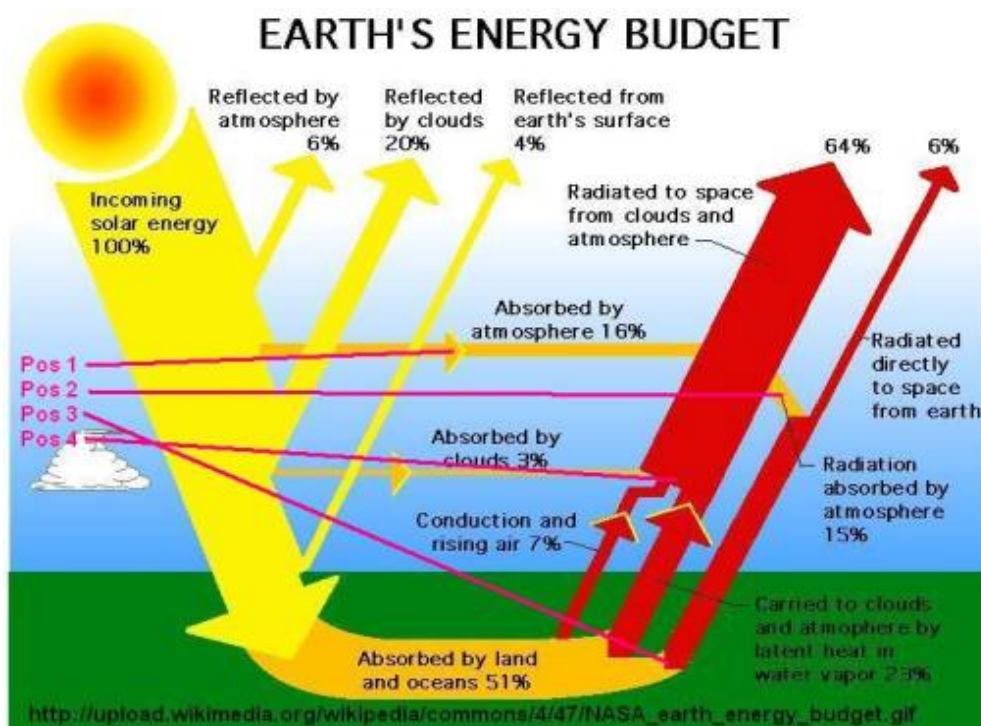


## Porque o CO2 arrefece a superfície da Terra

Dr. Theo Eichten, München; Professor Dr.-Ing. Vollrath Hopp [2], Dreieich; Dr. Gerhard Stehlik [1], Hanau; Dr.-Ing. Edmund Wagner, Wiesbaden; © jan 2014

NASA [3] publicou a representação gráfica mais realista dos fluxos anuais de energia do Sol à Terra e da Terra para o espaço (Figura 1). Uma representação similar está disponível do IPCC [4]. Qualitativamente, os valores de fluxo medidos da NASA e do IPCC realmente não são diferentes. Além disso, as diferenças entre os valores numéricos da NASA e do IPCC não são relevantes para a nossa prova de que o CO2 arrefece a superfície da Terra.

