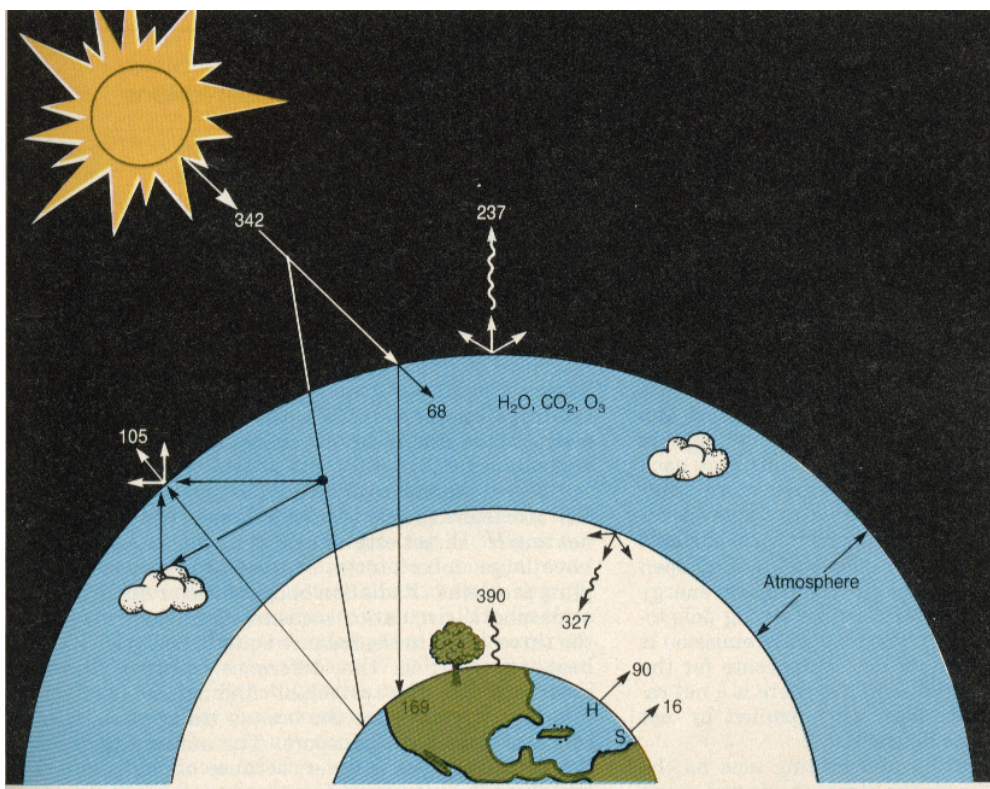
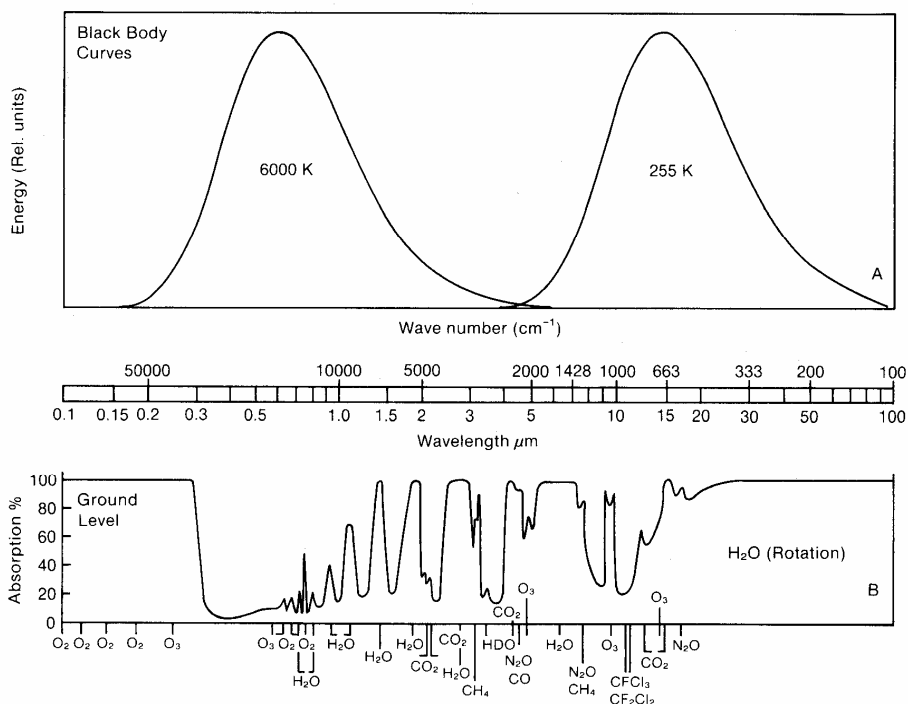
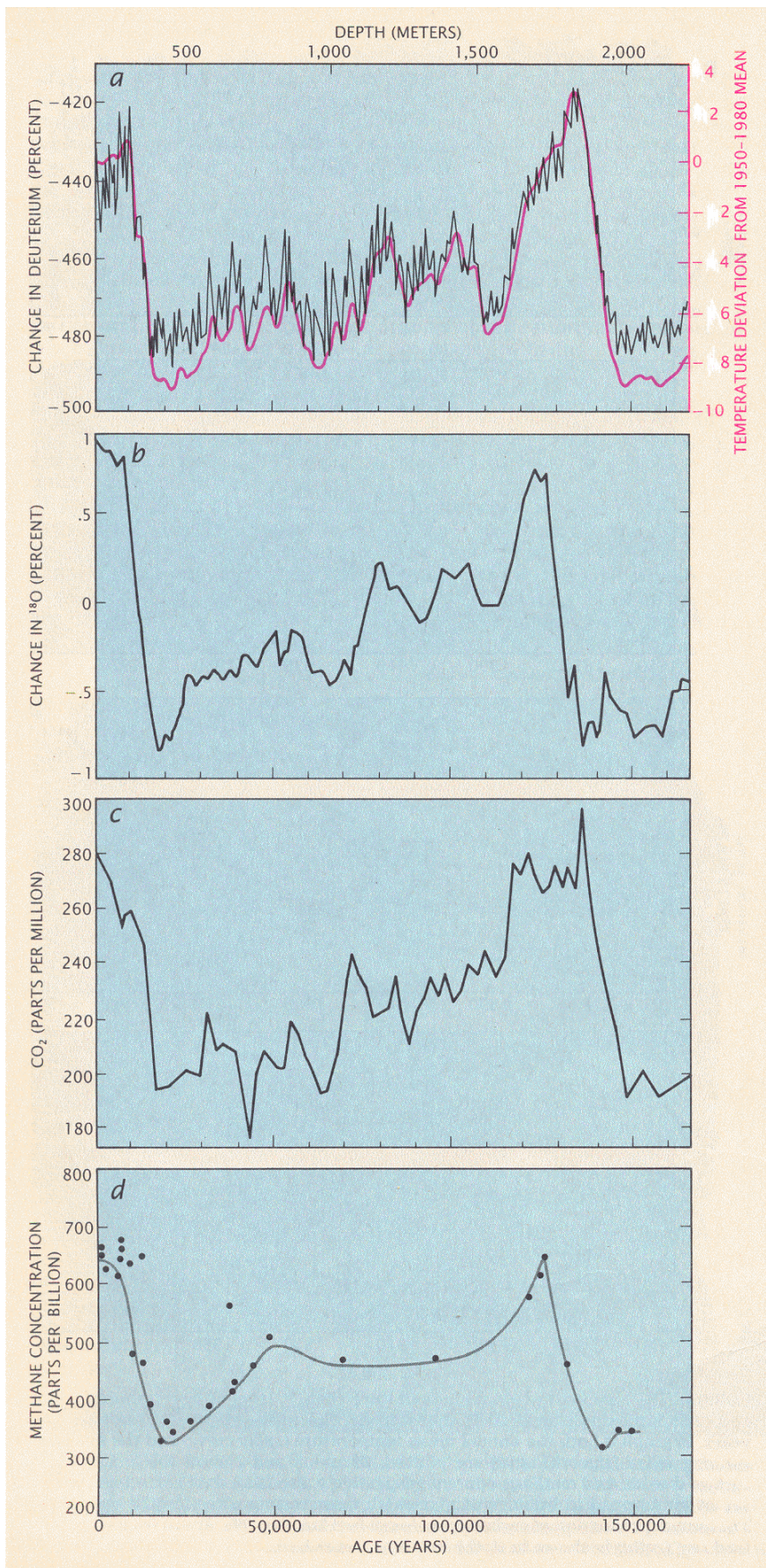


