeferson e Susan; Professor Adir, Celso, Teresa, Thelma Polon, Clarissa, André Penna, Francisco, Encarnación, A.Lyra, Alexandre Tort, meu orientador acadêmico e a todos com os quais tive oportunidade de aprender na UFRJ.

Também quero destacar o agradecimento especial ao Professor Fernando Barros pelo privilégio que tive de estudar História da Física e também por ser o meu orientador neste Trabalho de Conclusão de Curso, com contribuições importantes que ajudaram na revisão e delimitação dos tópicos da Monografia. E finalmente agradeço aos Professores da Banca Examinadora: Arthur Chaves, Marcos Gaspar, Vitorvani Soares, Antônio Santos e também ao coordenador do curso João José. Algum outro nome que eu tenha esquecido neste momento, minhas desculpas.

RESUMO

Do ponto de vista da Física, as variações climáticas, ou mudanças climáticas, como a maioria dos autores costuma tratar, não é apenas com relação a períodos de aquecimento, mas também com eras de resfriamento ou glaciais. A nossa preocupação com o clima ou mudança climática, à primeira vista, é uma questão da nossa própria preservação ecológica do planeta Terra.

A pergunta inicial é se os livros didáticos de física do ensino médio têm material suficiente, ao longo dos três anos de estudos, para uma boa formação dos alunos no tópico em questão? Como pode o professor escolher, entre textos e exercícios dos livros, quais irão contribuir para essa formação? E quando o livro não tem informação suficiente, deve o professor encontrar outras fontes de pesquisa e passar um resumo para os seus alunos? Adicionalmente, este é também o objetivo desta monografia: relacionar os problemas e complementar os dados colocando em evidência os tópicos necessários para que o aluno, ao término dos três anos de estudo, tenha adquirido conhecimento suficiente para inferir sobre as questões climáticas.

ABSTRACT

From the standpoint of physics, climate variability or climate change, as most authors usually treat, not only with respect to periods of heating but also cooling or ice ages. Our concern with the weather or climate change, at first glance, is a matter of our own ecological preservation of the planet Earth.

The initial question is: whether textbooks to the high school have enough material over the three years of study, for a good training for students on the topic in question? As the teacher can choose between text and exercise books, who will contribute to this training? And when the book does not have enough information, the teacher must find other sources of research and pass on to their students a summary? Additionally, this is also the purpose of this monograph: the problems relate to and complement the data highlighting the necessary topics for the student, at the end of three years, has acquired sufficient knowledge to make inferences about climate issues.

SUMARIO

INTRODUÇÃO.....	6
CAPÍTULO 1 - MECÂNICA - ATMOSFERA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	9
CAPÍTULO 2 – TERMODINÂMICA E A ATMOSFERA.....	23
CAPÍTULO 3 – ATMOSFERA – INTERAÇÃO COM A RADIAÇÃO SOLAR, A SUPERFÍCIE E O INTERIOR DA TERRA.....	37
CAPÍTULO 4 – VARIAÇÕES CLIMÁTICAS DA TERRA – UM EVENTO NATURAL OU ANTROPOGÊNICO?	54
CAPÍTULO 5 ÁRTICO E ANTÁRTICA	69
CONCLUSÃO	88
BIBLIOGRAFIA	90

INTRODUÇÃO

O objetivo desta monografia é analisar a abordagem dos temas relacionados com variações climáticas em nosso planeta, em livros didáticos de ensino da disciplina de física ao longo dos três anos do ensino médio. Foram escolhidos dois autores conhecidos, sendo aqui denominados de Livros [1] A1, A2, A3, e B1, B2, B3. O propósito é verificar qual o aprofundamento, para uma formação consistente do aluno, dentre outros temas de nosso tempo, nas questões e implicações das variações climáticas.

Considerando a LDB e os Parâmetros Curriculares Nacionais, PCN, para o ensino da Física, têm como expectativa que o aluno adquira conhecimento e que possa desenvolver uma opinião coerente baseado nas competências assimiladas, tanto com relação às novas tecnologias, quanto na capacidade de análise de questões nacionais ou mundiais. Está escrito na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, nº 9.394 de 20 de dezembro de 1996 (portal.mec.gov.br) na Seção IV – Do Ensino Médio – Art. 35 –III – “o aprimoramento do educando como pessoa humana, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico;” Do ponto de vista da Física, as variações climáticas, ou mudanças climáticas, como a maioria dos autores costuma tratar, não é apenas com relação a períodos de aquecimento, mas também com eras de resfriamento ou glaciais. A nossa preocupação com o clima à primeira vista é uma questão da nossa própria sobrevivência no planeta Terra.

A pergunta inicial é se tem os livros didáticos e material suficiente, ao longo dos três anos de estudos, para uma boa formação dos alunos no tópico em questão? Como pode o professor escolher, entre texto e exercícios dos livros, os que irão contribuir para essa formação? E quando o livro não tem suficiente informação, deve o professor encontrar outras fontes de pesquisa e passar para os seus alunos um resumo? Adicionalmente, este é também o objetivo desta monografia, relacionar os problemas e complementar os dados colocando em evidência os tópicos necessários para que o aluno, ao término dos três anos, tenha adquirido conhecimento suficiente para inferir sobre as questões do clima.

Deve ser considerado que a principal tarefa do professor, além de ensinar, é saber escolher dentre tantos exercícios repetitivos aqueles que irão aperfeiçoar o conhecimento de seus alunos nessa jornada. Neste trabalho serão verificados textos e exercícios nos dois livros de física. E também serão escolhidos aquelas passagens e problemas que irão contribuir

para uma formação razoável do aluno ao longo dos três anos de estudos. A ideia principal aqui é que a construção do conhecimento será em pequenos degraus, onde cada nova informação será trabalhada em mais de uma vez ao longo do ensino médio. Um exemplo disso é o que pode fazer o professor com os dados de massa de ar e água presentes no nosso planeta, onde os cálculos comparativos simples são feitos nos Capítulos I e II deste trabalho.

Sabemos que os livros não trazem todo o conhecimento, ou às vezes é ausente a abordagem, conforme já ficou evidenciado no trabalho de SANTOS e SOUZA BARROS [2]. Então, cabe ao professor explorar alguns exercícios e problemas e se tiver uma fonte adicional com mais informação sobre o tema, ele terá sucesso em seu objetivo. Para o primeiro livro do ensino médio, não é obrigatório que o professor tenha capacitação em astronomia, mas é importante que em seu curso de graduação tenha tido pelo menos uma disciplina de um semestre para conhecer um pouco do sistema solar. Também é muito importante uma boa pesquisa em sites confiáveis da internet ou livros afins. Ele irá encontrar uma série de informações, principalmente para suprir uma deficiência constatada nos livros didáticos, que é, por exemplo, trazer fotos de boa qualidade. Mas, com um computador, o professor tem um forte aliado, levando à sala de aula referências e artigos adicionais para os seus alunos, não devendo deixar de explorar esse recurso. Uma grande quantidade de bons artigos e dados é encontrado no site da NASA - PDS- Planetary Data System, como resultados de observações e missões tais como Mariner, Pioneer, Voyager, Galileo, Cassini-Huygens, Magellan, Messenger e outras. Também há bons artigos em livros e enciclopédias sobre as missões soviéticas, como, por exemplo, as das sondas Luna, à Lua; Veneras, a Vênus e Mars para Marte.

No Capítulo 1 deste trabalho, onde é feita a análise dos exercícios dos livros do primeiro ano, há certo cuidado em não extrapolar os conhecimentos da própria disciplina. O mais relevante para o aluno é que ao término do primeiro ano letivo ele tenha um conhecimento da importância da gravitação na formação da atmosfera da Terra. Também será explorada uma ideia errada a qual consiste na representação da órbita da Terra de forma elíptica bastante excêntrica. O que os livros de física pouco esclarece é que a realidade é que a órbita da Terra é somente ligeiramente elíptica, sendo a sua representação mais correta, considerá-la como circular. O uso de fotos e figuras é importante porque será preciso mostrar essas diferenças, como dimensões e formas. Também são sugeridos problemas relacionados com as figuras, para que haja uma fixação por parte do aluno do que está sendo observado.

No Capítulo 2 abordamos os exercícios dos livros do segundo ano do ensino médio, dando ênfase à termodinâmica da atmosfera. Explorando o aquecimento das massas de ar, o aquecimento das águas dos oceanos, o consumo de energia e os percentuais dos gases nitrogênio, oxigênio, argônio e dióxido de carbono. Com relação às emissões do principal gás do “efeito estufa”, o gás carbônico, é feita uma comparação de volume desse gás no estado sólido. Também é analisada a questão da densidade da atmosfera do nosso planeta e seu volume, caso fosse resfriada, mudando da fase gasosa até chegar a fase sólida, sobre a superfície da Terra.

No Capítulo 3, abordamos a interação da atmosfera com a radiação do Sol, a superfície e o interior da Terra. Damos ênfase à constante solar e o importante papel da hidrosfera na regulação da temperatura do nosso planeta. Mostramos que no passado a Terra pode ter tido alterações significativas no clima com as grandes explosões e erupções vulcânicas. São relacionados exercícios e colocadas informações adicionais sobre a radiação solar.

No Capítulo 4 fazemos uma análise de gráficos sobre a evolução das emissões do dióxido de carbono e as faixas de emissão da radiação da Terra para o espaço, através das informações dos satélites que atualmente são exclusivos para essa coleta de dados. Também é feito um questionamento sobre as faixas de absorção de radiação do vapor d’água e do dióxido de carbono, gás atualmente considerado como principal causador das alterações climáticas.

O Capítulo 5 aborda a questão do degelo da Groelândia, no Ártico e as camadas de gelo sobre terra na Antártica. São apresentados dados e as implicações de um possível derretimento dessas capas de gelo no aumento do nível dos oceanos.

CAPÍTULO 1 - MECÂNICA - ATMOSFERA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Ao analisar os dois livros iniciais para o primeiro ano do ensino médio, tanto A1, quanto B1, não apresentaram textos significativos com relação aos aspectos ligados à mecânica e suas relações com o clima.

Para um estudo do primeiro ano do ensino médio uma questão fundamental relacionada com o clima da Terra tem a ver com a posição e forma de movimento do nosso planeta, tanto de rotação em torno do próprio eixo e sua revolução em torno do Sol. É também relevante uma abordagem progressiva sobre os corpos do sistema solar e algumas de suas características, ao longo do ano letivo.

Na sequência será listada uma série de exercícios e problemas que são considerados importantes retirados dos livros. Contudo, em virtude do livro B1 não apresentar uma abordagem mínima com relação ao tema ou ter problemas similares, os exercícios relacionados serão do livro A1.

LIVRO A1 - Exercícios e Problemas Seleccionados.

Livro A1: Na unidade 1 – Introdução- Na página 20, no exercício de fixação 11 há a informação da massa da Terra e solicita ao aluno que coloque o número em notação científica; no exercício 13, requer o cálculo do consumo de água em uma cidade grande em qualquer lugar do mundo em função do consumo médio de uma pessoa, por dia, de 200 litros de água, onde é solicitado o volume em m^3 de um reservatório para suprir a necessidade por um dia. O professor poderia complementar a informação da massa da Terra de $5,97 \times 10^{24}kg$ com alguns dados [1] e incluir a massa da atmosfera, $5,1 \times 10^{18}kg$ e da hidrosfera, $1,4 \times 10^{21}kg$, resolvendo alguns exercícios de comparação. Isso mostra que a massa da atmosfera é apenas 0,36% da massa da hidrosfera.

Na unidade 2 - Cinemática, página 61 há citações sobre as descobertas de Galileu onde são mencionadas as quatro luas de Júpiter e as fases de Vênus. Na página 67, o problema 21 e 22 referem-se ao cálculo de g em um planeta X e na Lua. No problema 30, página 68 aparece a comparação de queda de corpos na Lua e Terra. No capítulo 2 – Vetores e Movimento Curvilíneo, na página 100, problema 20, solicita o alcance de uma pedra rolando que se desprende de uma montanha.

Sobre velocidade terminal há uma situação real na página 164 que é relacionado com gotas de chuva caindo e uma pessoa em queda livre com a velocidade de 150 a 200 km/h antes da abertura do paraquedas. Este é um caso para o professor explorar em classe. Quando comparamos a atmosfera com a hidrosfera, os alunos entenderão que a atmosfera da Terra é de certa forma tênue. E poderão inferir sobre os 380 ppm de CO₂ em termos de toneladas ($1T = 10^3 kg$) na atmosfera. O fato de que na Lua não há atmosfera está relacionado em parte com as dimensões e massa do nosso satélite natural. Aqui é interessante a colocação de tabelas e fotos com informações adicionais, como, por exemplo, uma foto comparando Terra e Lua e também com outros corpos do sistema solar. Mas as fotos devem ser seguidas de algum questionamento ou problema, para que as coisas não se limitem à contemplação.

Um exemplo é o cálculo que pode ser feito em sala de aula sobre a energia de um objeto antes de entrar na atmosfera da Terra, como o asteróide (Chicxulub) que caiu há 65 milhões de anos na província de Yucatán, no México. Dados estimados [2] diâmetro 12 km, densidade 3000 kg/m³; velocidade 20 km/s. O diâmetro da cratera aberta em foi de 170 km [3]. É atribuída a esse objeto a extinção de muitas espécies de animais, inclusive os dinossauros.



Foto [1] – NASA – Pela sonda Galileu em 16 de dezembro de 1992. Segunda Passagem pela Terra em direção a Júpiter Em 16 de dezembro de 1992, oito dias depois do seu encontro com a Terra, a sonda Galileu olhou para trás a uma distância de cerca de 6,2 milhões de quilômetros (3,9 milhões de milhas) para capturar esta vista deslumbrante da Lua em órbita da Terra. A composição fotografica foi construída a partir de imagens obtidas com filtros na região da luz visível (violeta, vermelho) e infravermelho próximo (1,0 micron). A Lua está em primeiro plano, a sua órbita é da esquerda para a direita. Brilhantemente colorida a Terra contrasta fortemente com a Lua, que reage a apenas cerca de um terço da luz solar em comparação com o nosso mundo. Para melhorar a visibilidade de ambos os corpos, foi feito um contraste de cores por computador. Na parte inferior do disco da Terra, a Antártida é visível através das nuvens. O outro lado da Lua também pode ser visto. A zona sombreada no limite da aurora da Lua - a fronteira entre os seus lados sombrios e iluminados - é o Pólo Sul-Bacia Aitken, uma das maiores e mais antigas formações de impacto lunares. Esta característica foi amplamente estudada pela sonda Galileu durante o primeiro sobrevôo na Terra em Dezembro de 1990.

Uma tabela de dados só é útil na medida em que o professor pode explorá-los em sala de aula. Há uma informação interessante na tabela 2 que é os períodos da órbita das luas Galileanas IO e Europa. IO é uma lua vulcânica. Sua proximidade com Júpiter e tendo órbita síncrona com Europa e Ganimedes, (Relação 1:2:4 demonstrado por Laplace em 1805) faz essa lua ficar submetida em determinado tempo a “Marés Gravitacionais”, ou puxões gravitacionais, tendo, puxando, de ou lado, Júpiter e do outro, Europa e Ganimedes. Essas deformações (Encyclopedia of Solar System – Elsevier - Chapter 22 IO – The Volcanic Moon , p 421) acabam por gerar um calor interior na lua vulcânica Galileana IO. Pela tabela 2 podemos ver que IO, foto 6, é mais densa do que a Lua.

Outro fato interessante sobre essa lua Galileana é que a velocidade da Luz foi pela primeira vez determinada pelo astrônomo dinamarquês Roemer em 1675 analisando os tempos de dois eclipses particulares de IO (ver. Fundamentos da Física Volume 2 – Ramalho – 8ª Edição – Capítulo 10 p 195- Editora Moderna, 2005).

	Lua	Terra	Razão (Lua/Terra)
Massa (10^{24} kg)	0,07349	5,9736	0,0123
Volume (10^{10} km ³)	2,1958	108,321	0,0203
Raio equatorial	1738,1	6378,1	0,2725
Raio polar	1736,0	6356,8	0,2731
Raio médio volumétrico (km)	1737,1	6371,0	0,2727
Elipticidade	0,0012	0,00335	0,36
Densidade média (kg/m ³)	3350	5515	0,607
Gravidade (eq., 1 bar) (m/s ²)	1,62	9,80	0,165
Aceleração (eq., 1 bar) (m/s ²)	1,62	9,78	0,166
Velocidade de escape (km/s)	2,38	11,19	0,213

Tabela [1] – NASA – Lua e Terra.

	CALISTO	GANIMEDES	EUROPA	IO	LUA	MERCÚRIO	TITAN	TRITÃO	TERRA
Diâmetro (km)	4821	5262	3122	3643	3475	4879	5150	2705	12.756
Massa (10^{21} kg)	107,6	148,2	48,0	89,3	73,5	330,2	134,6	21,5	5970
Densidade (kg/m ³)	1830	1940	3010	3530	3340	5427	1881	2050	5515
Gravidade (m/s ²)	1,24	1,43	1,31	1,80	1,6	3,7	1,35	0,78	9,8
Velocidade de Escape (km/s)	2,4	2,7	2,0	2,6	2,4	4,3	2,6	1,5	11,2
Período de Rotação (horas)	400,5	171,7	85,2	42,5	655,7	1407,6	382,7	-141,0	23,9
Distância Orbital (10^3 km)	1883	1070	671	422	384	57.900	1222	355	149.600
Periapse (10^3 km)	1870	1068	664	420	363	46.000	1186	355	147.100
Apoapse (10^3 km)	1896	1072	678	424	406	69.800	1258	355	152.100
Período Orbital (dias)	16,7	7,2	3,6	1,8	27,3	88,0	15,9	5,9	365,2
Velocidade Orbital (km/s)	8,2	10,9	13,7	17,3	1,0	47,9	5,6	4,4	29,8
Inclinação Orbital (graus)	0,51	0,21	0,47	0,04	5,1	7,0	0,33	157,3	0,0
Excentricidade Orbital	0,007	0,0015	0,0101	0,004	0,055	0,205	0,029	0,000	0,017
Temperatura Média (°C)	-155	-160	-170	-155	-20	167	-180	-215	15
Campo Magnético Global?	Não	Sim	Não	Possível	Não	Sim	Desconhecido	Desconhecido	Sim

Tabela [2] – NASA – Principais luas do sistema solar, Mercúrio e Terra.

Para o aluno, a sua familiaridade deve ser gradual, mas o professor deve levar em conta os conhecimentos prévios da turma. Uma avaliação inicial deve ser primordial, a fim de que o professor tenha condições de aprofundar nas questões físicas dos objetos do sistema solar. Pois embora o livro didático mostre fotos de conquistas tecnológicas, como foguetes e telescópios, na prática, os autores dão muita ênfase às questões mais enfadonhas para o aluno, como problemas repetitivos de carros e trens, sendo esse item predominante no livro B1. Além disso, há uma boa abordagem histórica sobre o modelo de Ptolomeu, página 207 do livro A1, mas a forma de órbita correta da Terra não é mostrada. Normalmente os autores tendem a fazer uma ressalva quando explicam as leis de Kepler de que a elipse mostrada no livro está exagerada, mas não mostram uma figura da real forma da órbita da Terra. Esta não é uma situação boa para o aluno que tende a imaginar que a estação do verão é mais quente em virtude da Terra está mais próxima do Sol. No livro A1 há o problema 10 na página 227 que aborda essa questão. Esse erro conceitual é muito comum nos países do hemisfério norte no verão, onde as pessoas atribuem tempo quente à proximidade da Terra com o Sol, quando na verdade a Terra se encontra “ligeiramente” mais afastada do Sol nesse período. Exemplo: em 30 Jun 2011 a Terra se encontrava a 1,017 UA do Sol e em 31dez2011 estará a 0,983 UA de distância do Sol. (<http://cohoweb.gsfc.nasa.gov/helios/planet.html>).

Abaixo, a figura 1 mostrando as órbitas dos planetas até Júpiter. Os pontos amarelos são asteróides e as setas em direção ao Sol, em forma de cunha, em branco, são os cometas (Base de Dados da Nasa de 01 de julho de 2011). A figura 2, seguinte, é o sistema solar a partir de Júpiter. Na figura 3, podemos observar a órbita extremamente elíptica do cometa Halley e Hale-Bopp. Na figura 4 uma vista horizontal mostrando a inclinação da órbita de Halley, Hale-Bopp e o planetóide Plutão, em relação ao plano orbital dos planetas do sistema solar. Na figura 5, em destaque a órbita do planetóide Eris.

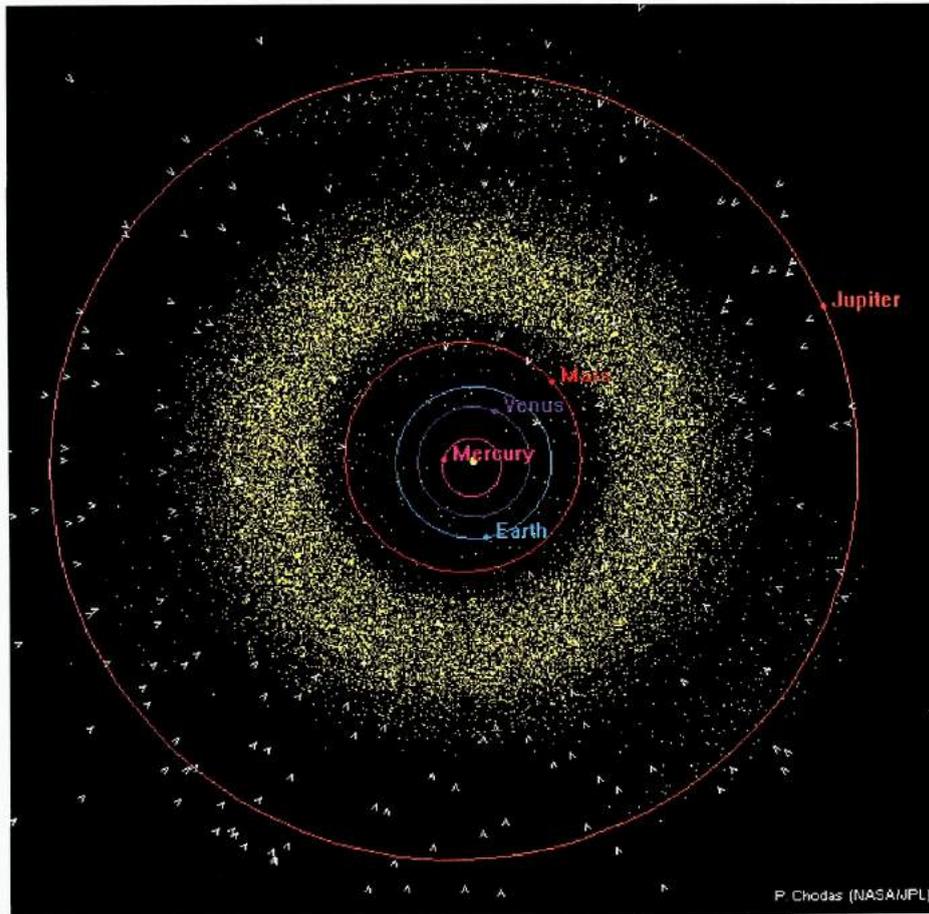


Figura [1] – NASA – O Sistema Solar até Júpiter visto de cima



Figura [2] – NASA – O Sistema Solar visto de cima.

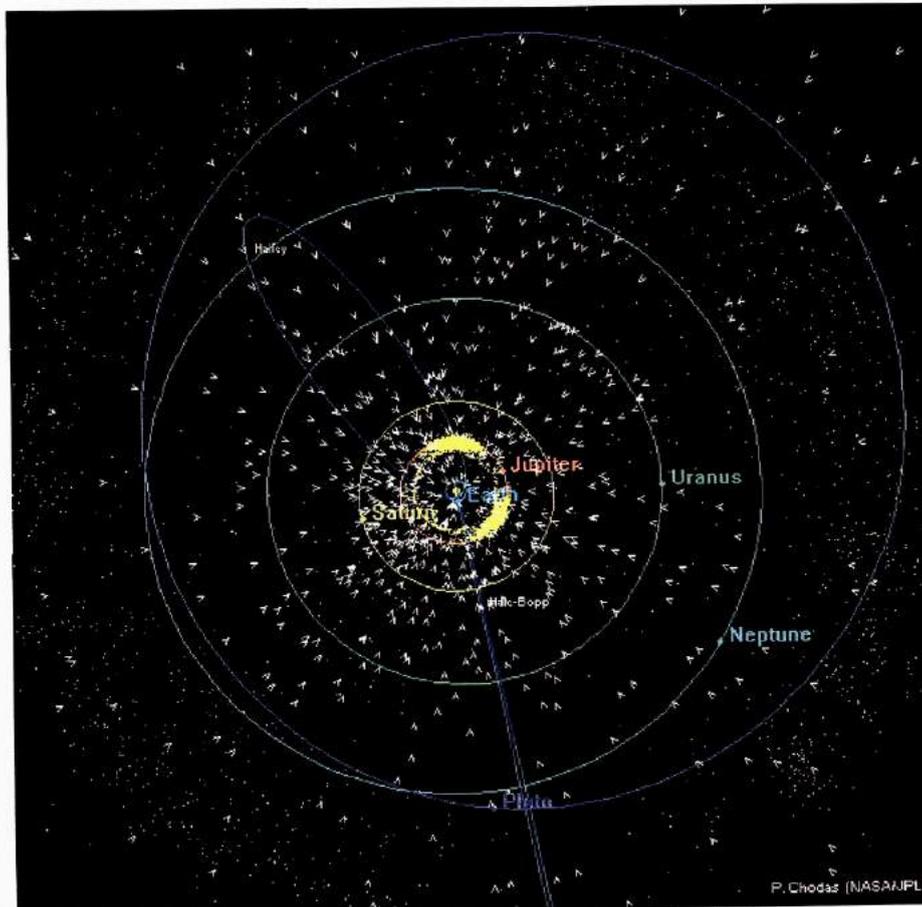


Figura [3] – NASA – O Sistema Solar e a órbita elíptica de Halley

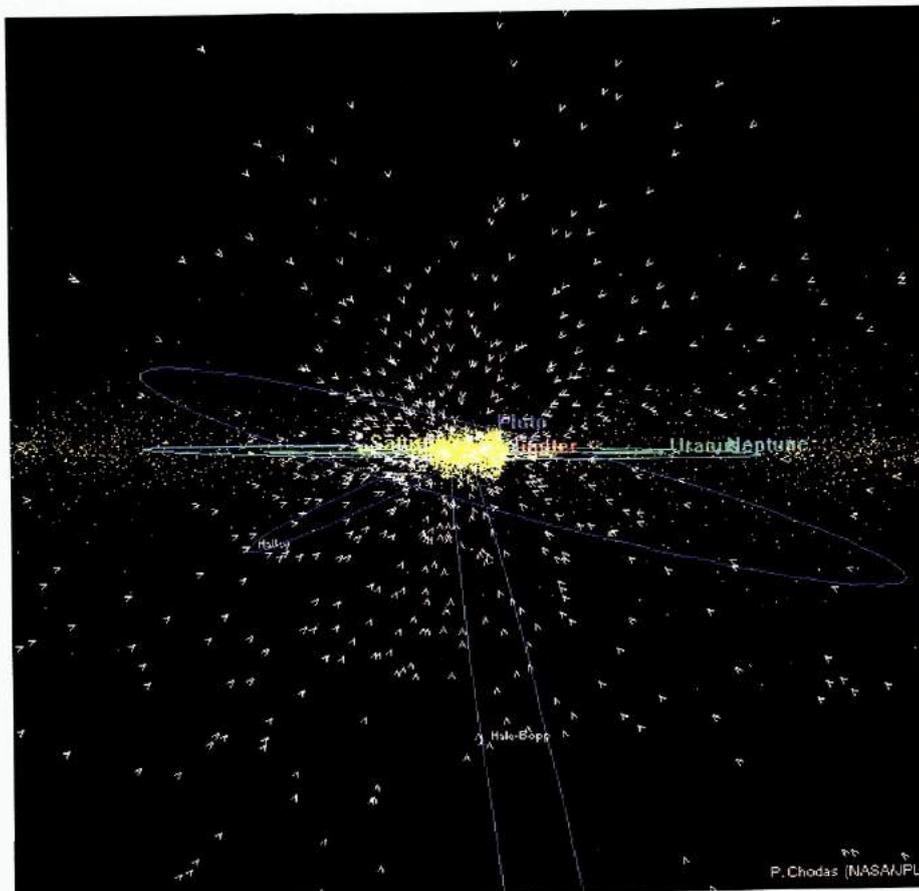


Figura [4] – NASA – Sistema Solar – Órbitas inclinadas: Plutão, Halley e Hale-Bopp.

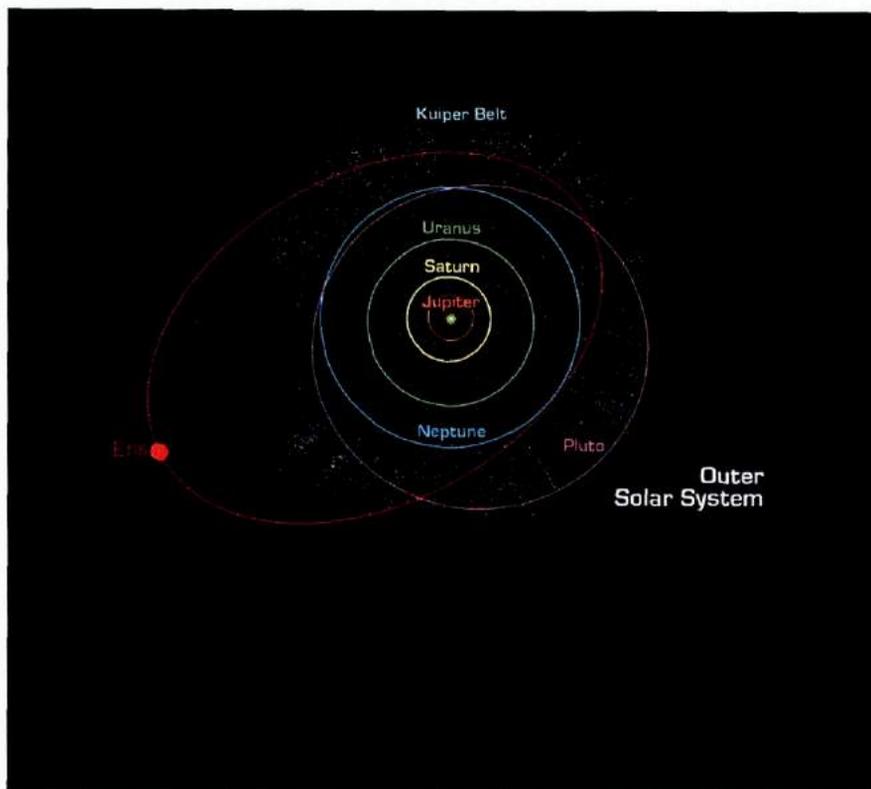


Figura [5] – NASA – Órbita excêntrica do planetóide Eris

Na página 165 do livro A1 há o comentário sobre meteoritos quando cruzam o céu e são vaporizados pela atmosfera. Ao mesmo tempo em que o professor poderá dar ênfase ao atrito na vaporização de pequenos meteoritos ou em partes destes, poderia também mostrar uma foto inteira da Lua com suas crateras de bilhões de anos, como nas fotos 3, 4 e 5. Aqui a ênfase seria na inferência sobre as dimensões do objeto que causou a respectiva cratera. E também mostrar que a Lua é um escudo protetor para grande quantidade de corpos que eventualmente se chocariam com a Terra. Na página 166, problema 28 há uma situação de um humano espacial que pula de um foguete na Lua e é perguntado no problema sobre o que acontecerá. Será que o paraquedas terá alguma influência em diminuir a velocidade do humano espacial na Lua?

A fim de que o aluno não fique com a ideia de que luas no sistema solar não podem ter atmosfera, o exemplo de Titan, uma das luas de Saturno é muito bom. Isso é um primeiro passo para o aluno começar a refletir que há mais fatores na formação da atmosfera em um planeta ou corpos do sistema solar. Em virtude da atmosfera densa, de 1,47 bar (Encyclopedia os Solar System- Chapter 25- Titan), foi preciso uma combinação de paraquedas, ver figura 6 abaixo, que permitiu a sonda Huygens pousar em Titan, em janeiro de 2005, após ser liberada da nave Cassini.

Um problema que pode ser sugerido para os alunos é o cálculo da velocidade média no último trecho da descida da sonda Huygens. Os três paraquedas serviram para reduzir a velocidade supersônica [4] de 6 km/s durante a entrada na atmosfera para 5m/s no impacto com a superfície .

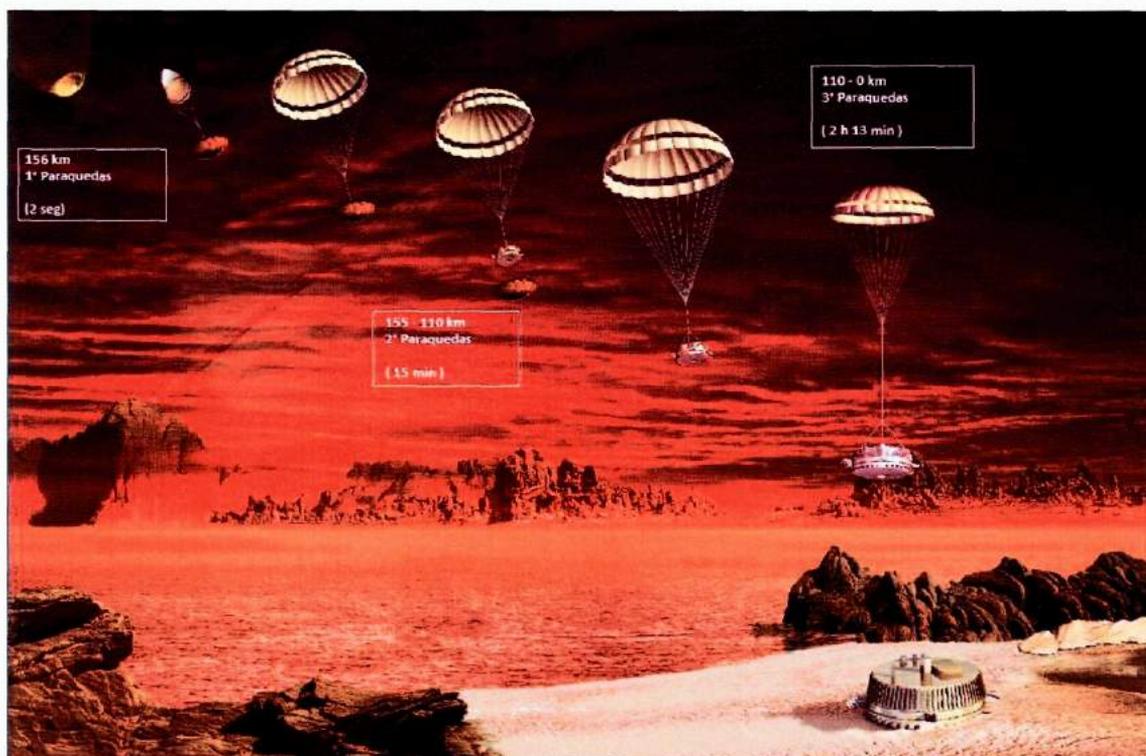


Figura [6] - Concepção artística da sonda Huygens na descida e aterragem em Titan, em 14 de Jan 2005. Crédito imagem NASA/JPL/ESA. Dados de Tempo de Pouso Enciclopédia of Solar System - Titan

Na página 225 do livro A1 há uma explicação sobre as marés e na página 226 uma breve descrição sobre a precessão do eixo de rotação ao longo de 26.000 anos. Um cálculo simples de quantos segundos por ano há de alteração na orientação do eixo de rotação pode ser sugerido. O valor da precessão [5] é de $5028,792(2)''$, por século, na inclinação de $23^{\circ}26'21''.4119$. O fato de a Terra girar em torno do Sol com essa inclinação em relação ao plano da órbita é de longe o fator mais relevante nas variações climáticas anuais, em virtude dessa inclinação, figura 7, dá origem às estações do ano. Contudo esse fato é considerado normal e atualmente estamos interessado em variações fora dessas já conhecidas.