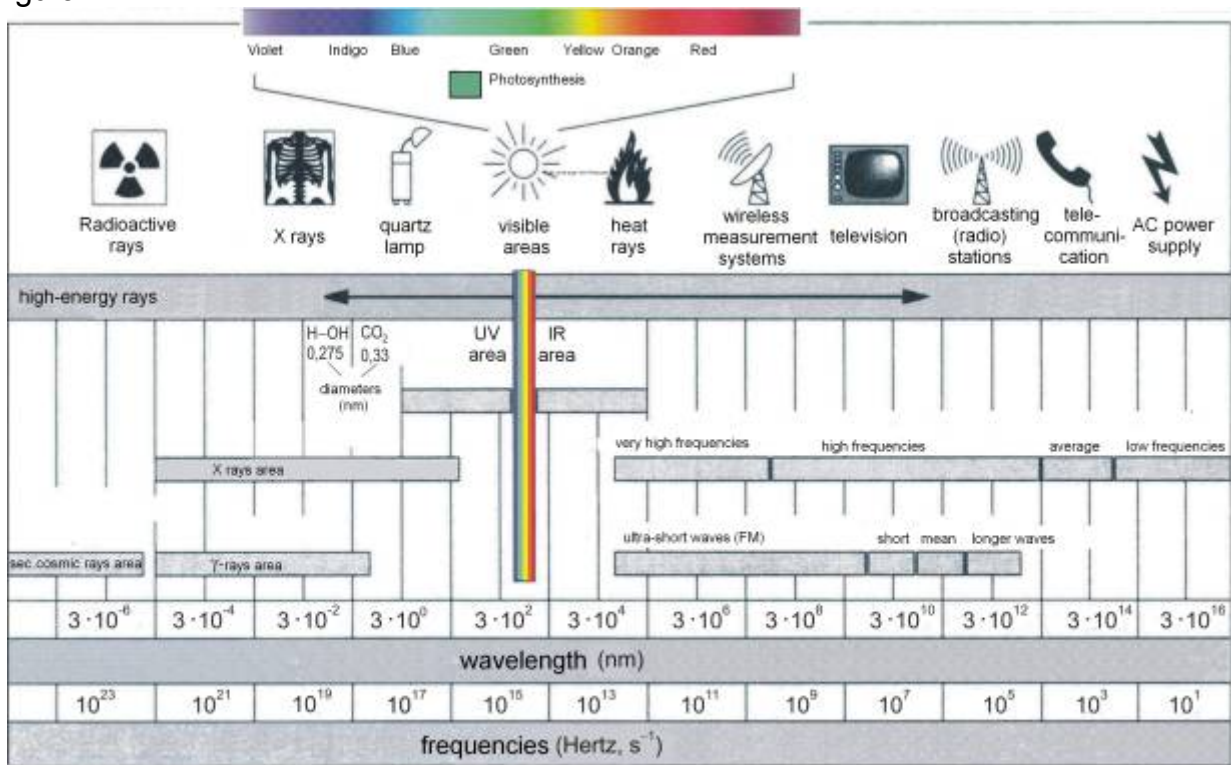
Figura 1:



As setas amarelas e ocre na Figura 1 mostram todos os fluxos de radiação solar (em por cento) para a Terra e seus diferentes componentes. Três fluxos (amarelo) estão reflectidos ( $6\% + 20\% + 4\% = 30\%$ ). Três outros (ocre) são absorvidos pela atmosfera ou pela superfície da Terra ( $16\% + 3\% + 51\% = 70\%$ ). As duas setas ocre são mostradas como setas horizontais longas. Um deles (16%) aquece a atmosfera superior. A outra (3%), aquece as nuvens. Qualquer absorção de radiação solar pela atmosfera ou pela superfície é factor de aquecimento da Terra. Todos os fluxos de calor (vermelho) vão para cima. Nenhum vai para baixo.

O aquecimento da Terra pelo Sol é fundamental e indiscutível, como é o local da radiação solar no espectro eletromagnético (Figura 2). É óbvio também que a Terra não pode aquecer-se. Consequentemente, nenhuma substância química pode aquecer-se [5]. Isso se aplica para o CO2, também. Se o CO2 aquece, a energia deve ser fornecida a partir de outro lugar.

Figura 2:



**The spectrum of the electromagnetic radiation in nanometers (nm)**

Diameter of a water molecule: 0.275 nm  
 Diameter of a CO<sub>2</sub> molecule: 0.33 nm (dynamically) or 0.4 (statically)

A radiação solar é a única fonte de aquecimento. Em contraste, o arrefecimento da Terra envolve não só a radiação térmica (electromagnética), mas também a transferência de calor mecânico e evaporação de água. Portanto, os factores de arrefecimento são mais complicados. Três fluxos de energia (vermelho) fluem a partir da superfície da Terra para o espaço, como mostrado na Figura 1. [6]

O arrefecimento da terra começa na superfície com os seguintes três fluxos ascendentes: O primeiro fluxo (7%) representa a transferência de calor mecânico, incluindo movimentos térmicos ascendentes. O segundo e mais importante fluxo (23%) representa o arrefecimento por evaporação da água. O terceiro fluxo (21%) representa o arrefecimento por meio de radiação térmica para cima. Este fluxo é dividido em dois fluxos distintos, um (15%) é emitido na atmosfera e o outro (6%) é directamente emitido para o espaço. A soma dos três factores de refrigeração (51%) na superfície é igual ao aquecimento da superfície do sol.

A radiação solar sempre flui para baixo (70%), exceto para os três reflexos (30%). A radiação térmica sempre flui de baixo para cima : 64% para a atmosfera e de 6% para o espaço. A radiação térmica para baixo originária da atmosfera não existe. Um efeito de estufa de +33 ° C exigiria um tal fluxo descendente de radiação térmica.