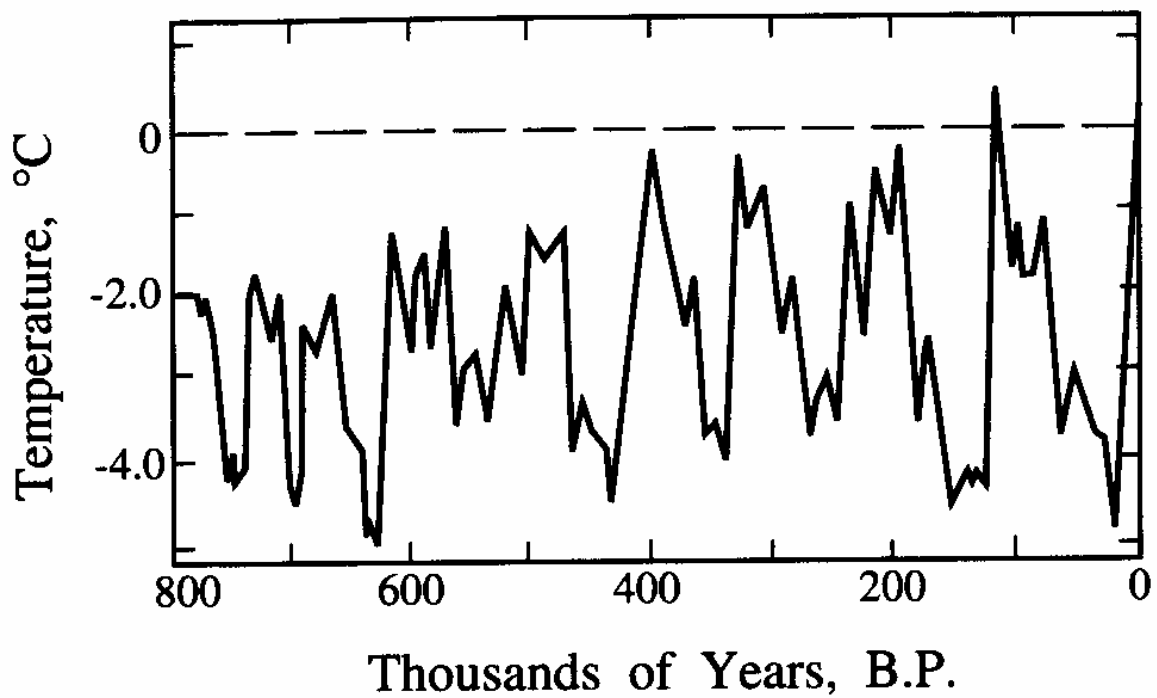
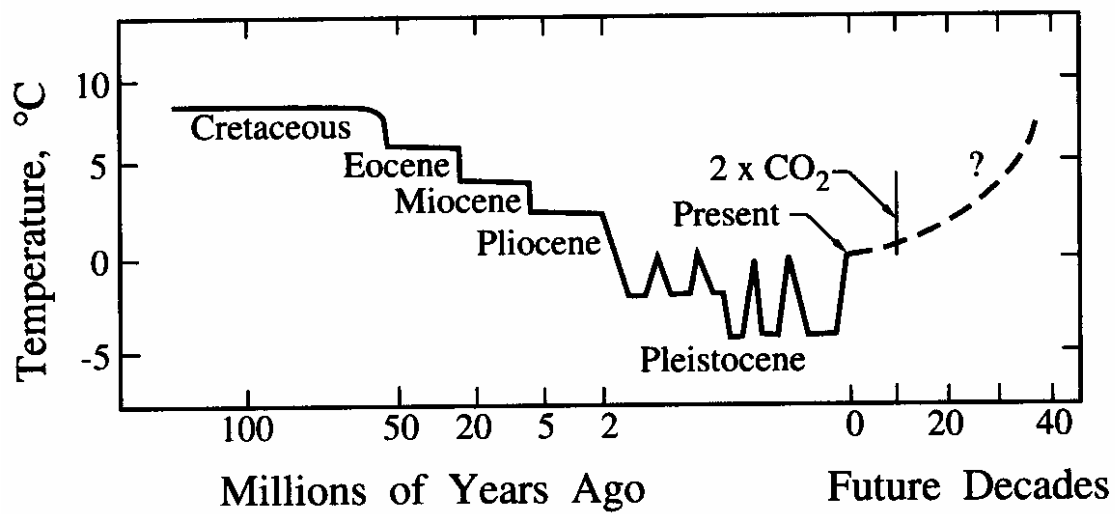


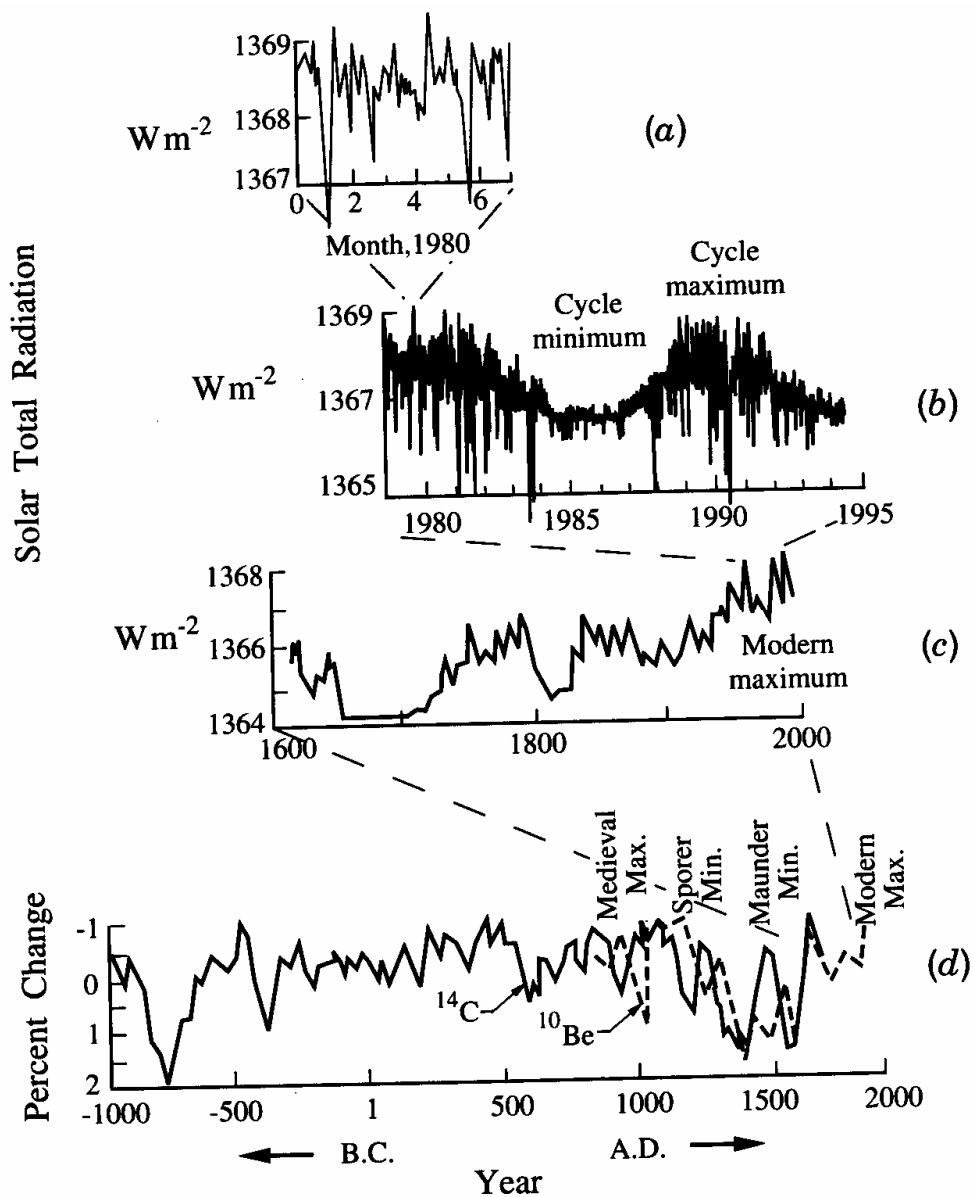
Balanco radioativo terra-sol e terra atmosfera, compreendendo ainda trocas de energia por evaporação e condensação (H) e por condução e convecção (S). Unidades e W/m². Consideram-se médias sobre diversos ciclos de 1 ano, onde pode-se assumir que estes processos estejam em equilíbrio.



(A)-Espectros de corpo negro associados à temperatura de irradiação do sol (6000 K) e da terra (255 K). (B)-Espectros de absorção de alguns gases da atmosfera.







PERÍODOS DE EFEITOS CÍCLICOS QUE INTERFEREM NA INCIDÊNCIA DE RADIAÇÃO SOLAR SOBRE A TERRA

Rotação dos sol: 27 dias

Manchas solares: 11 anos

Precessão e proximidade do sol: 19.000 a 24.000 anos

Inclinação da terra: 22° a $24,5^\circ$ cada 41.000 anos

excentricidade da órbita terrestre: 95, 125 e 400 mil anos

Medida da intensidade de radiação solar pela incidência de raios cósmicos: sol mais intenso, menos raios cósmicos. Medido por ^{14}C e ^{10}Be que são sensíveis aos raios cósmicos.

A ANÁLISE DO EFEITO ESTUFA EM TEXTOS PARA-DIDÁTICOS E PERIÓDICOS JORNALÍSTICOS⁺*

Maria Emília Rehder Xavier

Américo Sansigolo Kerr

Instituto de Física – USP

São Paulo – SP

Resumo

Neste trabalho, analisou-se o tratamento dado ao Efeito Estufa em revistas e jornais não científicos de grande circulação e em livros para-didáticos. Foram discutidas falhas encontradas nesses textos e como elas podem afetar a formação dos conceitos sobre essa questão nos alunos e na população em geral. A grande maioria dos textos jornalísticos analisados apresentou um tratamento inadequado do Efeito Estufa e sua relação com mudanças climáticas globais. Mostraram-se permeados por uma visão catastrofista, causada pela confusão entre o que é o efeito principal e o que são suas variações, carecendo de rigor científico no tratamento do assunto. Um tema como esse que pode afetar profundamente a vida do ser humano e a habitabilidade do nosso planeta deveria ser tratado dentro dos bons padrões da divulgação científica. Os livros para-didáticos analisados mostraram-se mais coerentes com as abordagens e hipóteses desenvolvidas pela comunidade científica, mas ainda assim alguns autores deixaram lacunas significativas ao tratarem do tema. Como esses livros são destinados ao ensino, é importante que sejam formulados com grande cuidado e redobrada atenção. Fez-se, também, uma breve revisão sobre os modelos científicos relacionados ao Efeito Estufa de modo a possibilitar o contraste entre suas elaborações e aqueles conceitos transmitidos pelos textos avaliados. Apresentou-se as variáveis envolvidas neste processo e as possíveis conseqüências que o aumento da quantidade de gases estufa na atmosfera poderá causar ao clima terrestre, bem como as incertezas envolvidas. cremos que esta discussão possa ser útil em aulas de Física sobre o Efeito Estufa no ensino médio ou como material de apoio aos professores.

⁺ Título em inglês – The greenhouse effect in magazines, newspapers and paradidactic books.