Mais detalhes sobre as marés podem ser visto no livro [6], onde mostra a relação de 2,2 vezes, entre a influência da Lua e do Sol sobre as marés na Terra e sua variação na razão de $1/r^3$.

A figura 8 mostra a sequência da precessão em quatro figuras e foi montada utilizando a animação do site da NASA.

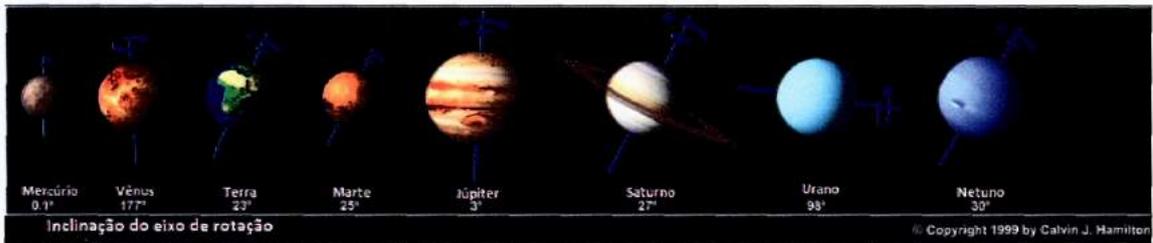


Figura [7] – Inclinação do Eixo de Rotação dos Planetas – Crédito a Calvin J. Hamilton.

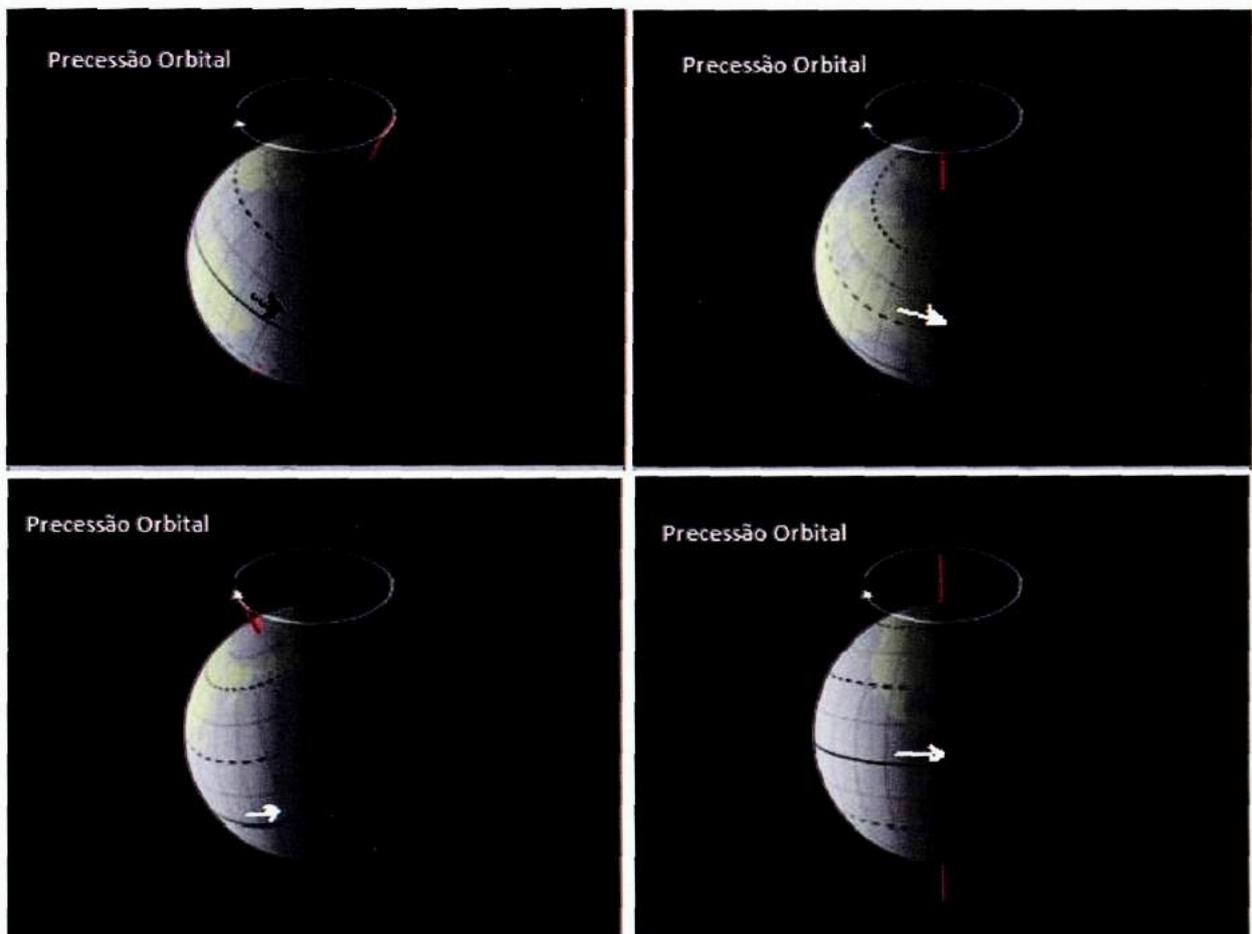


Figura [8] – Precessão – A cada 25.772 anos a Terra precessa em torno do cone definido pelo ângulo de inclinação. Quando observada do Polo Norte, o sentido da precessão é horário, ao contrário do sentido de rotação da Terra que é anti-horário, conforme seta. A parte de cima é o Polo Norte e a precessão é na direção horária deste referencial. Cada quadro representa um tempo de 6.443 anos.

Todas as partículas que compõem a atmosfera de um planeta estão sujeitas à lei da gravitação universal de Newton [7]. Dado duas massas m_1 e m_2 , separadas por uma distância r , existe uma força atrativa entre essas duas massas que é igual a:

$F = -G \frac{m_1 m_2}{r_{1,2}^2} \hat{r}_{1,2}$, onde os sub-índices 1,2 são referentes ao raio ou distância entre centro das massas m_1 e m_2 . O $\hat{r}_{1,2}$ é o vetor unitário orientado do centro da massa m_1 para a massa m_2 . Neste caso estamos considerando a força exercida pela massa m_1 sobre a massa m_2 . O sinal negativo é para lembrar que a força é atrativa e em sentido contrário ao da orientação das duas massas. E de uma forma simplificada, podemos trabalhar com o módulo da força e então as orientações vetoriais não precisam aparecer. Desta forma, a equação fica assim:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$G = 6,67 \times 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2}$, é a constante gravitacional universal. Qualquer objeto colocado na superfície do planeta terá que vencer a força devida à atração gravitacional do planeta para poder escapar de seu domínio gravitacional.

Então um aspecto importante na retenção de atmosfera por um planeta é a sua velocidade de escape. É a velocidade que um objeto precisa ter ao ser lançado para escapar da atração gravitacional do planeta. Em condições ideais sem atrito, a velocidade pode ser calculada, utilizando-se a fórmula abaixo. Para deixar o campo gravitacional terrestre, átomos e moléculas também estão sujeitos a esse cálculo de velocidade.

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM_p}{R_p}}, \text{ com } M_p \text{ a massa do planeta e } R_p \text{ o raio do planeta.}$$

Na foto 2- montagem - abaixo é possível comparar os tamanhos dos quatro planetas rochosos. O fato interessante é que Mercúrio não tem atmosfera, e em Marte ela é muito rarefeita. Já em Vênus ela é muito densa e a imagem da superfície do planeta- na foto 2 só foi obtida por RADAR, pela sonda Magellan.

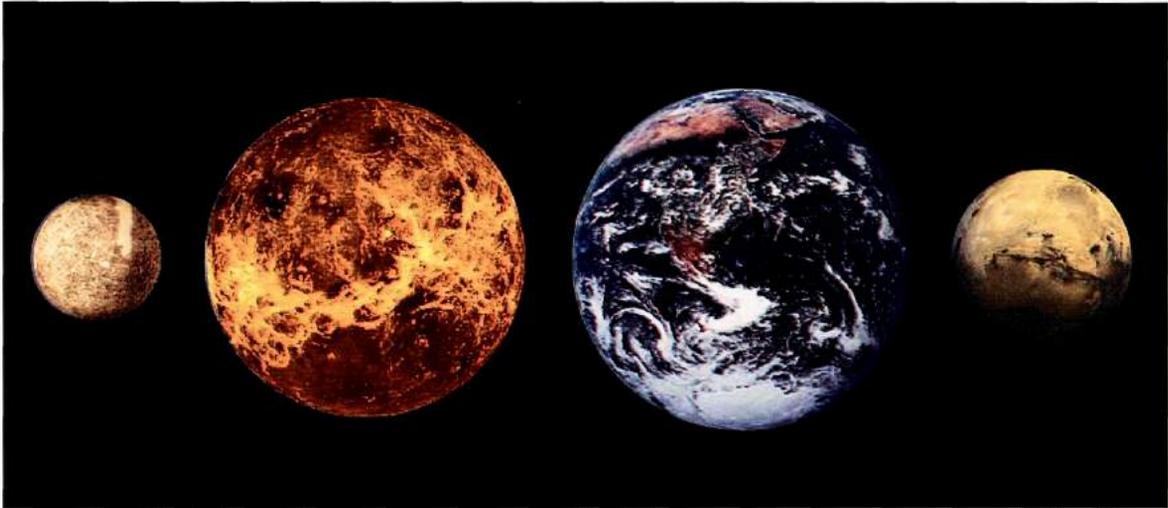


Foto [2] – NASA Montagem – Comparação de tamanho: da esquerda para a direita: Mercúrio, Vênus, Terra e Marte. A foto de Mercúrio pela sonda Mariner 10 em composição de imagem de 45% da superfície em 1974 e 1975; a foto de Vênus pela sonda Magalhães no mapeamento por RADAR em 1991; a foto da Terra foi tirada pela Apollo 17 em 1972, mostrando a África e Antártica; foto de Marte, em mosaico de 102 imagens feitas pela nave Viking 1 em 1980



Foto [3] – Lua - Crédito NASA - Foto Tirada Pela Sonda Galileu em 7 de Dez. 1992



Foto [4] – Lua. Em 9 de Dez. 1990. Pela Sonda Galileu – Primeira passagem pela Terra

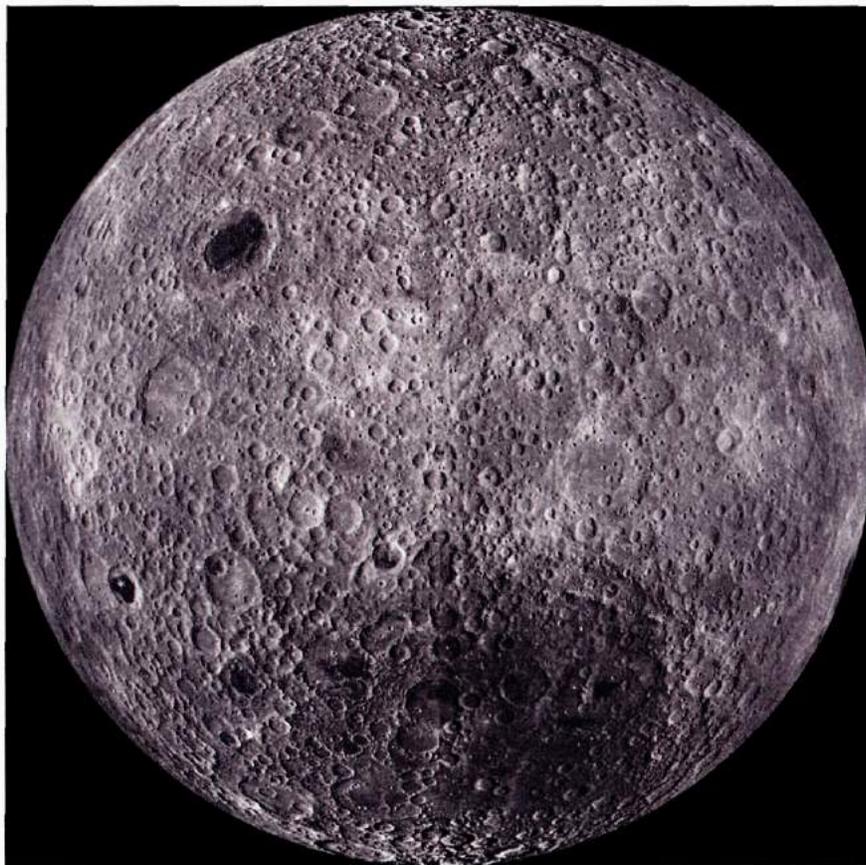


Foto [5] – NASA. O lado distante da Lua – Missão LRO – Lunar Reconnaissance Orbiter – Lançado em 18 de junho de 2009 do Cabo Canaveral – Flórida. Esta foto mostra em detalhes o lado sempre oculto da Lua, quando vista da Terra. A Lua ao orbitar a Terra sempre mantém o mesmo lado para o nosso planeta em virtude de seu travamento gravitacional. Quem primeiro fotografou esse lado distante foram os soviéticos em 1959 no projeto Luna 3.

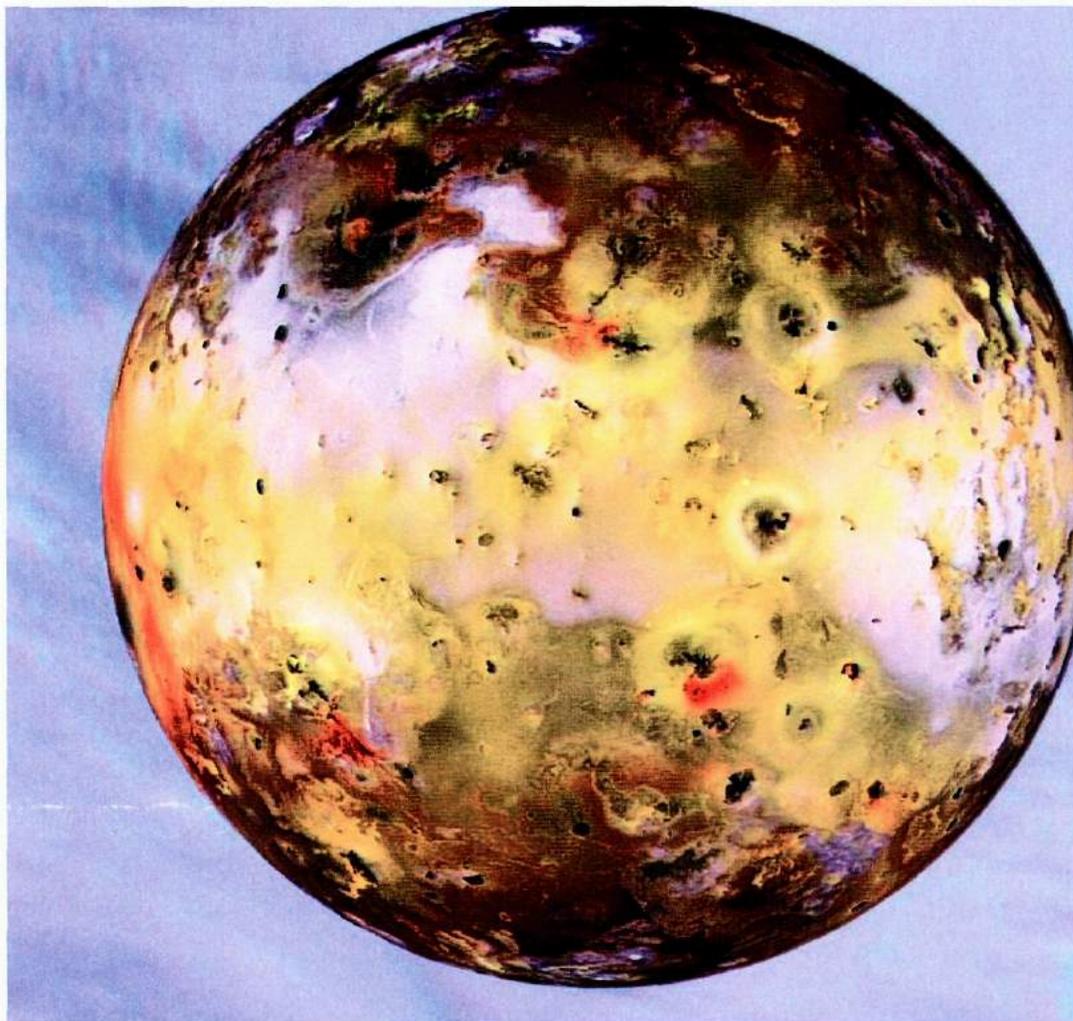


Foto [6] – IO a lua vulcânica de Júpiter, pela sonda Galileu [8] a 487.000 km de IO e a 908.000 km de Júpiter, ao fundo, atmosfera em azul devido ao filtro na foto. Em 7 de Setembro de 1996 – NASA

CAPÍTULO 2 – TERMODINÂMICA E A ATMOSFERA

Dando prosseguimento ao estudo do texto e problemas, nos livros A2 e B2 [1] do ensino médio, foram selecionados alguns textos e problemas considerados relevantes para o estudo da termodinâmica associada ao clima.

Na página 54 do livro A2, no estudo da dilatação volumétrica, há uma explicação sobre os deslocamentos de massas de ar de regiões frias para regiões quentes; na página 57, também do livro A2, temos o gráfico da dilatação irregular da água, com o mínimo de volume próximo de 4 °C. Contudo, o livro não aborda as possibilidades, como, por exemplo, águas superficiais mais quentes do fenômeno El Niño ou de águas superficiais mais frias, La Niña, no oceano Pacífico e variações significativas no clima, como períodos de secas, tanto quanto de chuvas intensas nos países da América do Sul. Um problema interessante aqui proposto seria calcular com os alunos qual a variação em termos de elevação no nível dos mares, caso em um século tivéssemos um aumento de 1°C na temperatura média nas águas dos oceanos.

Continuando o estudo, na página 65 o texto ressalta a importância da termografia em pesquisas meteorológicas. O comentário aqui é que o autor poderia ser mais enfático e complementar o texto com a aplicação da termografia na previsão do tempo, que é importante atualmente no alerta sobre ondas de calor, ventos fortes e chuvas torrenciais. Na página 114, o livro A2 aborda a variação rápida da temperatura no deserto durante o dia e o rápido resfriamento durante a noite em função do baixo calor específico da areia. Há um problema que o professor deve resolver em sala de aula é o da página 135: o problema 3 é interessante porque dá um valor aproximado da água da hidrosfera e pede para o aluno calcular por quantos anos a energia que a variação de um grau, no abaixamento da temperatura dessa massa de água, liberaria para suprir a demanda mundial. É considerado no problema como sendo de 10^{20} J por ano o consumo de energia elétrica mundial. A crítica aqui nesse problema é que o valor de água da hidrosfera de literatura especializada é 40% (Ver Capítulo 1) maior do que o valor informado no exercício do livro. Uma maior exatidão na informação de medidas e valores que são relevantes para um melhor entendimento do tema deveria ser observada pelo autor. Um aluno curioso que realizasse alguns cálculos com relação à profundidade média dos oceanos, tomando por base valor de profundidade média em alguma literatura, encontraria erros grosseiros com o valor de medida da hidrosfera dado no livro. Na mesma página, o problema 4 requer uma análise sobre o calor específico da areia do deserto. Há também o exercício 17 na página 136 sobre o calor específico da areia da praia e a

água do mar. Na página 172 há uma tabela sobre ponto de ebulição de algumas substâncias, onde é mostrado o calor de vaporização da água de 540 cal/g, na transição de fase. Nas páginas 180 a 184 é feito uma abordagem sobre temperatura crítica e pressão de vapor. Essa análise é essencial para entendermos sobre umidade relativa e vapor de água na atmosfera. A experiência da página 183 é interessante e deve ser realizada pelos alunos em sala.

O livro poderia abordar ao tratar de aquecimento das massas de ar e ventos o fato de que uma determinada parcela de ar [2] quente e úmida ao subir sofre uma expansão adiabática, sem transferência de calor para a vizinhança, tornando-se mais fria, que faz reter menos umidade na parcela de ar e possibilitando a formação de nuvens.

A partir da página 141, livro A2, é feito o estudo da radiação, que será abordado no Capítulo 3.

No Livro B2, página 39, há um gráfico da variação da densidade da água em função do aumento da temperatura. Na página 57, o problema P-68 trata do fenômeno El-Niño. Nesse problema utilizando-se a equação $Q = mc\Delta T$, onde ainda são fornecidos: variação de temperatura, volume de uma faixa do oceano, calor específico da água e densidade. No problema é solicitada a energia necessária para provocar esse aumento de temperatura e faz uma comparação com a produção de energia elétrica atual do Brasil. Na página 87 comenta sobre o ponto crítico do CO_2 e da água; na página 91, que aborda o ciclo da água na natureza, traz o problema 118 que trata da sublimação do gelo seco; na página 97 o Teste 128-Enem, trata do ciclo da água; na página 104, o texto é sobre a lâmpada de segurança dos mineiros na detecção do gás metano; na página 106 fala sobre o alto calor específico da água e o seu lento aquecimento na explicação sobre a brisa marítima de dia e à noite a brisa terrestre; na página 110 e 111 há uma breve abordagem sobre a presença do vapor da água e CO_2 na atmosfera produzindo o efeito estufa. É mencionado no livro que o aumento progressivo da quantidade de CO_2 na atmosfera pela ação humana é motivo de preocupação, tendo como consequência a elevação da temperatura média da Terra, o que pode até provocar inundações em virtude da fusão do gelo polar. Um aspecto importante seria o autor quantificar melhor a questão do dióxido de carbono e sua variação anual, que será exemplificada neste capítulo.

Quando os relatórios mostram um quadro de consumo de energia mundial por tipo de fonte, normalmente essas informações estão em milhões, bilhões, trilhões ou quatrilhões, dependendo do tipo de unidade. Por exemplo, o gráfico abaixo está em BTU (British Thermal

Unit), que não é uma unidade de medida nada amigável, já que é definida [3] como a quantidade de energia necessária para elevar a temperatura de uma massa de uma libra de água, 454 gramas, de 59,5 °F para 60,5 °F. Então é mais interessante utilizar a relação BTU→Joule. 1BTU = 1055,0585 J, na análise do gráfico. Mas a melhor análise que podemos fazer do gráfico é que os combustíveis fósseis lideram em muito o consumo em relação às outras fontes como hidrelétrica, nuclear e solar, por exemplo. Também é possível observar uma pequena redução na utilização do carvão nos dois períodos.

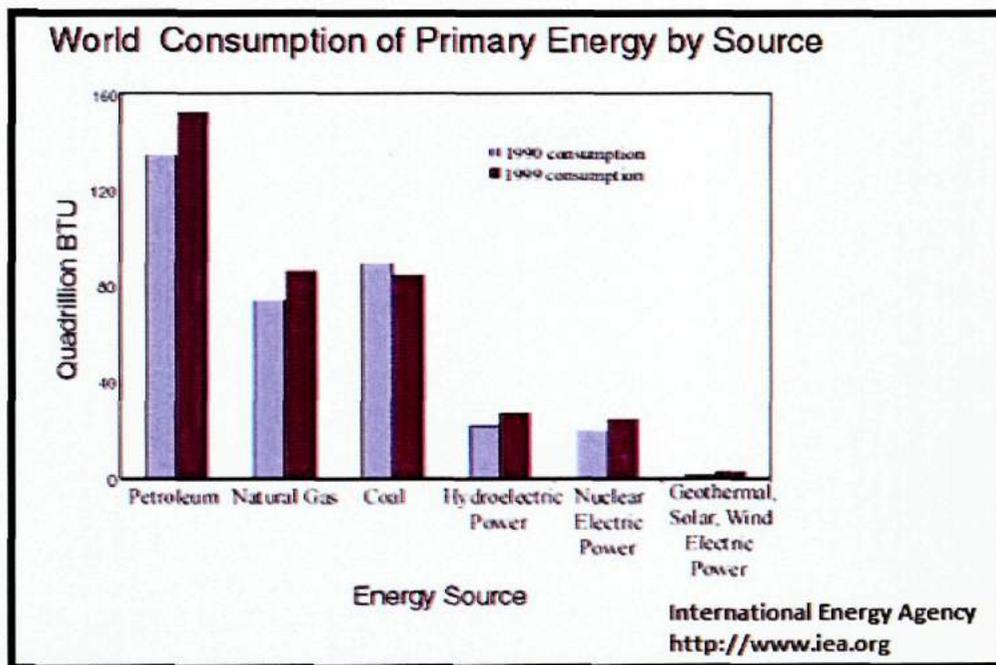


Figura [1] – Consumo mundial de energia por fonte.

Muitas vezes também aparece informação em W.h (potência em Watts x tempo de uma hora) e queremos converter para Joules. Neste caso devemos saber que $1W = 1J/s$. Logo em uma hora, temos 3.600 segundos. Então é só multiplicar o primeiro lado por h(hora) e o segundo lado da igualdade por 3.600. Fica assim $1W.h = 1 \frac{J}{s} 3.600s = 3.600J$. Da mesma forma, caso a energia consumida fosse indicada como $1kW.h = 3.600 kJ = 3.600.000J$. Entender valores de energia em Joules é mais simples porque estamos mais familiarizados com essa unidade do SI, mas na medida em que os números passam dos milhares, procuramos sempre uma unidade ou relação mais conveniente. Como o BTU é uma exceção, o melhor mesmo é utilizar a relação de conversão na leitura e interpretação de gráficos onde essa unidade de medida aparece.

Para fins de cálculo, imaginemos que uma família em uma casa ou apartamento com 4 pessoas tenha um consumo médio de 240 kWh por mês. Neste caso dizemos que o consumo foi de 60 kWh/mês por pessoa. Dividindo por 30 dias, fica assim: $60 \text{ kWh}/30 \text{ dias} = 2 \text{ kWh}/\text{dia}$. Fica mais simples dizer que o consumo foi de 2 kWh por dia do que dizer que em um dia cada pessoa utilizou na média $2 \times 3.600.000 \text{ J} = 7.200.000 \text{ J}$ a cada dia. Também poderíamos fazer o consumo anual por pessoa que seria de 60 kWh/mês, multiplicado por 12 meses = 720 kWh em um ano. Mas como sabemos que kWh é potência vezes tempo = trabalho, podemos converter esses 720 kWh para Joules, bastando para isso multiplicar o valor de 720 por 3.600. Feito isso encontramos 2.592.000 kJ. E para não aparecer o fator k, basta multiplicar por 1.000. Desta forma, na residência analisada, uma pessoa utiliza $2,592 \times 10^9 \text{ J}$ anualmente. Os valores utilizados acima foram apenas para mostrar que a quantificação de medidas com exponenciais elevadas são menos compreensíveis e no caso do exemplo, a forma mais simples de representar esse consumo seria mesmo 720 kWh/ano.

Então, voltando à questão do efeito estufa de que trata o Livro B2, faremos um problema relacionado com a emissão do dióxido de carbono. Há vários sites sobre emissão de CO₂ por tipo de transporte. Somente para comparação, utilizando as informações do site [4], supondo um carro que roda 20.000 km/ano, com apenas um ocupante. Então a emissão é de 2.560 kg de CO₂ por ano. Caso fizéssemos uma esfera de gelo seco com essa massa, essa esfera teria um raio de 0,731m e volume de 1,639 m³. A comparação de peso e volume do gelo seco pode ser feita também com uma caixa d'água de 1 m³ ou 1.000 litros, que é algo mais usual, nas figuras 4 e 5.

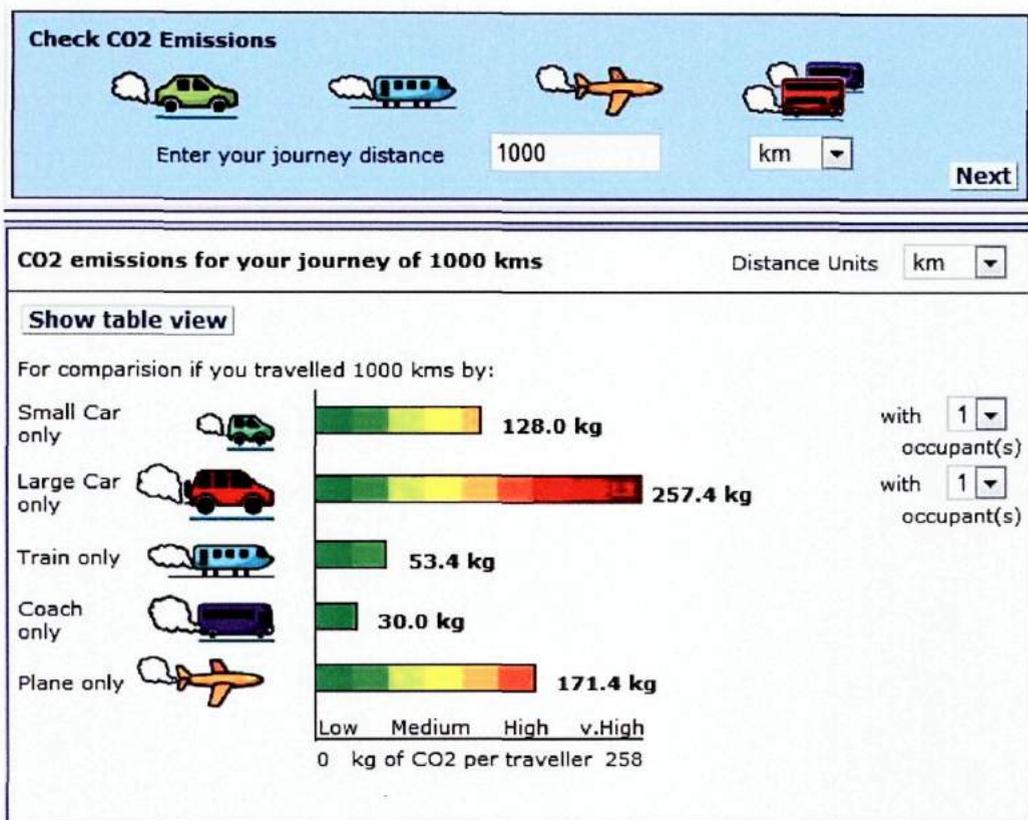


Figura [2] – Emissão de dióxido de carbono para uma jornada de 1.000 km para um ocupante no veículo. Comparação com outros tipos de transportes.

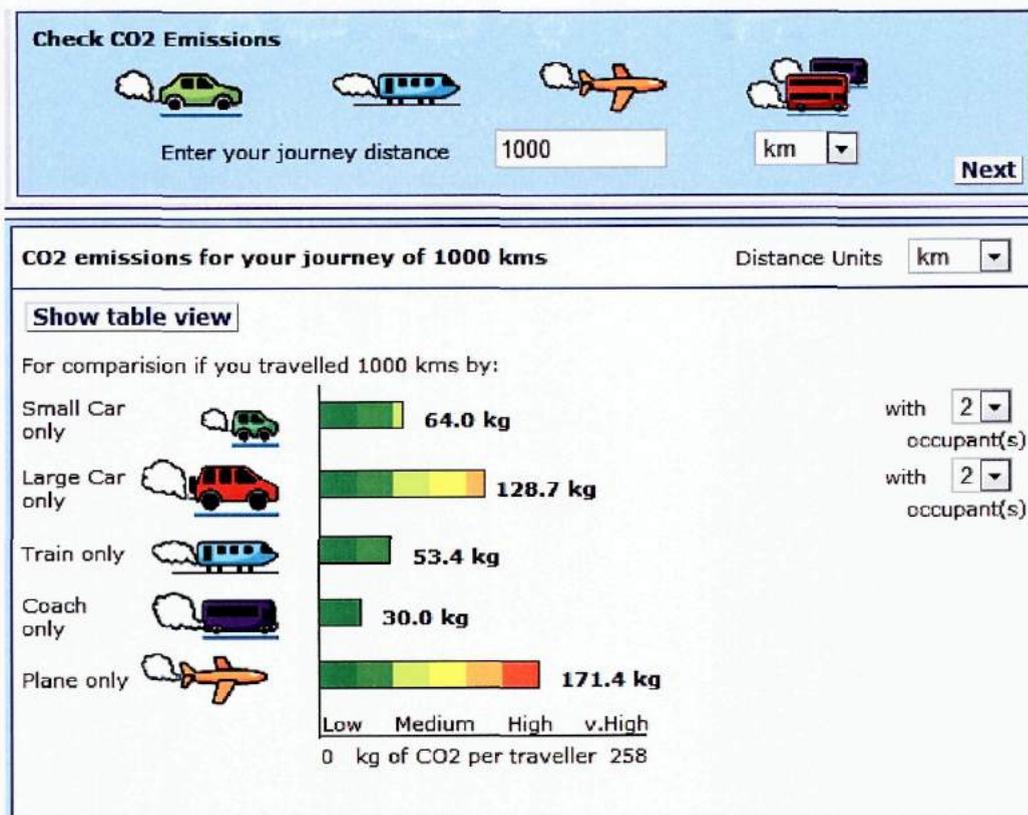


Figura [3] - Emissão de dióxido de carbono para uma jornada de 1.000 km para dois ocupantes no veículo. Comparação com outros tipos de transportes. Crédito <http://www.transportdirect.info/Web2/Home.aspx>

Uma dificuldade para o aluno é a quantificação dos números. Então quando dizemos que deixamos de emitir um milhão de toneladas de CO_2 , por exemplo, não há uma relação para que ele possa comparar. O que isso realmente significa? É muito comum em festas, congressos ou programas de televisão, algumas pessoas ou jornalistas ao final da apresentação do evento, de uma reportagem ou documentário, dizerem que as emissões de carbono foram neutralizadas com o plantio de X árvores. Infelizmente os livros de física do ensino médio não dão nenhuma base para o aluno ao final do segundo ano e mesmo do terceiro ano, inferir sobre tais medidas e gráficos. Mas alguém poderia questionar e dizer que os livros trazem a informação da variação de pressão com a altitude e o peso de um metro cúbico de atmosfera ao nível do mar e que o aluno poderia utilizar esse dado e desenvolver os cálculos com ppm de CO_2 e pesquisar o restante em outras fontes. Mera ilusão. Quando o livro já traz informação e exercícios, então existe uma diretriz que o professor pode traçar na exploração do tema. Sem isso, fatalmente cairá no vazio, pois é improvável que o aluno, com tantos afazeres, vá explorar um tema que nem está no livro e não terá condições de encontrar dados confiáveis e checar com outras fontes. Então é fundamental que o livro disponha de tais informações. E esses exercícios devem fazer parte do currículo do livro 2 do ensino médio, como exercícios resolvidos no livro, uma vez que informações vagas de testes de vestibular não constitui propriamente uma abordagem do tema, mas deixará muito mais responsabilidade nas mãos do professor.