O fluxo ascendente da radiação térmica (15%) a partir da superfície para a atmosfera (posição 2) é o principal argumento de que o CO<sub>2</sub> arrefece a superfície da Terra. Uma vez que esta radiação térmica flui para fora da superfície da Terra, ela não pode ser um factor de aquecimento da superfície.

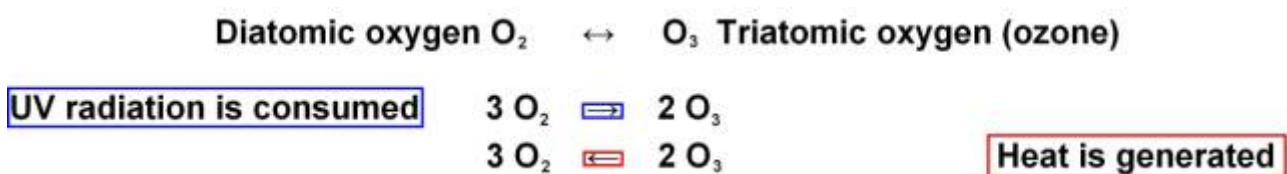
A seguir, as diferentes propriedades químicas moleculares dos componentes mais importantes da atmosfera (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>) serão discutidas. Subsequentemente, os efeitos de arrefecimento do CO<sub>2</sub> será deduzida a partir destas diferentes propriedades.

Existem algumas leis científicas relevantes que descrevem fluxos de energia. Uma lei científica fundamental é a lei da conservação [7] da soma de energia. Esta lei é válida para todos os compartimentos da Terra, mas não para o Sol como produtor de energia e não para o espaço como infinito dissipador de energia. Assim, esta lei só é válida para a troca de energia entre a superfície e a atmosfera da Terra. Outra lei científica fundamental, diz que um corpo fica mais frio quando ele libera energia e fica mais quente ao receber energia. Energia de radiação apenas pode ser convertida em energia térmica, com a cooperação de matéria. A segunda lei da termodinâmica afirma que a energia térmica não pode ser completamente convertida em energia útil ("trabalho"). Todas essas leis são relevantes apenas para a troca horizontal de energia na Terra, mas não para os fluxos de energia ascendentes e descendentes entre Sol, Terra e no espaço mostrado na Figura 1.

O aquecimento por radiação só é possível se a radiação é absorvida e não apenas passada através de um corpo, como no caso de materiais transparentes, como vidro ou água. Como será discutido a seguir, os principais constituintes da atmosfera, nitrogênio (N<sub>2</sub>) e oxigênio (O<sub>2</sub>), deixam passar quase toda a radiação solar para baixo [8] para a superfície da Terra e toda a radiação térmica a partir de cima da superfície para o espaço. Eles nem são aquecidos pela radiação solar nem pela radiação térmica, porque eles não podem absorver. Emissão e absorção de radiação térmica envolvem movimentos (vibração, rotação) de átomos e moléculas cada vez mais rápido (e mais quente) por absorção ou ficando mais lento (e frio) por emissão. Em geral, N<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> não podem absorver ou emitir radiação térmica, porque eles não têm qualquer momento dipolar (ver abaixo).

No entanto, como mostrado na Figura 1, dois fluxos de radiação solar (16% e 3%) são absorvidos pela atmosfera e nuvens. Isso levanta a questão de quais moléculas realmente absorvem essa radiação?

O fluxo rotulado como "posição 1" (16%) corresponde à radiação ultravioleta do sol. Ela é absorvida pela molécula de O<sub>2</sub> e convertida em calor através dos seguintes dois processos de ozônio:



Como antes dos processos de ozônio, as moléculas de O<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> existem também inalteradas após o processo de ozônio. Isto é chamado de equilíbrio químico. Portanto, o processo de ozônio no total não é nada mais do que a conversão de 100% da radiação UV do sol em calor da atmosfera. O processo de ozônio não corresponde à lei de radiação de Planck.

O fluxo de 3% da radiação solar absorvida pelas nuvens representa a radiação de IR do Sol que é absorvida pelas gotículas de água líquida das nuvens. Devido à elevada densidade de moléculas no estado líquido, a taxa de absorção de IR de água líquida é muito mais forte do que a de moléculas de H<sub>2</sub>O gasosas.

