

**REFLEXÕES SOBRE O EFEITO-ESTUFA**  
**Luiz Carlos Baldicero Molion, PhD**  
**Instituto de Ciências Atmosféricas , Universidade Federal de Alagoas**  
**lcmolion@gmail.com**

O fenômeno do efeito-estufa, como descrito nos livros de Meteorologia, é questionável e desafia as leis da Termodinâmica! Esse fenômeno não está descrito nos livros de Física. A versão clássica o compara com o que ocorre nas casas de vegetação (estufa de plantas = greenhouse), nas quais a radiação solar atravessa os painéis de vidro e aquece o chão e o ar interno. A radiação infravermelha térmica (IV), emitida dentro da casa de vegetação, não consegue passar pelo vidro, que a absorve por ser opaco a ela (vidro absorve comprimentos de onda superiores a  $2,8 \mu\text{m}$ ) e a impede de escapar para o ambiente exterior à casa de vegetação. Esse seria o fenômeno responsável pelo aumento de sua temperatura. Em princípio, ocorreria a mesma coisa na atmosfera terrestre. A radiação solar incide sobre a atmosfera, parte dela (30%) é refletida de volta para o espaço exterior por nuvens, moléculas do ar e pela própria superfície terrestre, porém boa parte atravessa a atmosfera e é absorvida pela superfície terrestre, que se aquece. Aquecida, a superfície emite radiação IV que, por sua vez, seria absorvida por gases constituintes minoritários da atmosfera, como vapor d'água, gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e metano ( $\text{CH}_4$ ), os chamados gases de efeito-estufa (GEE), que atuam de forma semelhante ao vidro. Os GEE emitiriam a radiação IV absorvida em todas as direções, inclusive de volta à superfície. Essa seria a explicação para o ar adjacente à superfície ser mais quente que as camadas superiores da atmosfera. Em princípio, quanto maior a concentração dos GEE, maior seria a absorção da radiação pela atmosfera e emissão para a superfície e mais quente ficaria o planeta. Ou seja, maior injeção de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  na atmosfera tenderia a intensificar o efeito-estufa.

A primeira vez que o fenômeno da “casa de vegetação aquecida” foi mencionado na literatura foi por Joseph Fourier (o mesmo da Matemática) em 1826. Depois, em 1859, John Tyndall descobriu que gases, como vapor d'água e  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ , absorviam radiação IV. Em 1896, Svante Arrhenius (da Química) afirmou que, segundo seus cálculos, a temperatura global aumentaria de  $5^\circ\text{C}$  a  $6^\circ\text{C}$  se a concentração de  $\text{CO}_2$  dobrasse. Arrhenius nem calculadora tinha e o IPCC precisou de complexos modelos de clima, que rodam em supercomputadores, e gastar bilhões de dólares para chegar ao mesmo número de Arrhenius. Entretanto, em 1909, Robert W. Wood construiu dois modelos de casa de vegetação, uma de vidro e outra de quartzo, que não absorve a radiação IV, e demonstrou que as temperaturas finais das duas eram semelhantes. Ou seja, a casa de vegetação se mantinha aquecida não por causa da propriedade do vidro absorver radiação IV, e sim porque o ar, aquecido e menos denso, ficava confinado dentro da casa de vegetação e não conseguia se misturar ou subir (**convecção**), dando lugar a ar mais frio, proveniente de outras camadas atmosféricas, conforme ocorre na atmosfera livre. Portanto, a absorção pelos GEE não seria o mecanismo principal para aquecer o ar próximo à superfície. O assunto, porém, foi deixado de lado porque o clima era muito frio naquela época. Foi só em 1938 que um técnico em máquinas a vapor da British Electric, Guy S. Callendar, escreveu um trabalho, associando o aumento de temperatura entre 1925 e 1937 à emissão de  $\text{CO}_2$  proveniente do aumento de geração de energia por termelétricas. Na época, ele foi amplamente refutado pelos “papas” da Climatologia, mas não desistiu. Ora, sabe-se hoje que o aumento da temperatura entre 1925-1946 foi devido ao aumento da atividade solar, maior transparência da atmosfera e aquecimento dos oceanos, portanto, natural! Em 1956, Charles Keeling modificou um cromatógrafo a gás a fim de medir  $\text{CO}_2$  utilizando um comprimento de onda de radiação IV que é absorvido pelo  $\text{CO}_2$ , e passou a medir a concentração de  $\text{CO}_2$  por absorção de IV e não por análises químicas como era feito até então. Keeling se associou a Callendar para defender o aquecimento global pelo  $\text{CO}_2$ . Porém, ninguém se importou muito, porque ocorreu em resfriamento global entre 1946-1976, embora a concentração de  $\text{CO}_2$  estivesse crescendo rapidamente devido ao aumento da atividade industrial pós-guerra. A partir de 1977, o clima começou a se aquecer novamente e, em 1988, Dr. James Hansen (astrônomo, não meteorologista), GISS/NASA, deu um depoimento no Congresso Americano afirmando que o aquecimento era devido ao aumento de  $\text{CO}_2$ , liberado pelo homem por meio da queima de

combustíveis fósseis: petróleo, carvão mineral e gás natural. Nesse mesmo ano, foi criado o IPCC, e daí a histeria global se instalou! Como pode ser percebido, o efeito-estufa nunca foi comprovado ou teve sua existência demonstrada. Ao contrário, há 100 anos, Robert W. Wood já demonstrara que seu conceito é falso! Porém, uma mentira repetida inúmeras vezes, torna-se verdade.