Quando aparece algo relacionado com o clima nos problemas e testes em que os tópicos foram tratados vagamente na seção ou capítulo do livro, ou mesmo quando não houve nenhuma abordagem, então o propósito foi quase que meramente manipulação de variáveis. Grandes números, quando passam dos milhões, começam a complicar a vida do aluno e sem uma visualização com valores do seu convívio diário perdem a utilidade para fins comparativos com suas ações cotidianas. Então encontraremos pessoas que desligam a sua TV do modo “Stand By” quando vão dormir e acreditam que estão dando uma contribuição significativa para a diminuição dos gases do efeito-estufa, mas ao mesmo tempo mantém o carro parado e funcionando por vários minutos em situações que poderiam aguardar com o veículo desligado. É claro que do ponto de vista da física, um LED aceso através de um circuito eletrônico energizado, com certeza tem algum consumo. Havendo consumo de energia elétrica, que sendo oriunda de uma termelétrica, por exemplo, algum calor a mais foi gerado através da queima de combustível fóssil para suprir esses pequenos valores de

milhares de consumidores. Mas também milhares de carros funcionando em um engarrafamento supera de forma incontestável os LED'S acessos pelo resto do ano.



Figura 4 – Comparação entre o peso de 1000 kg de água e emissão de 2560 kg de CO_2 por um carro pequeno rodando 20.000 km em um ano. Na forma de gelo seco.

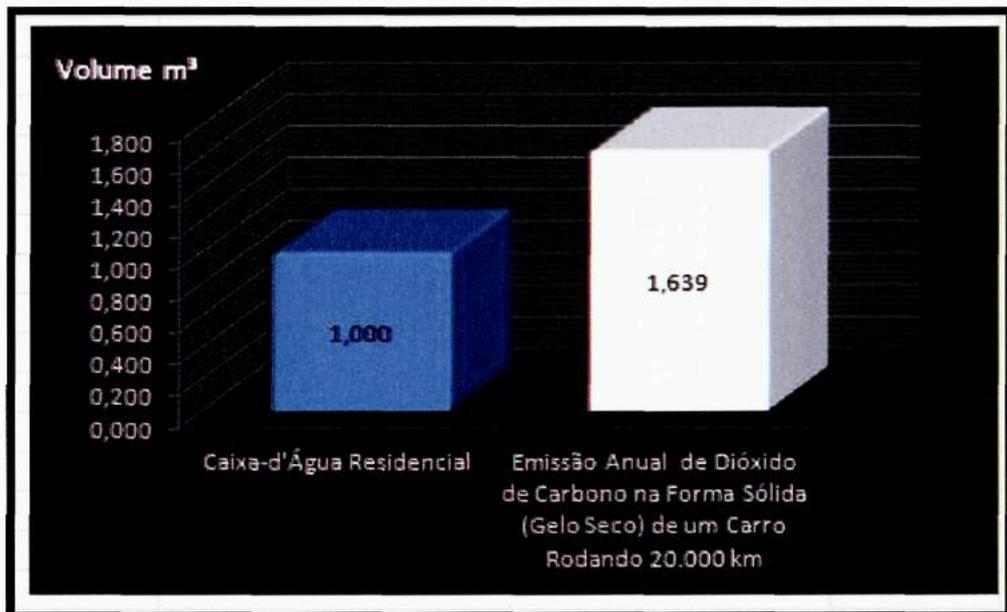


Figura 5 – Comparação de Volume.

Iniciaremos fazendo a comparação entre o peso de 1.000 kg de água em uma caixa d'água cheia, com capacidade para um metro cúbico e o peso da emissão de dióxido de carbono por um carro pequeno, rodando 20.000 km em um ano, com um valor de emissão estimada de 12,8kg de CO_2 para cada 100 km. Ao resfriarmos todo esse volume de gás carbônico, até obtermos a forma sólida de gelo, então teríamos um bloco de 1,639 m³. Verificar densidade na Tabela 1. Para encontrar o volume do gás que esse bloco de dióxido de carbono faria é só utilizar a equação $PV = nRT$. Na pressão de uma atm, e na temperatura de 25 °C (298,15 K), volume em litros (dm³) e $R = 0,082 \text{ dm}^3 \text{ atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$. Para 2560 kg de CO_2 , o número de mols será de $2.560.000\text{g}/44,01\text{g} = 58.168,6$ mols. Logo o volume em litros será de 1.422.123 litros ou 1.422m³. Aqui estamos considerando os cálculos como um gás ideal. Quando desejarmos o volume direto em m³ é só utilizar a pressão em Pascal e $R = 8,31\text{Pa m}^3 \text{ K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$.

Comparando com o estádio de futebol do Rio de Janeiro, o Maracanã, de acordo com dados do site [5], podemos estimar o volume considerando uma elipse com área $(\pi \cdot a \cdot b) \cdot h$ (3,14159 x 320/2 x 282/2 x 32) aproximadamente $2,267 \times 10^6 \text{ m}^3$. Então imaginemos um vaso com essas maiores dimensões tal que contivesse um Maracanã em seu interior e desejássemos calcular o volume de gás que seria ocupado pela emissão de gás carbônico de um carro na condição do problema acima, o volume seria de 0,063% do vaso. Ou seja, seriam necessários aproximadamente 1590 carros em um ano com essa emissão de 1.422 m³ de CO_2 para completar esse volume, com aproximadamente (1590 x 2560 kg = 4.070.400 kg, ou 4.070 toneladas do gás). O cálculo também pode ser feito diretamente utilizando o valor da densidade do dióxido de carbono de 1,977 kg/m³ a 0°C (273,15 K) dado da Tabela 1 e fazendo a correção para a temperatura de 25 °C(298,15K). Haverá uma pequena diferença entre os valores calculados, em função de termos considerado no problema dióxido de carbono como gás ideal.

Supondo que desejássemos armazenar esse gás na forma de gelo seco, então iríamos perceber que o nosso espaço seria bem menor para cada ano de emissão desses 1590 carros. Aqui não estamos considerando outros gases emitidos pelos veículos como, por exemplo, os óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono e vapor d'água. A redução de volume quando o gás carbônico fosse resfriado e se transformasse em gelo seco, seria muito grande, próxima de 868 vezes (considerado como gás ideal a 25°C). Então esses mesmo 1590 carros levariam por

volta de 868 anos pra completar o volume de um cilindro com as dimensões do maracanã. Ver Figura 6.



Foto [1] – Maracanã – <http://pt.wikipedia.org/wiki/Maracan%C3%A3> – Acesso em

17/09/2011

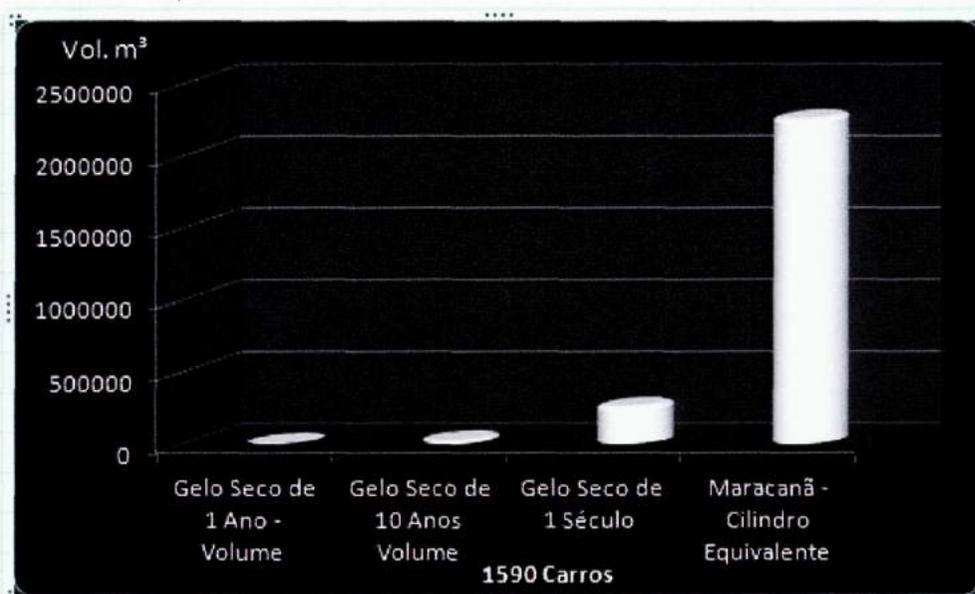


Figura 6 – 1590 Carros Rodando – Volume Gelo Seco 1 Ano – 10 Anos – 1 Século. Comparação com o volume de um cilindro equivalente ao Maracanã que os 1590 carros demorariam 868 anos para completar.

Tabela 1 - Principais Gases Constituintes da Atmosfera da Terra [6]:

Substância	Densidade (kg/m ³)			Pontos de (K/°C)		% Volume % Peso na Atmosfera
	Gás	Líquido	Sólido	Fusão K °C	Vaporização K °C	
Nitrogênio	1,251	808	1,026x10 ³	63,15 -210,00	77,36 -195,79	78,08 75,49
Oxigênio	1,429	1,141x10 ³	1,36 x10 ³	54,36 -218,79	90,20 -182,95	20,95 23,14
Argônio	1,784	1,40x10 ³		83,80 -189,35	87,30 -185,85	9340 ppm 1,29
Gás Carbônico	1,977	770 Nota2	1,562x10 ³	Nota 2	194,65 -78,5	390 ppmv 0,0592

1. Tabela 1 – Densidade Wikipedia – % na atmosfera – Nasa Earth Fact Table
2. Peso atmosfera ar seco $5.1352 \pm 0.0003 \times 10^{18}$ kg [7]
3. Nota 2- Dióxido de Carbono Líquido somente em pressões acima de 5,1 atm. O ponto triplo é a 518 kPa a -56,6°C. O ponto crítico é a 7,38 MPa a 31,1 °C. A densidade de 770 kg/m³ é na pressão de 56 atm a 20 °C. 1,977 kg/m³ a 1 atm e 0°C. A temperatura de sublimação do CO₂ na pressão de uma atm é 194,65 K, -78,5 °C. Massa total de CO₂ na atmosfera = $3,04 \times 10^{15}$ kg.

Outra questão diz respeito o quanto densa é a atmosfera da Terra. Temos mencionado que a Terra tem uma fina camada de diversos gases dos quais o N₂ e o O₂ são predominantes, com 99% do volume total. Em quantidades menores, temos o argônio e o dióxido de carbono, que chegam próximo de 1% do volume. Há também outros gases em quantidade bem menores, em partes por bilhão, tais como o hidrogênio, hélio e metano.

Essa camada tênue de ar é que nos mantém vivos, respirando. Igualmente há nos oceanos uma infinidade de seres vivos que também dependem dessa atmosfera. A distância média que está a Terra do Sol e as dimensões e densidade do nosso planeta permitiram a retenção desses elementos em sua forma gasosa. Embora a Terra seja bem quente em seu interior, a radiação que escapa para a superfície é bem pequena, comparada à radiação incidente proveniente do Sol.

Um dos problemas bem interessantes da Termodinâmica que o professor poderia explorar em sala de aula é o seguinte: imagine que por alguma razão o Sol deixasse de emitir sua energia e a Terra entrasse na mais completa escuridão. Não existindo nenhum tipo de radiação que pudesse nos aquecer, desta forma então, em alguns dias, toda a atmosfera

começaria a liquefazer e depois solidificar, a ponto de termos neve de dióxido de carbono e rios de nitrogênio e oxigênio e depois uma camada sólida desses gases cobrindo todo o planeta Terra. Desse modo qual seria a altura que essa geleira atingiria, na média? A resolução desse problema envolve conhecermos a densidade, da forma sólida em baixas pressões, do nitrogênio e oxigênio. Então devemos calcular o valor correspondente em termos de peso para cada percentual em volume, ou pegar diretamente da Tabela 1. Como o nitrogênio e o oxigênio correspondem a aproximadamente 99% do volume da atmosfera, podemos calcular diretamente os dois gases e deixar o restante para os demais componentes.

Poderíamos imaginar o problema de outra forma: um viajante espacial ao passar pela Terra e observasse que esta estava com uma fina camada de gelo de nitrogênio, oxigênio e também em menor quantidade argônio e dióxido de carbono, tudo por cima de uma camada maior de gelo de água e não mostrasse nenhuma atmosfera, então o viajante mediaria somente os valores referentes a esses gases e deduziria qual a pressão que esses elementos exerceriam caso retornassem a sua forma gasosa. Esse é o problema ao contrário.

Hoje o que temos é a atmosfera e queremos saber que altura teria a camada de gelo formada por esses gases. O cálculo pode ser efetuado de um modo aproximado, com algumas observações. Devemos considerar que no caso da atmosfera, a pressão seja dada apenas em função da aceleração da gravidade sobre a massa de ar. Sabemos que ao nível do mar a pressão atmosférica é maior do que nas montanhas, uma vez que a coluna de ar acima daquele ponto é mais rarefeita. Há também variações na temperatura do ar e no valor de g , à medida que nos distanciamos da superfície do planeta. Mas estamos desprezando a variação no valor de g e utilizando seu valor de superfície. Desta forma faremos uma analogia com o experimento de Torricelli. Consideraremos que a massa de mercúrio contida em um tubo de seção de 1 cm^2 é equivalente à massa de ar da atmosfera, ambos submetidos ao mesmo valor de g , atuando em 1 cm^2 de área.

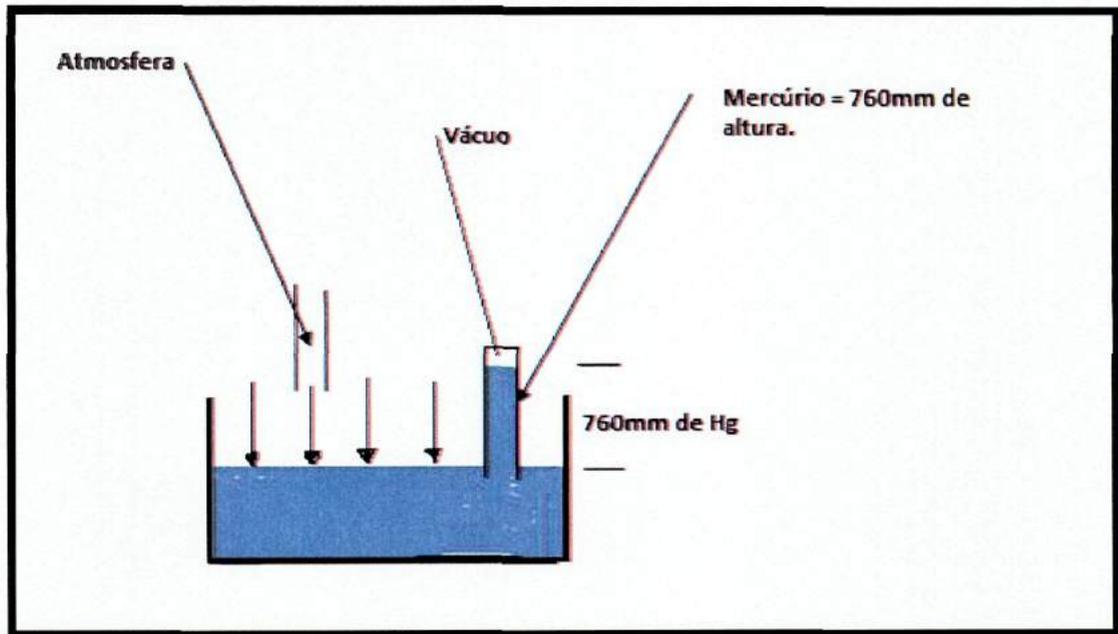


Figura 7 – Pressão Atmosférica

O fato experimental é que sabemos que a pressão de uma atmosfera suporta uma coluna invertida de 760 mm de Hg de altura, conforme experimento de Torricelli. (No livro A1, da página 244 a 248 há uma boa explicação e um gráfico sobre as camadas da atmosfera).

Então de uma forma simplificada, aplicando a segunda lei de Newton, podemos considerar que a massa de ar em uma coluna com 1cm^2 de seção transversal na base, multiplicada pelo valor de g , aqui observando que estamos utilizando o valor didático de $9,8\text{ N/kg}$, fornece a força na base. Esse valor será considerado equivalente ao valor da massa do mercúrio, também multiplicado por g . Como a densidade do mercúrio é $13,6\text{ g/cm}^3$, multiplicado pelo volume do tubo ocupado pelo mercúrio, temos $13,6\text{ g/cm}^3 \times 76\text{ cm} \times 1\text{ cm}^2 = 1033,6\text{ g}$, ou $1,0336\text{ kg}$, em um tubo de 1cm^2 de área. A força é massa $\times g$. Quando fazemos os cálculos encontramos $\cong 10,13\text{N/cm}^2$ ou 101.300 N/m^2 . A unidade de pressão do SI é o Pascal, símbolo Pa. $1\text{ Pa} = 1\text{N/m}^2$, logo a pressão atmosférica é igual a $1,013 \times 10^5\text{ Pa}$. Esse é também o valor da pressão da massa do outro lado do tubo referente à atmosfera multiplicado por g e dividido por 1cm^2 na base.

Em um metro quadrado, o valor da massa de ar seria $10.000\text{ cm}^2 \times 1,0336\text{ kg/cm}^2$. Podemos então calcular o valor total da massa da atmosfera da Terra, utilizando a fórmula $(10336\text{ kg/m}^2) \times A = (10336\text{ kg/m}^2) \times 4 \times \pi \times r^2$. Considerando o raio médio da Terra = $6,371 \times 10^6\text{ m}$ (tabela 1-Capítulo 1), temos a área de $5,1 \times 10^{14}\text{ m}^2$. Logo a Massa total seria aproximadamente = $10336\text{ kg/m}^2 \times A = 5,27 \times 10^{18}\text{ kg}$. Um valor próximo, com erro de pouco mais de 3%, do valor atualmente aceito de $5,1 \times 10^{18}\text{ kg}$. O cálculo também poderia ser

feito multiplicando a área da superfície da Terra pela pressão atmosférica ao nível do mar, encontrando a força e depois dividindo tudo por g encontrando a massa. A pressão atmosférica é $1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$. Multiplicando esse valor pela área de $5,1 \times 10^{14} \text{ m}^2$ e dividindo pelo valor de $g = 9,8 \text{ N/kg}$, temos a massa de $5,27 \times 10^{18} \text{ kg}$. Podemos observar que o valor é o mesmo, pois o que fizemos foi apenas trabalhar com outra unidade de pressão.

Essa forma de cálculo para o caso da Terra ficou próximo do valor da literatura científica, mas não é um método preciso. Caso esse procedimento fosse utilizado com os dados da lua de Saturno, Titan (Capítulo 1), levaria a erros grosseiros em mais de 60%. Titan tem uma atmosfera que é aproximadamente 10 vezes mais massiva do que a atmosfera terrestre [8]. Caso fizéssemos os cálculos com os dados fornecidos no Capítulo 1, encontraríamos um valor de mais de 16 vezes a massa da atmosfera da Terra, o que conduz a um erro grosseiro.

Uma forma de cálculo mais precisa é feita de forma indireta através de instrumentos que conseguem medir a composição dos gases. Outra, direta, é feita por sondas na descida pela atmosfera do planeta ou lua, ou no caso da Terra por balões meteorológicos, utilizando a integração da equação diferencial básica da hidrostática, fora do escopo desse trabalho.

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g$$

Essa equação nada mais é que uma forma limite da equação estudada no ensino médio livro A1, página 251: $P_2 = P_1 + \rho gh$, aplicada à atmosfera.

Ao calcularmos os valores de altura do gelo de N_2 e O_2 , utilizando o valor de $5.1352 \pm 0.0003 \times 10^{18} \text{ kg}$, observaríamos que este valor de altura da camada de gelo ficaria menor que 10m. Para ser mais exato, o nitrogênio contribuiria com aproximadamente 7,41m e o oxigênio com 1,71m, considerando a densidade dos gelos da Tabela 1. A camada de gelo seco seria menor que 4 mm (3,82mm). Impressionante mas a realidade é que a nossa atmosfera é de certa forma tênue. Aqui não está sendo considerado o valor da água dissolvida na atmosfera em forma de vapor, que é estimada [9] em $1,29 \times 10^{16} \text{ kg}$. Esse valor é variável, mas também contribui para a pressão atmosférica.

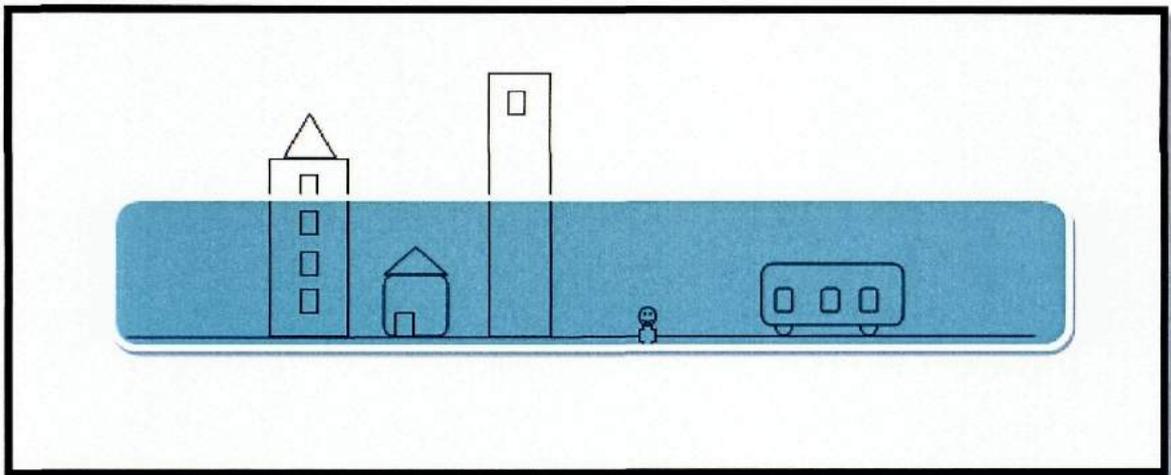


Figura 8 – Gelo de N_2 e O_2 Sobre a Superfície da Terra.

Uma camada de aproximadamente 9 metros de gelo de oxigênio e nitrogênio iria ser depositada sobre a superfície do globo, a qual seria suficiente para cobrir a maior parte das habitações em todo o planeta.

CAPÍTULO 3 – ATMOSFERA – INTERAÇÃO COM A RADIAÇÃO SOLAR, A SUPERFÍCIE E O INTERIOR DA TERRA.

Na análise dos textos nos livros [1] A2, A3, B2 e B3 foram selecionadas as passagens e problemas em que princípios ou equações da ondulatória são consideradas relevantes, ou estivessem aplicadas ao estudo das variações climáticas. O livro A2 inicia o estudo da radiação do corpo negro a partir da página 141 e na página 142 estabelece a lei de Stefan-Boltzmann da radiância $R = e\sigma T^4$, onde $R = P/A$ e a constante de Stefan-Boltzmann $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2}\text{K}^{-4}$. Continua na página 144, temos mais detalhadamente que dada a potência emitida por um corpo a qual chamaremos de P_1 , a potência absorvida do meio pelo corpo designada P_2 , a potência líquida irradiada pelo corpo será a diferença de $P = P_1 - P_2$, logo $P = e\sigma A(T_1^4 - T_2^4)$. T_1, T_2 são, respectivamente, a temperatura do corpo e do ambiente onde ele se encontra, onde $e =$ emissividade, que para o corpo negro $e = 1$ e para o refletor ideal, aquele que não emite radiação $e = 0$. O livro ainda dá exemplo, na página 143, de alguns valores de emissividade: $e = 0,07$ para o aço polido; $e = 0,3$ para o cobre polido e ainda o valor de $e = 0,97$ para uma pintura metálica preta. Considerando que o mesmo valor usado para a emissividade é também o mesmo coeficiente da absorvidade, então a emissividade é $P_1 = e\sigma AT_1^4$ e a absorvidade é $P_2 = e\sigma AT_2^4$. Na página 145 há o exercício 9 em que o valor da constante solar na superfície é dado $= 1000 \text{ W/m}^2$.

No livro A3, página 311 aborda o espectro eletromagnético e na página 312 a questão da absorção das micro-ondas pela água. Continuando, na página 313 do livro A3 há um breve descritivo sobre o ozônio e a destruição dessa camada por substâncias químicas do tipo CFC, moléculas cloro-flúor-carbono, usadas em ar-condicionado, geladeira e spray. Aparece um problema no livro A3 na página 330, problema 23, onde é dado o valor da constante solar de 1.400 W/m^2 e solicita o cálculo em função da distância Terra Sol de $\cong 1,5 \times 10^{11} \text{ m}$, calcular a potência total de todas as radiações emitidas pelo Sol. O comentário imediato aqui é que esse problema aparece isolado e não foi aproveitado nenhum desenvolvimento anterior para que o aluno estivesse preparado para resolvê-lo. Uma boa oportunidade perdida para a exploração do tema iniciando pela intensidade da radiação solar que chega até o nosso planeta.

Em função dos itens já abordados nos livros A2 e A3, para os livros B2 e B3, destacaria: livro B2, na página 184 relaciona os fenômenos ópticos como reflexão, refração e absorção, esta que ocasiona o aquecimento superficial dos corpos; na página 185, explica por que as nuvens são brancas, através da difusão da luz pelas gotículas de água de diversos tamanhos das nuvens. Um comentário pertinente seria mencionar que as geleiras nos polos refletem 90% da luz solar incidente naquela região, mas que em locais onde ocorrem depósitos de cinzas vulcânicas ou poluição ambiental, esse poder de reflexão diminui drasticamente, podendo acentuar o derretimento de maiores parcelas de gelo, pela maior absorção de radiação. Já no livro B3, há o estudo do magnetismo da Terra, a partir da página 293 e no problema do livro, testes propostos T-320, página 305, relaciona uma série de seres que utiliza o magnetismo da Terra para a orientação, tais como bactérias, insetos, aves e animais. Ainda no livro B3, página 401 há um descritivo sobre a frequência da radiação infravermelha e as diversas faixas do ultravioleta, UVA, UVB, UVC e FPS- fator de proteção solar. Continuando, na página 430 é iniciado o estudo da Física Quântica e na página 431 aparece a equação de Planck $E = hf$, imprescindível no estudo das energias de radiações oriundas do Sol. Na página 439, livro B3, mostra o espectro dos átomos de hidrogênio, hélio, sódio e o espectro visível contínuo, do vermelho ao violeta. É importante enfatizar que os livros já poderiam mostrar um desenho do balanço de energia incidente, refletida e absorvida pela Terra, tomando por base o valor da Constante Solar na atmosfera superior = 1367,6 W/m² (NASA Earth Fact Sheet), aqui observando que esse é um valor médio.

Então considerando o que foi estudado até agora e complementando dados de outras fontes, segue abaixo um roteiro de informações, consideradas relevantes para um melhor estudo e compreensão das variações climáticas, que é o objetivo deste trabalho.

O ponto de partida deve ser a constante solar, denominada aqui por C_s que é dada em função da potência emitida pelo Sol, foto 1, que produz energia através da fusão nuclear do hidrogênio, obedecendo a equação de Einstein $E = mc^2$.

Desta forma, a potência do Sol, P_{sol} , dividida por $4\pi r^2$, $\frac{P_{sol}}{4\pi r^2} = C_s$, sendo r a distância do semieixo maior da elipse descrita pelo planeta ao girar em torno do Sol. Para os planetas rochosos temos os seguintes valores [2]: Mercúrio, 9.126,6 W/m²; Vênus, 2.613,9 W/m²; Terra 1.367,6 W/m² e Marte 589 W/m². Conhecendo o valor da constante em determinado lugar, é possível calcular o valor em outro planeta, pois basta saber que a constante ou radiação solar diminui com o inverso do quadrado do raio, $1/r^2$.

De forma inversa, quando no problema já temos a constante solar, então fica fácil calcular a luminosidade, ou potência solar. Basta para isso fazer $P_{sol} = 4\pi r^2 C_s$. Utilizando o valor do semi-eixo maior da órbita da Terra = $1,496 \times 10^{11} m$ e $C_s = 1367,6 W/m^2$ dados encontramos que a potência emitida pelo Sol é da ordem de $3,846 \times 10^{26} W$.

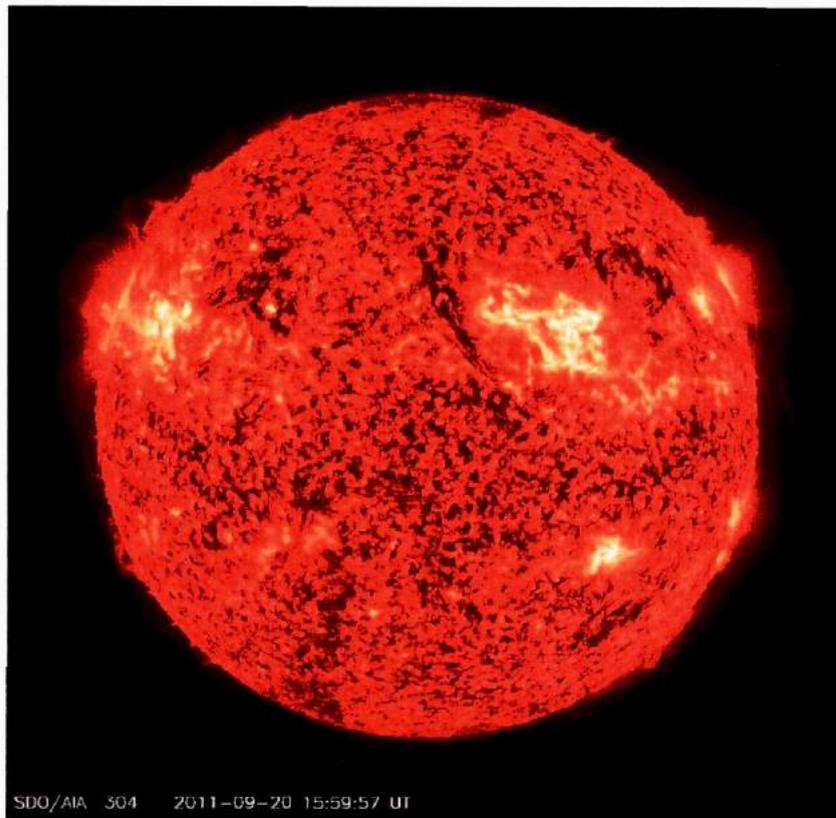


Foto [1] O Sol – NASA – A cada segundo 4,3 milhões de toneladas de matéria são transformados em energia.

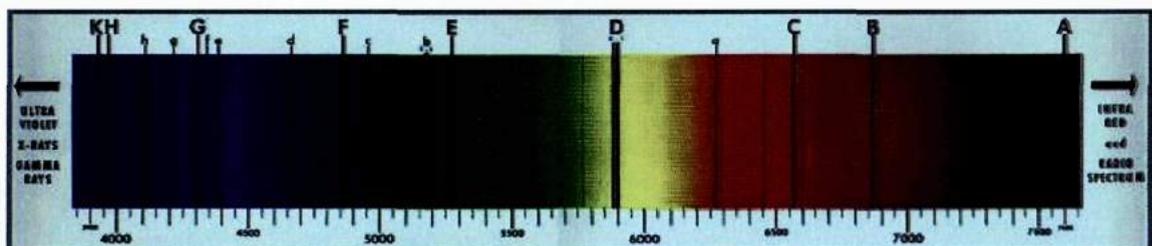


Foto [2] – Imagem didática. Espectro Solar. As linhas escuras correspondem a regiões de absorção por determinados elementos químicos presentes na atmosfera ou meio.

O valor da constante solar será mais preciso em função da diminuição dos erros de medida e maior precisão dos instrumentos. Além disso, devemos considerar que a atividade solar sofre variações. Conforme podemos ver no gráfico abaixo, há uma máxima a cada 11 anos. Gráfico de período mais longo pode ser visto em (http://en.wikipedia.org/wiki/Maunder_Minimum#cite_note-3) e indica que a Europa teve uma pequena era do gelo com invernos mais frios. Esse período de 1645 a 1715, é conhecido como Mínimo de Maunder.

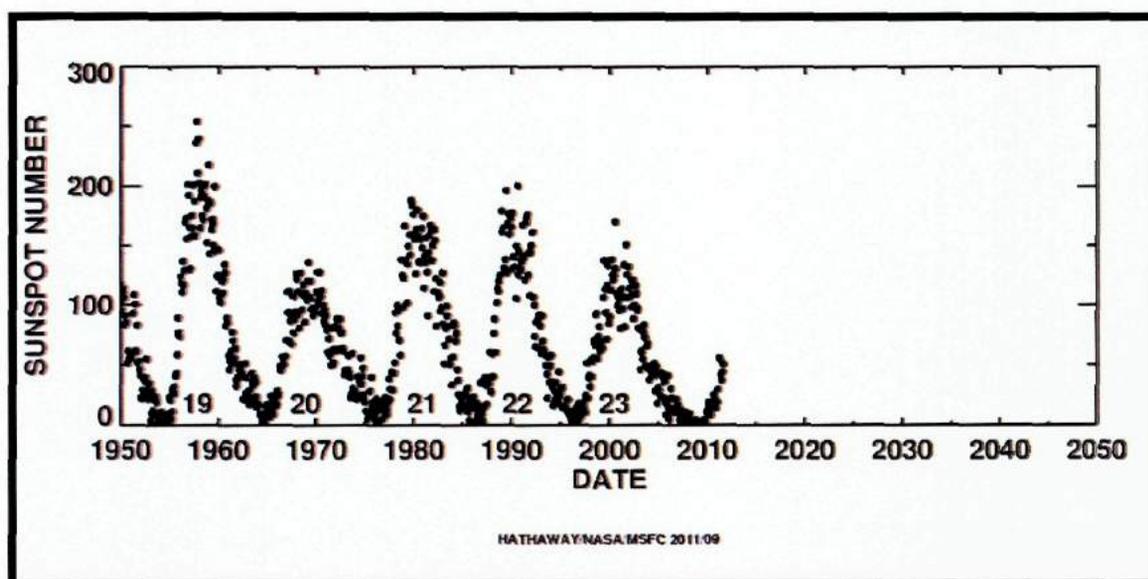


Figura [1] – Ciclo Solar – A Atividade terá outra máxima prevista em 2012.

Toda essa energia liberada pelo Sol na forma de radiação se propaga com a velocidade da luz, 3×10^8 m/s. Cada radiação do espectro solar, foto2, tem intensidade que obedecem a equação da radiação do corpo negro de Planck. As figuras 2 e 3 mostram o fluxo solar e a distribuição da energia em função do comprimento de onda da radiação.