Agora, voltamos ao nosso argumento chave acerca do arrefecimento por CO<sub>2</sub>. Isso requer um olhar mais atento ao fluxo de radiação térmica da superfície da Terra para a atmosfera (posição 2). Este fluxo existe porque a taxa de emissão de CO<sub>2</sub> para o espaço é sempre mais elevada do que a taxa de absorção da radiação que vem para cima a partir da superfície da Terra.

Inicialmente, observou-se que a Terra e, portanto, todas as substâncias químicas na Terra não podem aquecer-se. Por outro lado, quase todos os materiais podem esfriar no sentido da Lei de Newton de Arrefecimento por emissão irreversível da radiação térmica para o espaço. No entanto, há algumas exceções que incluem algumas moléculas químicas, que não podem esfriar, no sentido da Lei de Resfriamento de Newton. Isto porque o pré-requisito de emissão (ou absorção) de radiação electromagnética é que as vibrações (e/ou rotações) da molécula devem envolver uma alteração do seu momento de dipolo.

As moléculas de N<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> são simétricas e completamente não polar, portanto, elas não possuem um momento dipolar elétrico [9]. Sem esse momento dipolar, os movimentos térmicos das moléculas nem podem emitir nem absorver a radiação eletromagnética, nem do Sol, nem da Terra. Nitrogênio e oxigênio constituem cerca de 97% da atmosfera. Consequentemente, ~ 97% da atmosfera não pode arrefecer-se. Isto é muito importante para a discussão de CO<sub>2</sub>.

No entanto, a atmosfera perto da superfície apresenta um arrefecimento nocturno. Mas a atmosfera é indirectamente arrefecida por contacto com a superfície. À noite, a superfície esfria fortemente por emissão de radiação térmica para cima.

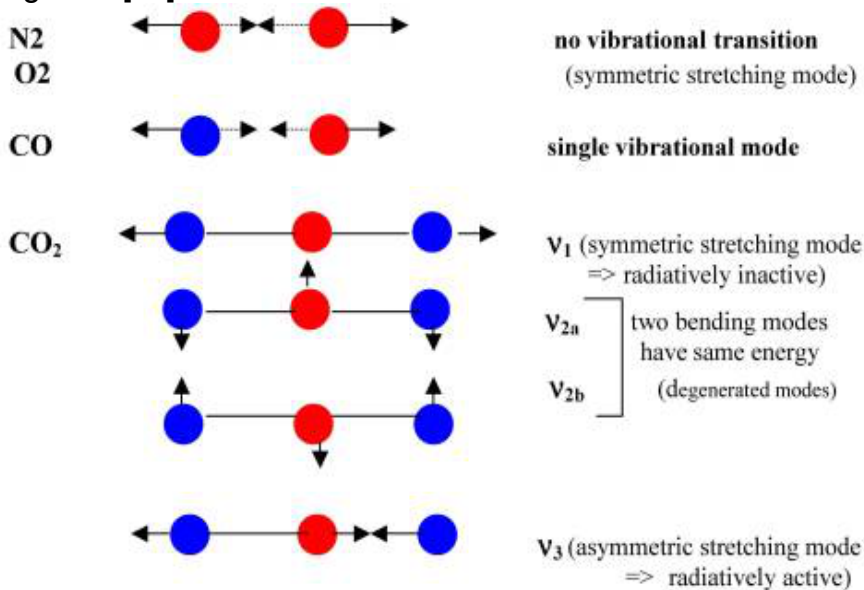
Em contraste com N<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>, a Lei de Newton de Arrefecimento é válida para as menos simétricas moléculas de gás triatómicas H<sub>2</sub>O e de CO<sub>2</sub> cujas ligações químicas são fortemente polar, e portanto, são muito IR activas (ver também a Figura 3). Em sentido figurado, o volume inactivo IR do ambiente (~ 97%) é misturado com cerca de 2% "Terra de material activo geralmente IR" fazendo a atmosfera, em certa medida "aberta para o arrefecimento do espaço." O valor numérico de 2% é a soma das concentrações médias de H<sub>2</sub>O (~ 0% de ~ 4%) e de CO<sub>2</sub> (0,04% correspondente a 400 ppm). H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> são referidos como "materiais normais de terra" porque arrefecem emitindo radiação térmica em espaço e são arrefecidos por um espaço em que a forma. No entanto, a uma altura de ~ 2 m, onde as temperaturas são medidas meteorológicas, o arrefecimento desta camada atmosférica é dominado pelo arrefecimento indirecto pela superfície. O resfriamento directo pela radiação térmica para cima de H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> é baixa demais para ser relevante, devido à sua baixa concentração de apenas 2%.