^{*} Recebido: fevereiro de 2004.

Aceito: agosto de 2004.

Palavras-chave: efeito estufa, educação ambiental, divulgação científica, textos para-didáticos

Abstract

This article analyzed the treatment given to the Greenhouse Effect in nonscientific magazines and newspapers, as well as, in paradidactic books. It discussed the mistakes detected and their consequences on the conceptual formation of students and of the population in general. Most of the articles, collected in magazines and newspapers, had presented an inappropriate approach of the Greenhouse Effect and its relationship with global warming. They showed a lack of scientific precision and transmit a catastrophic point of view, induced by confusion between the main effect and its variation. Changes in the Greenhouse Effect could deeply affect the human beings and the inhabitability in our planet. Therefore, when dealing this subject, it would be extremely important the adoption of the adequate standards used for reporting and explaining science. The paradidactic books analyzed were more coherent with the approach and hypothesis developed by the scientific community. Nevertheless some authors still presented some miscomprehension on this theme. As these books are supposed to be used in education, it is imperative that their authors pay more attention and care when written them. The article also presents a short discussion about the scientific models related to Greenhouse Effect for a comparison between the conceptions today accepted and those given by the analyzed texts. We also believe that this discussion could be useful for physic's classes about the Greenhouse Effect in the secondary school.

Keywords: greenhouse effect, environmental education, science diffusion, paradidactic texts

I. Introdução

As questões ambientais têm sido amplamente discutidas nos últimos tempos. Um dos temas mais abordados é o Efeito Estufa. Sua presença é constante em revistas e jornais, o que é bom por se tratar de um problema ecológico importante. Todavia essa popularização tem sido acompanhada por abordagens com alta incidência de equívocos. O grande poder de disseminação de informações pelos meios de comunicação acaba favorecendo a cristalização de erros conceituais junto à população. Isso é perceptível, inclusive, entre os alunos que ingressam no curso de

Física da Poluição do Ar no Instituto de Física da USP. Tendo em vista que essa amostra é seleta no contexto educacional do país, pode-se presumir que o ensino médio não esteja corrigindo tais equívocos junto aos seus estudantes, mas sim reproduzindo-os, dadas as lacunas sobre esse tema na formação dos professores e a carência de material didático adequado ao seu tratamento.

Por ser uma questão que pode interferir nas condições ambientais do planeta e na vida do ser humano, é importante a correta compreensão da sua dimensão, causas e conseqüências. Neste sentido, os meios de comunicação e os autores de textos para-didáticos devem ser ativamente cobrados quanto à qualidade das informações transmitidas sobre o Efeito Estufa, especialmente quanto à responsabilidade antropogênica na sua possível intensificação e sobre como isso pode ser evitado.

São muito comuns e equivocadas as abordagens catastrofistas deterministas. Transmitem em geral que estamos diante de um efeito maléfico, quando na verdade ele é importante para o desenvolvimento da biosfera e o que traz inquietação são as alterações observadas em seu padrão. Mesmo que essas abordagens tenham por objetivo alertar quanto a possível evolução do problema, elas são deseducativas e refletem uma tentativa de manipulação do público alvo. Ao final pode-se terminar alimentando um efeito oposto, pois os sinais de mudanças climáticas são fracos do ponto de vista da percepção humana e lentos se considerada a duração de uma vida. Ao mesmo tempo elas podem não se consolidar, por força de fatores ainda não equacionados devidamente nos modelos climáticos disponíveis. Entretanto as atividades antropogênicas que podem vir a afetar seriamente o clima terrestre, já introduzem problemas graves no cotidiano de nossa sociedade, que, no entanto costumam ser assumidos como “naturais”. É o caso, por exemplo, do atual sistema de transporte individual, altamente poluidor, consumidor de um recurso energético não renovável e que tem representado um enorme caos urbano nas grandes metrópoles.

Neste trabalho, apresentamos inicialmente uma breve revisão sobre os modelos científicos relacionados ao Efeito Estufa. Deste modo pretendeu-se viabilizar o contraste entre as elaborações a eles associadas e aqueles conceitos transmitidos pelos textos para-didáticos e jornalísticos avaliados. Cremos que a discussão apresentada possa ser útil em aulas de Física que abordem o tema do Efeito Estufa no ensino médio ou como material de apoio aos professores.

De qualquer modo o próprio estudo da qualidade das informações fornecidas por esses meios de comunicação e livros para-didáticos, que tratam do tema em vários contextos, também pode ser útil quando usado de maneira adequada como apoio às aulas de Física no ensino médio. A sua leitura e discussão podem

mostrar ao aluno que a Física está presente em seu cotidiano e é importante para seu futuro.

II. O Efeito Estufa e as mudanças climáticas globais

A atmosfera terrestre é constituída de gases que são relativamente transparentes à radiação solar, enquanto absorvem grande parte da radiação emitida pela superfície aquecida da Terra. Isso faz com que a sua superfície tenha uma temperatura maior do que se não houvesse a atmosfera. Tal processo é conhecido como Efeito Estufa.

Há uma grande preocupação quanto aos riscos de sua intensificação e aos seus reflexos sobre o clima do planeta. Avalia-se que alterações no Efeito Estufa estejam causando Mudanças Climáticas Globais, o que dá uma idéia da dificuldade existente no desenvolvimento de modelos que prevejam suas conseqüências. O clima é um conceito abstrato e complexo que envolve dados de temperatura, umidade, tipos e quantidade de precipitação, direção e velocidade do vento, pressão atmosférica, radiação solar, tipo de nuvens e a área que cobrem, bem como outros fenômenos do tempo como nevoeiro, tempestades, geadas e as relações entre eles (BRITANNICA, 2001).

Construir um modelo para as mudanças climáticas compreende, portanto, o conhecimento total do tempo e do comportamento atmosférico por um período longo nas diversas regiões do planeta. As muitas grandezas envolvidas e a complexidade de seu adequado equacionamento fazem com que as incertezas em simular mudanças climáticas sejam muito grandes.

A breve revisão a seguir acompanha a evolução desses modelos, mostrando a progressiva inclusão dos efeitos que interferem nas variações de temperatura, bem como as demais alterações ambientais que a elas poderão estar associadas. Parte-se das primeiras abordagens que consideravam apenas a interferência da atmosfera no balanço radioativo Terra-Sol e que posteriormente incluíram a influência da superfície terrestre, dos oceanos e superfícies geladas, que afetariam o albedo terrestre e a presença e ação dos aerossóis atmosféricos. Os efeitos de realimentação gerados por nuvens, oceanos, mudança no padrão de crescimento dos vegetais etc., têm sido objeto de grande atenção, pois representam atualmente a principal fonte de incerteza nesses modelos.

III. Balanço radioativo Terra-Sol

Toda a energia disponível na Terra, basicamente, vem do Sol. Considerando-se o sistema Terra-Sol, pode-se obter um modelo para estimar a

temperatura média da superfície terrestre, usando a teoria de emissão e absorção de radiação por corpo negro.

O espectro do Sol é parecido com o de um corpo negro a uma temperatura de 6000K e emite radiação principalmente na faixa de 0,2 a 4 μm (ondas curtas), com máximo na região da luz visível. Já a Terra tem um espectro parecido com o de um corpo negro a uma temperatura de 300K e emite radiação na faixa de 4 a 100 μm (ondas longas), com máximo na faixa do infravermelho (Fig. 1, MITCHELL, 1989, p. 116; SEINFELD, 1986, p. 445, 1998, p. 26).

A potência irradiada por unidade de área para um corpo negro é dada pela seguinte relação:

$$E_B = \sigma T^4 \quad (1)$$

na qual σ é a constante de Stefan-Boltzmann e T a temperatura absoluta do corpo.

A Terra absorve a radiação solar a uma taxa de:

$$E_A = S (1 - \alpha)/4 \quad (2)$$

na qual:

– S é a taxa de radiação solar que chega ao topo da atmosfera terrestre, chamada de constante solar.

Sua medida por satélites varia entre 1365 a 1372 Wm^{-2} (RAMANATHAN et al., 1989);

– α é a fração de radiação refletida pela superfície e atmosfera terrestres (albedo);

– o fator 1/4 deve-se à distribuição dessa energia sobre a superfície terrestre. Veja que o disco da Terra que intercepta a radiação solar tem área πR^2 . Mas a energia distribui-se pela superfície esférica da Terra ($4\pi R^2$). Portanto, $\pi R^2/4\pi R^2 = 1/4$.

Considerando-se que, em um ciclo onde a Terra tem uma temperatura média constante, ela está em equilíbrio térmico (aproximadamente o que ocorre em um ciclo anual), pode-se igualar a eq. 2 com a eq. 1, ou seja,

$$S (1 - \alpha)/4 = \sigma T^4 \quad (3)$$

Como o albedo terrestre vale aproximadamente 0,30, a temperatura calculada pela eq. 3 é de 255K, ou seja, -18°C . Esse valor é cerca de 33K menor que o observado ($\sim 15^\circ\text{C}$), mostrando que apenas o equilíbrio radioativo Terra-Sol não basta para explicar a temperatura média da superfície terrestre.

IV. A atmosfera e o Efeito Estufa

Incluindo-se na análise do balanço de transferência de energia a presença da atmosfera e os processos que nela ocorrem, é que se consegue explicar a energia adicional retida pela terra e, conseqüentemente, sua maior temperatura superficial média.

Na atmosfera acontecem processos de troca de energia térmica importantes para o clima terrestre. Existem a condução de calor, a convecção e a interação da radiação eletromagnética com os gases e partículas que compõem a atmosfera. Neste último caso pode ocorrer absorção ou algum processo de espalhamento que dependem de fatores como o comprimento de onda da radiação, a composição química dos componentes envolvidos e o tamanho das partículas. O resultado líquido dessa interação é um aquecimento adicional da superfície terrestre, possibilitando que a sua temperatura média global seja cerca de 15°C ao invés daqueles inóspitos -18°C calculados apenas pelo equilíbrio Terra-Sol (eq. 3).