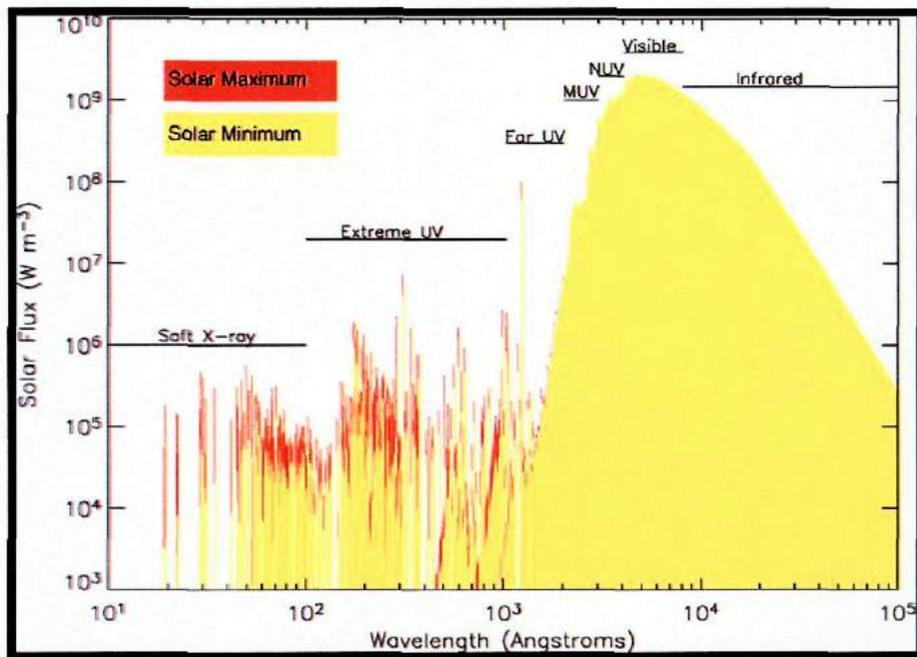


Figura [2] – Fluxo Solar -Cortesia Elsevier.

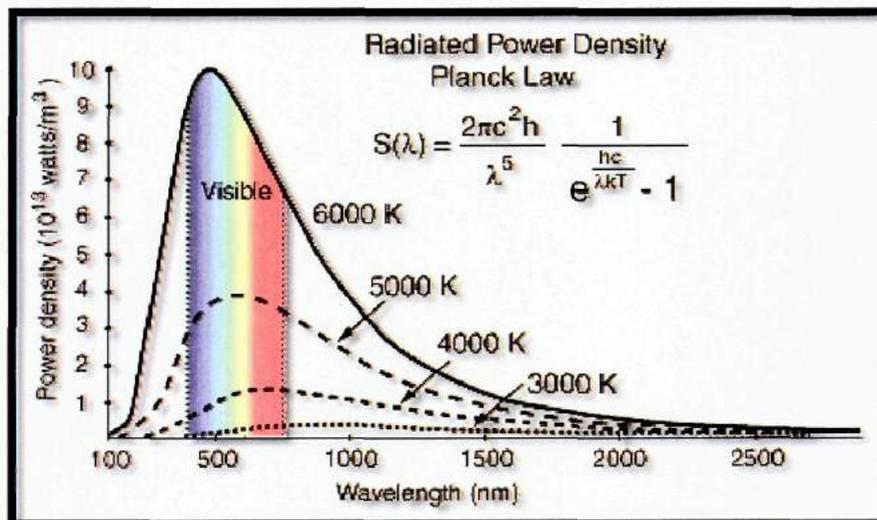


Figura [3] – Radiação do corpo negro a 6000K e o Espectro Visível

O gráfico abaixo, figura 4, mostra a absorção de parte da radiação proveniente do Sol pelas diversas camadas da atmosfera, desde a densidade zero em altas altitudes até a superfície. A luz visível e a radiação infravermelha normalmente chegam ao solo.

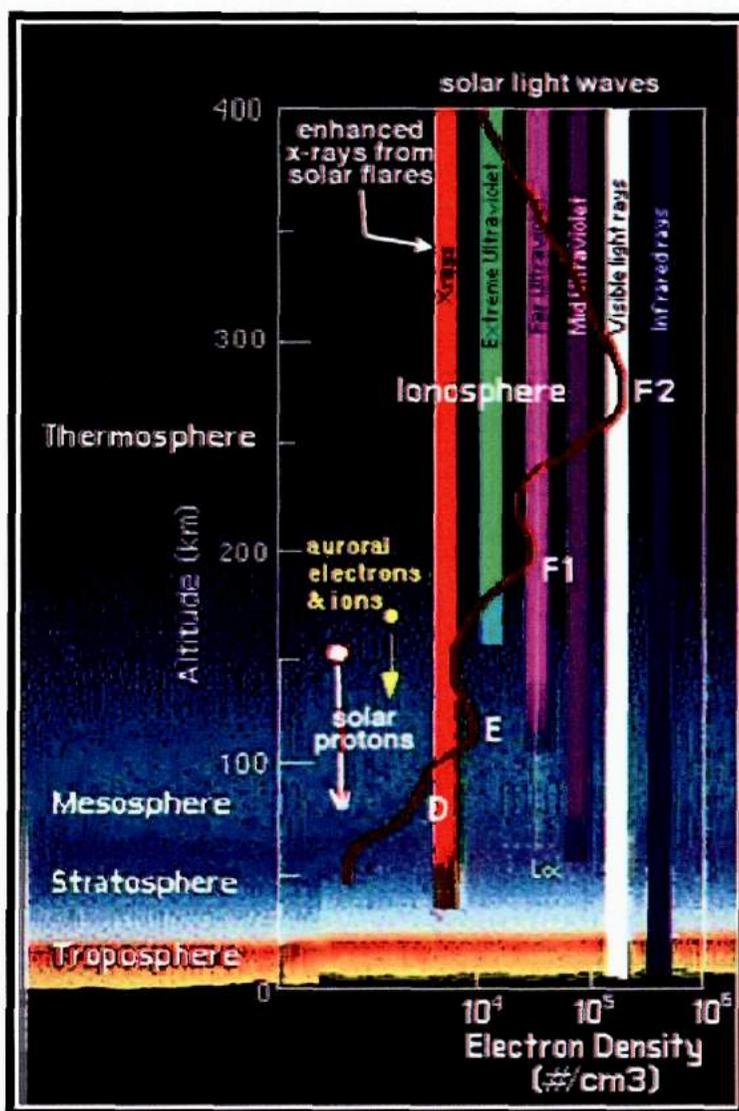


Figura [4] – <http://www.windows2universe.org/> – Camadas da Atmosfera. As letras F1, F2, E e D são usadas para designar as diferentes camadas de ionosfera, que juntas representam menos de 0,1% da massa da atmosfera da Terra. A separação é em função de qual comprimento de onda da radiação solar é absorvida mais frequentemente naquela região. Na Camada D, região de mais baixa altitude até 90 km onde ocorre ionização e são absorvidos os raios X mais severos. A região E tem seu pico a 105km e absorve os raios X mais brandos; a região F inicia em torno de 105 km e tem seu máximo a 600km, sendo a mais alta de todas as regiões onde ocorre a absorção dos raios ultravioleta-extremo. Ondas de rádio AM são refletidas nas camadas D e E. Ondas de rádio mais curta são refletidas na região F. A luz visível, ondas de FM e TV são muito curtas para serem refletidas pela ionosfera. Quando estamos muito afastados da estação de transmissão, normalmente a imagem de TV que recebemos deve ser via satélite.

As partículas do vento solar [3] viajam mais lentamente, mas as velocidades são da ordem de 300 a 800 km/s. Sua intensidade a 1UA (Unidade Astronômica) é de 5 -15 partículas/cm³. Essas partículas interagem com o campo magnético da Terra e podem interferir nos sistemas de transmissão de energia elétrica e comunicação. Dentre outros fenômenos, promovem os espetáculos da Aurora Boreal e Austral.



Foto [3] – NASA – Aurora Boreal no Alaska

O cálculo da energia da radiação é feita utilizando a fórmula de Planck $E = hf$, $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$, Na tabela abaixo a faixa de comprimentos de onda do UV. As energias são dadas em eV, que equivale a: $1\text{eV}(\text{Elétronvolt}) = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$.

Nome	Abreviação (Inglês)	Faixa de Comprimento de Onda (λ) em Nanometros	Energia por Fóton
Ultravioleta	UV	400 nm – 10nm	3.10 – 124 eV
Ultravioleta A Onda longa Luz negra	UVA	400 nm – 315 nm	3.10 – 3.94 eV
Próximo	NUV	400 nm – 300 nm	3.10 – 4.13 eV
Ultravioleta B Onda média	UVB	315 nm – 280 nm	3.94 – 4.43 eV
Médio	MUV	300 nm – 200 nm	4.13 – 6.20 eV
Ultravioleta C Onda curta Germicida	UVC	280 nm – 100 nm	4.43 – 12.4 eV
Longínquo	FUV	200 nm – 122 nm	6.20 – 10.2 eV
Vácuo	VUV	200 nm – 100 nm	6.20 – 12.4 eV
Baixo	LUV	100 nm – 88 nm	12.4 – 14.1 eV
Super	SUV	150 nm – 10 nm	8.28 – 124 eV
Extremo	EUV	121 nm – 10 nm	10.2 – 124 eV

Tabela [1] – UV - Energia pela equação de Planck $E = hf$, onde $f = \frac{c}{\lambda}$; $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

Essa absorção nas diferentes camadas da atmosfera faz existir diferentes temperaturas.

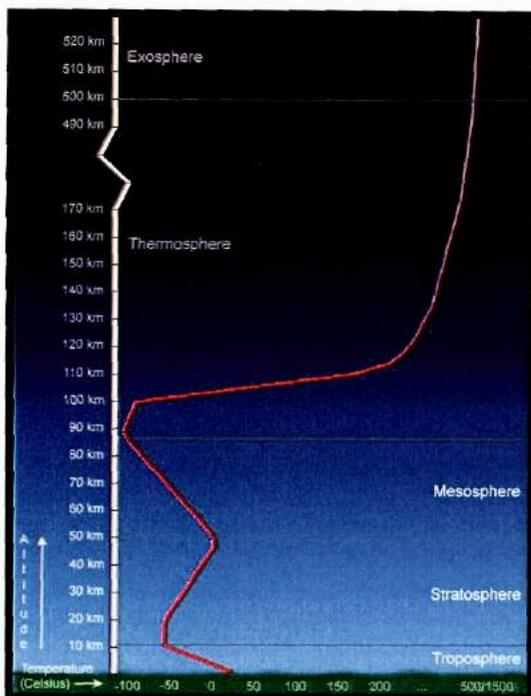


Figura [5] – Temperatura das Camadas da Atmosfera. Do Site Windows2universe

Essa radiação, ao atingir a superfície da Terra, incide na maior parte em uma superfície do nosso planeta coberta de água. A curva abaixo mostra o trabalho exaustivo de décadas de vários pesquisadores, reproduzida aqui do artigo de M.P. Thekaekara, figura 6.

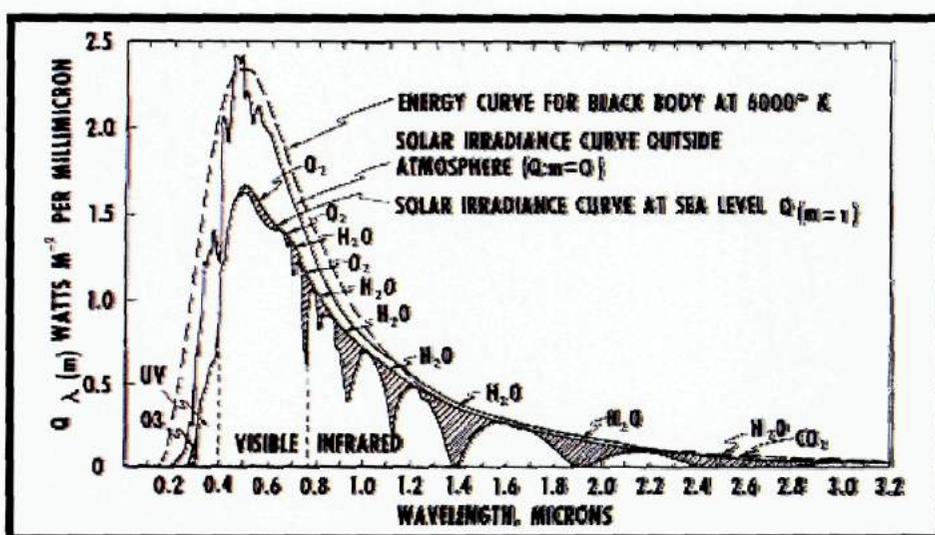


Figura [6] – Curvas da radiação solar, de cima para baixo: curva do corpo negro a 6.000 K, curva fora da atmosfera da Terra e ao nível do mar. Observe que a água é um grande absorvedor de radiação na região da radiação infravermelha.

Após a interação da radiação com a atmosfera, em seguida há com a hidrosfera, que absorve grande parte dessa radiação, pois certa parcela é refletida de volta para o espaço. A parcela absorvida é que promove todo o aquecimento de grandes massas de água na parte mais superficial dos oceanos. Essa massa de água aquecida irá por sua vez aquecer grandes massas de ar.

A combinação do movimento de rotação da Terra e radiação solar aquecendo as águas do Oceano Atlântico, faz com que exista, por exemplo, a corrente do Golfo, essencial para um clima ameno em alguns países europeus. Sem a corrente do Golfo não haveria a troca térmica da água do mar no inverno com a atmosfera na Inglaterra. O país viraria uma geleira na maior parte do ano. Da mesma forma, no Oceano Pacífico, teremos períodos de águas mais quentes, fenômeno conhecido como El- Niño [5], onde reconhecidamente por pescadores como época de diminuição no volume do pescado.

Outro fator também importante no estudo das variações climáticas é a influência do movimento das placas tectônicas no interior da Terra e os vulcões. Estes, ao expelirem sua lava e cinzas podem afetar sensivelmente a temperatura durante um longo período. Isso ocorre porque as cinzas vulcânicas chegam muito alta na atmosfera bloqueando a luz do Sol, através da absorção ou reflexão. Observadas ao microscópio, as partículas podem funcionar como pequenos espelhos para a radiação solar.

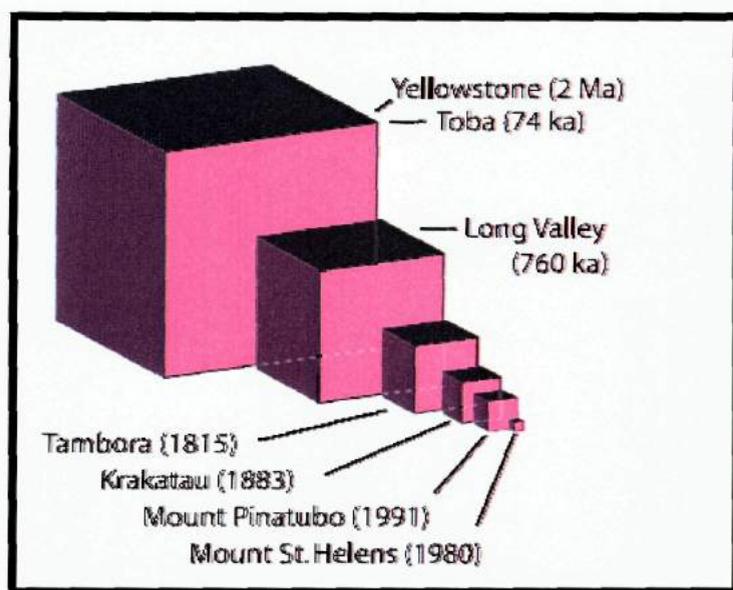


Figura [7] – Dimensões dos volumes ejetados pelos Vulcões. Comparação

Ma = 1.000.000 de anos atrás; ka = 1.000 anos atrás.

VEI	Volume Ejetado	Classificação	Descrição	Pluma	Frequência	Exemplos	Ocorrência nos últimos 10.000 anos*
0	<10.000 m ³	<u>Hawaiian</u>	Efusivo	< 100 m	Constante	Kilauea, Piton de la Fournaise	muitas
1	> 10.000 m ³	<u>Hawaiian/ Strombolian</u>	Suave	100 – 1000 m	Diariamente	Stromboli, Nyiragongo (2002)	muitas
2	> 1.000.000 m ³	Strombolian/ Vulcanian	Explosivo	1–5 km	Semanalmente	Galeras (1993), Mount Sinabung(2010)	3477*
3	> 10.000.000 m ³	<u>Vulcanian/ Peléan</u>	Severo	3 – 15 km	Alguns meses	Nevado del Ruiz (1985), Soufrière Hills (1995)	868
4	> 0.1 km ³	Peléan/ Plinian	Cataclísmico	10 – 25 km	≥ 1 ano	Mount Pelée (1902), Eyjafjallajökull (2010)	421
5	> 1 km ³	Plinian	Paroxismal	20 – 35 km	≥ 10 anos	Mount Vesuvius (79 CE), Mount St. Helens (1980)	166
6	> 10 km ³	Plinian/ Ultra-Plinian	Colossal	> 30 km	≥ 100 anos	Krakatoa (1883), Mount Pinatubo (1991)	51
7	> 100 km ³	Ultra-Plinian	Super-colossal	> 40 km	≥ 1.000 anos	Thera (Minoan Eruption), Tambora (1815)	5 (+2 suspeita)
8	> 1,000 km ³	Supervolcanic	Mega-colossal	> 50 km	≥ 10.000 anos	Yellowstone (640.000 BP), Toba (74.000 BP)	0

1. Tabela [2] Wiki – Índice de Explosividade Vulcânica (Volcanic Explosivity Index VEI);
2. Contagem de erupções VEI 2 e VEI 3 nos últimos 10 mil anos são baseadas em dados de 1994 mantido pelo Programa Global de Vulcanismo do Instituto Smithsonian. Contagem de erupções maiores que VEI 3 nos últimos 10 mil anos são baseados em seus valores de 2010. Há também 58 erupções pliniana e 13 erupções caldeira- formação, de magnitudes grande, mas desconhecida;
3. Um total de 47 erupções de VEI magnitude 8 ou superior, com idade variando do Ordoviciano ao Pleistoceno, foram identificados, dos quais 42 ocorreram nos últimos 36 milhões de anos. A mais recente é erupção Lake Taupo Oruanui, 26.500 anos atrás, o que significa que não houve qualquer erupção no Holoceno (nos últimos 10 mil anos) com VEI 8 (<http://volcanoes.usgs.gov/images/pglossary/vei.php>);
4. BP – Before present CE = Christian Era;

Quando realizamos os cálculos para a expansão do dióxido de carbono sólido, encontramos valores próximos de 870 vezes o volume ocupado pelo gás em comparação ao seu volume inicial como gelo seco. Quando fazemos os mesmos cálculos para a água então descobrimos que esse valor praticamente dobra. Um dos motivos das explosões vulcânicas serem tão violentas é a rápida expansão da água pressurizada e outros gases que estão comprimidos a elevadas pressões pela coluna líquida de lava vulcânica.

Variações climáticas ocorrem localmente com atividade diária de vulcões e podem ocorrer globalmente, dependendo da intensidade da erupção. O caso mais recente foi a entrada em atividade do vulcão Puyehue no Chile. Houve impactos profundos na vida das pessoas que ficaram isoladas na região. O turismo foi prejudicado, com o cancelamento de centenas de voos diários e fechamento das estações de esqui. Estima-se que a temperatura do rio Nilahue chegou a 45°C, matando mais de 4,5 milhões de peixes [4].

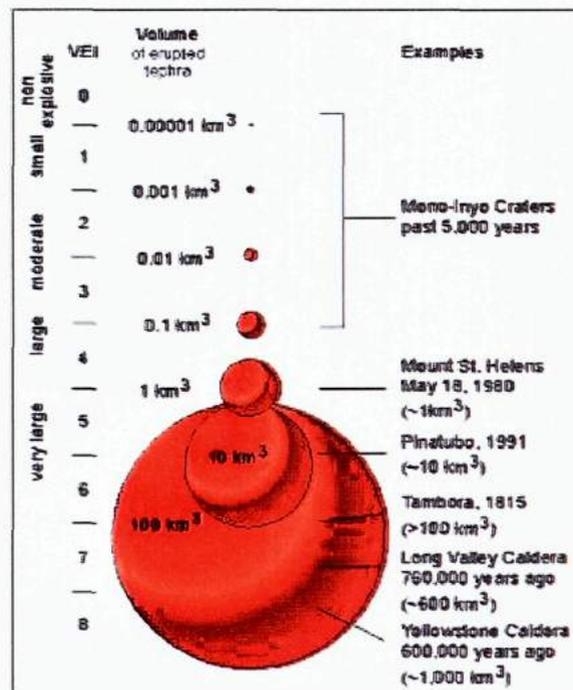


Figura [8] – Comparação de Volume das Explosões em km³.

Quando verificamos a interação da radiação solar com a superfície e interior da Terra, temos que enfatizar inicialmente que o nosso planeta é único no aspecto de possuir a água nas três fases: sólida líquida e gasosa. A hidrosfera da Terra cobre 71% da superfície do nosso planeta. Comparada aos planetas rochosos a Terra é única. Mercúrio não tem atmosfera, pois como possui apenas traços de elementos, é considerada um vácuo perfeito (Nasa Fact Sheet); em Vênus não foi encontrado água na superfície e possui a atmosfera mais quente e muito densa com uma pressão de superfície de 92 bar e onde predomina o dióxido de carbono, com 96,5% e Nitrogênio com próximo de 3,5%; Marte é um planeta em que a atmosfera é de apenas alguns mbar (variável de 6 a 9 mbar dependendo da estação) onde predomina o CO₂.

Nos livros de física a abordagem sobre as características elétricas da molécula da água é breve, não entrando em maiores detalhes. Uma comparação importante seria verificar que enquanto a molécula da água tem momento de dipolo considerável, na molécula de dióxido de carbono esse momento é nulo devido à simetria em que estão dispostos os átomos de oxigênio em relação ao átomo de carbono. A forte atração entre moléculas da água explica o seu alto calor específico e tensão superficial elevada. Essa tensão superficial é maior quanto mais fria estiver à água, diminuindo à medida que essa água é aquecida. Desta forma os oceanos conseguem armazenar grandes quantidades de energia em sua superfície, pela absorção da radiação solar, enquanto em profundidades maiores que 10 a 20 metros a temperatura é sensivelmente mais fria e continua a diminuir à medida que descemos nas profundezas dos oceanos.

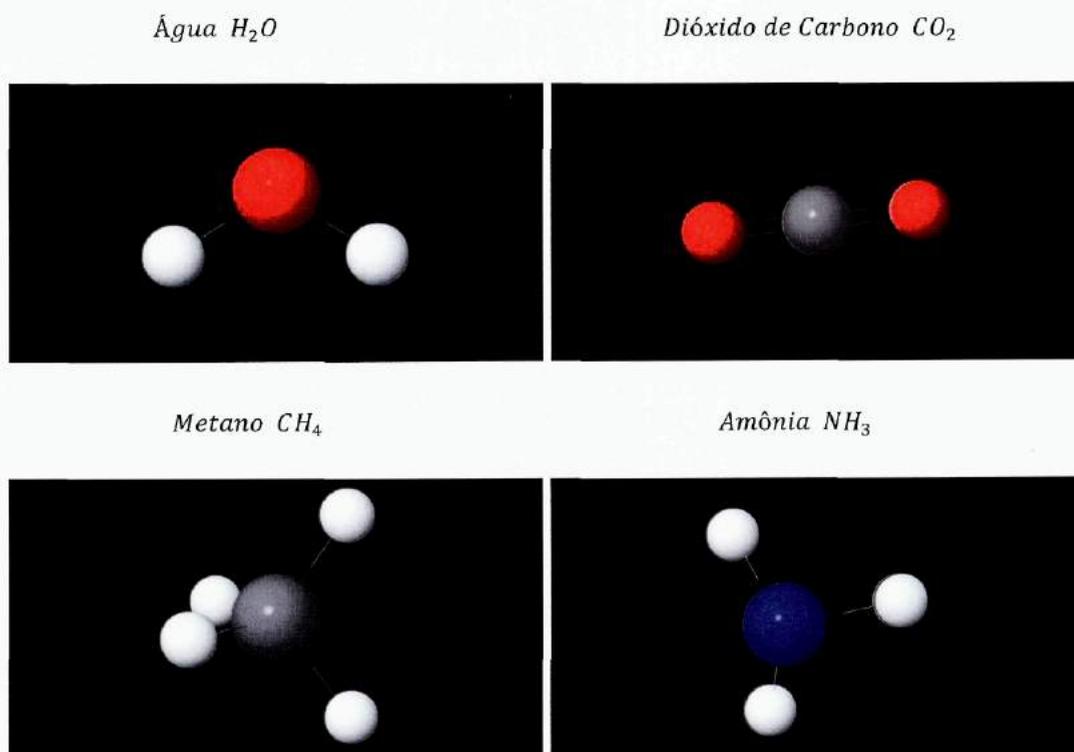


Figura [9] – Cada molécula apresenta modos de vibrações específicos.
Retiradas do site: <http://www.chemtube3d.com/>

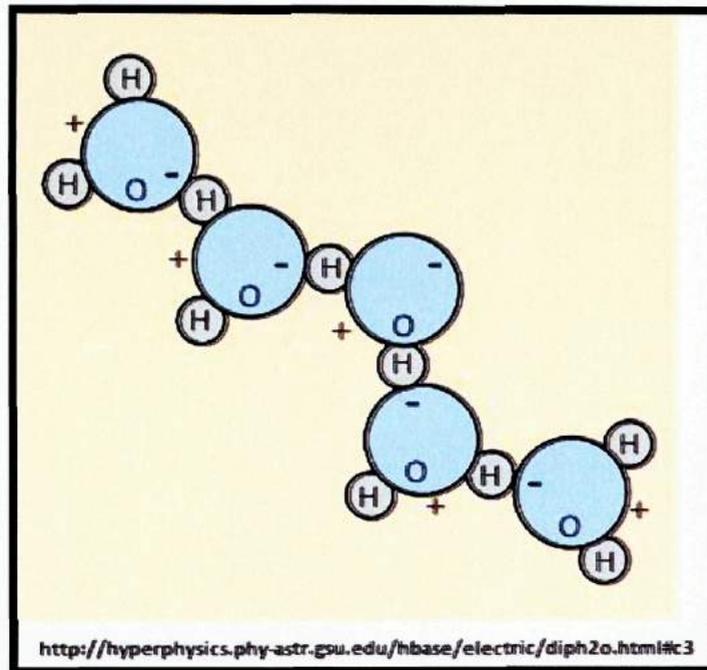


Figura [10] – Na formação das nuvens, a força elétrica é responsável pela atração entre as moléculas de água.

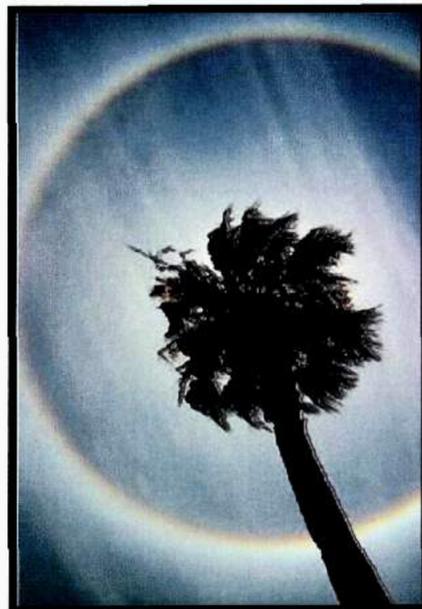


Foto [4] – <http://www.noao.edu/> – Refração da Luz do Sol em Cristais de Gelo em Nuvens Cirrus.

Por ordem de grandeza, a água encontra-se em primeiro lugar na fase líquida, nos oceanos rios e lagos; uma parte também razoável na forma sólida, que constitui mais precisamente o gelo das calotas polares e outras elevações; na fase de vapor dissolvida na atmosfera, temos uma pequena parte, mas que é a base de sustentação da vida. É essa pequena

quantidade de vapor que promove as chuvas e movimenta todo o ciclo da vida nos continentes. As tabelas abaixo, 3 e 4, mostram a quantidade de água que pode estar presente na forma de vapor em função da temperatura na atmosfera e seu ponto de ebulição em função da pressão. A figura 11 é um gráfico da pressão de vapor saturado em função da temperatura.

Temp (°C)	Temp (°F)	Pressão de Vapor Saturado (mm Hg)	Densidade do Vapor saturado (g/m ³)	Temp (°C)	Temp (°F)	Pressão de Vapor Saturado (mm Hg)	Densidade do Vapor saturado (g/m ³)
-10	14	2.15	2.36	40	104	55.3	51.1
0	32	4.58	4.85	60	140	149.4	130.5
5	41	6.54	6.8	80	176	355.1	293.8
10	50	9.21	9.4	95	203	634	505
11	51.8	9.84	10.01	96	205	658	523
12	53.6	10.52	10.66	97	207	682	541
13	55.4	11.23	11.35	98	208	707	560
14	57.2	11.99	12.07	99	210	733	579
15	59	12.79	12.83	100	212	760	598
20	68	17.54	17.3	101	214	788	618
25	77	23.76	23	110	230	1074.6	...
30	86	31.8	30.4	120	248	1489	...
37	98.6	47.07	44	200	392	11659	7840

Tabela [3] – Hyperphysics – Densidade do Vapor Saturado da Água em g/m³.

Temperatura (°C)	Pressão (MPa)	Pressão (Atmosferas)
100	0.101325	1
150	0.4762	4.700
200	1.55	15.297
250	3.976	39.24
300	8.588	84.757
350	16.529	163.13
373.946	22.064	217.75

Tabela [4] – Hyperphysics – Ponto de Ebulição da Água em Função da Pressão.

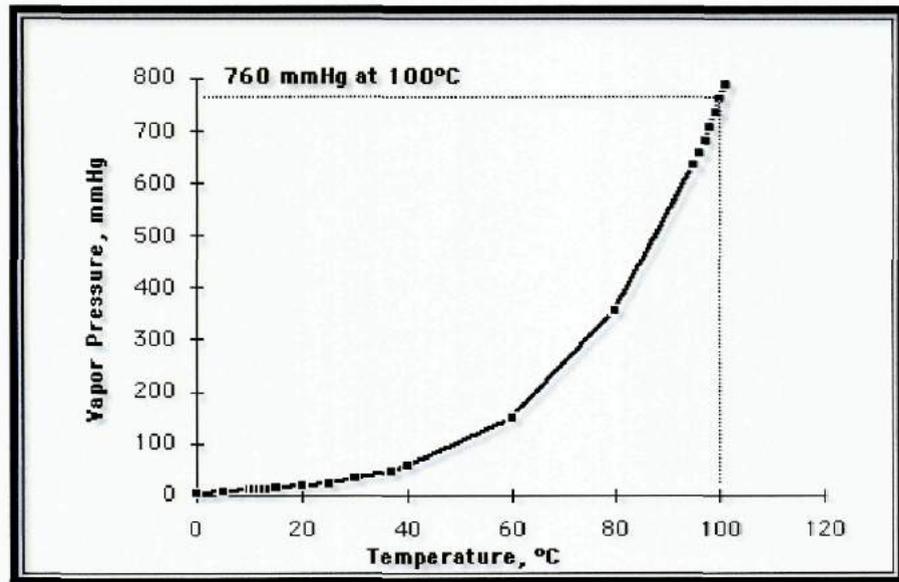


Figura [11] – Hyperphysics – Gráfica pressão de vapor saturado para a água.

Então, ao observarmos as figuras e foto abaixo, concluímos que a água exerce uma influência decisiva na nossa existência e de todos os seres vivos na Terra. As variações climáticas sempre envolveram as causas naturais que é a interação da radiação solar com a atmosfera e a hidrosfera. O interior da Terra, com a movimentação das placas tectônicas, provocando terremotos, erupções vulcânicas e tsunamis, altera profundamente o clima de uma região ou continente. Até agora essa tem sido a regra: tempos de muita chuva, secas, terremotos maremotos, que provocam o êxodo do ser humano ou a destruição de vilas e cidades, tendo como resultado a morte de milhares de pessoas.

No Capítulo 4 faremos uma breve análise na questão do dióxido de carbono das emissões humanas e se esse gás tem contribuído para uma mudança climática de aquecimento global.

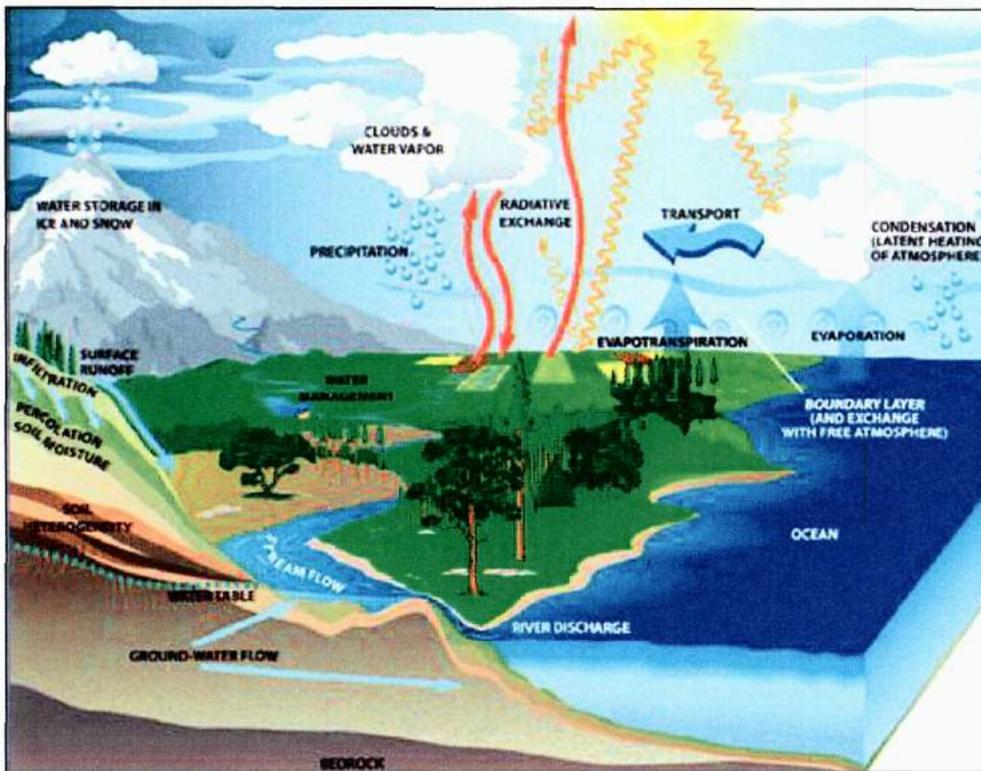


Figura [12] NASA – Radiação e o Ciclo da Água.