No entanto, a situação do balanço de energia total de toda a coluna atmosférica até o "turbopause" de ~ 75 km de altura é bem diferente. Neste contexto, a mistura de 2% de H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> é suficiente para esfriar a coluna de uma forma que ela está ficando cada vez mais fria com a altura e arredores para o espaço. Enquanto a atmosfera ao longo de todo o seu volume até ~ 75 km de altura é arrefecido a partir do espaço, a área da superfície da Terra, que é arrefecido a partir do espaço é fortemente limitada a poucos centímetros de profundidade. Isto explica a elevada capacidade de arrefecimento (64%) da atmosfera e a capacidade de arrefecimento muito mais baixo (6%) da superfície total da Terra (incluindo a massa de terra e mar).

Quanto ao fluxo de radiação solar, a entrada de energia para a atmosfera ocorre não só indirectamente sobre a superfície da Terra (51%), mas adicionalmente também por absorção directa da radiação solar (16% + 3% = 19%). Assim, a atmosfera recebe 70% da energia solar, o que é mais do que a superfície recebe (51%). No entanto, a atmosfera

ainda é mais frio do que a superfície da Terra! Referido a capacidade de arrefecimento total de toda a página 5 de 6 de terra (70%), a capacidade de arrefecimento da coluna atmosférica (64%) é de cerca de uma ordem de magnitude maior que a capacidade de arrefecimento dos poucos centímetros da superfície (6 %).

Figura 3 [10]:



Agora vamos voltar para o nosso argumento chave. A seta ocre (posição 2) na Figura 1 representa o arrefecimento por radiação térmica (15%) a partir da superfície da Terra para a atmosfera. Mas,  $\text{N}_2$  e  $\text{O}_2$  são incapazes de absorver a radiação térmica. Apenas os gases  $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{CO}_2$  podem absorver esta radiação térmica emitida pela superfície. Este resfriamento radiativo contradiz completamente a hipotética "efeito estufa" que afirma um aquecimento de  $33^\circ\text{C}$  pelos chamados "gases de efeito estufa".

Além disso, o fluxo mais importante de radiação térmica a partir da atmosfera para o espaço (64%), o qual domina o balanço energético global da Terra, é a radiação térmica de toda a atmosfera (posição 4), mostrada como uma seta vermelha grossa, que transporta toda a energia para o espaço que é introduzido na atmosfera. A Figura 1 mostra um começo súbito de uma seta com uma espessura constante algures na atmosfera. Na realidade, um salto tão repentino não existe. Pelo contrário, a espessura desta seta, que representa a taxa de arrefecimento da atmosfera, deve aumentar continuamente com a altitude até 75 km. A temperatura da coluna atmosférica diminui com a altura mais do que apenas o habitual  $-0,6^\circ\text{C}$  a  $-1^\circ\text{C}$  por 100 metros, correspondente à influência da gravidade sobre a densidade e temperatura.

Como o  $\text{CO}_2$  pode agir como o principal refrigerante da terra, embora ela só existe em quantidades vestigiais de 400 ppm na coluna atmosférica? A concentração de água gasosa acima  $\sim 12$  km de altitude diminui para  $\sim 10$  ppm, porque as moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$  gasosas condensam em gelo. Entre  $\sim 12$  e  $\sim 75$  km de altitude, a radiação térmica para o espaço é emitido por apenas o  $\text{CO}_2$ .