As moléculas de vapor de água, o dióxido de carbono e alguns outros gases absorvem radiação eletromagnética, apresentando uma eficiência de absorção relativamente menor para a radiação solar (ondas curtas), do que para a radiação vinda da superfície da Terra (ondas longas). Esses gases atmosféricos aquecidos também emitem radiação, a qual dirige-se em parte para a terra e em parte para o espaço. O aquecimento adicional da superfície terrestre por esse processo é chamado de Efeito Estufa. Como se pode perceber, ele contribui para uma condição climática essencial ao desenvolvimento da biosfera terrestre.

V. Perturbações no Efeito Estufa e mudanças climáticas globais

Gases atmosféricos que retêm relativamente pouca radiação solar, enquanto absorvem com maior eficiência a radiação emitida pela superfície da Terra, são chamados de gases estufa. Os mais importantes têm ocorrência natural e são o vapor de água, dióxido de carbono, ozônio, metano e óxido nitroso.

Observando-se a Fig. 1, percebe-se que sob a curva de emissão de corpo negro a 6000K (aproximadamente o espectro do Sol), a maior parte da radiação emitida encontra-se em comprimento de onda de luz visível e uma parte bem menor em comprimento de onda de ultravioleta. Comparando-se as duas partes da figura, nota-se que ocorre uma grande absorção da luz ultravioleta pelo O₃ e O₂ (na camada de ozônio) e a luz visível atravessa uma atmosfera quase transparente, atingindo a superfície terrestre.

Analisando-se da mesma forma, a parte referente ao espectro de corpo negro a 255K (aproximadamente o espectro de emissão da Terra), nota-se que grande parte da radiação é em comprimento de ondas longas (infravermelho) e nessa faixa a absorção por gases como vapor de água e dióxido de carbono é grande. Nesta região estão indicadas linhas de absorção de outros gases estufa.

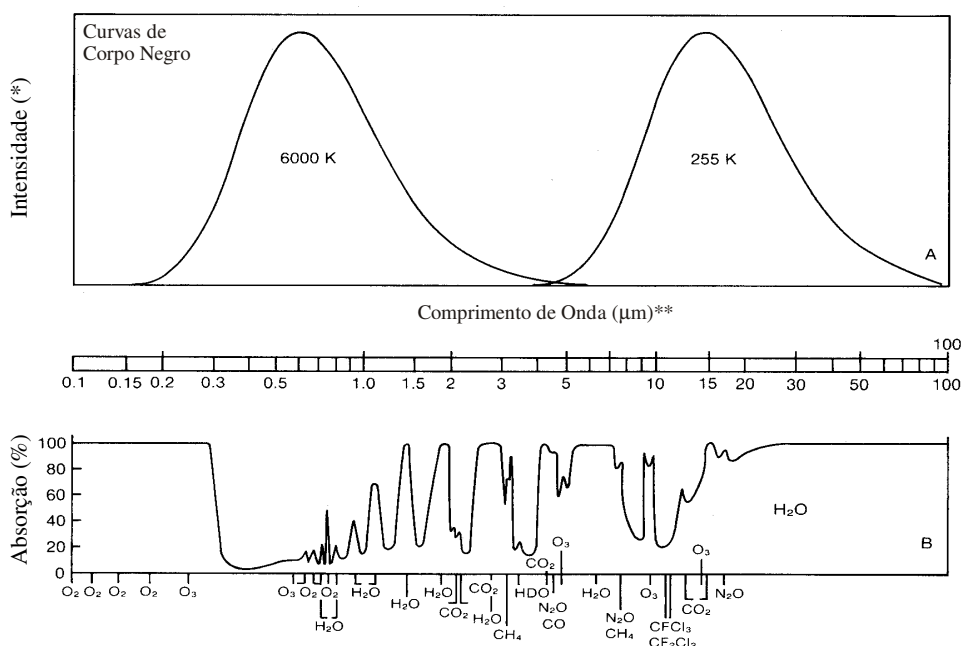


Fig. 1- a) Distribuição espectral de corpos negros a 6000K e 255K, correspondentes às temperaturas de emissão do Sol e da Terra, respectivamente. b) Porcentagem de absorção atmosférica para radiação que atravessa a atmosfera Fonte: MITCHELL, J. The greenhouse effect and climate change. **Reviews of Geophysics**, p. 117, fev.1989.

* Em unidades relativas de potência/unidade de área/μm. A escala para os corpos negros a 6000 K e a 255 K são diferentes, de modo a poderem ser observados, na mesma figura, os efeitos de absorção para os dois espectros de irradiação. Destaque-se que o máximo de intensidade da distribuição espectral solar, recebida no topo da atmosfera terrestre, é cerca de 60 vezes superior aquele do espectro de radiação da terra.

** Escala logarítmica.

A tabela 1 mostra a concentração atual desses gases na atmosfera e a parcela de retenção de energia de cada um deles para o Efeito Estufa (cujo total é de cerca de 155 Wm^{-2}). Percebe-se que o vapor de água participa com 65% do efeito, o CO₂ com 32% e os demais gases com apenas 3%. Claro, portanto, que o vapor de água é o principal gás estufa e que o CO₂ é o segundo em importância, com uma contribuição que é a metade do primeiro.

Na verdade, a maior preocupação tem sido com mudanças relativamente recentes e ponderáveis nas concentrações de gases, devido a atividades antropogênicas. Isso foi observado mais intensamente após a Revolução Industrial. A geração de energia elétrica, o sistema de transporte, o aquecimento de ambientes internos etc, baseou-se no consumo de energia obtida pela queima de combustíveis fósseis, principal recurso energético empregado até hoje. Esta é a maior fonte antropogênica de gases estufa como o dióxido de carbono, além do que o uso de combustíveis fósseis é responsável por emissões de metano e outros compostos

orgânicos. A atividade entérica é outra fonte grande de metano. O aumento das concentrações de O_3 na troposfera, também se deve particularmente às reações fotoquímicas que se processam com produtos e resíduos do uso de combustíveis fósseis.

Tabela 1: Concentrações atuais e aquecimento estufa devido a gases traço.

Fontes: MITCHELL, 1989; IPCC, 2001.

Gás	Concentração (ppm)	Aquecimento Estufa ($W.m^{-2}$)	Variação desde o ano 1750 até ~2005 ($W.m^{-2}$)
vapor de água (H_2O)	~3000	~100	
dióxido de Carbono (CO_2)	345	~50	1.66
metano (CH_4)	1.7	1.7	0.48
óxido nitroso (N_2O)	0.30	1.3	0.16
ozônio (O_3) na Troposfera	$10-100 \times 10^{-3}$	1.3	0.35
CFC 11	0.22×10^{-3}	0.06	0.06
CFC 12	0.38×10^{-3}	0.12	0.12
Todos Halocarbonos		0.34	0.34

Avalia-se que a temperatura média da Terra esteja subindo e os modelos climáticos têm relacionado isto ao aumento da concentração dos gases estufa.

A última coluna da tabela 1 mostra a variação na retenção de energia devido ao incremento observado na concentração de gases estufa desde o ano 1750. Perceba-se, por exemplo, que enquanto a contribuição do CO_2 no efeito total (penúltima coluna) é ~30 vezes maior que a do metano, sua parcela no incremento observado (última coluna) é apenas 3 vezes maior que a do metano. Portanto, para fins de deslocamentos de tendências climáticas, o que pesa mais são os correspondentes deslocamentos nas concentrações e nos diferentes fatores climáticos.

Deve-se ter em conta, ainda, que a contribuição de um gás nesse efeito depende do comprimento de onda no qual ele absorve radiação, de sua concentração, de sua intensidade de absorção por molécula, de quão fortemente os outros gases concorrem com ele nos mesmos comprimentos de onda e do seu tempo de residência na atmosfera.

A absorção pelo vapor de água e dióxido de carbono é tão forte que outros gases que absorvem em comprimentos de onda similares contribuirão muito pouco com o Efeito Estufa, a não ser que tenham concentrações parecidas. Entretanto, existe uma região do espectro de ondas longas, de 8 a 12 μm , conhecida como “janela atmosférica”, onde a absorção por vapor de água e CO_2 é fraca. Outros

gases traço como ozônio, CFCs, metano e óxido nitroso têm bandas de absorção nessa região ou próximo dela e contribuem significativamente para o aprisionamento de radiação, apesar das baixas concentrações.

Note-se, portanto, que não há uma resposta linear da temperatura ao aumento de gases estufa. Mas não há dúvida que isto produza uma maior retenção de radiação na atmosfera, apesar de que, por si só, isso pode não ser suficiente para produzir um aumento da temperatura superficial terrestre. O balanço energético global do planeta é complexo e a concentração dos gases é apenas um dos componentes que o influenciam.

VI. Contexto geral dos fatores que regem o clima e suas mudanças

Os Modelos Climáticos Globais têm estimado que as emissões antropogênicas estão causando uma intensificação do Efeito Estufa. Avalia-se como consequência que desde 1861 a temperatura média da Terra subiu $(0,6 \pm 0,2)^{\circ}\text{C}$. Mesmo se as concentrações dos gases estufa parassem de aumentar, elas continuariam contribuindo para uma tendência de aquecimento do planeta, porque alguns gases têm uma vida média longa e, assim, permanecem atuando na atmosfera por um longo tempo após sua emissão.

As possíveis consequências desse aquecimento seriam: o derretimento da água congelada na cobertura de montanhas e em geleiras, a elevação dos oceanos devido a esse derretimento e à expansão térmica da água, o aumento da quantidade de nuvens, vapor de água e, conseqüentemente, da quantidade de chuvas, alteração das características do ambiente em diferentes regiões etc.

Essas são as tendências avaliadas como mais prováveis e não certas absolutas. Da mesma forma, mesmo que seja muito provável, não é absolutamente certo que as mudanças climáticas sejam de origem antropogênica e não oscilações naturais do clima. Note-se, ainda, que mesmo a variação detectada para a temperatura média da superfície terrestre $(0,6^{\circ}\text{C})$ é um valor muito próximo das incertezas de medida. Apenas recentemente a comunidade científica passou a considerar que este é um sinal que se diferencia do ruído de medida.