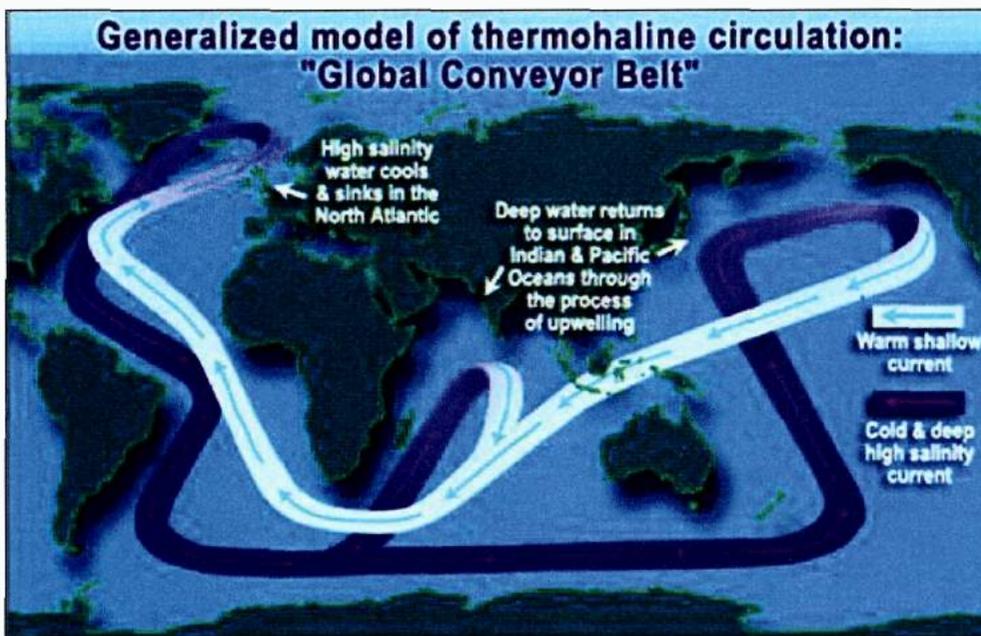


Figura [13] – NASA – Correia Transportadora nos oceanos. A corrente mais quente é representada pela faixa mais clara.

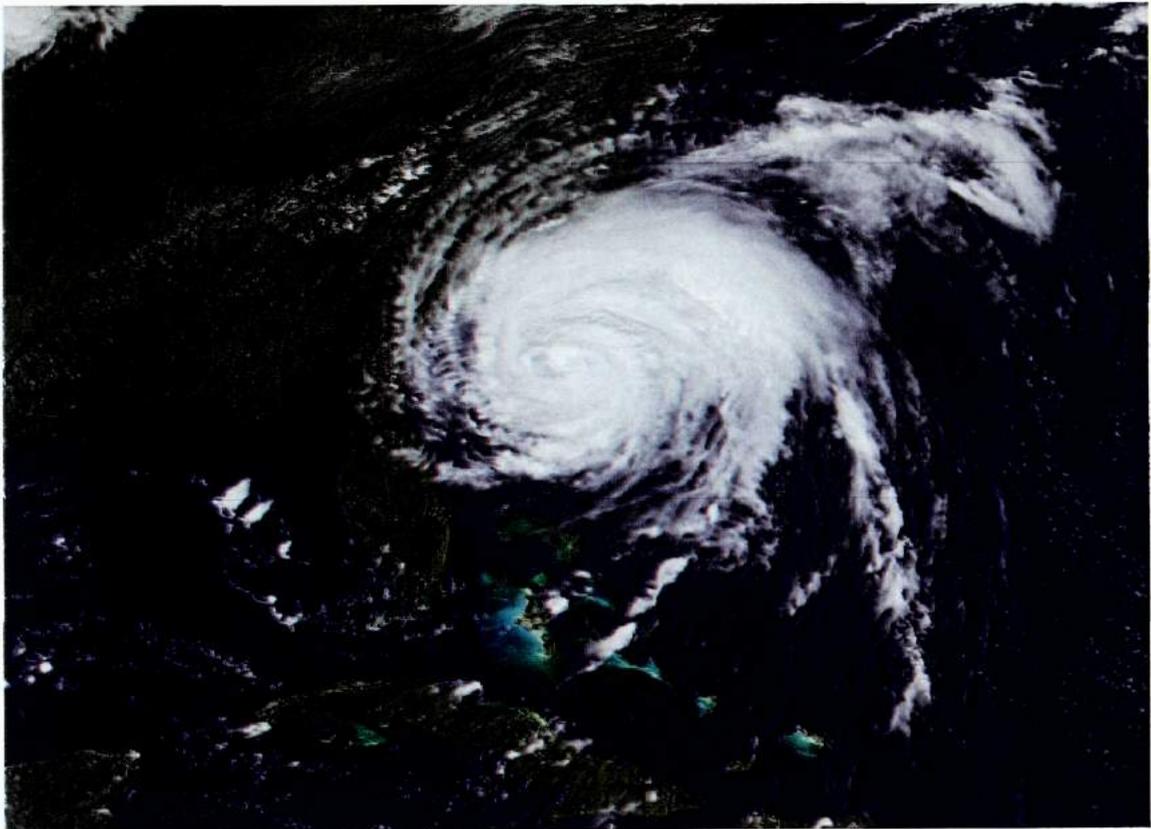


Foto [5] – Esta imagem visível do furacão Irene do instrumento MODIS, a bordo do satélite Terra da NASA foi tirada em 26 de agosto de 2011 às 12:30 pm EDT = GMT -4 (USA + Canadá), quando o furacão Irene estava fora dos estados Carolinas .do Sul e Norte (Crédito: NASA Goddard MODIS Equipe de Resposta Rápida).

CAPÍTULO 4 – VARIAÇÕES CLIMÁTICAS DA TERRA – UM EVENTO NATURAL OU ANTROPOGÊNICO?

Quando consideramos a escala geológica da Terra, podemos afirmar com segurança que todos os eventos de variações ou mudanças climáticas até agora foram de causas naturais. Isso porque a raça humana é recente nessa escala e pode ser deixada de lado. As causas naturais aqui consideradas são as que não tiveram a participação do homem ou este não foi seu agente provocador. Vários são os exemplos, como: interação Sol-Terra, com relação às mudanças climáticas em função da variação da constante solar ao longo de mais de 4 bilhões de anos; conexão Terra-Lua, e as variações graduais no movimento de rotação do nosso planeta; a movimentação dos continentes e das placas tectônicas; as erupções vulcânicas e a emissão de partículas na atmosfera deixando o clima mais frio por meses ou anos; a existência da vida e a fotossíntese por cianobacterias; a invasão das plantas nos continentes no período carbonífero onde grande parte do dióxido de carbono existente na atmosfera foi sepultado em forma de carvão oriundo de troncos e folhas das plantas ou pela deposição dos sedimentos de esqueletos de animais marinhos na forma de carbonato de cálcio; o impacto de grandes meteoritos e a provável extinção de muitos seres vivos; a formação e derretimento de montanhas de gelo nas calotas polares e outras mudanças como desertificação de regiões e surgimento de grandes florestas em outros lugares ao longo das eras.

Partindo desse ponto de vista não existiu nenhuma variação climática ou mudança climática provocada pelo homem. A interferência humana na superfície do nosso planeta começou de forma mais significativa somente nos últimos dois mil anos. Mas como o objetivo desse trabalho até agora tem sido voltado para o estudo das variações climáticas no ensino médio, colocamos nesse capítulo as possíveis variações provocadas pela emissão de gases do “efeito-estufa” pelo homem, mais especificamente o dióxido de carbono. Os aspectos considerados aqui serão voltados para a análise somente desse gás e sua influência na alteração do clima. Cabe ressaltar que essa não é uma análise simples, em função dos diversos fatores envolvidos, pois há relações interdependentes vistas no Capítulo 3: a radiação solar e a reflexão e absorção pela hidrosfera, importante fator e o mais preponderante; outro também, a reflexão da radiação pela água e pelo gelo das calotas polares.

Com relação ao grau de reflexão dos corpos, o termo que deve ser usada é **albedo**. Albedo é uma palavra que deriva do latim *albedus* [1] = esbranquiçado, a partir de *albus* = branco. Vimos no Capítulo 1 que a Terra reflete a luz do Sol três vezes mais do que a Lua. Na parte visível [2] a Terra tem 36,7% (visual geometric albedo) e no espectro geral 30,6% (bond albedo), enquanto a Lua[3] apresenta 12% no visível e 11% no geral. Desta forma a Terra absorve próximo de 70% da radiação do Sol, que será emitida em comprimentos de onda na região do infravermelho.

A grande polêmica sobre o dióxido de carbono é que ele é um gás transparente para a radiação ultravioleta e visível, absorvendo e reemitindo alguns comprimentos de onda de radiação somente na região infravermelha, provocando o efeito estufa, similar àquele que comumente experimentamos quando deixamos um automóvel ao Sol, com os vidros fechado e lá dentro fica muito quente depois de alguns minutos. Além disso, o CO_2 permanece muito tempo na atmosfera até ser absorvido pelos oceanos e reprocessado através da fotossíntese pelo fitoplâncton e pelas plantas em terra firme. Desta forma, diferentemente da água que tem seu percentual dissolvido em forma de vapor na atmosfera e é variável em função da condensação em forma de chuva, o dióxido de carbono permanece constante na atmosfera e diminuindo lentamente.

Mas a analogia com o efeito estufa, provocado por uma caixa de vidro, merece uma consideração. O vidro comum deixar passar a radiação visível em quase sua totalidade, mas absorve na região do ultravioleta, reemitindo a radiação em outras faixas, bem como absorve em uma faixa do infravermelho diferente da faixa de absorção do CO_2 . Na figura abaixo, temos a transmitância do vidro comum e suas faixas de absorção.

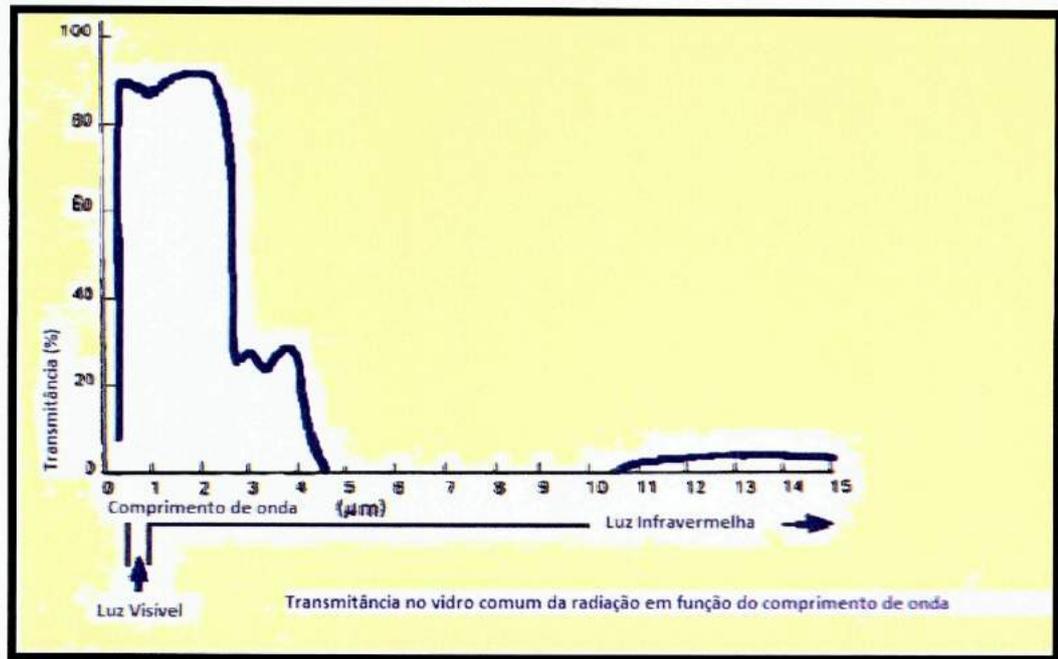


Figura [1] – Crédito – Wolfgang Palz- Energia Solar – Hermus. Transmitância da radiação no vidro comum.

Um desenho ilustrativo de uma estufa está representado na figura abaixo, mostrando uma placa absorvedora da radiação solar incidente.

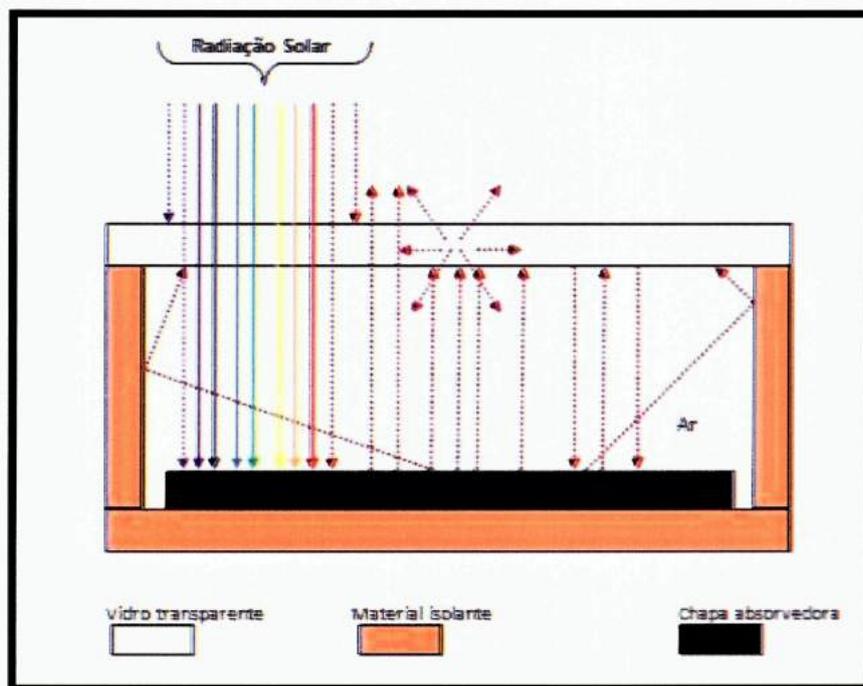


Figura 2 – Desenho ilustrativo de uma estufa, com uma tampa de vidro transparente.

Para absorver o máximo de energia, o objeto colocado dentro da caixa deve ser pintado de preto fosco. Esse corpo negro irá absorver praticamente toda a radiação incidente e ao ser aquecido, irá reemitir ondas na região do infravermelho. A tampa da caixa em vidro transparente deixa passar a luz visível e alguns comprimentos de ondas da região do infravermelho. Considerando que parte da radiação emitida pela placa é refletida novamente para o corpo negro a temperatura começa a subir, principalmente pela não existência de troca térmica, uma vez que não há correntes de ar do exterior para dentro da caixa. Essa é a idéia do efeito estufa, a radiação tende a aumentar no interior da caixa, sendo absorvida pela chapa colocada para esse fim, até que haja um ponto de equilíbrio. Sistemas assim são muitos utilizados em painel de aquecimento de água. Neste caso, a chapa é substituído por uma serpentina de cobre pintada de preto. O sistema recebe o nome de coletor solar e quando bem projetado consegue aquecer a água, em dias ensolarados, em temperaturas variáveis de até 80 °C [4].

Continuando com a questão das emissões de dióxido de carbono, temos que observar que a humanidade fez uso da lenha durante milhares de anos, quer para o seu aquecimento, iluminação ou para cozinhar os alimentos. De acordo com o gráfico abaixo, adaptado de informações do IPCC [5] para um período de 2000 anos, nos últimos dezoito séculos, o percentual de dióxido de carbono permaneceu mais ou menos estável até a Revolução Industrial quando teve início o acréscimo do gás na atmosfera de forma mais acentuada, principalmente pelo uso do carvão mineral.

De acordo com o historiador Geoffray [6], a partir de 1200 DC o carvão já era extraído das minas na França e Inglaterra, em virtude da escassez da lenha. O transporte sendo feito por veleiros através do Canal da Mancha para os Países Baixos, mais precisamente para a cidade de Bruges. Essa atividade continuou pelos seis séculos seguintes com mais e mais carvão sendo consumido, principalmente em Londres, que é considerada a cidade que primeiro fez uso do produto em grande escala. O carvão era utilizado tanto para uso doméstico quanto para as fábricas e com a Revolução Industrial foi consolidado o seu uso após o aperfeiçoamento da máquina a vapor pelo escocês James Watt em 1769.

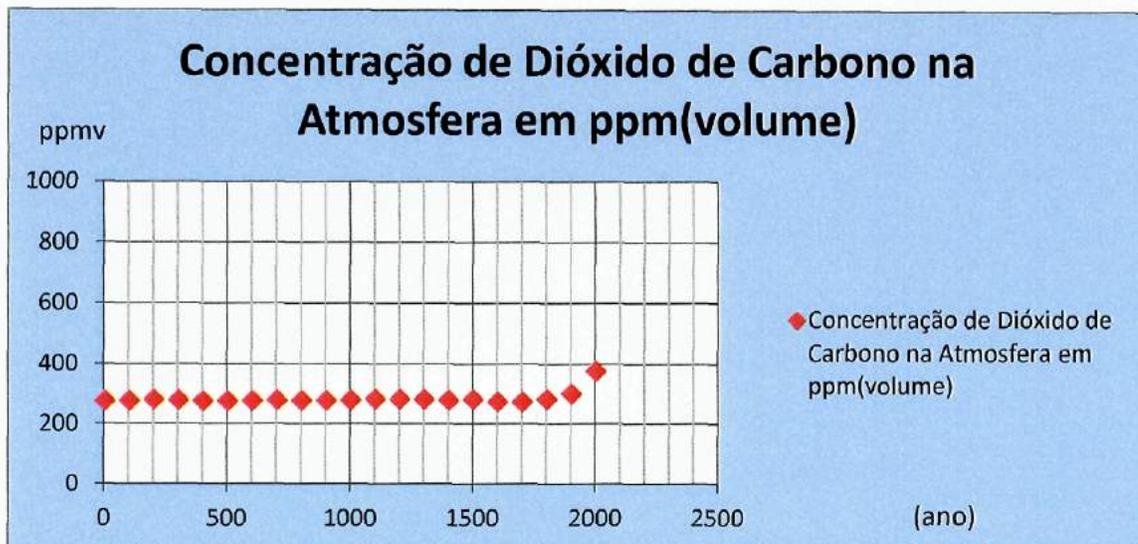


Figura 3 – Concentração de dióxido de carbono na atmosfera nos últimos 2000 anos. Baseado em dados do IPCC [7].

Então o que temos na época atual é que os combustíveis fósseis são dominantes na matriz energética do planeta, conforme figura abaixo. De forma que o acréscimo de dióxido de carbono em circulação é calculado levando-se em consideração o valor total das emissões e absorções.

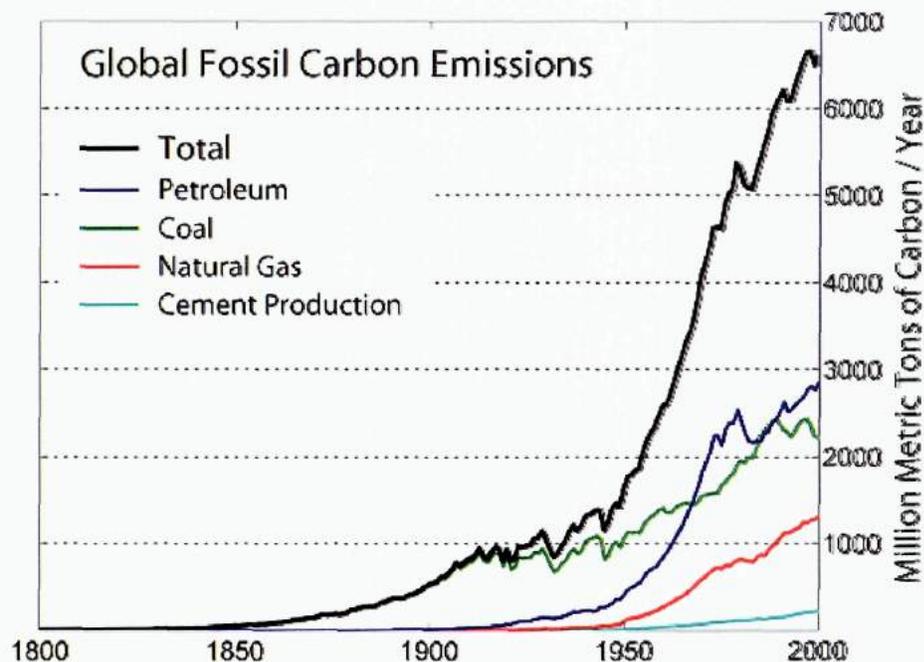


Figura [4] – Emissão de carbono. A partir do gráfico é possível calcular o valor da massa em Toneladas de CO_2 , sendo necessário apenas utilizar o fator de multiplicação 3,67, que é a relação entre as massas molares de dióxido de carbono e carbono.

Mas para uma análise imparcial devemos verificar o comportamento do CO_2 na atmosfera ao longo das eras, na escala evolutiva da Terra. O gráfico da figura abaixo mostra a interação e o importante papel desse gás na atmosfera em épocas distantes.

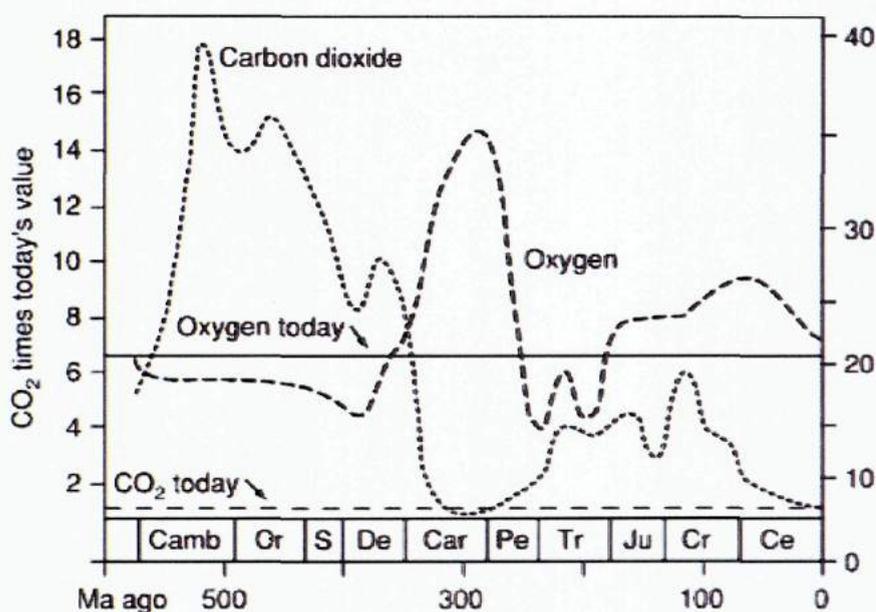


Figura [5] – Cortesia Elsevier – Da esquerda para a direita as eras: Paleozóica, engloba o Cambriano, Ordoviciano, Siluriano, Devoniano, Carbonífero, e Permiano; Mesozóica, englobando o Triássico, Jurássico e Cretáceo; Cenozóica, engloba várias subdivisões até a era atual. Percentual de oxigênio e dióxido de carbono nos últimos 600 milhões de anos. Detalhe para o período carbonífero há 300 milhões de anos, com a redução substancial do CO_2 , e aumento de O_2 .

Mas o que devemos enfatizar é que a água é de longe o grande agente do efeito estufa. De acordo com Kasting e Catling[8] (Evolution of a Habitable Planet) o vapor d'água é responsável por aproximadamente 2/3 do aquecimento da atmosfera terrestre. A outra terça parte é por conta dos outros gases dos quais o dióxido de carbono é o principal. As contribuições menores são citadas como os gases CH_4 , N_2O , O_3 e vários antropogênicos CFCs. Para calcular a diferença de temperatura, a Terra foi considerada como um corpo negro, na seguinte equação:

$$\sigma T_e^4 = \frac{C_s}{4} (1 - A)$$
 , onde T_e = temperatura efetiva; σ , a constante de Stefan-Boltzmann = $5,67 \times 10^{-8} Wm^{-2} K^{-4}$; constante solar, $C_s = 1370 Wm^{-2}$ e $A \cong 0,3$ é o albedo planetário. Efetuando-se os cálculos encontramos para $T_e = 255K$. Adotando a temperatura média global como $T_s \cong 288K$, temos:

$\Delta T_g = T_s - T_e = 33K$, que é a diferença atribuída ao efeito estufa.

Podemos ainda utilizar a lei de deslocamento de Wien [9] para calcular o comprimento de onda para o qual a radiação é máxima.

$\lambda_m T = constante = 2,898 \times 10^{-3} m.K$. Para o caso da Terra, fazendo os cálculos encontramos $\lambda_m = 1,006 \times 10^{-5} m$ ou $10\mu m$.

Então precisamos saber as faixas de absorção da água e do dióxido de carbono, para podermos verificar a influência de cada um desses componentes na atmosfera. A figura abaixo do observatório da NASA [10] mostra essa distribuição nas frequências de μm . Os pesquisadores da NASA ainda consideram que para o século passado o aumento da temperatura média foi entre 0,6 a 0,9 °C, com um desequilíbrio de 0,8W/m² atualmente entre o que a Terra absorve e o que reemite.

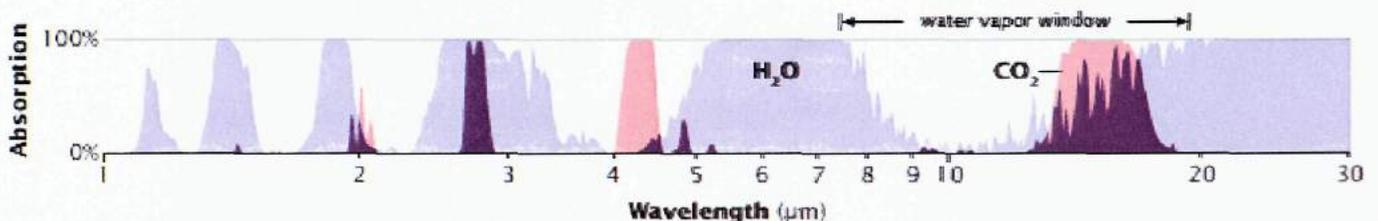


Figura [6] – NASA- Observe o início de absorção pelo dióxido de carbono a partir de aproximadamente 12 a 13 μm na janela de do vapor d'água de 8 a 14 μm .

Mas devemos observar que a água na atmosfera [11] é da ordem de 12.900 km³ ou $1,29 \times 10^{16} kg$. O dióxido de carbono, vimos no Capítulo 2 é da ordem de $3,04 \times 10^{15} kg$. Então a relação dióxido de carbono/água na atmosfera é menor do que $\frac{1}{4}$. A água em forma de nuvens promove uma intensa dispersão da Luz visível que é portadora de uma energia considerável. Sendo por um lado forte absorvedora da radiação infravermelha, por outro pode refletir significativamente a luz do Sol.

Devemos lembrar também que as grandes massas de ar recebem calor dos oceanos por condução ao manterem contato com a superfície da água aquecida e pela transferência de calor do próprio vapor d'água na atmosfera. O ar quente tende a se expandir pela variação de densidade e através da convecção novamente outras parcelas de ar são aquecidas. No deserto temos também essas correntes de convecção em virtude do aquecimento de parcelas de ar em

contato com a areia. Mas como o calor específico da areia é $\cong 0,2$, enquanto da água é $1,0$, durante a noite rapidamente a areia esfria. Como a umidade é baixa, a pequena contribuição da absorção e reemissão das ondas de radiação pelo dióxido de carbono não é suficiente para manter alguém aquecido por muito tempo após o entardecer. Então aquele que se aventurar no deserto sem portar os equipamentos adequados e mantimentos, poderá morrer cozinhado durante o dia, ou por hipotermia durante a noite. Uma experiência simples sobre o aquecimento do ar é observar durante uma viagem em uma estrada asfaltada que o ar tremula próximo ao solo no horário do meio dia, em que a temperatura do asfalto já é muito elevada. Esse fato é devido a refração da luz em virtude da mudança de densidade do ar pelo aquecimento junto ao asfalto. Um exemplo mais próximo do nosso cotidiano é a troca térmica do ar com a água nos radiadores dos automóveis. A água que esfria o motor precisa ser também resfriada, pois está próxima ou a mais de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, às vezes pressurizada para não vaporizar e passa por um radiador que são pequenos tubos os quais aumentam a área de contato com o ar ambiente em volta, normalmente na temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, que pode ainda utilizar um sistema de ventilação forçada que acelera a troca térmica fazendo circular o ar mais rapidamente pelo radiador. Os europeus fazem uso de radiadores no inverno em que água previamente aquecida pela queima de combustíveis fósseis vai por um tubo isolado e ao chegar ao cômodo a ser aquecido passa pelo radiador, onde há a troca térmica e transfere energia para o ar do ambiente. A água então volta mais fria por outro tubo isolado e chega ao aquecedor para novamente ser reaquecida. Sem aquecimento doméstico, enfrentarão o frio extremo.

Globalmente, hoje com o auxílio dos satélites, podemos ver melhor as fontes de emissão de CO_2 , e o seu espalhamento pelas diversas latitudes. A figura 7 abaixo foi elaborada com dados de 2009, do Satélite Aqua. É fácil observar os grandes pontos de emissão em países do Hemisfério Norte.

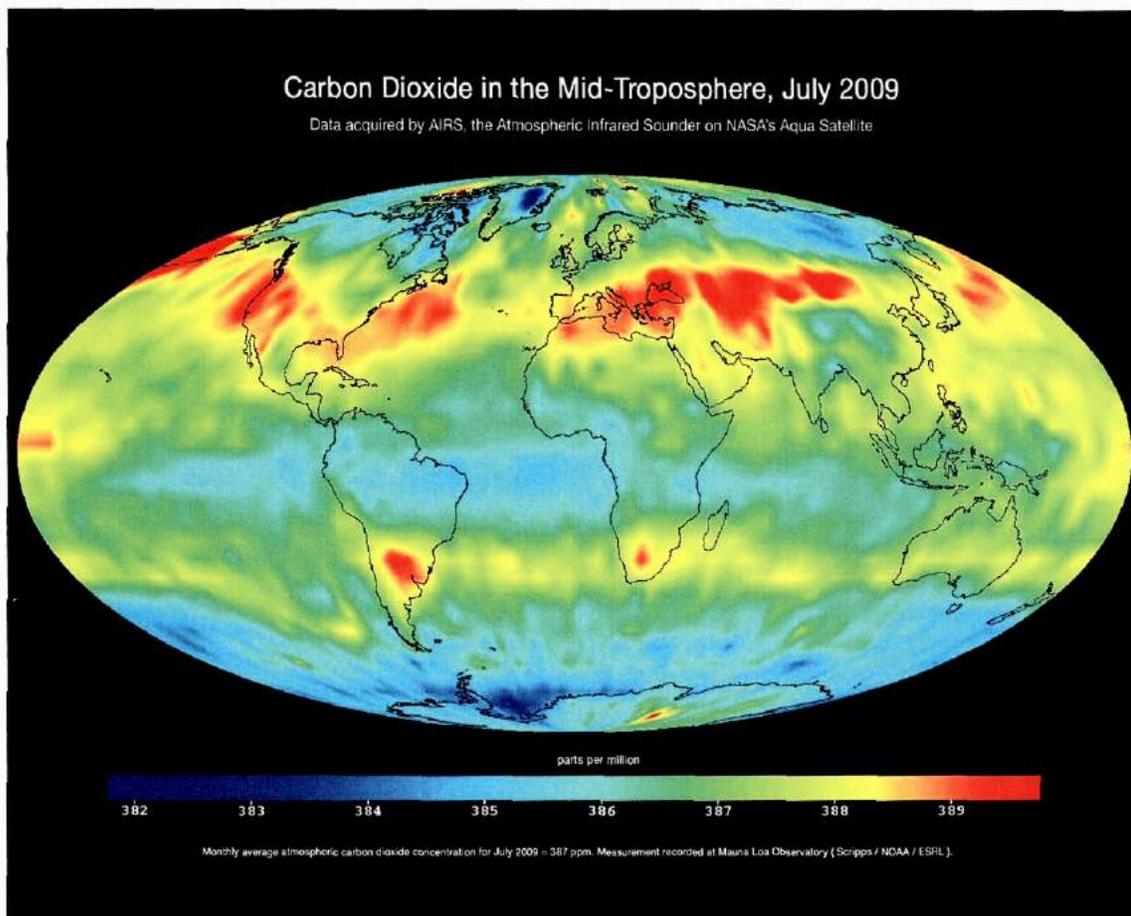


Figura [7] – Atmospheric Infrared Sounder (AIRS) instrument on NASA's Aqua spacecraft.

Para entendermos bem a posição da troposfera, basta verificar o gráfico da figura [8], o qual apresenta as diversas camadas de ar da atmosfera da Terra e seus valores de temperatura e pressão. Então nos gráficos seguintes, em imagens da NASA, podemos observar as concentrações do dióxido de carbono em partes por milhão em volume do CO_2 na troposfera, região de interesse e que corresponde por mais de 75% da massa de ar. Valores em dois momentos: figura [9], em setembro de 2002, alguns meses depois do lançamento do satélite Aqua em maio de 2002, e figura [10], em janeiro de 2010. NASA[12] .

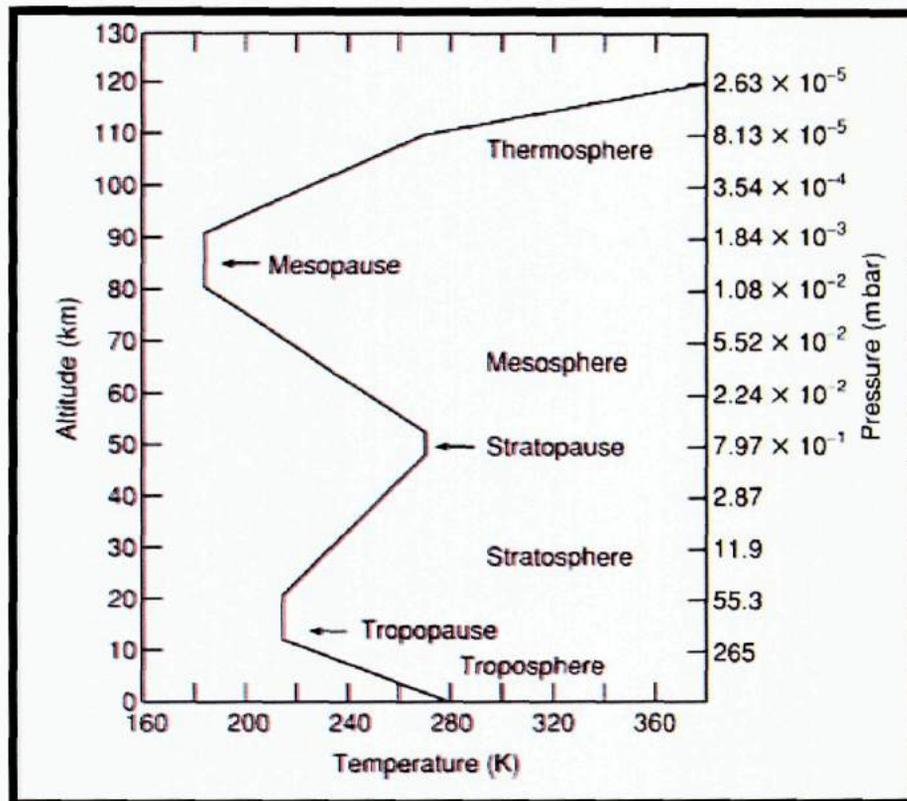


Figura [8] – Cortesia Elsevier – Temperatura e Pressão das diversas camadas da atmosfera da Terra.

