

MUSEU DE TOPOGRAFIA PROFESSOR LAUREANO IBRAHIM CHAFFE

DEPARTAMENTO DE GEODÉSIA – UFRGS

EFEITO ESTUFA

Texto original: [Wikipédia, L'encyclopédie libre.](#)

Março/2022

Ampliação, Tradução e Ilustração de autoria de

Iran Carlos Stalliviere Corrêa

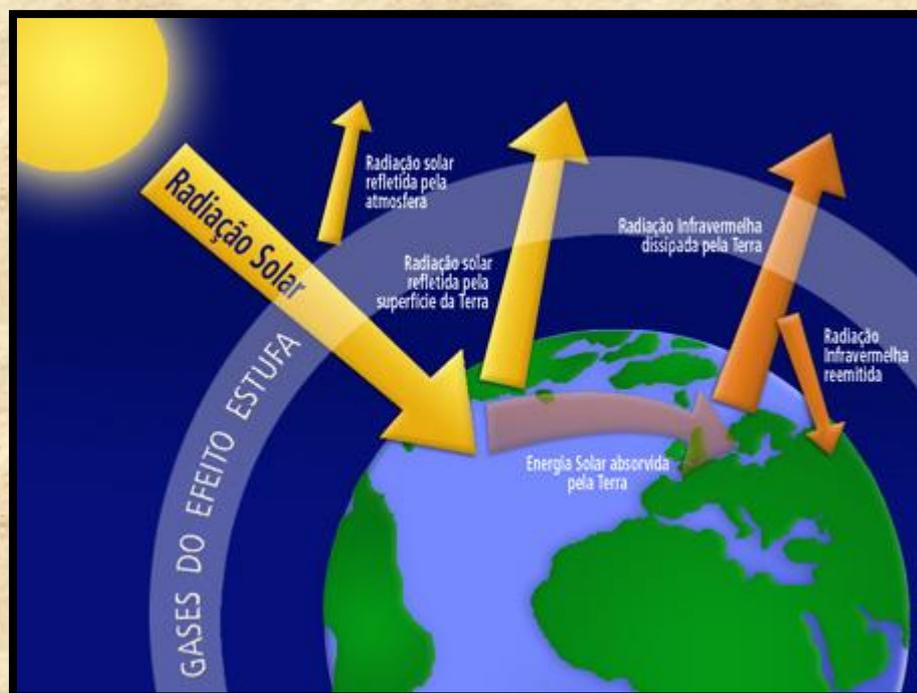
Museu de Topografia Prof. Laureano Ibrahim Chaffe

O Efeito Estufa

O **efeito estufa** é um processo natural, resultante da influência da atmosfera nos diversos fluxos de calor que contribuem para as temperaturas do solo de um planeta. A consideração desse mecanismo é necessária para explicar as temperaturas observadas na superfície da Terra e de Vênus. No sistema solar, a maior parte da energia térmica, recebida por um planeta, vem da radiação solar, e na ausência de uma atmosfera, um planeta irradia idealmente como um corpo negro, a atmosfera de um planeta absorve e reflete parte dessa radiação modificando assim o equilíbrio térmico. Assim, a atmosfera isola a Terra do vácuo do espaço como uma estufa isola as plantas do ar exterior.

O uso da expressão **efeito estufa** se difundiu no contexto da popularização do **aquecimento global** causado pelos gases de efeito estufa que bloqueiam e refletem parte da radiação térmica. No

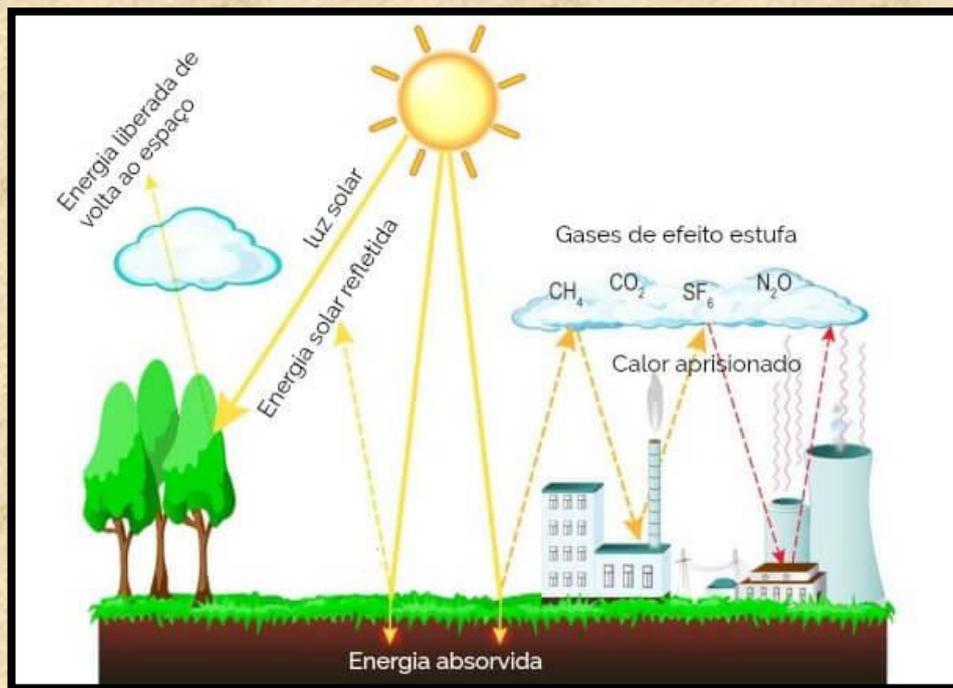
entanto, o equilíbrio térmico de uma estufa se explica, essencialmente, por uma análise de convecção e não de radiação: o calor se acumula no interior da estufa porque as paredes bloqueiam as trocas convectivas entre o interior e o exterior. Além disso, o termo científico, usado pela comunidade de climatologistas, para descrever a influência dos gases de **efeito estufa**, componentes da atmosfera que bloqueiam a radiação infravermelha, no equilíbrio térmico da Terra, é **forçante radiativa**.