Vejamos um pouco melhor a complexidade do problema.

No item “Balanço radioativo Terra-Sol”, vimos que a energia ou radiação solar que chega é balanceada pela radiação terrestre que sai, considerando-se um ciclo global médio. Mas a maior incidência de radiação na faixa equatorial gera uma circulação atmosférica global que, juntamente com as correntes marinhas, redistribui energia em direção aos pólos. Qualquer alteração na radiação recebida do Sol ou perdida para o espaço, ou mudanças na redistribuição dentro da atmosfera ou entre esta, a terra e os oceanos, pode afetar o clima. Chama-se forçante uma mudança

na energia radioativa líquida disponível no sistema Terra-atmosfera. Ela será positiva ou negativa na medida em que propiciar aquecimento ou resfriamento do sistema, respectivamente.

Os gases estufa, portanto, têm representado uma forçante positiva.

Porém, o próprio uso de combustíveis fósseis que gera esses gases também propicia a formação de partículas que podem espalhar a radiação solar, sendo esta uma forçante negativa. Já o negro de fumo (fuligem) absorve radiação com alta eficiência, por isso é forçante positiva. Na maioria dos casos avalia-se que os aerossóis troposféricos tendem a produzir uma forçante negativa e provocar um resfriamento.

Um exemplo disto são os aerossóis de sulfatos que aumentam a capacidade de a atmosfera espalhar a radiação solar antes que ela possa atingir a superfície terrestre. Eles também participam da formação de nuvens, podendo alterar a área de cobertura por nuvens ou tipos de nuvens formadas (CHARLSON et al., 1994, p. 32).

As nuvens representam um dos principais fatores de incerteza nos modelos climáticos. Alterações nos padrões das nuvens tanto poderão produzir um efeito de aquecimento quanto resfriamento, dependendo das características que prevaleçam. Por exemplo, o albedo – reflexão da luz – é uma forçante negativa, enquanto o calor liberado na condensação do vapor de água é uma forçante positiva. Harries (2000), comenta que tipicamente as nuvens representam uma forçante média de -20 W m^{-2} , mas que predições recentes de alguns modelos têm dado valores entre 0 e -30 W m^{-2} . Avalie-se a dimensão dessa incerteza pela forçante total de $2,4 \text{ W m}^{-2}$ estimada para os principais gases estufa, listados na tabela 1.

Erupções vulcânicas são ocasionais, podendo gerar grandes forçantes negativas cujos efeitos podem persistir por alguns anos. A radiação solar recebida pela Terra também sofre oscilações lentas e características. Uma delas está associada ao número de manchas solares que têm apresentado picos progressivos, em ciclos de 11 anos, com amplitude de $\sim 0,1\%$. Há variações com períodos mais longos (19.000, 24.000, 41.000 e 100.000 anos) relacionadas a mudanças na distância Terra-Sol, devido às perturbações induzidas por outros planetas e pela lua. O ciclo de 100.000 anos é atribuído a variações na excentricidade da órbita terrestre (SEINFELD; PANDIS, 1998). Estas mudanças têm que ser consideradas nos modelos climáticos, avaliando-se que foram importantes na definição de variações climáticas em um passado mais distante.

Há, ainda, uma série de efeitos de realimentação positiva ou negativa, que podem intensificar ou atenuar mudanças de temperatura. Maiores temperaturas, por exemplo, provocam maior taxa de vapor de água na atmosfera, o que por sua vez intensificaria o Efeito Estufa. Mas isso pode, ainda, alterar o padrão das nuvens, gerando uma realimentação negativa.

A resposta do clima às forçantes tem várias escalas de tempo. A grande capacidade térmica dos oceanos e o ajuste dinâmico das placas de gelo, por exemplo, determinam hoje um fator de inércia que pode chegar a milhares de anos até que se observe a resposta às forçantes (positivas ou negativas). Ou seja, qualquer fator que interfira no balanço radioativo terrestre acaba introduzindo alterações nos padrões do clima, em escala global ou regional.

Para distinguir mudanças climáticas antropogênicas de variações naturais, é necessário identificar o ‘sinal’ antropogênico contra o ‘ruído’ de fundo da variabilidade climática natural. Portanto, qualquer mudança climática causada por ações antropogênicas estará embutida nas variações climáticas naturais que ocorrem em uma série de escalas de tempo e espaço. A variabilidade climática pode acontecer como um resultado de alterações naturais nas forçantes do sistema climático, por exemplo, variações na radiação solar recebida e mudanças na concentração de aerossóis provenientes de erupções vulcânicas. Variações naturais também podem ocorrer na ausência de mudanças nas forçantes externas, como resultado de interações complexas entre componentes do sistema climático, por exemplo, o acoplamento entre atmosfera e oceanos (IPCC, 2001).

Essa é uma síntese importante para esta parte da discussão, extraída dos relatórios do último encontro do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Esses relatórios são fontes de consulta fundamentais sobre essa questão. Fornecem dados atualizados do sistema climático e do trabalho desenvolvido pelos principais grupos científicos internacionais que atuam nesta área.

VII. Os modelos científicos e as iniciativas sociais

Como apontado nesta revisão, os modelos climáticos em seu estágio atual estimam que haverá um aquecimento global com suas presumíveis e desastrosas consequências. Mas está claro, também, que esta não é uma evolução inexoravelmente definida e que há incertezas apreciáveis nessas previsões.

Independentemente da racionalidade científica com que analisamos o problema, a possibilidade de que venham catástrofes é algo muito presente no imaginário popular. Isso é resultado da percepção que as pessoas têm das profundas alterações que a humanidade tem introduzido sobre a face da Terra. Suas consequências localizadas são perceptíveis e determinadas (impermeabilização do solo e conseqüentes alagamentos, efeito ilha de calor, malefícios da poluição do ar,

stress urbano etc.). É intuitivo, portanto, que desastres globais também estejam se delineando, mesmo que possa haver ainda muitas incertezas quanto aos resultados oferecidos pelos modelos científicos.

Ocorre que, se estes modelos estiverem corretos quanto à avaliação das interferências antropogênicas sobre o clima, é imprescindível uma ação rápida para controle das emissões dos gases estufa.

Esta ação envolveria uma intervenção radical na principal base energética de nossa sociedade, que se fundamenta na queima de combustíveis fósseis, principalmente na produção direta de energia e transportes. Isso afetaria os interesses imediatistas de lucro de todo sistema capitalista de produção e comércio de mercadorias. Também envolveria conflitos políticos e econômicos, como se pode notar na manifestação do presidente americano George Bush contra a redução de emissão de CO₂, proposta pelo Protocolo de Kyoto. Esse tipo de manifestação contrária à adoção de limites de emissão de poluentes busca fundamentar suas posições nos “custos econômicos” envolvidos nos processos de prevenção de efeitos que são muito incertos, segundo seu ponto de vista.

Não há dúvidas de que as incertezas existem. Mas se tais previsões se concretizarem, os danos econômicos e sociais projetados serão muito superiores aos ganhos que poucos terão acumulado ao ignorarem o controle da parcela antropogênica do Efeito Estufa.

Independente das incertezas quanto às mudanças climáticas e seus efeitos, não há dúvidas quanto aos danos advindos das mesmas ações antropogênicas que geram os gases estufa. A produção de energia, os transportes e outras fontes de gases estufa, geram outros poluentes e danos à saúde humana e ao meio ambiente em geral. Neste sentido, o artigo “Hidden Health Benefits of Greenhouse Gas Mitigation” (CIFUENTES et al., 2001) estima que cerca de 700 mil mortes anuais são relacionadas à poluição atmosférica, sendo a maior parte acoplada aos processos que geram gases estufa. O trabalho aponta, ainda, outros benefícios adicionais à saúde que o controle da emissão de gases estufa traria.

Está claro que se a catástrofe climática tem doses de incerteza, a catástrofe quotidiana da poluição do ar e degradação ambiental é bastante concreta e palpável. Solucioná-las significaria, também, prevenir os danos ainda maiores que podem advir das mudanças climáticas. São apenas os objetivos de lucro imediato e a qualquer custo que sustentam a negação dos impérios econômicos em assumir medidas como aquelas propostas pelo Protocolo de Kyoto.

VIII. Seleção do material analisado

Os textos jornalísticos e para-didáticos selecionados foram tratados separadamente, mesmo que em alguns casos houvesse falhas semelhantes entre eles.

Distingui-los é importante porque a estrutura dos textos didáticos em geral é muito mais elaborada e cuidadosa que o material jornalístico. Entretanto, os eixos principais sobre os quais desenvolvemos o trabalho de crítica, foram os mesmos e estão destacados abaixo:

a) se a apresentação do Efeito Estufa foi feita como algo maléfico, misturando o que é o efeito principal com as suas possíveis alterações;

b) se houve ou não diferenciação entre o que é a contribuição do vapor de água, dióxido de carbono e outros gases para o efeito principal e em suas alterações;

c) se o tratamento de hipóteses foi como algo definitivo, apresentando-as de forma taxativa;

d) se houve ou não discussão quanto às incertezas nas mudanças do Efeito Estufa e nas correspondentes projeções de conseqüências.