Ao medir a emissão de IV pela Terra para o espaço exterior com sensores a bordo de plataformas espaciais, encontra-se uma temperatura efetiva de corpo negro igual a 255K (18°C negativos) pela Lei de Stefan-Boltzmann. A temperatura média do ar à superfície é cerca de 288K (15°C). Aí, é dito que “o efeito-estufa aumenta de 33°C (diferença entre 288 e 255) a temperatura na Terra e, se ele não existisse, a temperatura de superfície seria 18°C negativos”! Essa afirmação é falsa, pois, se não existisse atmosfera, não existiriam nuvens que são responsáveis pela metade do albedo planetário. Assim, o fluxo de radiação solar seria 15% maior e a temperatura planetária igual a 268K (-5°C). Mas, o mecanismo questionável é o processo de absorção e emissão de IV pelos GEE. Se o CO<sub>2</sub> for tratado como corpo negro, como ele absorve eficientemente radiação IV em 15 microns, sua emissão, que é máxima nesse comprimento de onda (Lei de Kirchhoff), corresponderia a uma temperatura de aproximadamente 193K (80°C negativos) decorrente da Lei de Wien. Um corpo frio (CO<sub>2</sub> no ar) aqueceria um corpo quente (superfície)? Certamente, isso fere as leis da Termodinâmica, porque o calor não flui do frio para o quente! Os GEE absorvem radiação IV seletivamente, em algumas poucas faixas ou bandas de comprimento de onda, por meio de rotação, vibração e mistas de rotação-vibração de suas moléculas. Uma molécula de GEE, ao rodar ou vibrar, devido à absorção da radiação IV seletiva, dissipa a energia absorvida na forma de calor ao interagir com outras moléculas vizinhas (choque, atrito), aumentando a temperatura das moléculas de ar adjacentes, e não “re-irradia” IV. Ou seja, a radiação IV absorvida pelos GEE é transformada em energia mecânica e em calor! Existem cerca de 2.600 moléculas de outros gases [Nitrogênio (N<sub>2</sub>=78%) + Oxigênio (O<sub>2</sub>=21%) + Argônio (Ar=0,9%) = 99,9%] para cada molécula de CO<sub>2</sub> (0,039%). Isso constitui a mistura gasosa denominada “ar” e suas moléculas (matéria) são aquecidas termodinamicamente quando se fornece calor a elas. É mais aceitável, então, que as temperaturas próximas da superfície sejam mais elevadas devido ao contato do ar com a superfície quente (condução, “chapa quente”) e à pressão atmosférica (peso do ar). Ou seja, a massa atmosférica, submetida à aceleração da gravidade (peso por área=pressão), é que mantém o ar confinado na superfície que se aquece por compressão (lei dos gases perfeitos=temperatura proporcional à pressão) e por condução de calor. Quando o ar se aquece, sua densidade diminui, a tal ponto que se o empuxo, ao qual fica submetido, superar seu peso (1,29 kg por m<sup>3</sup>), o ar é forçado a subir (convecção = transporte de calor por meio do transporte vertical da massa de ar) e é repostado por ar mais frio que vem de seu entorno e das camadas superiores. Portanto, o processo físico mais relevante para o aquecimento do ar parece ser a condução do calor da superfície aquecida pela radiação solar. Em adição, o ar é aquecido por liberação de calor latente (convecção úmida = calor liberado para a atmosfera quando o vapor d’água se liquefaz, formando nuvens e chuva) e por um pequeno percentual de absorção direta de radiação solar. A emissão de radiação IV teria um papel secundário no controle da temperatura do ar próximo à superfície. E a emissão de radiação IV seria proveniente não dos GEE apenas, e sim da massa molecular que compõe a camada de ar como um todo. A camada de ar (matéria) absorveria calor pelos diversos processos descritos e, ao se aquecer, emitiria IV em todas as direções, como qualquer corpo material. Portanto, os GEE, em particular o CO<sub>2</sub>, como são constituintes minoritários, com muito pouca massa molecular presente na mistura gasosa, dariam muito pouca contribuição à essa massa gasosa atmosférica total e, conseqüentemente, a sua emissão. Em outras palavras, se os GEE não existissem, a temperatura do ar próximo à superfície atingiria valores semelhantes aos que ocorrem atualmente. Portanto, se a concentração de CO<sub>2</sub> dobrar devido às emissões antrópicas, o aumento de sua massa molecular seria ínfimo, de 0,039% para 0,078%, e sua contribuição, para a temperatura do ar, desprezível, impossível de ser detectada com a instrumentação disponível atualmente.