Radiação solar

(Fonte: http://2.bp.blogspot.com/_sjX51bjYiMA/TJAnX49kyHI/AAAAAAAAALX8/LjPIJeQyKug/s1600/AA.jpg)

As temperaturas da Terra resultam de interações complexas entre os aportes solares perturbados pelos ciclos da órbita terrestre, do **efeito albedo** da atmosfera, das **correntes de convecção** na atmosfera e nos oceanos, do **ciclo da água** e a **forçante radiativa** da atmosfera em particular.



(Fonte: <https://s5.static.brasilecola.uol.com.br/img/2019/01/como-ocorre-efeito-estufa.jpg>)

História

Na década de 1780, **Horace-Bénédict de Saussure** mediu os efeitos térmicos da radiação solar usando caixas transparentes que colocou no vale e no topo de uma montanha.



Horace-Bénédict de Saussure

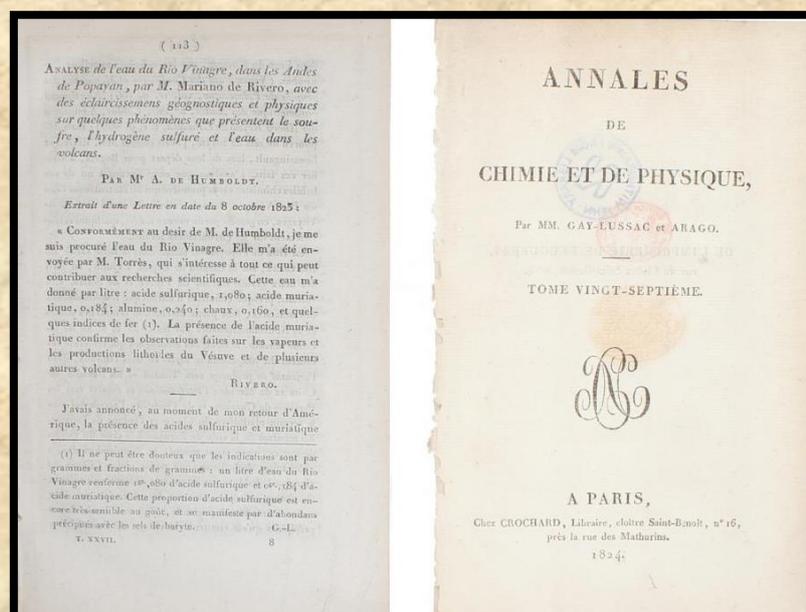
(Fonte Saussure: <https://www.sciencephoto.com/media/93385/view/horace-de-saussure-swiss-physicist>)



Joseph Fourier

(Fonte Fourier: <https://media.sciencephoto.com/image/c0334268/800wm>)

Em 1824, **Joseph Fourier** publicou “*Remarques générales sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires* » (Observações gerais sobre as temperaturas do globo terrestre e dos espaços planetários), em que refinou a análise dos experimentos de **Horace-Bénédict de Saussure** ao concluir que "a temperatura do solo é aumentada pela interposição da atmosfera, devido que o calor solar encontra menos obstáculos para penetrar no ar, estando no estado de luz, do que encontra para voltar ao ar quando é convertido em calor escuro".