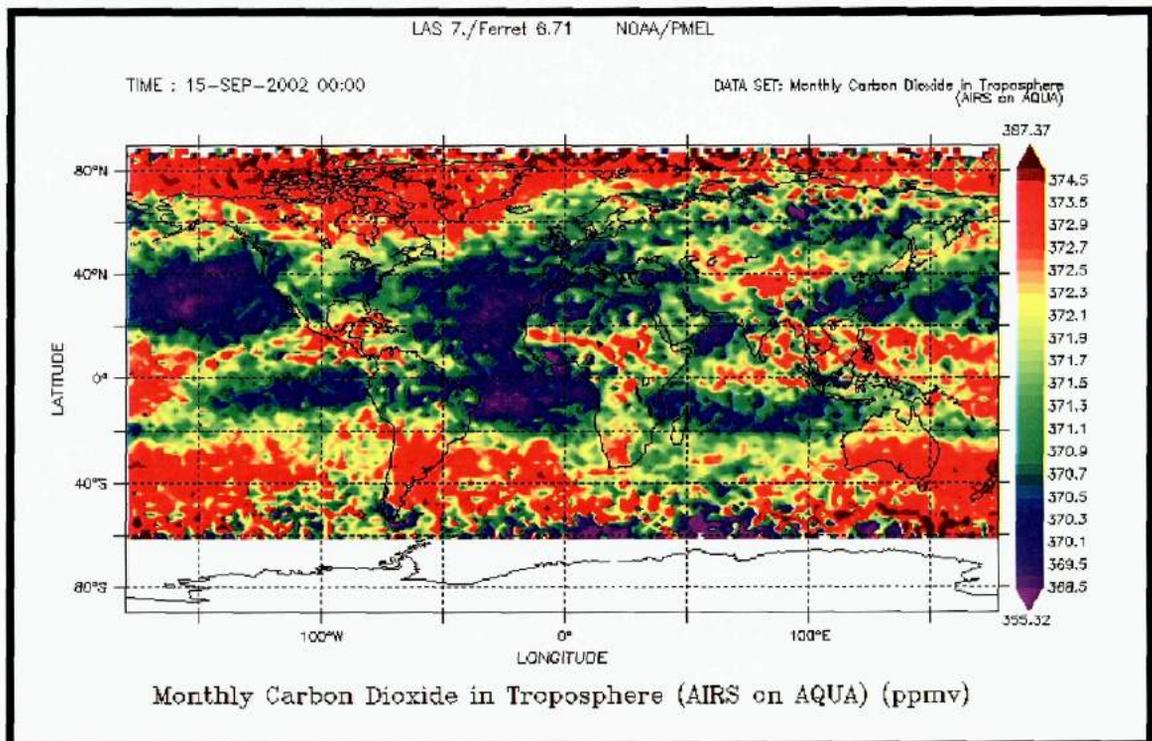


Figura [9] – Distribuição do dióxido de carbono em 2002 – Satélite AQUA – lançado em maio 2002.

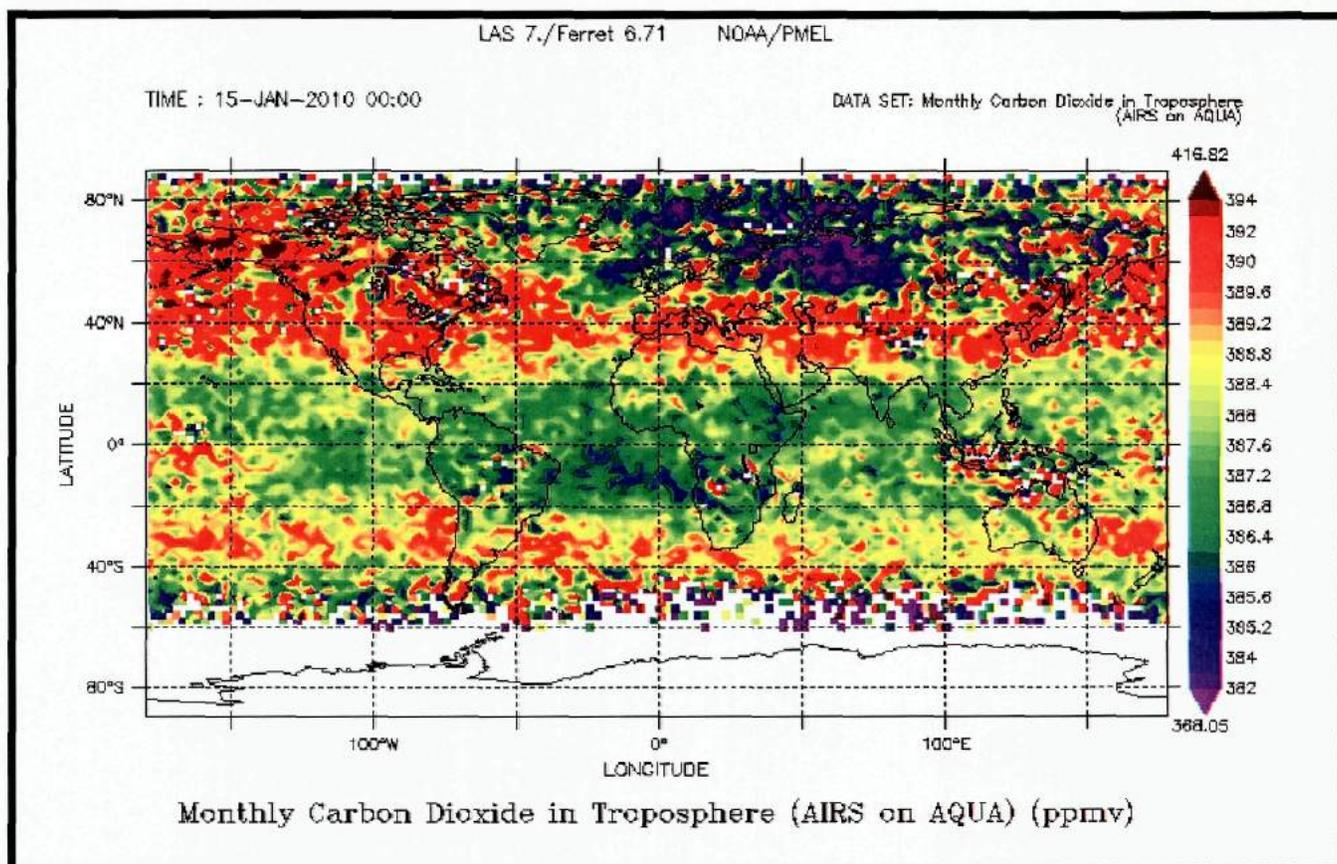


Figura [10] – Distribuição do dióxido de carbono em 2010.

Com relação à apresentação de dados devemos ter cuidado ao observamos as figuras. O gráfico anterior, figura 3, foi elaborado a partir dos valores do gráfico abaixo, figura [11]. Observando os valores de ppmv para o CO_2 , dão a impressão de terem subido assustadoramente. Tudo depende de o quanto queremos enfatizar os valores. O gráfico abaixo não coloca as margens de forma proporcional e acaba passando uma idéia de limites preestabelecidos. Infelizmente esse é um gráfico bem mais incompatível com a era geológica da Terra do que o gráfico anterior.

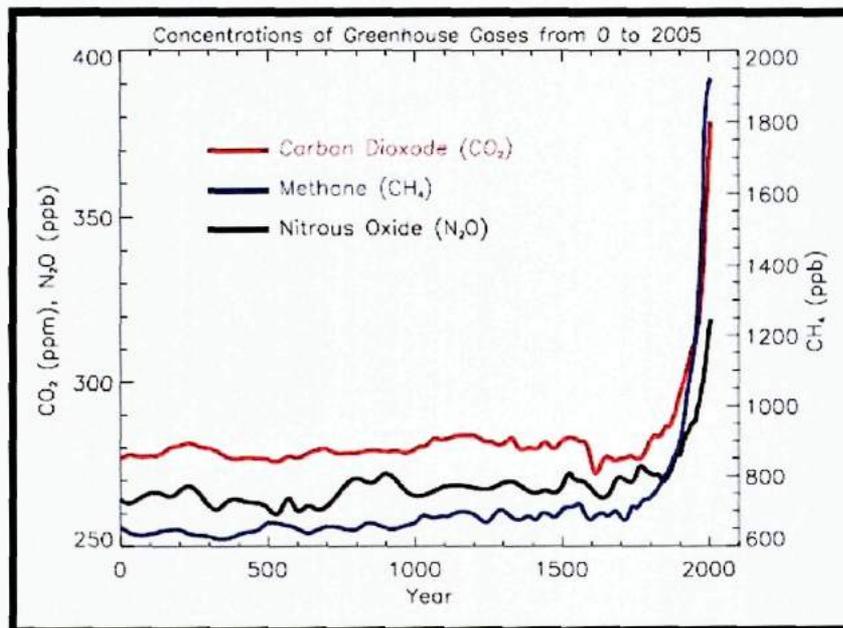


Figura [11]- Gráfico do IPCC – Valores em ppm e ppb em volume. Deve ser analisado com cuidado, já que pela forma de apresentação, visualmente podemos ter uma idéia de crescimento exagerado.

A Terra em virtude da sua imensa hidrosfera apresenta-se como um sistema de grande capacitância para mudança de temperatura. Ainda é prematuro afirmar que estamos em curso de uma alteração ou mudança climática pelo homem. O que temos feito em demasia é poluir rios, lagos, oceanos e a atmosfera nos grandes centros urbanos, com as partículas de subprodutos da queima dos combustíveis fósseis e outros poluentes, criando ilhas de calor nas grandes cidades. É possível que a nossa matriz energética seja substituída quase em sua totalidade daqui a 100 ou 200 anos e desta forma, poderemos confirmar o que os estudos sugerem hoje sobre a nossa interferência no clima ou não.

Fazendo um rápido histórico, os estudos ligados ao clima nasceram como uma tentativa de explicar as eras glaciais ou geológicas [13]. Somente para citar alguns nomes como: matemático e físico francês, Fourier, o físico inglês Tyndall e o físico e químico sueco Arrhenius, este último, teve por base os dados dos pesquisadores americanos Langley e Very [14] que utilizaram prisma de NaCl para estudo da variação da radiação infravermelha emitida pela Lua e que chega a Terra, desde um mínimo, quando a Lua está próxima do horizonte a um máximo na vertical. A não utilização do vidro foi devida a sua opacidade para essa radiação na faixa de interesse. Arrhenius, complementando os dados com pesquisa de outro sueco sobre emissões de CO₂, Högbom, publicou um artigo interessante e é considerado quem primeiro estabeleceu em um artigo científico, de forma detalhada, a relevância do

dióxido de carbono na atmosfera como agente controlador do clima. O seu trabalho original pode ser visto no site [15]. O modelo de Arrhenius, contudo era de uma só variável. Ou seja, o clima seria alterado bastando apenas à manipulação nas concentrações do gás dióxido de carbono. Ele descartou inicialmente qualquer contribuição de outros fatores da mecânica celeste que podem influenciar ou alterar o clima do planeta. Comparado com o estudo que se faz no ensino médio, dos circuitos eletrônicos, por exemplo, o modelo dele era mais ou menos como o transistor, onde através da variação da corrente mínima da base do transistor controla-se em grande escala a corrente coletor-emissor.

Hoje, quando verificamos o valor em ppmv de dióxido de carbono do início do século XX e o atual, e dados de variação da temperatura média, bem inferiores ao calculado por Arrhenius, observamos que não houve confirmação de suas previsões. Mas por que os cálculos não foram confirmados?

Fazendo uma pesquisa não foi encontrada uma publicação confiável questionando os dados. Mas há um site na internet de um geofísico pela Universidade de Utrecht, Hans Erren [16], que analisou o trabalho de Arrhenius e utilizando um programa específico de computador (<http://www.modtran.org/>), concluiu que o cientista sueco pegou dados errados, incluindo faixas de absorção da água em seu trabalho, dados esses que só foram corrigidos depois por Langley e Abbot em 1900[17] quando o trabalho de Arrhenius já havia sido publicado. Segundo Erren, com os dados atuais de espectros, o acréscimo de temperatura, por exemplo, duplicando os valores de ppmv de 370ppm para 740ppm, corresponderia a um acréscimo de apenas 0,22K. Ver figura [12] abaixo.

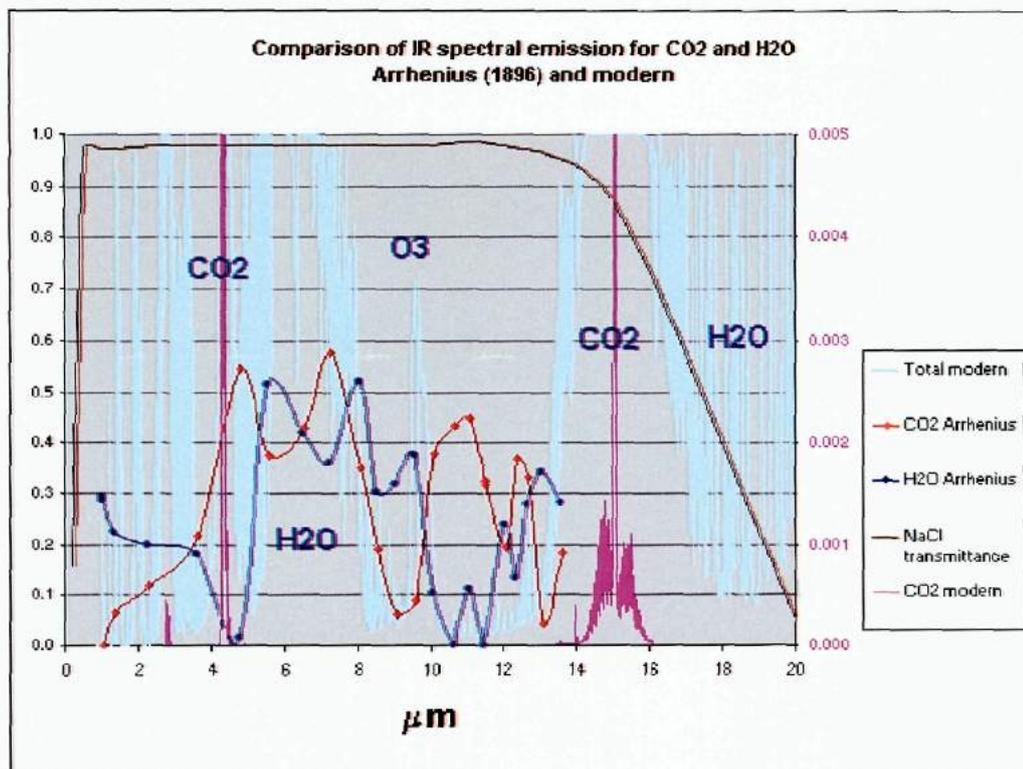


Figura [12] – Crédito Hans Erren – Comparação de faixas de absorção – Arrhenius 1896 e atual.

O gráfico acima, caso seja posteriormente confirmado por mais fontes, poderia dar um toque de finados nas estimativas de grandes mudanças climáticas por conta das emissões de CO_2 . É claro que nenhum experimento ou observação pode comprovar que uma teoria esteja certa, mas, como dizia o filósofo austríaco Karl Popper (1902 -1994), pode refutá-la [18].

Alguns questionam que o fato do dióxido de carbono ao absorver e reemitir radiação deveria também fazê-la para o espectro solar, tornando nula a sua influência. E certamente o faz. A diferença é que 99,9 % da radiação solar [19] está na faixa de $0,217 \sim 10,94 \mu\text{m}$. E como vimos no gráfico, a maior contribuição da radiação do CO_2 é de $14 \sim 16 \mu\text{m}$, essa faixa irá atuar mais após a absorção de parte da radiação do Sol (70%) pela superfície do planeta Terra que será reemitida para o espaço na frequência de máxima intensidade de radiação em $10 \mu\text{m}$, figura [13]. Essa faixa é hoje delimitada bem mais pela janela que o vapor d'água permite do que pelo dióxido de carbono. Então quem determina a janela de escape é a água em primeiro lugar. O CO_2 atua apenas como um coadjuvante, mas ainda longe de ser predominante.

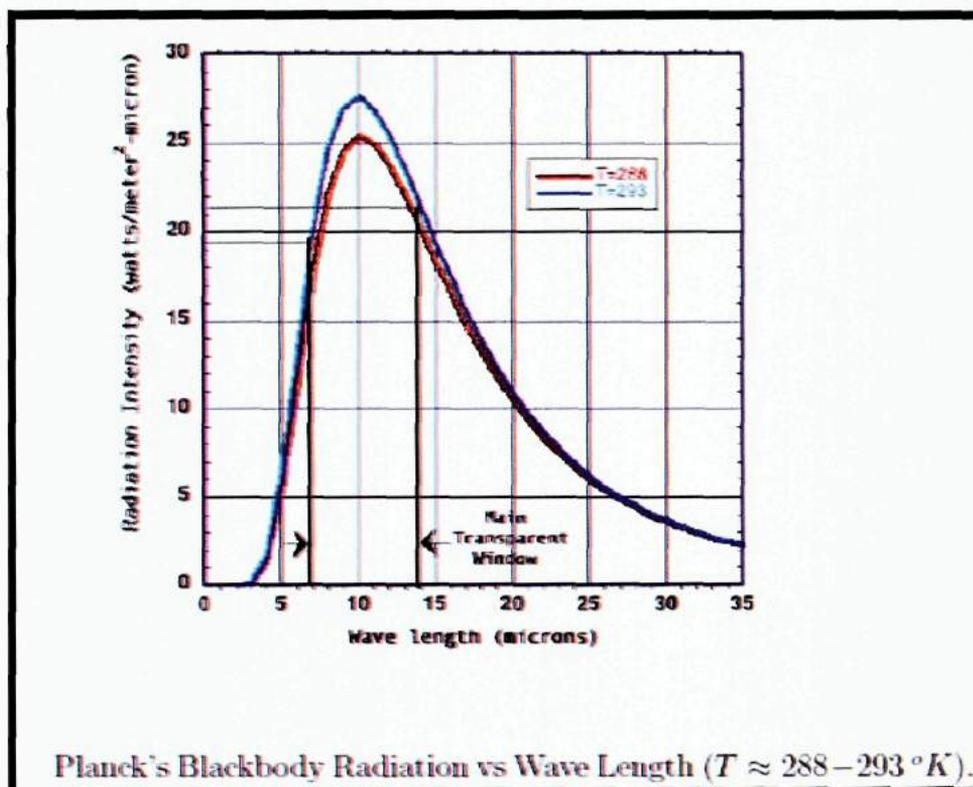


Figura [13] – Crédito S.H. Lam – Princeton University – Janela de radiação da Terra em IR.

O que podemos concluir é que há um acréscimo anual nos níveis de dióxido de carbono, mas não é possível dizer que tal acréscimo irá alterar o clima do planeta, diferentemente do que conhecemos. Talvez nem mesmo estejamos colaborando para um suposto aquecimento global. O que temos em curso é um experimento e esse demanda tempo para nos dar um resultado. Mas esse argumento encontra muito obstáculos pelo fato de que a realidade das nossas cidades diz o contrário. Nas cidades litorâneas, muitas vezes com seus arranha-céus impedindo a circulação do ar e a grande emissão de poluentes por frotas imensas de veículos parados nos engarrafamentos queimando combustível e aquecendo as ruas, chega a mais de 20°C a diferença entre pontos entre bairros mais afastados. E para agravar a situação há em volta de grandes cidades, normalmente, usinas termelétricas para a geração de energia elétrica. Então localmente alteramos o clima e nem mesmo conseguimos melhorar a nossa eficiência energética.

CAPÍTULO 5 ÁRTICO E ANTÁRTICA

A importância do Ártico e Antártica na influência do clima decorrem de que nessas regiões temos de forma mais intensa interação e trocas térmicas da água, em suas três fases, com a atmosfera.

O ar troca calor quando em contato com o solo, com o vapor d'água presente na atmosfera, com a água do oceano ou o gelo das calotas polares. Águas mais aquecida nos oceanos estocam uma quantidade de energia térmica imensa, como vimos nos exercícios dos livros didáticos. Um bloco de gelo de um metro cúbico, quando colocado em um lago não afundará, em virtude da densidade do gelo ser de $0,917\text{g/cm}^3$ ou 917 kg/m^3 , enquanto da água potável (sem sal) ser de 1g/cm^3 ou 1.000 kg/m^3 a 4°C . A densidade média da água do mar é de aproximadamente $1,025\text{g/cm}^3$ ou 1.025kg/m^3 . O valor é maior do que a densidade das águas dos rios e lagos em virtude da salinidade. Quanto mais sal na água mais densa ela será. O gelo que se forma sobre os rios, lagos e oceanos é de água isenta de sal. Quando grandes blocos de gelo se desprendem das calotas polares são denominados icebergs, estes são levados pela correnteza e lentamente são liquefeitos pela troca térmica com as águas dos oceanos. É comum utilizarmos o termo “ponta do iceberg”, quando nos referimos a um problema em que apenas uma pequena parte está aparente. Utilizando o teorema do empuxo de Arquimedes podemos verificar que em um iceberg 90% do seu volume fica submerso no oceano.

Imaginemos que estamos em uma região extremamente fria, como na Antártica, e precisássemos de água líquida e temos um bloco de 1 kg de gelo disponível, mas a uma temperatura de -40°C . Caso desejássemos descongelar esse bloco com um secador de cabelo, ou em um fogão elétrico, por exemplo, deixando no final essa água a 30°C , iríamos primeiro ter que calcular o quanto isso nos custaria em termos de kWh. O cálculo é simples e é feito por partes. Em primeiro lugar precisamos saber que o calor específico do gelo é de $0,5\text{cal/g}^\circ\text{C}$. Isso significa que para cada grama de gelo aumentar em 1°C a sua temperatura, tem que se adicionar a cada grama $\approx 0,5\text{cal}$. O cálculo também pode ser feito diretamente em Joules, bastando usar a relação $1\text{cal} = 4,186\text{ J}$.

A fórmula normalmente utilizada é $Q = mc \Delta T$, ou fazendo $mc = C \rightarrow Q = C\Delta T$, onde c é calor específico e C é capacidade calorífica de toda a massa. O ΔT é a diferença de $T_f - T_i$ temperatura inicial menos a temperatura final. Então devemos calcular o valor de energia necessária para aquecer esse gelo de -40°C até 0°C . A variação de temperatura na

fase sólida é de 40 °C. Depois, antes de calcularmos a energia necessária para aquecermos a água de 0°C até 30 °C precisamos calcular a energia absorvida na transição de fase de sólido para líquido. É o chamado calor latente. O calor latente de liquefação do gelo L é de 80 cal/ g. Observe aqui que uma grande quantidade de calor é absorvida por cada grama de água somente na transição de fase. A explicação é simples, pois como já vimos a água é uma molécula polar e essa atração forte é que é a causa da necessidade de tanta energia para aumentar a vibração e permitir que as moléculas transitem com maior grau de liberdade, saindo da rigidez do arranjo de menor energia de vibração do sólido. Então, para variar os 1.000 gramas de água de -40 até 0°C precisamos: $Q_{\text{gelo}} = 1.000g \times \frac{0,5\text{cal}}{g^{\circ}\text{C}} \times 40^{\circ}\text{C} = 20.000 \text{ cal}$. Depois na transição temos: $Q_{\text{gelo}/\text{água}} = m \times L = 1.000g \times 80 \frac{\text{cal}}{g} = 80.000\text{cal}$. E finalmente para aquecermos até 30 °C, temos: $Q_{\text{água}} = 1.000 g \times \frac{1\text{cal}}{g^{\circ}\text{C}} \times 30^{\circ}\text{C} = 30.000\text{cal}$. Somando a energia de todas as etapas, temos $Q_{\text{total}} = 20.000 \text{ cal} + 80.000 \text{ cal} + 30.000\text{cal} = 130.000\text{cal}$. Multiplicando o resultado por 4,186 obtemos em Joules = 544.180J. Vimos anteriormente que um kWh = 3.600.000J. Logo a energia requerida para transformar o gelo de -40 °C em água a +30 °C é de 0,151 kWh.

Deste modo, teremos um valor de 0,151 kWh para aquecermos um kg de gelo nas condições acima. O Cálculo poderia continuar até a vaporização, quando novamente teríamos uma nova transição de fase, de líquido para gasoso. Na pressão de uma atm, a água ferve a 100 °C e absorve 540cal por grama na vaporização. O vapor d'água de forma inversa, para condensar, precisa liberar a mesma quantidade de energia. É comum em dias quentes a formação de gotículas de água em superfícies frias como em um copo de vidro ou metal em que possua algum líquido dentro a uma temperatura mais fria do que a ambiente. Essa troca térmica em que as gotículas irão aparecer do lado de fora do copo, pela condensação do vapor d'água presente na atmosfera, ao mesmo tempo irá aquecer o líquido internamente. É comum em nossas experiências diárias quando, por exemplo, deixamos um copo com água gelada ao ambiente para que essa água seja aquecida naturalmente. Mas é preciso que a temperatura do ambiente que contém o vapor d'água esteja mais elevada do que da superfície do copo. Em regiões muito frias, onde a umidade relativa do ar é quase zero, o experimento deverá ser de forma diferente. Algumas pessoas que visitam países frios costumam fazer uma experiência simples, que consiste em jogar para o alto água quente de uma garrafa térmica e ver pequenos cristais de neve. A troca térmica neste caso foi das gotículas ou vapor d'água que se resfriaram rapidamente ao ceder calor para a atmosfera.

A tabela [1] abaixo mostra o calor molar ou capacidade calorífica por mol, C_v , em cal/mol.K, a volume constante dos principais gases constituintes da nossa atmosfera. A tabela [2] mostra c_p e c_v em kJ/kg K. Podemos até calcular a quantidade de calor que um quilograma de nitrogênio irá requerer para aumentar de um grau a sua temperatura. Basta saber que em 1kg de N_2 temos 35,7 mols e ao multiplicarmos por 4,93 cal/mol.K, temos o valor para a variação de 1°C nesse gás que é de 176 cal. Considerando que seja a água a fonte dessa energia é possível verificar que 1kg de água irá aquecer 5,68 vezes o peso em nitrogênio, para variação de 1K, com o gás mantendo o volume constante. Com o cálculo, à pressão constante, em que o gás expande, utilizando o valor da tabela [2], a relação cai para 4.03. Fazendo-se os cálculos para a atmosfera, o valor fica próximo, em virtude da predominância do nitrogênio.

Como já vimos anteriormente, a água armazena muito mais energia térmica para o mesmo peso do que a atmosfera. Essa capacidade de armazenar energia é que faz com que as águas mais quentes dos oceanos aqueçam grandes massas de ar em locais distantes, permitindo um clima mais ameno com relação ao período de extremo frio. O melhor exemplo disso é a corrente do golfo, Figura [1], que permite em locais de mesma latitude como cidades da Inglaterra tenham clima menos frio no inverno do que cidades na mesma latitude no Canadá.

Tabela de C_v a 15°C e 1 atm	
Gás	C_v (cal/mol.K)
N_2	4,93
O_2	5,04
Ar (Argônio)	2,98
CO_2	6,75
CO	4,94
He	2,98
H_2	4,87
N_2O	6,81
SO_2	7,49

Tabela [1] – Tipler – Calor específico molar a volume constante C_v .

Nota: Embora eventualmente alguns autores utilizem C_v com C maiúsculo para o calor específico molar a volume constante, em seu livro Termodinâmica – Teoria e Problemas

Editora LTC – Adir Moysés[1] define capacidade calorífica com C maiúsculo como:
 $C_v = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_v$; $C_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p$ e neste caso o calor específico é com c minúsculo $c = \frac{C}{m}$ e

menciona “ Não existe nenhuma possibilidade de confundir essas grandezas, visto que escreveremos sempre as unidades pertinentes. Por exemplo, caso você encontre em um problema um dado do tipo: $c_v = 5 \text{ cal}/(\text{mol.K})$, é claro que esse dado refere-se ao **calor específico molar a volume constante.**” Desta forma o calor específico c é em cal/g.K ou kJ/kg.K e a capacidade calorífica C de um sistema terá as unidades, por exemplo, em cal/K ou kJ/K .

A tabela abaixo reproduzida mostra os valores de calor específico c_p e c_v em (kJ/kg.K)

Gás ou Vapor	Fórmula	Calor Específico				Razão entre os Calores Específicos
		C_p	C_v	C_p	C_v	$K = c_p / c_v$
		(kJ/kg K)	(kJ/kg K)	$(\text{Btu/lb}_m^\circ\text{F})$	$(\text{Btu/lb}_m^\circ\text{F})$	
Ar (atmosfera)	-	1.01	0.71	0.24	0.17	1.40
Amônia	NH_3	2.19	1.66	0.52	0.4	1.31
Argônio	Ar	0.520	0.312	0.12	0.07	1.667
Butano	C_4H_{10}	1.67	1.53	0.395	0.356	1.094
Dióxido de Carbono	CO_2	0.844	0.655	0.21	0.16	1.289
Monóxido de Carbono	CO	1.02	0.72	0.24	0.17	1.40
Hidrogênio	H_2	14.32	10.16	3.42	2.43	1.405
Metano	CH_4	2.22	1.70	0.59	0.45	1.304
Nitrogênio	N_2	1.04	0.743	0.25	0.18	1.400
Óxido Nitroso	N_2O	0.88	0.69	0.21	0.17	1.27
Oxigênio	O_2	0.919	0.659	0.22	0.16	1.395
Vapor d'água	Vapor 1 psia 120 – 600 °F	1.93	1.46	0.46	0.35	1.32
	Vapor 14.7 psia 220 – 600 °F	1.97	1.5	0.47	0.36	1.31
	Vapor 150 psia 360 – 600 °F	2.26	1.76	0.54	0.42	1.28

- Calor específico a pressão constante = c_p
- Calor específico a volume constante = c_v

Tabela [2] - c_p e c_v de gases em kJ/kg K . psia = libras por polegadas quadradas em pressão absoluta.

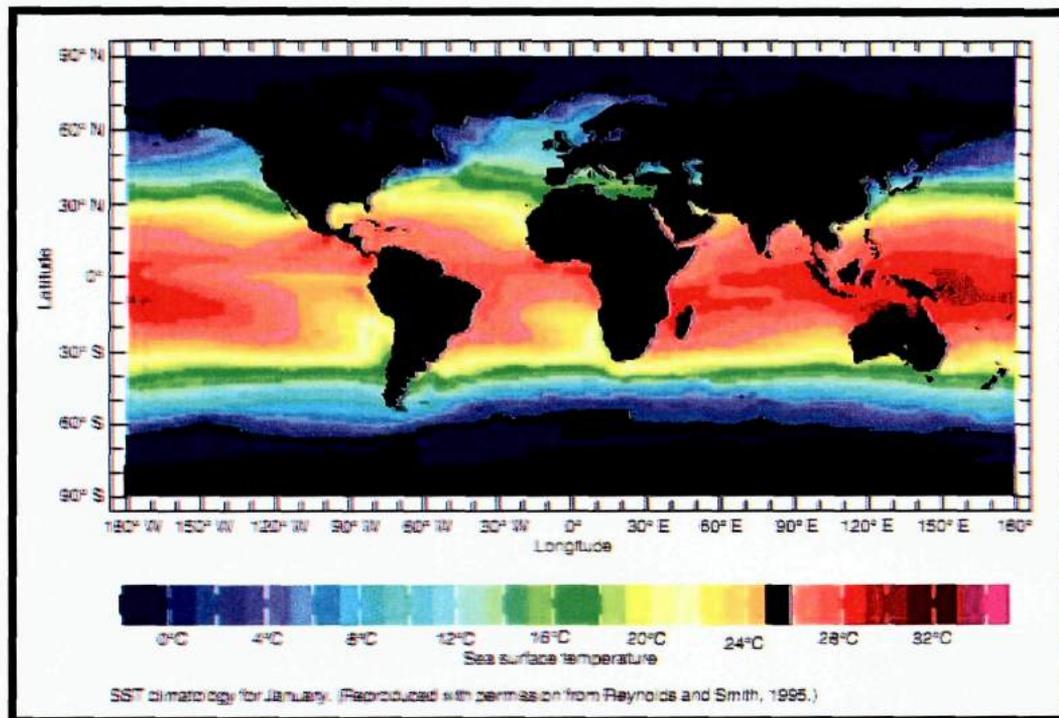


Figura [1] – Temperatura para a superfície da água (Sea Surface Temperature) em janeiro.

O vapor d'água presente na atmosfera é um importante agente no controle do clima. A figura abaixo de março de 2011, elaborada com dados do Satélite Aqua, mostra o volume de vapor que em um dado momento fosse todo condensado em uma coluna atingiria uma determinada altura em cm. Podemos observar que próximo ao equador a umidade é máximo e diminui até um mínimo nas regiões polares.

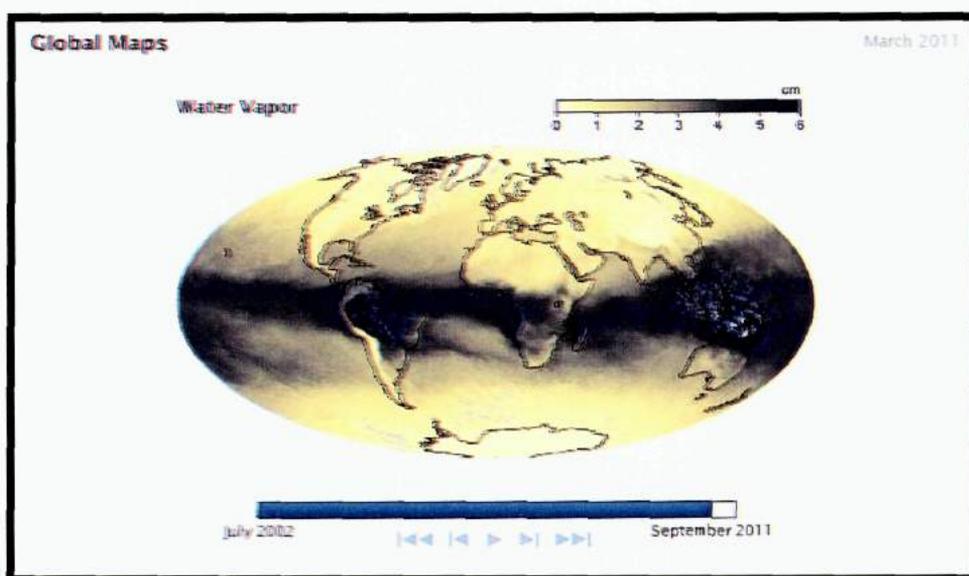


Figura [2] – Vapor d'água pelo Satélite Aqua. Na data de acesso do site, os dados possíveis de observação vão de julho de 2002 a setembro de 2011.

Neste capítulo iremos analisar a situação do gelo em solo do Ártico e Antártica. Todo o trabalho desenvolvido até aqui foi verificar os livros didáticos e sugerir problemas sobre as variações climáticas na Terra ou fazer comparações com outros corpos do sistema solar. Fizemos análise de vários fatores, desde marés gravitacionais, como ocorre na lua Galileana de Júpiter, IO; precessão do eixo de rotação da Terra em um período de 26.000 anos; impactos de meteorito, como o de Chicxulub, na província de Yucatán no México ou emissões de lava e cinzas vulcânicas aqui na Terra, como dos vulcões Pinatubo e Krakatoa – este que após explodir recebeu nova denominação de Krakatau.

Uma abordagem recorrente nos livros de física e trabalhos científicos é a possibilidade de derretimento do gelo permanente nas calotas polares. Quais seriam as implicações em relação ao nível do mar, por exemplo? Em primeiro lugar é preciso quantificar o desbalanceamento energético no nosso planeta. Hansen et al[2] informa um valor de absorção por parte da Terra atualmente em $0,85 \pm 0,15 \text{ W/m}^2$. Esse desequilíbrio é o resultado da radiação que é absorvida e reemitida pelo planeta. Calcula ainda que de 1955 a 1988 e a uma taxa de 1 W/m^2 , pela área total da Terra dá $\sim 1,61 \times 10^{22} \text{ J}$. Na figura [3] temos um resumo desse trabalho.