Os artigos de jornais e revistas foram selecionados após uma pesquisa nos sites da Internet dos jornais Folha de São Paulo e O Estado de São Paulo e das revistas Veja, Época, Super Interessante e Galileu. Estudou-se todos os textos encontrados no período entre fevereiro de 2000 e agosto de 2001, num total de 26 artigos. (Apêndice I: PERIÓDICOS 2001)

Fez-se uma busca ampla de todos os livros para-didáticos que tinham alguma relação com o tema. Utilizou-se o sistema Dedalus da USP, visita a sites de livrarias e editoras (Apêndice I: PARA-DIDÁTICOS 2001). Na visita aos sites das editoras foram listados 12 livros. Destes, apenas três foram encontrados para compra, dois estavam disponíveis no sistema Dedalus, um deles na biblioteca e o outro no Grupo de Re-elaboração do Ensino da Física (GREF), que gentilmente cedeu-os para consulta. Conseguiu-se também o livro da coleção Ciência Hoje, na sede da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), na USP, que autorizou a utilização nesta análise de uma cópia da parte referente ao tema em estudo. Finalmente, durante uma pesquisa para identificação de materiais relacionados ao tema, disponíveis na Escola Estadual “Oscar Villares”, em Mococa, localizou-se dois novos títulos que foram emprestados pela Coordenação para serem analisados neste trabalho. Ao todo, agrupou-se oito livros. (Apêndice I: PARA-DIDÁTICOS 2001)

IX. Análise dos artigos de periódicos jornalísticos

A tendência a apresentar uma hipótese como algo definitivo está presente em vinte artigos e, como conseqüência direta disso, tem-se a classificação do Efeito como algo maléfico e a adoção de uma visão de que ele desdobrar-se-á em catástrofes inevitáveis.

O trecho seguinte, retirado de um dos artigos selecionados, mostra claramente essa apresentação, no caso as secas e inundações, e a visão catastrófica, sugerida pelas assustadoras previsões.

... Esqueça por um momento que as marés vão subir e que o planeta vai virar uma sauna daqui a um século. Um grupo de médicos de quatro países, entre eles o Brasil, apresenta hoje um argumento bem mais poderoso para que se acelere o combate aos gases estufa: salvar vidas... (Jornal Folha de São Paulo, 17/08/2001)

Ainda nessa direção, percebe-se uma falta de rigor científico ao se classificar o Efeito como algo desastroso. Não há uma diferenciação entre a Efeito principal, benéfico ao planeta, e suas variações. As conseqüências destas são encaradas como certas e imutáveis. Isso não é adequado, pois existem probabilidades estimadas para sua ocorrência e incertezas bastante significativas para essas previsões, particularmente devido aos efeitos de realimentação no sistema climático.

Os trechos a seguir reforçam esses dois aspectos.

... O efeito estufa é o responsável pelos invernos menos frios e as primaveras antecipadas registradas nos últimos trinta anos no hemisfério Norte... (Jornal Folha de São Paulo, 23/04/2001)

... A mudança climática é mais grave do que pensavam os especialistas e seus efeitos serão sentidos durante séculos... (Jornal Folha de São Paulo, 22/01/2001)

O dióxido de carbono é citado como principal gás estufa em 21 artigos, no entanto, é o vapor de água que ocupa tal posição, sendo secundado de longe pelo CO₂. Trata-se obviamente de uma confusão ou desconhecimento sobre o que é o efeito estufa em si e o que tem provocado sua intensificação. Nesse último caso sim, o CO₂ tem sido apontado como o principal gás provocador de forçante radioativa positiva. Raramente são mencionados os demais gases. Apesar de eles existirem em pouca quantidade na atmosfera, acabam interferindo bastante na variação do Efeito devido aos diversos fatores analisados na revisão bibliográfica. Os exemplos a seguir ilustram esta questão.

... Para interromper o aquecimento global, será preciso substituir os combustíveis fósseis por uma fonte limpa de energia, que não produza o gás CO₂, principal causador do efeito estufa... (Revista Super Interessante, Especial Ecologia, Junho de 2001)

A discussão sobre as incertezas quanto às prováveis consequências do Efeito aparece em apenas quatro artigos e, ainda assim, de maneira incompleta e sempre junto a uma série de outras imprecisões de diferentes ordens.

... As futuras mudanças no clima da Terra podem acontecer repentinamente, provocadas por fatores humanos como a fumaça das indústrias, [...] Ainda há alto grau de incertezas nas previsões... (Jornal Folha de São Paulo, 12/07/2001)

Alguns artigos, entretanto, pelo menos parcialmente, tratam o tema de maneira adequada. Em sua maioria, isto ocorre quando cientistas são os autores ou quando eles participam da execução do artigo. Nesses casos, o procedimento adotado é aquele próprio da divulgação científica, como nas revistas Scientific American ou Ciência Hoje.

X. Análise dos textos para-didáticos

A análise dos livros para-didáticos seguiu os mesmos critérios definidos para os artigos. Como cada livro apresentou um enfoque diferente, eles serão tratados separadamente.

O primeiro a ser analisado foi “Ciência Hoje na Escola”, volume 1, “Céu e Terra” (JANUZZI, 2000). Ele é voltado para alunos do ensino fundamental, mas pode ser usado para o ensino médio.

Trata a relação Energia e Efeito Estufa, mostrando o quanto é importante a economia de energia e o uso de fontes alternativas. Não se aprofunda na discussão do Efeito em si, ou seja, dos conceitos físicos envolvidos. Discute, de maneira adequada, o aquecimento global e suas consequências, mostrando as possibilidades e as suas prováveis ocorrências. Assume que a melhor forma de manter o equilíbrio do Efeito Estufa é o fim da produção de substâncias químicas que podem afetá-lo.

Sua abordagem é simples, discutindo apenas pontos principais do Efeito, mas utiliza uma linguagem adequada ao público alvo (ensino fundamental). O texto tem uma diagramação em blocos, ou seja, a página é dividida em partes e em cada uma é apresentado um grupo de figuras para ilustração e desenvolvimento do tema.

“Poluentes Atmosféricos” (HELENE et al., 2000) foi o segundo livro de analisado. Dos quatro pontos definidos para observação, apenas o segundo, que diz respeito à discussão sobre a contribuição do vapor de água, do dióxido de carbono e de outros gases para o efeito principal e em suas variações, a nosso ver, não foi devidamente tratado.

O material separa o efeito principal e suas variações, o que desfaz a idéia comum de que o Efeito é maléfico. Mas comete uma imprecisão ao definir o

Efeito Estufa como “*um fenômeno natural de manutenção do calor da Terra*”. O conceito físico mais adequado no caso é o de manutenção da temperatura superficial média da Terra (a idéia de calor é de energia em trânsito). Mas ele discute corretamente as alterações desse efeito, apresenta a influência de ações antropogênicas nessas alterações no clima do planeta e como isto poderia afetar o meio ambiente e a vida do ser humano.

Quando aborda o balanço radioativo simplificado da Terra, apresenta outra pequena imprecisão. Assume que 30% da energia solar que atinge o planeta é refletida de volta para o espaço, apenas pela atmosfera. Entretanto, tal reflexão ocorre na atmosfera e na superfície terrestre, como inclusive ilustra o esquema que acompanha o texto.

Trata a relação entre emissão antropogênica de gases estufa e mudanças no Efeito Estufa, no clima e o aquecimento global. Apresenta, por meio de um gráfico, a semelhança entre variações da temperatura terrestre, em uma longa série histórica, e variações na concentração de dióxido de carbono na atmosfera no mesmo período.

Mostra corretamente que, se confirmadas as hipóteses atualmente aceitas, a temperatura superficial média da Terra aumentará e ocasionará várias alterações climáticas e ambientais. Também indica que se nada for feito para minimizar esse efeito, poderão ocorrer catástrofes climáticas como a elevação dos níveis dos oceanos, a mudança na distribuição das chuvas, a conseqüente redução na produção agrícola etc.

Os gases estufa, dióxido de carbono, metano e CFCs, suas fontes naturais e antropogênicas e sua participação no Efeito Estufa principal e em suas variações são discutidas. O gás carbônico é visto de forma bem abrangente, mas não se discute a participação do vapor de água no processo. Como já dissemos, ele é simplesmente citado como uma incerteza que devido a elevação da temperatura poderia causar uma intensificação do Efeito. Não são tratadas outras possíveis incertezas, como as nuvens e seu provável crescimento ou a grande capacidade de compensação por armazenamento de energia que têm os oceanos.

Outro livro analisado foi “Energia e Meio Ambiente” (BRANCO, 1990a). De algum modo, apresentou problema em relação a todos os pontos que destacamos para análise crítica. Em parte isso pode ser atribuído ao fato de ser um livro com mais de onze anos, portando alguma desatualização. Nos últimos anos houve uma evolução expressiva dos modelos, como discutimos em nossa revisão bibliográfica. Ao mesmo tempo, sua abordagem reflete uma perspectiva biológica, em consonância com a especialidade do autor.

Vale salientar ainda que, ao contrário do livro anterior, que trata de poluentes atmosféricos, tema muito ligado ao Efeito Estufa, este aborda a energia e o meio ambiente. Nesse caso, o Efeito representa apenas uma das várias conseqüências

que o tipo de energia utilizado pelo homem porta ao meio ambiente. O tema é tratado quando o autor apresenta os compostos de carbono gerados pela queima de combustíveis fósseis.

A primeira parte consiste em uma apresentação da distribuição de energia solar que atinge o planeta. Isto é feito por meio de uma tabela que divide essa energia em função termodinâmica e função fotobiológica, mostra seu destino e sua quantidade em porcentagem, sendo apenas citados os processos envolvidos, como por exemplo, energia refletida pelo solo, geleiras, vegetação e oceanos.

A seguir, faz uma análise acerca do gás carbônico existente no ar, seu equilíbrio natural e suas variações provocadas por ações antropogênicas.

Segundo o autor, “[...] o excesso de gás carbônico é o principal causador do fenômeno efeito estufa [...]”. Portanto, ele não diferencia entre o efeito principal, benéfico, e suas variações, que podem vir a acarretar perturbações prejudiciais à vida sobre a Terra. Em consequência disso, o gás carbônico é apresentado como seu principal causador, e não o vapor de água que nem é mencionado. Não fala dos outros gases estufa, como os CFCs e o metano.

Apresenta uma visão catastrófica do efeito e suas consequências, e isto é feito de maneira taxativa. O autor afirma que “[...] Uma das consequências mais aterrorizantes do efeito estufa será o derretimento de parte das geleiras continentais, provocando elevação do nível dos oceanos [...]”.