Nos trópicos, a temperatura do ar próximo à superfície depende basicamente da cobertura de nuvens e da chuva. O ciclo hidrológico é o “termostato” da superfície. Quando o tempo está nublado e chuvoso, a temperatura é baixa. Isso porque, a cobertura de nuvens funciona como um

guarda-sol, refletindo radiação solar de volta para o espaço exterior em sua parte superior. Simultaneamente, a água da chuva é mais fria e sua evaporação rouba calor da superfície, refrigerando o ar. Quando não há nuvens e chuva, acontece o contrário, entra mais radiação solar no sistema, aquece a superfície e, como não existe água para evaporar, o calor do Sol é usado quase que exclusivamente para aquecer o ar (calor sensível). Em adição, se o ar estiver úmido logo após uma chuva de verão, a sensação térmica é intensificada, pois a alta umidade do ar dificulta transpiração da pele, que é o mecanismo fisiológico que regula a temperatura dos seres humanos. Durante o período seco, tem-se ar descendo sobre a região, que provoca alta pressão atmosférica, céu claro, e dificulta a ascensão do ar aquecido, reduzindo a cobertura de nuvens. Isso faz com que a superfície e o ar em contato atinjam temperaturas altas. Numa cidade, devido à impermeabilização do solo, não há água da chuva para evaporar, todo calor do Sol é usado para aquecer o ar. Como as cidades cresceram e a população se aglomerou nelas, a impressão que a população metropolitana tem é que o mundo está se aquecendo. Um termômetro, instalado numa cidade, corrobora com essa percepção, pois passa a medir temperaturas cada vez mais elevadas com o crescimento da área urbanizada com o tempo, o chamado “efeito de ilha de calor urbana”. Ou seja, a sensação térmica sentida pelo ser humano advém de condições atmosféricas locais e não globais. Não se conhece a metodologia de cálculo da “temperatura média global” e os locais das séries de temperaturas utilizadas pelo IPCC. São mantidos em segredo! Mas, se ela foi calculada utilizando-se termômetros “selecionados a dedo”, particularmente os instalados nos grandes centros urbanos onde se localizam as séries temporais mais longas, com dados contaminados pelo efeito de ilha de calor urbana, não é surpresa que a década de 2000 tenha sido considerada a “mais quente” dos últimos 750 anos! Na realidade, não há como calcular “uma temperatura média global” e a adotá-la como medida da variabilidade climática global. Uma medida mais adequada dessa variabilidade seria a estimativa da variação temporal do **calor armazenado nos oceanos**. Concluindo, o efeito-estufa, como descrito na literatura, nunca foi demonstrado e é difícil aceitar que o processo de emissão pelos GEE, em particular o CO<sub>2</sub>, seja o principal causador de temperaturas altas próximas à superfície. A emissão de radiação IV atmosférica é proveniente da massa de ar total (matéria), para a qual a contribuição do CO<sub>2</sub> é muito pequena quando comparada com as massas de N<sub>2</sub> e de O<sub>2</sub>, e o aumento de sua concentração teria um efeito desprezível na massa de ar e em sua temperatura. Frases como “temos que impedir que a temperatura aumente mais de 2°C, mantendo a concentração de CO<sub>2</sub> abaixo de 460 ppmv”, não têm sentido físico algum. Tal cálculo é proveniente de uma grande simplificação da equação de absorção radiativa dos GEE, “ajustada” para reproduzir o aumento de temperatura com a variação da concentração de CO<sub>2</sub> observada. E essa equação não tem base científica alguma! Portanto, a redução das emissões de carbono para a atmosfera não terá efeito algum sobre a tendência do clima, pois o CO<sub>2</sub> não controla o clima global. E a tendência para os próximos 20 anos é de um resfriamento global, mesmo que a concentração de CO<sub>2</sub> continue a aumentar. Considerando que 80% da matriz energética global dependem dos combustíveis fósseis, a imposição da redução das emissões de carbono, na realidade, afetará o desenvolvimento dos países pobres, particularmente o Brasil, aumentando as desigualdades sociais no planeta.

#### Referência Bibliográfica

Calendar, G.S., The artificial production of Carbon Dioxide and its influence on climate. Quart. Jour. Roy. Met. Soc. 64, p: 223-240, 1938.

Fleagle, R.G. e J.A. Businger. An Introduction to Atmospheric Physics. Academic Press, p.432, New York, NY, 1980

Callendar, G. S. Can Carbon Dioxide Influence Climate? Weather 4, 310–314, 1949.

Wood, R.W. Note on the theory of the greenhouse effect, Philosophical Magazine, vol 17, p.319-320, ou em <http://sci.tech-archive.net/pdf/Archive/sci.physics/2008-04/msg00498.pdf>, 1909