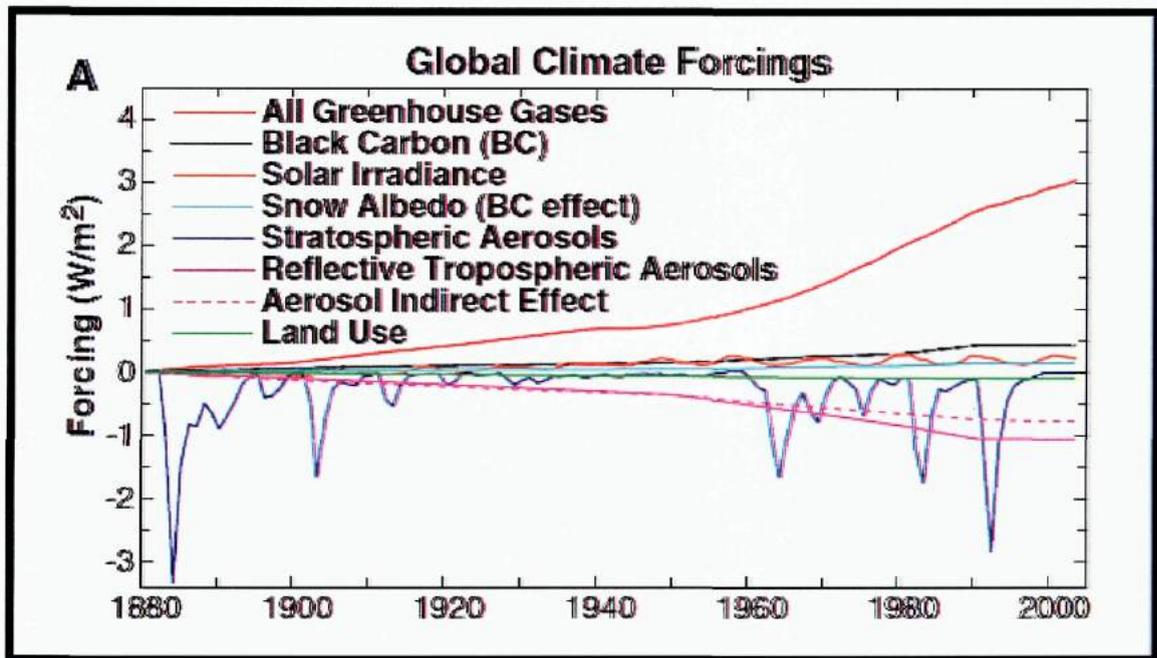


Figura [3] – Desbalanceamento energético da Terra. Crédito – Hansen et al. A linha vermelha mais acima é referente ao somatório de todos os gases do “efeito estufa”. A linha laranja em forma de seno sugere um pequeno acréscimo da radiação solar.

Então um problema razoável seria supor que atualmente estamos em um processo de descongelamento, por exemplo, do Permafrost (terras congeladas por mais de dois anos seguidos) e camadas de gelo no Ártico. Devemos de uma forma didática estipular algumas variáveis para resolução do problema. No site <http://ipa.arcticportal.org/> encontra-se informações sobre as diversas implicações de um possível aquecimento, como a liberação de dióxido de carbono e metano em caso de uma mudança climática acentuada. Para alguns pesquisadores o metano do Ártico seria o maior problema. Há ainda informações sobre os dados e perspectivas de prospecção de petróleo, mas não há como explorar ainda com tanto gelo.

Considerando inicialmente o Ártico, para fins didáticos, calcularemos apenas o acréscimo ao nível dos oceanos em caso de derretimento do gelo da Groelândia. Contudo, antes do cálculo, devemos observar que o processo atual de elevação do nível dos oceanos, provavelmente é a continuidade de um evento que teve início há mais de 20.000 anos, conforme figura [4].

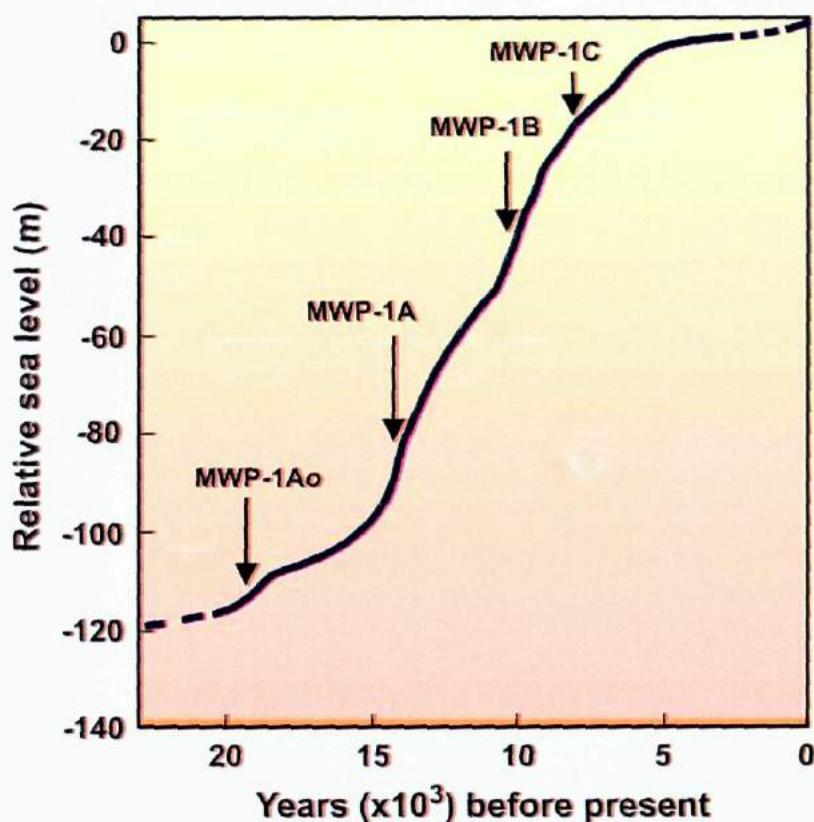


Figura [4] – NASA – Elevação do nível dos oceanos nos últimos 20.000 anos. MWP = meltwater pulse.

Desta forma, antes do início da elevação do nível dos oceanos no Ártico, o Estreito de Bering já foi uma fria faixa de terra interligando a Sibéria ao Alasca, como definida pelo historiador Geoffrey Blainey. Ainda, de acordo com o historiador, em algum momento antes de 22.000 AC os primeiros humanos atravessaram essa faixa de terra para chegar ao que hoje é a América [3].

Como atualmente as atenções estão voltadas mais para o Ártico, segue abaixo a sequência de imagens e gráficos sobre o comportamento do gelo ao longo do ano. Animação do site da NASA: <http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a003600/a003698/index.html>.

Podemos ter uma idéia da variação de área do gelo do Ártico ao longo de um ano, iniciando com a mínima em 01/09/2009 e terminando em 30/03/2010.

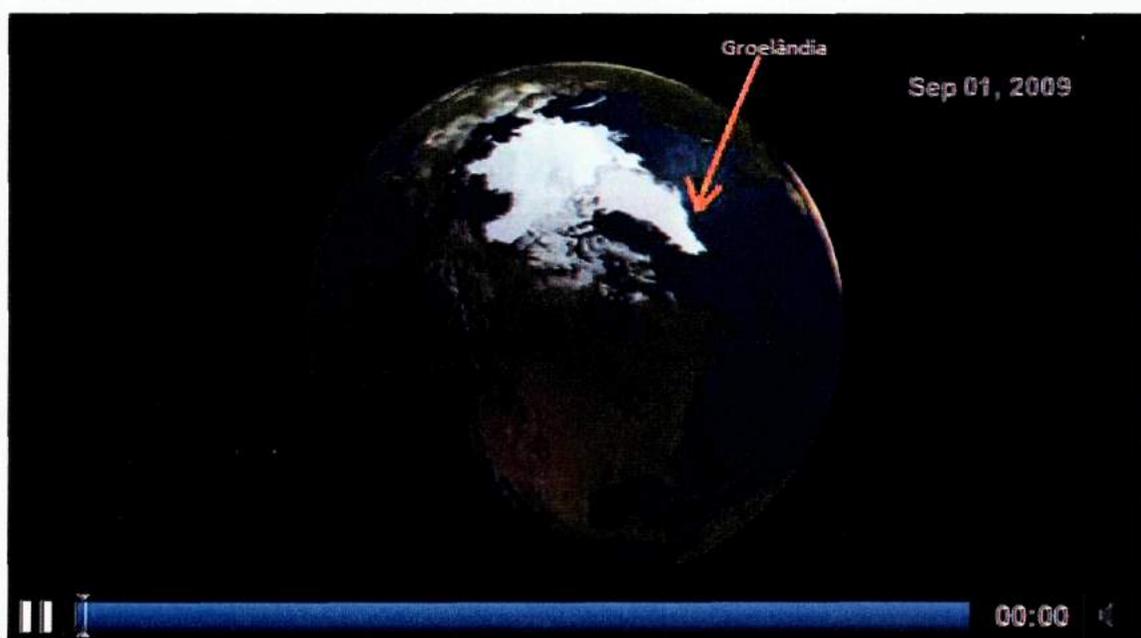


Figura [5] – NASA – Animação da variação anual do gelo no Ártico 2009/2010 – 01 de Set. 2009.

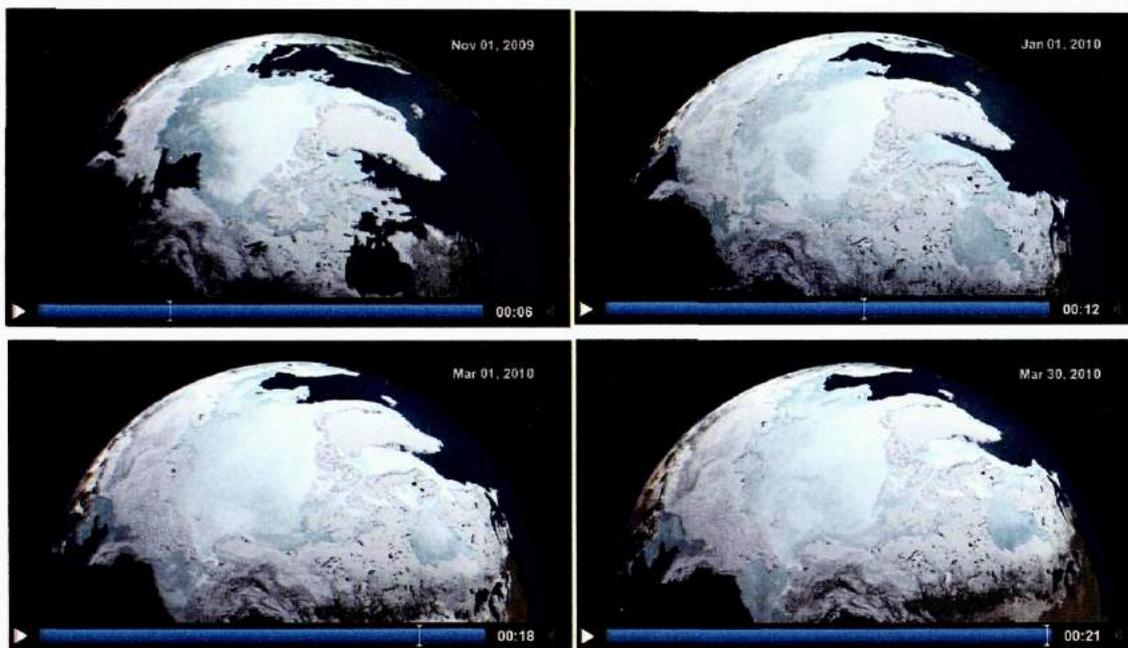


Figura [6] NASA – 01 de Nov. 2009, 01 Jan. 2010, 01 Mar. 2010, 30 Mar. 2010.



Figura [7] – NASA – Em março o gelo atinge a máxima.

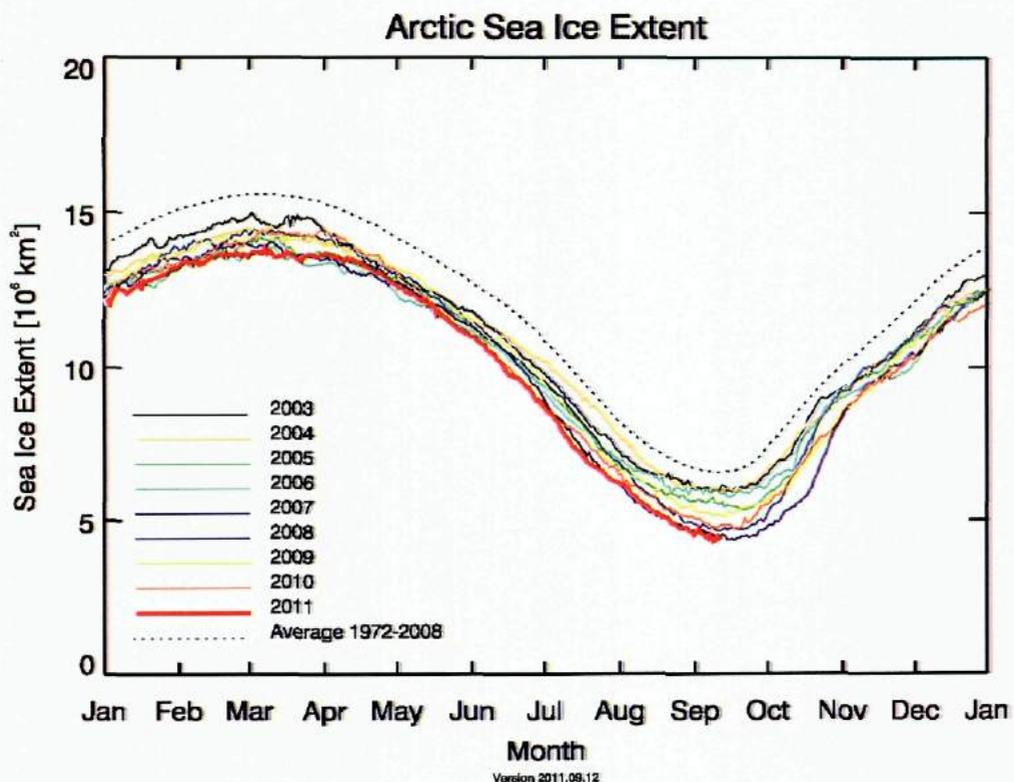


Figura [8]- NOAA – Comparação da máxima e mínima com anos anteriores.

Voltando ao problema do degelo, devemos ter de calcular a taxa de variação anual de acréscimo de nível na elevação dos oceanos. Este cálculo requer uma estimativa didática para ser debatida em sala de aula pelo professor. Por exemplo, de um século, para o Ártico e 10 séculos para a Antártica. Essa escolha é didática e visa somente um cálculo, pois as pesquisas são ainda muito recentes e a variação na escala de tempo em que essas geleiras foram formadas estaria considerando uma alteração muito rápida. O cálculo será feito apenas utilizando o valor estimado do gelo da Groelândia de 2.85 milhões de km^3 [4] e a densidade do gelo = 917 kg/m^3 . Utilizando-se a área da superfície terrestre de $5,1 \times 10^{14} \text{ m}^2$ e considerando que 71% dessa área é ocupada pelos oceanos, então em um cálculo aproximado sem levarmos em consideração o acréscimo de áreas significativas em função da elevação do nível dos oceanos, podemos desta forma calcular que somente o gelo da Groelândia chegaria a:

$$\left((2,85 \times 10^6 \times 10^9 \text{ m}^3) \times 917 \text{ kg/m}^3 \right) \div (0,71 \times 5,1 \times 10^{14} \text{ m}^2) = 7.200 \text{ kg/m}^2$$

Considerando que em cada m^3 temos 1.000 kg de água, logo $7.200 \text{ kg} = 7,2 \text{ m}^3$, que equivale a uma altura de 7,2m. O cálculo pode ser feito mais rápido, transformando o volume de gelo em volume de água através da multiplicação por 0,917, conforme será feito no cálculo para o gelo da Antártica. A escolha de um século, 10 séculos ou 100 séculos para o

derretimento do gelo sobre terra é apenas didática, pois na prática não sabemos o que ocorrerá na próxima década. As figuras [9] e [10] da NASA mostram a evolução dessa variação.

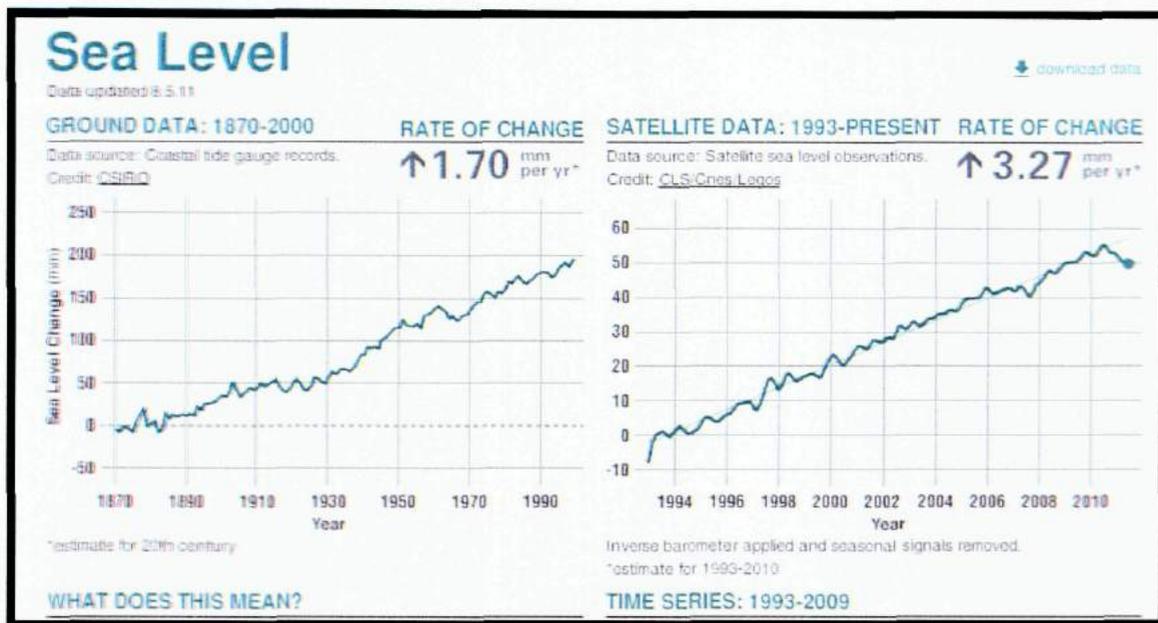


Figura [9] – NASA – Aumento do nível dos oceanos.

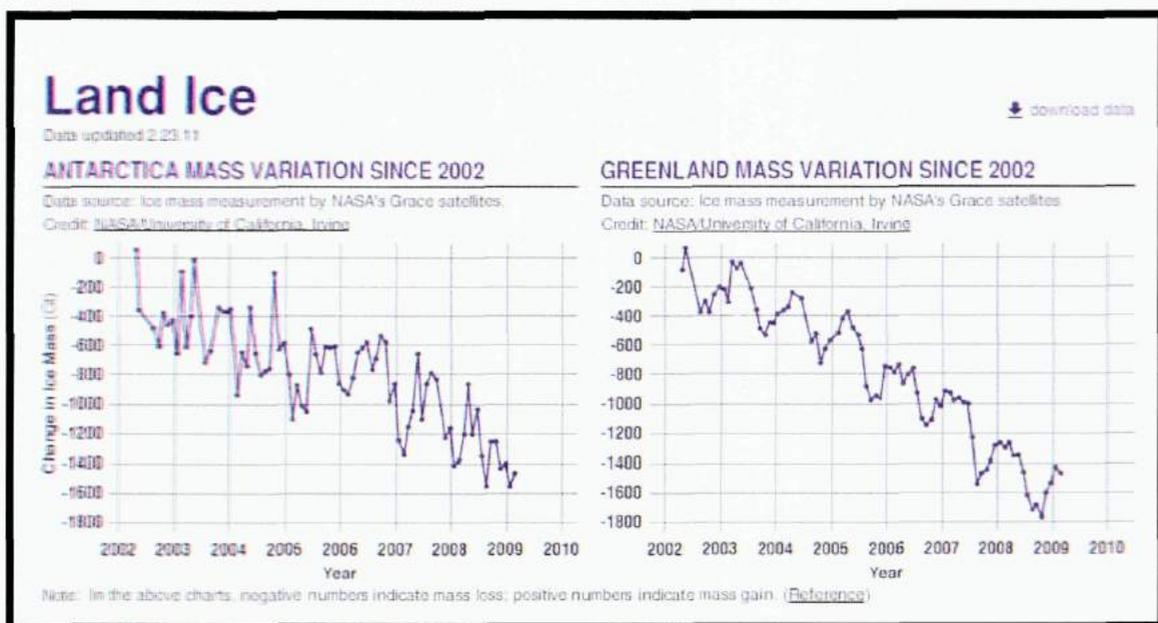


Figura [10] – NASA – Satélite Grace. Variação do gelo sobre terra da Antártica e Groelândia. Valores em 1 Gt = 10¹² kg.

Embora os valores indicados sejam enormes, devemos comparar com o montante de gelo do Ártico $2,61 \times 10^{18} \text{ kg}$. e Antártica[5], $2,26 \times 10^{19} \text{ kg}$, a fim de termos uma avaliação de um derretimento significativo. Com esses dados, o professor poderá em sala de aula solicitar a seus alunos o cálculo de quanto tempo levaria para um aumento de 10 metros ao nível dos oceanos.

Através da figura [11], que mostra a profundidade do Oceano Ártico e com os dados de volume de água da tabela [3] podemos ver que esse oceano é muito sensível o que torna a região mais susceptível às influências de correntes de águas aquecidas do Atlântico e Pacífico do que a Antártica.

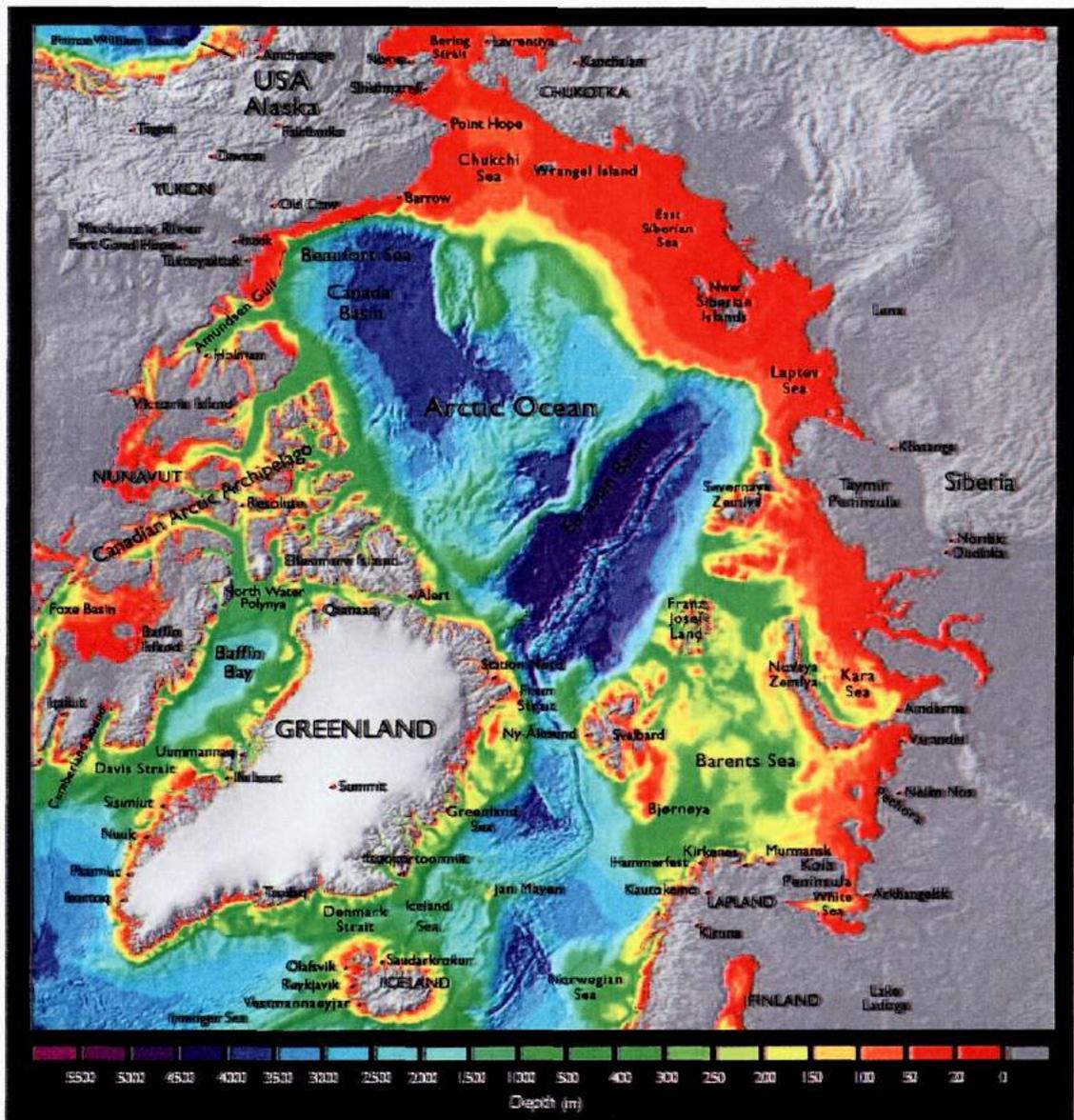


Figura [11] – Crédito ACIA – Elevação do leito do Oceano Ártico – As áreas em vermelho são as mais rasas.

Na tabela abaixo, podemos ver que o Oceano Ártico é o menor dos oceanos, perdendo apenas para o Mar do Sul da China. E ainda através do mapa na Figura [13], que o ártico é rodeado de continentes, diferentemente da Antártica, que é um continente rodeado por oceanos. Essa diferença contribui para fazer do Ártico um local muito mais instável do que a Antártica.

	Área* (km ²)	% Oceano Área	Volume (km ³)	% Oceano Volume	Profund. Média (m)	Profund. Máxima (m)
Oceano Ártico	15.558.000	4,3	18.750.000	1,4	1205	5567
Oceano Atlântico	85.133.000	23,5	310.410.900	23,3	3646	8486
<i>Mar Báltico</i>	406.000	0,1	20.900	0,0	51	392
<i>Mediterrâneo</i>	2.967.000	0,8	4.390.000	0,3	1480	5139
<i>Atlântico Norte</i>	41.490.000	11,5	146.000.000	10,9	3519	8486
<i>Atlântico Sul</i>	40.270.000	11,1	160.000.000	12,0	3973	8240
Oceano Índico	70.560.000	19,5	264.000.000	19,8	3741	7906
Oceano Pacífico	161.760.000	44,7	660.000.000	49,4	4080	10.803
<i>Pacífico Norte</i>	77.010.000	21,3	331.000.000	24,8	4298	10.803#
<i>Pacífico Sul</i>	84.750.000	23,4	329.000.000	24,6	3882	10.753
Mar do Sul da China	6.963.000	1,9	9.880.000	0,7	1419	7352
Oceano Antártico*	21.960.000	6,1	71.800.000	5,4	3270	7075
Total:	361.900.000*	100	1.335.000.000	100	3688	10.803
erro estimado	0,10%		1%			

Tabela [3] – Crédito NOAA – Área e Volume dos Oceanos da Terra.

+ Os limites entre oceanos variam dependendo da agência, tornando difícil comparações com outras estimativas publicadas.

▣ A superfície total da Terra é 510.082 mil quilômetros quadrados. Os oceanos cobrem ~70,9%.

* A área do Oceano Antártico e volume calculado a partir de ETOPO1 versão Bedrock (inclui os mares Weddell e Ross sem a cobertura de gelo).

Profundidade do oceano mais fundo # é na Fossa das Marianas, medido em 10.911 metros. Não se espera que a profundidades máximas de ETOPO1 correspondem exatamente à mesma medida de outras profundidades máximas, pois ETOPO1 representa a profundidade média de áreas de ~4 km².

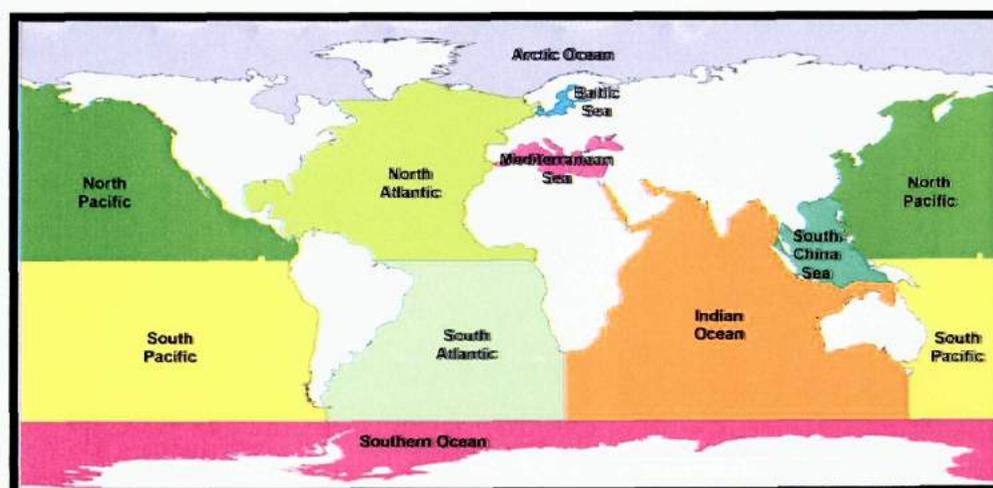


Figura [12] – Topologia dos Oceanos

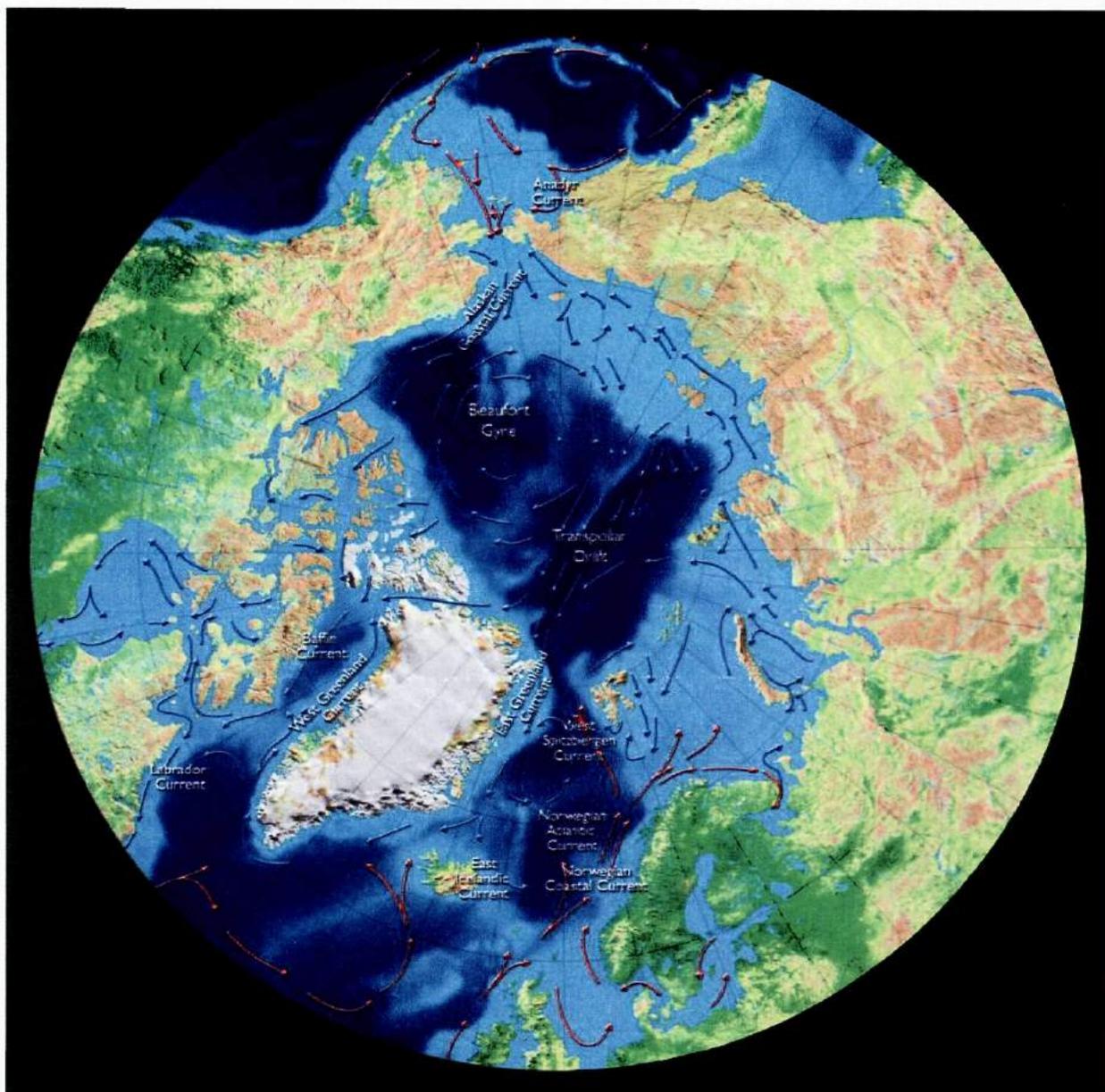


Figura [13] – Correntes no Oceano Ártico. Estimada em $800.000\text{m}^3/\text{s}$ no estreito de Bearing.

Complementando os dados anteriores de variação de área ocupada pelo gelo ao longo do ano no Oceano Ártico, de acordo com observações do Satélite Aqua, em 09/09/2011 houve a mínima em extensão do gelo sobre o Ártico em 4.33 milhões de km^2 para 2011[6].

September/March (minimum/maximum)	September Average Extent (millions of square kilometers)	March Average Extent (millions of square kilometers)
1979-2000 mean	7.0	15.7
1999/2000	6.2	15.3
2000/2001	6.3	15.6
2001/2002	6.8	15.4
2002/2003	6.0	13.3
2003/2004	6.1	15.1
2004/2005	6.0	14.7
2005/2006	5.6	14.4
2006/2007	5.9	14.6
2007/2008	4.3	15.2
2008/2009	4.7	15.2
2009/2010	5.4	15.1
2010/2011	4.6	14.6

Tabela [4] – Variação anual do gelo no Ártico.

Mas a Antártica desperta mais fascínio pelas dimensões de suas camadas de gelo. E sempre vem junto a questão dos gases do efeito estufa, principalmente o dióxido de carbono. Fisicamente falando, antes de analisarmos porque a placa de gelo da Antártica está liberando icebergs, deveríamos perguntar por que ela se formou. Fazendo uma breve comparação de volume de água, imaginemos que a Antártica estivesse descongelando a uma vazão do Rio Amazonas $209.000\text{m}^3/\text{s}$ [7]. Como em um ano temos 31.557.600 segundos, logo quando fazemos os cálculos essa volume de água armazenado em forma de gelo sobre terra na Antártica seria equivalente a 3.434 anos de fluxo do Amazonas, ou o mesmo que dizer que a água existente sobre o continente na Antártica é equivalente a 3.434 anos de vazão média do Rio Amazonas.