Um último aspecto é a ausência de discussão sobre as incertezas envolvidas nesse processo, o quanto isso pode afetar as previsões e as medidas necessárias para minimizar esse efeito.

O livro seguinte que foi analisado é do mesmo autor anterior; chama-se “Ambiente em debate” (BRANCO, 1990b). Neste, a abordagem do tema é bem mais concisa. Há uma discussão sobre a questão do meio ambiente em geral e as limitações são similares às aquelas que comentamos sobre o livro anterior, ou seja, desatualização de dados e abordagem sob uma ótica biológica. O tema é tratado de forma bem resumida, duas páginas apenas, em um capítulo que aborda as chuvas ácidas e o Efeito Estufa.

O metano e o gás carbônico são apresentados como alguns dos gases “que deixam penetrar a luz e não deixam sair o calor” e, por isso, afetariam o Efeito Estufa. Informa que dados sobre a temperatura atmosférica revelam uma elevação progressiva coincidente com o desenvolvimento tecnológico-industrial, ou seja, com as queimas de combustíveis que emitem gases.

Ele não discute a influência destes ou de outros gases no Efeito Estufa, não faz uma diferenciação entre o efeito principal, sua natureza, suas variações, as possíveis consequências e as diversas incertezas compreendidas.

Não é taxativo ao afirmar sobre consequências catastróficas, mas limita a possibilidade de elevação do nível dos oceanos ao derretimento de massas de gelo, não considerando a expansão volumétrica da água com a temperatura. Segundo ele, “[...] *consequência, porém, de características catastróficas, poderá ser a elevação do nível do mar, devido ao derretimento de grandes massas de gelo [...]*”. Admite a complexidade do assunto e a dificuldade de previsão de possíveis danos devidos às atividades antropogênicas.

Em seguida, em “Energia, meio ambiente e desenvolvimento” (GOLDEMBERG, 1998), outro livro analisado, o autor apresenta uma visão atualizada sobre a questão do Efeito Estufa.

Aborda o efeito principal, sua propriedade benéfica que permite a existência de vida na Terra e sua variação devido à emissão de poluentes e aerossóis antropogênicos ou acontecimentos naturais, como os aerossóis de vulcões. Um diagrama do balanço energético do planeta ilustra o efeito geral.

Discute as variáveis envolvidas nas previsões de mudanças climáticas, o processo de realimentação, “*que amplifica ou reduz o aquecimento levando a mudanças no clima*”, e os modelos matemáticos para o sistema climático, que ajudam a prever as possíveis variações.

Aceita as hipóteses de aquecimento global como adequadas, mas sujeitas a variações já que muitas incertezas estão envolvidas. Segundo o autor, “[...] *em seu estado atual, esses modelos são razoavelmente grosseiros, o que resulta em incertezas consideráveis nas previsões de mudanças climáticas [...]*”.

Afirma que os gases mais relevantes para a variação do Efeito são o vapor de água, o dióxido de carbono, o metano, os CFCs e o óxido de nitrogênio. Ao analisar a participação destes no Efeito, afirma haver uma dependência entre a sua contribuição ao aquecimento, seu tempo de vida na atmosfera e suas interações com outros gases e vapor de água.

O sexto livro de análise foi “Cronologia das Ciências e das Descobertas” (ASIMOV, 1993). Este não é um material produzido para fins didáticos e mostra-se bastante inadequado ao tratamento do tema em questão.

Ele não diferencia o efeito principal de sua variação e acredita que o gás carbônico é o principal problema. Não é feita nenhuma discussão referente aos outros gases envolvidos, às hipóteses de prováveis consequências e suas incertezas. O Efeito é encarado como algo maléfico e de características desastrosas.

O sétimo foi “Poluição do Ar” (BRANCO e MURGEL, 1996). Este utiliza muitos termos técnicos, o que pode representar alguma dificuldade para estudantes de nível médio, como por exemplo, “... *fenômenos intervenientes, conflitantes ou somatórios...*”, “... *regime de moto-contínuo...*” e “... *inclinação da eclíptica...*”.

O primeiro autor do livro tem formação na área biológica e o segundo na da engenharia ambiental. O enfoque principal está nos aspectos biológicos envolvidos e na evolução histórica da pesquisa do Efeito Estufa.

Há equívocos evidentes quanto a conceitos físicos e a própria caracterização do Efeito Estufa. Não foi feita uma discussão da diferença entre o efeito principal, benéfico, e sua variação.

... as radiações solares incidentes, em forma predominante de luz, atravessam facilmente o vidro, pois ele é transparente. Porém, ao se refletir no interior das caixas de vidro, transformam-se em radiações caloríficas. Essas radiações dificilmente retornam ao exterior, pois o vidro é isolante térmico.

O Efeito Estufa é um processo de aquecimento gradual da Terra. Ele aparece com o enriquecimento progressivo da atmosfera em alguns gases como o dióxido de carbono (ou gás carbônico), o metano (ou gás dos pântanos) e outros.

Nota-se a ausência de uma discussão adequada sobre o que são gases estufa, o nível de perturbação dos principais deles sobre o efeito estufa e quais suas fontes geradoras. Define o dióxido de carbono como o principal gás estufa e afirma que todos os ‘combustíveis orgânicos’ podem provocar o Efeito.

... o gás carbônico, tido como principal responsável químico pelo Efeito Estufa...

Na verdade, todos os combustíveis orgânicos podem igualmente provocar o Efeito Estufa.

O texto não mostra ou discute o balanço radioativo ou os processos envolvidos, não apresenta nenhum diagrama ou figura, não aponta alternativas para o uso de combustíveis fósseis e discute muito pouco o papel do ser humano na intensificação do Efeito e as possíveis consequências a sua saúde e qualidade de vida.

Não apresenta o Efeito de maneira catastrófica e taxativa, cita a existência de incertezas e possíveis consequências, mas não faz uma discussão sobre quais são essas incertezas, suas dimensões e seus efeitos na questão das Mudanças Climáticas Globais.

O último livro de análise foi “O Efeito Estufa” (BRIGHT, 1996). Sua linguagem é simples, mas correta. Faz uso de muitos desenhos e diagramas, além de apresentar vários exemplos.

Relata os fatos principais sem se preocupar em apresentar o balanço radioativo ou os processos que ocorrem na atmosfera.

Discute os gases estufa e suas fontes. Quando trata dos CFCs, presentes em pequena quantidade quando comparados com outros gases estufa, fala de sua importância sem apresentar os processos físicos que explicam isso.

... existem CFCs em pequenas quantidades na atmosfera. São gases importantes para o Efeito Estufa e podem reter grandes quantidades de calor.

Demonstra uma grande preocupação com as consequências possíveis da intensificação do Efeito e discute as evidências do aumento de temperatura do planeta, mas tratando-as apenas de forma qualitativa, sem apresentar a dimensão dessas variações.

Uma elevação nas temperaturas mundiais poderia desestabilizar o clima e mudar os padrões climáticos por toda parte.

As estações meteorológicas vêm registrando um aumento gradual na temperatura do ar em todo o mundo. Elas revelaram também um aumento nas quantidades de dióxido de carbono e outros gases responsáveis pelo Efeito Estufa encontrados na atmosfera. Durante a década de 80, o mundo conheceu seis dos anos mais quentes já registrados.

Cita a necessidade de controle de emissão de CO₂ e fala um pouco do seu controle natural, fazendo uma comparação entre a Terra e o planeta Vênus.

O equilíbrio de gases na atmosfera da Terra cria condições adequadas à existência de vida. Um excesso de dióxido de carbono na atmosfera pode deixar a Terra superaquecida e torná-la igual a Vênus [...] o calor da superfície do planeta fica retido.

Discute, de forma substantiva, modos para se evitar uma intensificação do Efeito Estufa, apresentando, inclusive, um diagrama bem interessante.

Há muitas coisas a se fazer para evitar a ameaça do aquecimento global. Podemos usar fontes alternativas de energia [...] Podemos melhorar o funcionamento de nossas casas e fábricas para que consumam menos energia. E podemos replantar florestas que absorvam parte do dióxido de carbono e interrompam sua acumulação na atmosfera.

XI. Conclusões

A análise dos textos de periódicos jornalísticos selecionados mostra que a maioria dos artigos não usou um tratamento adequado quando discutiu o Efeito Estufa como principal causador das mudanças climáticas. Percebe-se o predomínio de uma visão catastrófica, causada pela confusão do efeito principal com sua variação, e a ausência de rigor científico no tratamento da questão.

O poder que esses meios de comunicação têm de influenciar a formação das pessoas é muito grande e pode atingir todos os segmentos da sociedade. Os reflexos sobre as concepções dos alunos são diretos, como leitores, ou indiretos, através dos canais sociais pelos quais ocorre a difusão das informações jornalísticas. Daí, a importância deste tema ser abordado adequadamente, principalmente por se tratar de um assunto que pode afetar profundamente a vida do ser humano e a habitabilidade do nosso planeta.

Esta situação poderia ser corrigida se os jornais e revistas adotassem procedimentos próprios ao tratamento de temas especializados e complexos. O uso de assessorias e a encomenda de artigos a especialistas seriam algumas dessas formas, mas isto muitas vezes é desconsiderado. Pode-se relacionar como hipóteses prováveis para tal procedimento o custo que acarretaria ou, talvez, o fato de que práticas de perfil sensacionalistas chamam mais atenção e acabam vendendo mais (OLSON, 2000).

A ausência de rigor científico caracterizou-se principalmente pela adoção do dióxido de carbono como principal causador do Efeito Estufa, ao invés do vapor de água. O que os modelos têm estabelecido é que o mais importante gás estufa é o vapor de água e que o maior perturbador do Efeito Estufa é o dióxido de carbono. Vale recordar que quando levamos em conta a variação do Efeito, gases pouco significativos passam a ter uma grande importância graças à perturbação que podem introduzir devido ao seu tempo de residência ou de absorverem radiação em comprimentos de onda muito particulares.