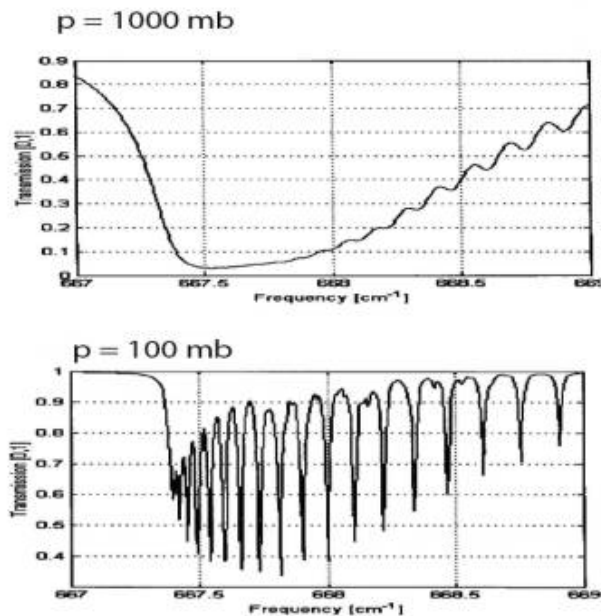
Além disso, o  $\text{CO}_2$  é o refrigerante mais importante da Terra, não só comprovado pelos fluxos de energia entre Sol, Terra e Espaço, mas também por causa de sua atividade particularmente intensa IR.  $\text{CO}_2$  tem bandas muito fortes em 15 de IM e 10 IM (Figura 4), por causa da elevada polaridade da ligação  $\text{C} = \text{O}$ . A transformação do efeito de resfriamento importante de  $\text{CO}_2$  em um efeito de aquecimento devido a suposições

físicas fraude chamado de “efeito estufa” é um dos maiores erros cometidos pelos cientistas.

O factor mais importante para o aumento da radiação térmica da "inteira coluna atmosférica" com a altitude é a actividade de IR forte de H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> que é modulado através de um alargamento das suas bandas de IR pela pressão. Em baixa pressão em altas altitudes as bandas IR são muito estreitas e muito intensas. A alta pressão perto da superfície da terra das bandas de IR são muito largas e menos intensas. Porém, a radiação térmica a partir dos flancos das bandas de alcançar o espaço directamente sem absorção pelas moléculas em altitudes mais elevadas sob pressão mais baixa.

Figura 4 [11]:

Atmospheric pressure strongly affects the absorption spectra of gases (through pressure broadening). This poses a major problem in computing the transfer of IR radiation through the atmosphere with varying pressure, temperature, and amount of gases.



Example of *high spectral* resolution transmission spectra of a one-meter path with typical CO<sub>2</sub> concentration at 1000 mb and 100 mb.

Mais detalhes serão discutidos neste livro. [12]

[1] Autor correspondente: Dr. Gerhard Stehlik ([gerhard.stehlik@gmx.de](mailto:gerhard.stehlik@gmx.de)), [GDCh](http://www.gdch.de) Senior Expert Chemist ( <https://www.gdch.de> )

[2] Convenor Working Group Environment Engineering, [VDI](http://www.vdi.de) Darmstadt - Frankfurt am Main ( <http://www.vdi.de> )

[3] NASA - National Aeronautics and Space Administration, USA  
([http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/47/NASA\\_Earth\\_energy\\_budget.gif](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/47/NASA_Earth_energy_budget.gif) )

[4] IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Frequently Asked Question 1.1 „What Factors Determine Earth’s Climate“ Page 94 [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

[5] Parece que o fósforo branco está aquecendo-se até à auto-ignição. De facto, os aumentos de temperatura, devido à conversão da energia química de fósforo branco e de oxigénio em calor. Essa é a regra em todos os processos de combustão.

[6] Posição 2 é uma exceção.

[7] Fluxos de energia horizontais paralelos à superfície da Terra tendem assim a arrefecer uma área por um vento frio e aquecer uma área por um vento quente, ambos não são relevantes para o orçamento de energia da Terra por causa da Lei da Conservação da energia que é válida nestes casos.

[8] Excepção é o processo de ozono de luz UV (posição 3)

[9] Uma ligação química então tem um momento dipolar eléctrico, se os átomos diferentes são ligados uns aos outros. Então um átomo é electricamente positivo em relação ao outro e o outro está carregado negativamente com a mesma velocidade, de modo que a neutralidade eléctrica externa total é mantida. O movimento térmico dos dois átomos quimicamente ligados com um momento dipolar causa o calor de radiação eletromagnético.

[10] <http://www.heliosat3.de/e-learning/remote-sensing/Lec7.pdf>

[11] [http://irina.eas.gatech.edu/EAS8803\\_Fall2009/Lec6.pdf](http://irina.eas.gatech.edu/EAS8803_Fall2009/Lec6.pdf)

[12] Fortschritts-Berichte VDI, Reihe 15, Nr. 256, Hopp, V., Stehlik, G., Thüne, W. u. Wagner, E., Atmosphäre, Wasser, Sonne, Kohlenstoffdioxid, Wetter, Klima, Leben - Einige Grundbegriffe. ISBN: 978-3-18-325615-0.