Poderíamos imaginar um problema inverso: como seria caso estivéssemos no início de uma superglacial, onde alguém pudesse prever que o gelo iria cobrir parte do Oceano Atlântico e terras na América do Sul e chegar ao território brasileiro até a Cidade de São Paulo em um período curto, de apenas 1.000 anos? Esta seria uma situação problemática para milhões de pessoas, mas uma vez que pudéssemos prever o avanço do gelo anual, poderíamos deslocar pessoas para regiões mais distantes e então o planejamento seria feito de forma menos traumática. Mas será que alguém iria questionar se o frio intenso seria de origem antropogênica? Qual o tipo de alteração que o ser humano poderia realizar na superfície da Terra ou na atmosfera que pudesse desencadear uma superglacial? Talvez um gás nos moldes dos CFCs mas com características de refletir a luz visível do Sol e dessa forma diminuir o valor da constante solar na superfície do planeta. Então comprovaríamos que o tal gás era o agente causador da mudança climática e seria banido imediatamente. Mesmo assim ainda iríamos calcular quanto tempo o remanescente do gás permaneceria na atmosfera impedindo

parte da luz do Sol. Então, depois de 1.000 anos supondo que uma quantidade suficiente desse gás já tivesse sido absorvido na superfície, aguardaríamos ansiosos o recuo do gelo nas próximas gerações. Mas se nas gerações seguintes o gelo continuasse impassível, então teríamos que modificar a nossa teoria e tentar ver dentre os outros fatores qual seria o predominante agora.

O experimento fictício anterior constituiu um raciocínio apenas para caracterizar um aspecto importante da ciência que é a confirmação da teoria através de experimentos. O que nos impede de afirmar que a introdução de dióxido de carbono na atmosfera é o fator preponderante na suposta variação climática atual é um fato que por enquanto não podemos manipular: retirar o dióxido de carbono em 100ppm de um ano para o outro e ver como se comporta o clima. Mas qualquer um pode questionar e afirmar que o simples fato de haver acréscimo anual de gás é suficiente para afirmar que o acréscimo de temperatura é decorrente dessa. Desse modo precisamos nos preparar para um experimento longo.

Devemos construir uma nova matriz energética em 100 anos e deixar o carvão e os hidrocarbonetos para aplicações específicas. Então à medida que os níveis de dióxido de carbono caíam para valores pré-industriais, teremos elementos para analisar os seus efeitos sobre o clima.

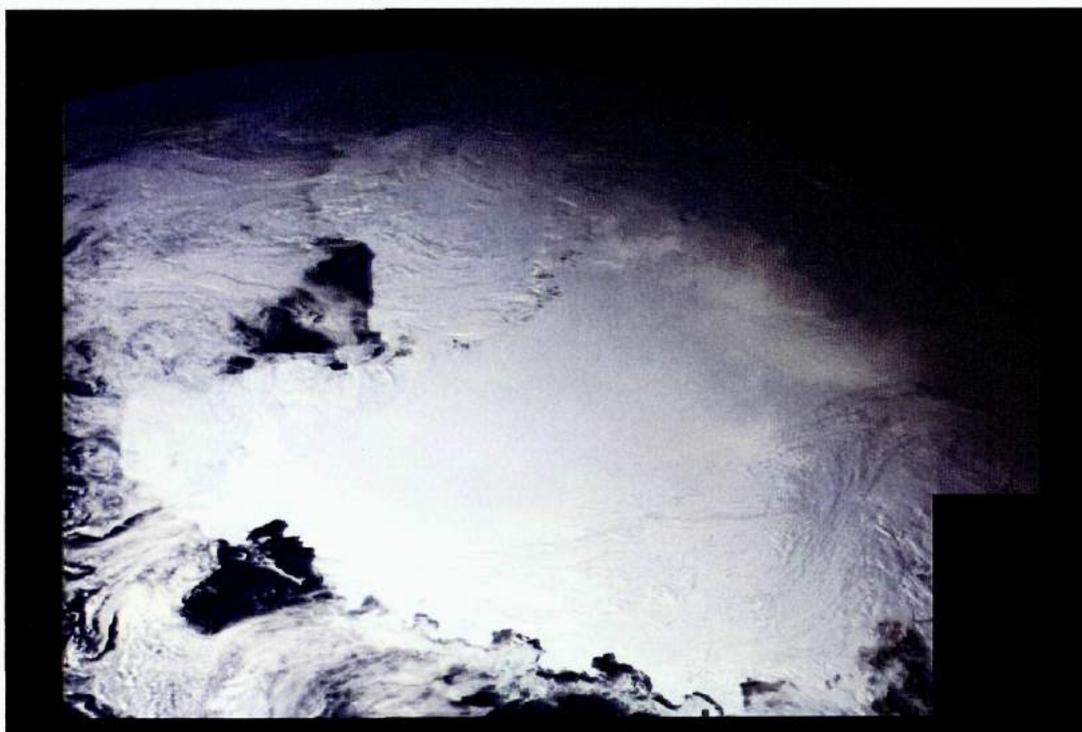


Foto [1] – NASA Sonda Galileu. 08 de Dez. 1990. – A Antártica vista pela sonda Galileu em sua primeira passagem pela Terra.

Continuando o cálculo sobre a variação no nível dos oceanos, a Antártica possui uma área de 13.829.430 km² [8]. Estima-se em 25,4 milhões de km³ o volume total do gelo e em 24,7 milhões de km³ o gelo em terra firme. Caso esse gelo derretesse em mil anos o acréscimo ao nível dos oceanos seria:

$$\left((24,7 \times 10^6 \times 10^9 \text{ m}^3) \times 0,917 \right) \div (0,71 \times 5,1 \times 10^{14}) \cong 62,6\text{m}.$$

Um valor de aproximadamente 62,6mm/ano. Ao término dos dez séculos essa diferença de nível chegaria a 62,6m. O mesmo derretimento em 100 séculos, 10.000 anos, daria 6,3mm/ano.

O que nos faz acreditar que esse gelo não derreteria em uma velocidade maior é o fato de ele ter locais com até 800.000 anos [9], de acordo com a figura abaixo. Exceto no caso de evento de pulso de derretimento, conforme a Figura [4] anterior.

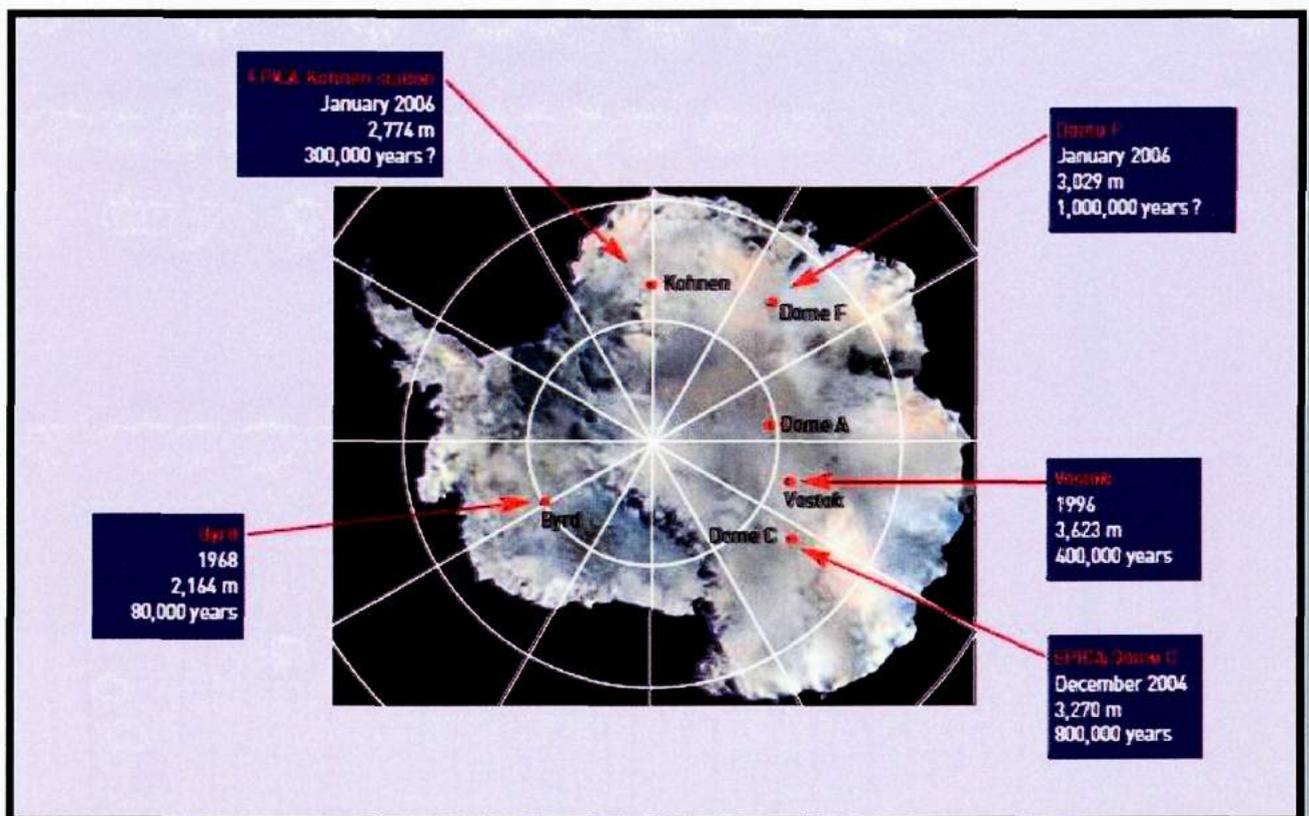


Figura [14] NASA – EPICA – Antártica. Locais de Furos para análise das condições climáticas em épocas remotas.

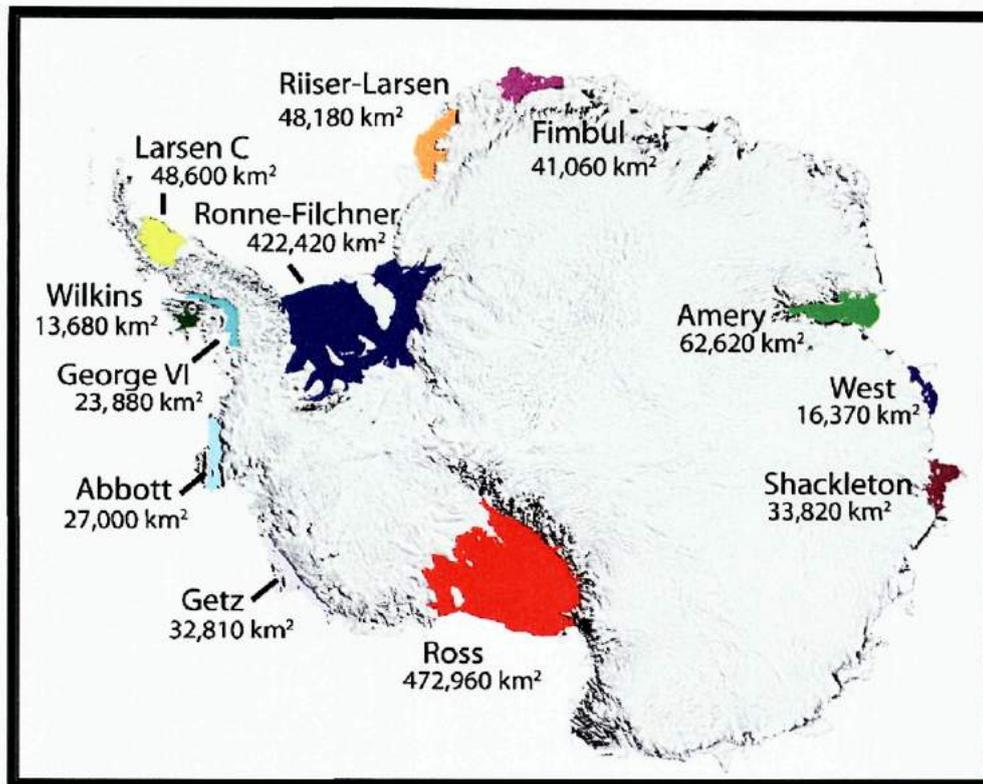


Figura [15] – Antártica. As áreas coloridas são de gelo flutuante.



Foto [2] – Antártica -Plataforma de Ross.

The Ross Ice Shelf, at the Bay of Whales, is the southern-most navigable point on Earth.
 —Credit: Michael Van Woert, National Oceanic and Atmospheric Association (NOAA) NESDIS, ORA

Para complementar as informações, na Antártica, a elevação do gelo fora d'água na plataforma de Ross, figura [15] e foto [2] acima é variável de 30 a 60m, dependendo do local [10].

De acordo com o site da National Geographic (NG) [11] a temperatura média no verão na Antártica é de $-6,66\text{ }^{\circ}\text{C}$ e no inverno $-34,44^{\circ}\text{C}$. Lá em 1983 foi registrada a menor temperatura da Terra na estação russa de Vostok, $-89,2^{\circ}\text{C}$. Comparando com o Ártico, a menor temperatura foi registrada no vilarejo de Verkhoyansk, na Sibéria (-94°F) ($-67,8^{\circ}\text{C}$).

O objetivo deste capítulo foi principalmente quantificar o gelo da Groelândia e Antártica. No cálculo do acréscimo de nível foi considerado todo o continente como acima do nível médio do mar, para simplificação.

CONCLUSÃO

Após a análise nos livros didáticos selecionados, procurou-se evidenciar que os fatores envolvidos nas variações climáticas, ou mesmo mudança climática, é um tema para ser desenvolvido ao longo dos três anos de estudo de física no ensino médio. Embora não se espere que os livros tenham uma formação direcionada exclusivamente para o desenvolvimento dessa capacidade de inferir sobre questões climáticas, ao menos forneça as informações e dados para que o professor possa explorar de forma mais adequada o assunto em sala de aula.

Os três primeiros capítulos desse trabalho foram dedicados aos exercícios e passagens nos livros em que, de alguma forma, estavam embutidas informações ou métodos de resolução que capacitassem o aluno nessa jornada de entendimento dos aspectos mais relevantes do estudo clima. Os comentários feitos sempre foram com o intuito de complementação, já que nenhum trabalho é completo e um aspecto que o professor deve sempre atentar em sala de aula é o estímulo à curiosidade. Todas essas informações poderiam ser resumidas em uma tabela em que colocaríamos as variáveis possíveis na influência do clima. Nela constariam variáveis como massa do planeta, movimento de rotação e revolução, inclinação do eixo de rotação em relação à órbita, existência de satélite natural, constante solar, albedo planetário, impactos de meteoritos, movimento das placas tectônicas, vulcões, gases constituintes da atmosfera e a existência de água líquida na superfície e alguma forma de vida, como a conhecemos.

Em determinado momento procuramos evidenciar que nós, seres humanos, podemos modificar o planeta, mas o que fizemos até aqui ainda não é suficiente para configurar uma mudança climática causada pelo homem. A ênfase no dióxido de carbono, que atualmente emitimos e tem alterado o percentual desse gás na atmosfera, é o tema mais debatido e é considerado por diversas entidades o fator principal do “suposto aquecimento global”. De modo que outros fatores como secas enchentes e furações passaram a ser atribuídos ao acréscimo do dióxido de carbono.

Mas, resumindo em poucas palavras, a essência desse trabalho foi mostrar que mudanças climáticas ocorreram no passado e que ocorrerão no futuro. As variações que temos agora podem ser decorrentes de uma mudança que teve início há mais de 20.000 anos, quando houve o início do derretimento de grandes massas de gelo, alterando significativamente os

níveis dos oceanos. É claro que atualmente, localmente, alteramos o clima, como, por exemplo, nas grandes cidades em que as enormes frotas de veículos queimam combustível fóssil; também a fumaça e fuligem das fábricas e as queimadas de terras para a agricultura criando a nossa estufa particular. Os países que fazem uso do carvão em larga escala têm esse problema mais acentuado. Contudo, afirmar que nós seres humanos estamos alterando o clima do planeta com a emissão do dióxido de carbono é apenas sugestivo, mas não conclusivo.

Além disso, outro fator importante que o aluno deve ter em mente é que a água exerce um papel fundamental no controle do clima. A hidrosfera da Terra cobre 71% da superfície do planeta. Alguns exercícios dos livros didáticos dão uma pista sobre a predominância da água como um sistema de grande capacitância na absorção da radiação do Sol. Pode absorver toda a radiação solar quando incidente na vertical, mas reflete bastante os raios do Sol quanto maior for o ângulo de incidência. Esse volume de água tem papel fundamental na manutenção da vida. As correntes oceânicas podem ser capazes de aquecer grandes massas de ar, permitindo um clima ameno em locais que deveriam ser bem mais frios. Por outro lado, as calotas polares são extremamente frias e possuem um grande poder de reflexão da luz solar e resfriamento de grandes massas de ar da atmosfera.

Todo esse processo de mudança é a continuidade de uma evolução natural do nosso planeta. Em um passado longínquo a Lua já esteve bem mais próxima da Terra. Ao olharmos para o nosso satélite natural podemos ver as marcas de impactos de corpos celestes que no passado eram mais comuns do que atualmente. A influência de sua maré gravitacional nessa época devia causar grandes alterações nas regiões costeiras diariamente. O nosso planeta continua mudando lentamente, mas essa escala é de difícil percepção no curto prazo. Talvez os níveis dos oceanos estejam aumentando como resultado de um evento bem mais antigo do que o nosso início massivo do uso do carvão. Mas, ao aplicarmos o método científico, esse irá nos revelar de qualquer forma. E a regra será: modificar e esperar.

BIBLIOGRAFIA

INTRODUÇÃO

[1] Livros: A1,A2,A3 – Física no Ensino Médio – Beatriz Alvarenga; B1,B2,B3 – Fundamentos da Física- Ramalho.

A1 – Física –Ensino Médio, 1ª. Edição, MÁXIMO, ANTÔNIO e ALVARENGA,BEATRIZ – Editora Scipione, São Paulo 2006.

B1- Fundamentos da Física, Volume 1 – Mecânica, 8ª. Edição – RAMALHO, FRANCISCO e Outros – Editora Moderna - São Paulo 2004.

[2] - SANTOS, ALMIR GUEDES e SOUZA BARROS, FERNANDO – Abordagem do Aquecimento Global em Livros Didáticos de Física do Ensino Médio - XII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física – Águas de Lindóia – 2010.

CAPÍTULO 1

[1] - NASA – Earth Fact Sheet

[2] <http://impact.ese.ic.ac.uk/ImpactEffects/Chicxulub.html>

[3] <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/neofact.html>

[4] – Encyclopedia of Solar System, p469, Elsevier 2005.

[5] <http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/models/constants.html>

[6] – MAXIMO, ANTÔNIO. e ALVARENGA, BEATRIZ. Curso de Física Vol.1, 6ª. Edição p211 a 214 – Editora Scipione, São Paulo 2007.

[7] – TIPLER, PAUL A e MOSCA, GENE - Física Vol.1 5ª. Edição p392, Editora LTC

Rio de Janeiro 2006.

[8] http://nssdc.gsfc.nasa.gov/photo_gallery/caption/gal_io2_47971.txt

FOTOS DO CAPÍTULO 1:

Foto [1] – Foto e Texto Nasa

<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA00134>

Foto [2]

http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?Category=Planets&IM_ID=179

Acesso em 01/02/2012

Mercúrio

<http://apod.nasa.gov/apod/ap011124.html>

Acesso em 01/02/2012

Vênus

<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA00104>

Acesso em 01/02/2012

Terra

<http://apod.nasa.gov/apod/ap070325.html>

Acesso em 01/02/2012

Marte

http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?Category=Planets&IM_ID=2050

Acesso em 01/02/2012

Foto [3]

<http://photojournal.jpl.nasa.gov/jpeg/PIA00405.jpg>

Foto [4]

http://photojournal.jpl.nasa.gov/jpegMod/PIA00113_modest.jpg

Foto [5]

http://www.nasa.gov/mission_pages/LRO/news/lro-farside.html

Acessos em 26/11/2011

http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?Category=Planets&IM_ID=11823

<http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/gallery/farside.732X520.jpg>

Acesso em 01/02/2012

Foto [6] http://nssdc.gsfc.nasa.gov/image/planetary/jupiter/gal_io2_47971.jpg

FIGURAS DO CAPÍTULO 1:

Figura [1] http://ssd.jpl.nasa.gov/images/orbit_plot_inner.png

Figura [2]

[http://space.jpl.nasa.gov/cgi-](http://space.jpl.nasa.gov/cgi-bin/wspace?tbody=1000&vbody=1001&month=7&day=19&year=2011&hour=00&minute=00&fovmul=1&rfov=60&bfov=30&porbs=1&showsc=1&showac=1)

[bin/wspace?tbody=1000&vbody=1001&month=7&day=19&year=2011&hour=00&minute=00&fovmul=1&rfov=60&bfov=30&porbs=1&showsc=1&showac=1](http://space.jpl.nasa.gov/cgi-bin/wspace?tbody=1000&vbody=1001&month=7&day=19&year=2011&hour=00&minute=00&fovmul=1&rfov=60&bfov=30&porbs=1&showsc=1&showac=1)

Figura [3]

http://ssd.jpl.nasa.gov/images/orbit_plot_outer.png

Figura [4]

http://ssd.jpl.nasa.gov/images/orbit_plot_outer_edge.png

Figura [5]

http://solarsystem.jpl.nasa.gov/multimedia/gallery/Tilted_Eris.jpg

Figura [6]

<http://photojournal.jpl.nasa.gov/jpeg/PIA06434.jpg>

Figura [7] – By Calvin J. Hamilton

Figura [8]

<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=541>

TABELAS DO CAPÍTULO 1:

Tabela [1]

<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/index.html>

<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/moonfact.html>

Tabela

2

http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/galileanfact_table.html

Sites Interessantes

- 1- Comparação de Planetas- <http://solarsystem.nasa.gov/planets/compchart.cfm>
- 2- Constantes Úteis <http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/models/constants.html>
- 3- Orbitas – Distâncias UA <http://cohoweb.gsfc.nasa.gov/helios/planet.html>

CAPÍTULO 2-

[1] - A2 – MÁXIMO, ANTÔNIO e ALVARENGA, BEATRIZ – Física – Ensino Médio, Volume 2 1ª. Edição, Editora Scipione, São Paulo 2006.

B2- RAMALHO, FRANCISCO e Outros – Fundamentos da Física, Volume 2– 8ª. Edição – Editora Moderna Ltda - São Paulo 2005.

[2] ATKINS, PETER e PAULA, JULIO de – Físico-Química – 8ª. Edição p 11 – LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro 2008.

[3] <http://pt.wikipedia.org/wiki/BTU>

[4]

<http://www.transportdirect.info/Web2/JourneyPlanning/JourneyEmissionsCompare.aspx?repeatingloop=Y>

[5] <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=406156>

Acesso em 17/09/2011.

[6] <http://en.wikipedia.org/wiki/Nitrogen>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Oxygen>

http://en.wikipedia.org/wiki/Solid_oxygen

<http://en.wikipedia.org/wiki/Argon>

http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide

[7] <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/JCLI-3299.1>

[8] – SAGAN, CARL - Pale Blue Dot, p89 - Ballantine Books – Random House Inc.

New York, 1994.

[9] <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycleatmosphere.html>

FIGURAS E GRÁFICOS DO CAPÍTULO 2:

[1] http://earthguide.ucsd.edu/virtualmuseum/climatechange1/04_1.shtml

Acesso em 16/09/2011

[2]

<http://www.transportdirect.info/Web2/JourneyPlanning/JourneyEmissionsCompare.aspx?repeatingloop=Y>

Acesso em 17/09/2011

[3]

<http://www.transportdirect.info/Web2/JourneyPlanning/JourneyEmissionsCompare.aspx?repeatingloop=Y>

Acesso em 17/09/2011

FOTOS DO CAPÍTULO 2:

[1] <http://pt.wikipedia.org/wiki/Maracan%C3%A3>

CAPÍTULO 3

[1] - A2 –MÁXIMO, ANTÔNIO e ALVARENGA, BEATRIZ – Física –Ensino Médio, Volume 2 1ª. Edição, Editora Scipione, São Paulo 2006.

A3 – MÁXIMO, ANTÔNIO e ALVARENGA, BEATRIZ – Física – Ensino Médio, Volume 3 1ª. Edição, Editora Scipione, São Paulo 2006.

B2- RAMALHO, FRANCISCO e Outros – Fundamentos da Física, Volume 2 – 8ª. Edição – Editora Moderna Ltda - São Paulo 2005.

B- RAMALHO, FRANCISCO e Outros – Fundamentos da Física, Volume 3– 9ª. Edição – Editora Moderna Ltda - São Paulo 2007.

[2] <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/mercuryfact.html>

<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/venusfact.html>

<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html>

<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/marsfact.html>

[3] - Encyclopedia of Solar System, Chapter 11 – The Sun Earth Connection p216, Elsevier 2005

[4] http://en.wikipedia.org/wiki/2011_Puyehue_eruption

Acesso em 27/09/2011

[5] http://en.wikipedia.org/wiki/El_Ni%C3%B1o-Southern_Oscillation

Acesso em 27/09/2011

FOTOS DO CAPÍTULO 3:

[1] <http://sdo.gsfc.nasa.gov/data/>

http://sdo.gsfc.nasa.gov/assets/img/latest/latest_1024_0304.jpg

Acesso dia 20/09/2011

[2] http://sdo.gsfc.nasa.gov/assets/docs/spectral_tubes.pdf

Acesso em 27/09/2011

[3] <http://geology.com/nasa/aurora-borealis.shtml>

Acesso em 26/09/11

[4] http://www.noao.edu/image_gallery/html/im1006.html

Acesso em 27/09/2011

[5] http://www.nasa.gov/images/content/582590main_Irene-GOES-LARGE-20110826.jpg

Acesso em 27/09/2011

FIGURAS DO CAPÍTULO 3:

[1] http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/Zurich_Color_Small.jpg

Acesso em 25/09/2011

[2] Encyclopedia of Solar System, Chapter 11 – The Sun Earth Connection p215,
Elsevier 2005

[3] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>

Acesso em 27/09/2011

[4] http://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/layers_activity_print.html

Acesso em 26/09/11

[5] http://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/layers_activity_print.html

Acesso em 11/09/2011

[6] THEKAEKARA, M.P - The Solar Constant and Spectral Distribution of Solar Radiant Flux – Solar Energy p-7 ~20, 1965.

[7] <http://activetectonics.asu.edu/teaching/GLG494-ICOG/supervolcanoes.pdf>

[8] <http://volcanoes.usgs.gov/images/pglossary/vei.php>

Acesso em 27/09/2011

[9] <http://www.chemtube3d.com/vibrationsH2O.htm>

<http://www.chemtube3d.com/vibrationsCO2.htm>

<http://www.chemtube3d.com/vibrationsNH3.htm>

<http://www.chemtube3d.com/vibrationsCH4.htm>

Acesso em 27/09/2011

[10] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/diph2o.html#c3>

Acesso em 26/09/2011

[11] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>

[12] http://science.nasa.gov/media/medialibrary/2010/03/31/water_cycle.jpg

Acesso em 28/09/2011

[13] <http://science.nasa.gov/media/medialibrary/2010/03/31/CONVEYOR.jpg>

Acesso em 28/09/2011

TABELAS DO CAPÍTULO 3:

[1] <http://en.wikipedia.org/wiki/Ultraviolet>

Acesso em 25/09/2011

[2] http://en.wikipedia.org/wiki/Volcanic_Explosivity_Index#cite_note-Mason2004-0

Acesso em 27/09/2011

[3] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>

CAPÍTULO 4

[1] <http://pt.wikipedia.org/wiki/Albedo>

Acesso em 05/10/2011

[2] <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html>

Acesso em 05/10/2011

[3] <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/moonfact.html>

[4] BEZERRA, ARNALDO M. Aplicações práticas da Energia Solar, p57, Livraria Nobel S.A.

São Paulo 1990.

[5] http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html

Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007 – Chapter 2, p135 FQA 2.1

Figure 1.

Acesso em 06/10/2011

[6] BLAINEY, GEOFFREY, Uma Breve História do Mundo, p227, p254, Editora Fundamento Educacional Ltda, São Paulo 2010.

[7] Idem [5]

[8] <http://cips.berkeley.edu/events/planets-life-seminar/kasting.pdf>

Acesso em 05/10/2011

[9] TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R A., **Física Moderna** 3ª Ed. , p83 Rio de Janeiro LTC Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2006

[10] <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/EnergyBalance/page7.php>

Acesso em 06/10/2011

[11] <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycleatmosphere.html>

Acesso em 08/10/2011

[12]

http://mynasadata.larc.nasa.gov/las4/getUI.do?dsid=CO2_AIRS&varid=carbon_dioxide_in_free_troposphere&auto=true

Acesso em 07/10/2011

[13] http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_climate_change_science

Acesso em 12/10/2011

[14] <http://members.casema.nl/errenwijlens/co2/langleyrevdraft2.htm>

Acesso em 13/10/2011

[15] http://www.rsc.org/images/Arrhenius1896_tcm18-173546.pdf

Acesso em 12/10/2011

[16] <http://members.casema.nl/errenwijlens/co2/arrhrev.htm>

Acesso em 12/10/2011

[17] <http://members.casema.nl/errenwijlens/co2/langleyrevdraft2.htm>

Acesso em 12/10/2011

[18] PIRES, ANTÔNIO S.T., Evolução das Idéias da Física, p230, Editora Livraria da Física, 1ª. Edição São Paulo 2008.

[19] THEKAEKARA, M.P., Solar Energy Outside the Earth's Atmosphere, p110- Solar Energy, Vol 14 pp109 a 127, Pergamon Press, 1973- Great Britain.

FIGURAS DO CAPÍTULO 4:

[1] PALZ, WOLFGANG, Energia Solar, p117, Hemus Livraria Editora Limitada São Paulo 1981

[4] http://www.globalwarmingart.com/wiki/Carbon_Dioxide_Gallery

http://www.globalwarmingart.com/images/5/56/Global_Carbon_Emission_by_Type.png

Acesso em 07/10/2011

[5] Encyclopedia of Geology, Atmosphere Evolution, p206 - Elsevier 2005.

[6] <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/EnergyBalance/page7.php>

Acesso em 06/10/2011

[7] <http://www.nasa.gov/topics/earth/features/AIRSCO2.html>

http://www.nasa.gov/images/content/403382main_portalBigPollution.jpg

Acesso em 09/10/2011

[8] Encyclopedia of Geology, Chapter 16 - Atmosphere Evolution, p201 - Elsevier 2005.

[9]

http://mynasadata.larc.nasa.gov/las4/output/7D53592D99FA6C4F11483E69C1CA8846_plot_image.gif

Acesso em 07/10/2011

[10]

http://mynasadata.larc.nasa.gov/las4/output/45B1F810515BF2CD03C387FCB7E52507_plot_image.gif

Acesso 07/10/2011

[11] http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html

Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007 – Chapter 2, p135 FQA 2.1

Figure 1.

[12] <http://members.casema.nl/errenwijlens/co2/co2h2oarrmod.gif>

Acesso em 12/10/2011

[13] <http://www.princeton.edu/~lam/documents/RadPhys08.pdf>

The Earth's Outward Radiation Window and Equilibrium Climate Sensitivity, página 15, Department of Mechanical and Aerospace Engineering Princeton University S. H. Lam and B. S. H. Roycey August 18, 2008

CAPÍTULO 5

[1] LUIZ, ADIR MOYSÉS, Termodinâmica: Teoria e Problemas, p21, Editora LTC, Rio de Janeiro 2007.

[2] HANSEN, JAMES Et Al, Earth's Energy Imbalance 2005.

[3] BLAINEY, GEOFFREY, Uma Breve História do Mundo, p22, p24, Editora Fundamento Educacional Ltda, São Paulo 2010.

[4] <http://www.acia.uaf.edu/pages/scientific.html>

Arctic Climate Impact Assessment 2005 –ACIA. Cambridge University Press - Report Chapter 2- p 31. New York –USA.

[5]

http://www.antarctica.ac.uk/about_antarctica/teacher_resources/resources/factsheets/factsheet_geostats_screen.pdf

Acesso em 30/10/2011

[6] <http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a010000/a010800/a010828/index.html>

Acesso em 19/10/2011

[7] http://en.wikipedia.org/wiki/Amazon_River

Acesso em 04/11/2011

[8] Idem [5]

[9] http://www.cea.fr/var/cea/storage/static/gb/library/Clefs54/pdf-gb/33_39_masson_54gb.pdf

Acesso em 30/10/2011

[10] http://www.eoearth.org/article/Ross_Ice_Shelf

Acesso em 02/11/2011

[11] <http://www.nationalgeographic.com/polarexploration/explore-poles.html>

Acesso em 02/11/2011

FIGURAS DO CAPÍTULO 5:

[1] http://curry.eas.gatech.edu/Courses/6140/ency/Chapter11/Ency_Atmos/Air-Sea_Interaction_Sea_Surface_Temp.pdf

Acesso em 28/10/2011

[2] http://aqua.nasa.gov/doc/viz/media/aqua_orbit_sm.mpg

Acesso em 17/10/2011

[3] HANSEN, JAMES Et Al, Earth's Energy Imbalance 2005.

[4] http://www.giss.nasa.gov/research/briefs/gornitz_09/

http://www.giss.nasa.gov/research/briefs/gornitz_09/slr.jpg

Acesso em 20/10/2011

[5] <http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a003600/a003698/index.html>

Acesso em 30/10/2011

[6] Idem [5]

[7] Idem [6]

[8] http://www.arctic.noaa.gov/feature-images/UB_20110916_ice_ext_n.png

Acesso em 23/09/2011

[9] <http://climate.nasa.gov/keyIndicators/index.cfm#seaIce>

Acesso em 30/10/2011

[10] Idem [9]

[11] <http://www.acia.uaf.edu/pages/scientific.html>

Arctic Climate Impact Assessment 2005 –ACIA. Cambridge University Press - Report Chapter 2- p 27. New York –USA.

[12] http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/etopo1_ocean_polys.png

Acesso em 01/11/2011

[13] <http://www.acia.uaf.edu/pages/scientific.html>

Arctic Climate Impact Assessment 2005 –ACIA. Cambridge University Press - Report Chapter 2- p 28. New York –USA.

[14] http://www.cea.fr/var/cea/storage/static/gb/library/Clefs54/pdf-gb/33_39_masson_54gb.pdf

Acesso em 30/10/2011

[15] http://nsidc.org/quickfacts/images/iceshelf_locations.png

Acesso em 22/10/2011

TABELAS DO CAPÍTULO 5:

[1] TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R A., **Física Moderna** 3ª Ed. , p228 Rio de Janeiro LTC Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2006

[2] http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-gases-d_159.html

Acesso em 28/10/2011

[3] http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/etopol_ocean_volumes.html

Acesso em 01/11/2011

[4] http://earthobservatory.nasa.gov/Features/WorldOfChange/sea_ice.php

Acesso em 19/10/2011

FOTOS DO CAPÍTULO 5:

[1] <http://solarsystem.nasa.gov/galileo/gallery/earthmoon-earth.cfm>

Acesso em 30/10/2011

[2] <http://nsidc.org/quickfacts/iceshelves.html>

<http://nsidc.org/quickfacts/images/NOAA1.jpg>

Acesso em 29/10/2011