A análise dos livros para-didáticos diferiu um pouco daquela feita para os artigos. Como seria de se esperar, eles mostraram-se mais coerentes com as hipóteses aceitas pela comunidade científica, mas ainda assim alguns autores deixaram lacunas significativas ao tratarem do tema. Como esses livros são destinados ao ensino, é importante que sejam formulados com grande cuidado e redobrada atenção. Diferentemente dos textos jornalísticos, que em geral têm que ser respostas rápidas aos fatos, a produção de livros propicia o tempo necessário para a pesquisa do tema e para a devida revisão do texto.

Observaram-se distorções nas previsões de conseqüências do Efeito Estufa, assim como falhas na indicação dos gases estufa, suas fontes naturais e

antropogênicas, variações nos seus níveis de emissão, seus efeitos na saúde humana e possível participação em outros fenômenos ou problemas ambientais.

Os livros “Poluentes atmosféricos” e “Energia, meio ambiente e desenvolvimento” mostraram-se mais adequados para o uso em salas de aula do ensino médio. O livro “Ciência Hoje na Escola” poderia ser utilizado como ponto inicial de trabalho, mas necessitaria de livros complementares ou uma maior participação do professor, já que é voltado para o ensino fundamental, tendo uma abordagem correta, mas simples. “O Efeito Estufa” apresenta diagramas, desenhos e exemplos que ilustram muito bem como este funciona e suas possíveis conseqüências, além de utilizar uma linguagem bastante acessível aos alunos. Esses pontos podem torná-lo de grande valia em sala de aula como complementação das discussões.

É importante notar que os livros que se mostraram mais adequados, de acordo com este estudo, também são os mais atuais.

Pensando-se na sala de aula, todas as informações, cientificamente corretas ou não, disponibilizadas nesses materiais poderiam ser usadas para o aprimoramento dos conceitos envolvidos ou para apresentação de um efeito ou conceito. As falhas ou distorções presentes nos textos poderiam ser usadas de maneira positiva, servindo de base para o ensino de conceitos e informações que têm base científica por meio da interação e do diálogo entre professores e alunos. Uma das abordagens do modelo construtivista, quando trata das questões relevantes à aprendizagem, propõe que o erro produzido pelo aluno não seja eliminado, mas abordado de uma maneira mais positiva. Segundo Astolfi (1999), *“o objetivo perseguido é chegar a erradicá-los das produções dos alunos, mas se admite que, como meio para consegui-lo, deve-se deixar que apareçam – inclusive provocando-os”*.

Por fim, trabalhar com assuntos e informações atuais, é extremamente importante para a motivação do estudante, auxiliando-o na formação de uma visão global do tema, em seu desenvolvimento como cidadão e no aprimoramento de sua capacidade de diálogo e crítica.

O mesmo pode ser mencionado a respeito dos artigos e livros paradidáticos, ou seja, eles constituem uma grande fonte de informação e motivação e suas eventuais falhas devem ser usadas de maneira a aprimorar e enriquecer os conhecimentos e concepções do aluno, além de desenvolver sua formação e enfatizar suas responsabilidades, deveres e direitos como cidadão.

Apêndice I

Para-didáticos 2001

Editoras/Livrarias consultadas:

Editora Scipione: <http://www.scipione.com.br>
Editora Moderna: <http://www.editoramoderna.com.br>
Livraria Siciliano: <http://www.siciliano.com.br>
Livraria Saraiva: <http://www.saraiva.com.br>
Sistema Dedalus: <http://www.usp.br/sibi>
Revista Ciência Hoje: <http://www.cienciahoje.com.br>

Livros analisados

ASIMOV, I. **Cronologia das ciências e das descobertas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1993.

BRANCO, S. M. **Energia e meio ambiente**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 1990a.

BRANCO, S. M. **Ambiente em debate**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 1990b.

BRANCO, S. M., MURGEL, E. **Poluição do Ar**. 5. ed. São Paulo: Moderna, 1996.

BRIGHT, M. **O Efeito Estufa**. 5. ed. São Paulo: Melhoramentos, 1996.

GOLDEMBERG, J. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. 1. ed. São Paulo: Edusp, 1998.

HELENE, M. E. et al. **Poluentes atmosféricos**. 1. ed. São Paulo: Scipione, 2000.

JANNUZZI, G. M. **Ciência hoje na escola: Céu e Terra**. 4. ed. Rio de Janeiro: SBPC, 2000. v. 1

Periódicos 2001

Jornal O Estado de São Paulo: <http://www.estado.com.br>

1. Visão apocalíptica oculta progresso humano. Bjorn Lomborg, The Guardian, 19/08/2001.
2. Redução de poluentes ganha apoio empresarial. Carlos Franco, 22/07/2001.
3. O aquecimento da Terra é realmente perigoso? Entrevista com Richard Lindzen, do MIT, e Andrew Weaver, da Universidade de Vitória, Los Angeles Times, 24/06/2001.
4. Congresso dos EUA discute o efeito estufa. Roberto Kishinami, 29/07/2001.
5. Aquecimento global não deve ser tão intenso. 20/07/2001.
6. Como fica a luta pelo clima. Luiz Weis, 04/08/2002.

Jornal Folha de São Paulo: <http://www.folha.com.br>

1. Aquecimento da Terra é mais grave do que se pensava. France Presse, Xangai, China, 22/01/2001.
2. Aquecimento global pode estar derretendo solo do Ártico. Reuters, Nairóbi, Quênia, 07/02/2001.
3. Atmosfera perde capacidade autolimpante. Cláudio Ângelo, 04/05/2001.
4. Cientistas que negam efeito estufa são minoria, diz especialista. Reuters, Nairóbi, Quênia, 05/04/2001.
5. Combate a gases-estufa pode salvar vidas. Cláudio Ângelo, 17/08/2001.
6. Degelo do Ártico acelera aquecimento do clima da Terra. France Presse, Nairóbi, Quênia, 07/02/2001.
7. Ecologistas defendem soluções caseiras para luta contra efeito estufa. France Presse, Bonn, Alemanha, 17/02/2001.
8. Efeito estufa pode causar alterações climáticas repentinas. Reuters, Amsterdã, Holanda, 12/07/2001.
9. Empresas aceitam combater efeito estufa para evitar leis rígidas. Keith Bradsher e Andrew Revkin, The New York Times, 15/05/2001.
10. Estudo dos EUA prevê temperaturas mais altas no planeta em 2100. Reuters, Washington, EUA, 21/07/2001.
11. Gelo do Ártico está derretendo rápido, diz explorador norueguês. Reuters, Ottawa, Canadá, 28/05/2001.
12. Mudanças climáticas são a grande preocupação do terceiro milênio. France Presse, Paris, França, 12/12/2000.
13. Cientistas analisam clima nos últimos 30 anos de efeito estufa. France Presse, Washington, EUA, 23/04/2001.
14. O que é o efeito estufa. Enciclopédia da Folha.

Revista Veja: <http://www.veja.com.br>

1. A natureza contra-ataca. Bia Barbosa, 18/04/2001.

Revista Época: <http://www.epoca.com.br>

1. Os maiores estragos do efeito estufa. 21/02/2000.

Revista Super Interessante: <http://www.superinteressante.com.br>

1. Temperatura Crítica. Gilberto Stam, Especial Ecologia, Junho de 2001.
2. Uma nova revolução. André Penner, Araújo Alcântara, Joel Rocha, Especial Ecologia, Junho de 2001.

Revista Galileu: <http://www.galileu.com.br>

1. Amazônia: a floresta combate (sim) o efeito estufa. José Tadeu Arantes, Edição 111, Outubro de 2000.
2. Aquecimento fora de controle. Paulo D'Amato, Edição 118, Maio de 2001.

Referências bibliográficas

ASTOLFI, J. P. **El “error”, un medio para enseñar**. Colección investigación y enseñanza, Diada, 1999.

ASIMOV, I. **Cronologia das ciências e das descobertas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1993.

BRANCO, S. M. **Energia e meio ambiente**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 1990a.

BRANCO, S. M. **Ambiente em debate**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 1990b.

BRANCO, S. M.; MURGEL, E. **Poluição do Ar**. 5. ed. São Paulo: Moderna, 1996.

BRIGHT, M. **O Efeito Estufa**. 5.ed. São Paulo: Melhoramentos, 1996.

CHARLSON, R. J., WIGLEY, T. M. L. Sulfate aerosol and climatic change. **Scientific American**, p. 28-35, February 1994.

CIFUENTES, L. et al. Hidden health benefits of greenhouse gas mitigation. **Science**, v. 293, p. 1257-1259, August 2001.

ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. CD Deluxe, 2001.

GOLDEMBERG, J. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. 1. ed. São Paulo: Edusp, 1998.

HARRIES, J. E. Physics of the Earth's energy balance. **Contemporary Physics**, v. 41, n. 5, p. 309-322, 2000.

HELENE, M. E. et al. **Poluentes atmosféricos**. 1. ed. São Paulo: Scipione, 2000.

IPCC, TECHNICAL SUMMARY of the Working Group I Report, 2001. IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change: <http://www.ipcc.ch>.

JANNUZZI, G. M. **Ciência hoje na escola: Céu e Terra**. 4. ed. Rio de Janeiro: SBPC, 2000. v. 1

MITCHELL, J. F. B. The Greenhouse effect and climate change, **Reviews of Geophysics**, v. 27, n. 1, p. 115-139, 1989.

OLSON, J. Book Reviews. **Science Education**, v. 84, n. 5, p.680-682, 2000. Citando NELKIN, D. **Selling Science: How the press covers science and technology**, New York, W.H. Freeman Co.

RAMANATHAN, V.; BARKSTRM, B. R.; HARRISON, E. F. Climate and the earth's radiation budget. **Physics Today**, p. 22-32, May 1989.

SEINFELD, J. H. **Atmospheric chemistry and physics of air pollution**. 1 ed. USA: John Wiley&Sons, 1986.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. **Atmospheric chemistry and physics, from air pollution to climate change**. USA: John Wiley&Sons, 1998.