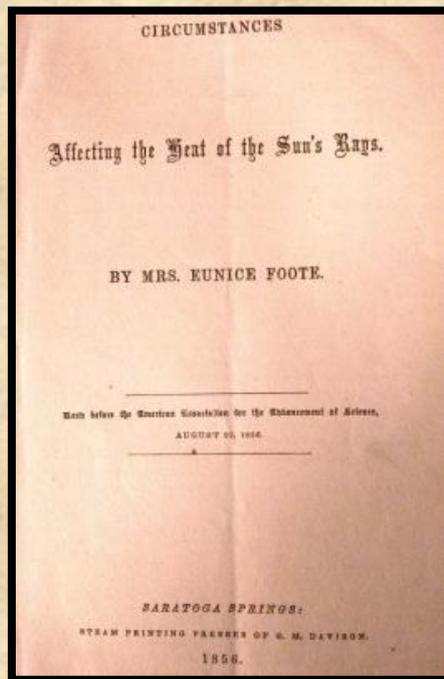


Remarques générales sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires

(Fonte : https://www.antikvariat.net/files/store_lyn/lyn43875_1.jpg)

Em 1857, **Eunice Newton Foote** publicou “*Circumstances affecting the Heat of the Sun's Rays*” (Circunstâncias que afetam o calor dos raios do sol), no *The American Journal of Science and Arts*. A autora descreve um experimento em que mede a temperatura interna de cilindros de vidro, expostos ao Sol e preenchidos com diferentes misturas de gases. Descobre que o dióxido de carbono retém o calor

particularmente bem e conclui que “uma atmosfera composta por esse gás daria à nossa Terra uma temperatura alta”. Esquecida, sua contribuição científica foi redescoberta em 2011.

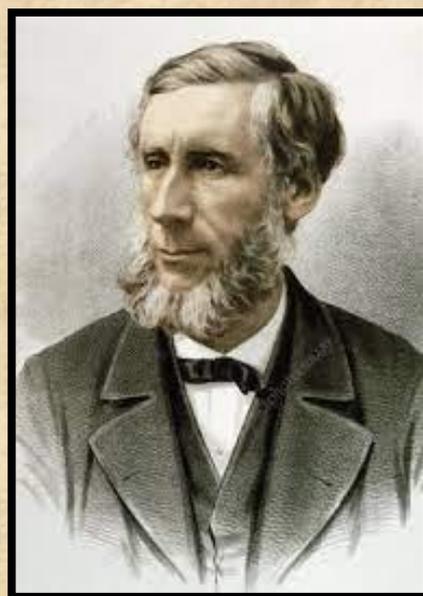


Circumstances affecting the Heat of the Sun's Rays

(Fonte: <https://www.news.ucsb.edu/2018/018985/righting-scientific-wrong>)



Eunice Newton Foote

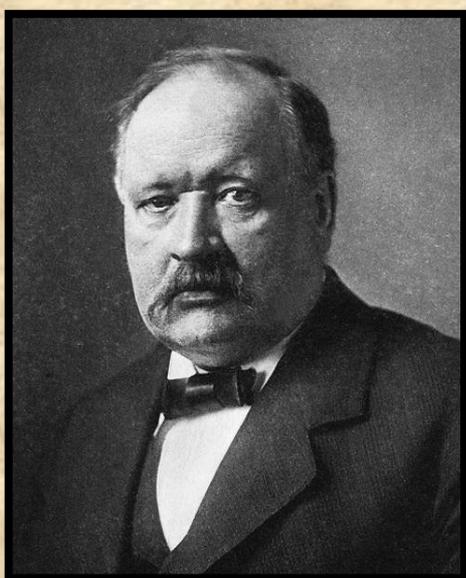


John Tyndall

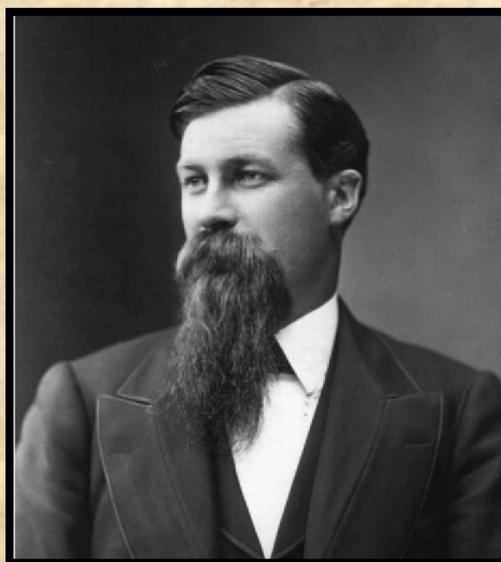
(Fonte Foote: <http://charlisbbm.blogspot.com/2018/04/eunice-newton-foote-y-su-aporte.html>)
(Fonte Tyndall: http://www.sciencephoto.com/image/228857/350wm/H4200146-John_Tyndall-SPL.jpg)

Em 1861, **John Tyndall**, por sua vez, identificou as principais causas desse mecanismo: o vapor de água e o dióxido de carbono. Ele então sugere que uma mudança na composição da atmosfera pode influenciar na **evolução do clima**.

Em 1896, **Svante August Arrhenius** propôs a primeira estimativa do impacto dos níveis de dióxido de carbono nas temperaturas da Terra. Estima que uma duplicação da quantidade de dióxido de carbono deve aumentar a temperatura média em 4°C. Ele espera, assim, que a exploração do carvão permita superar a próxima era glacial devido à órbita da Terra. O geólogo americano **Thomas Chrowder Chamberlin** chegará, independentemente, às mesmas conclusões.



Svante August Arrhenius



Thomas Chrowder Chamberlin

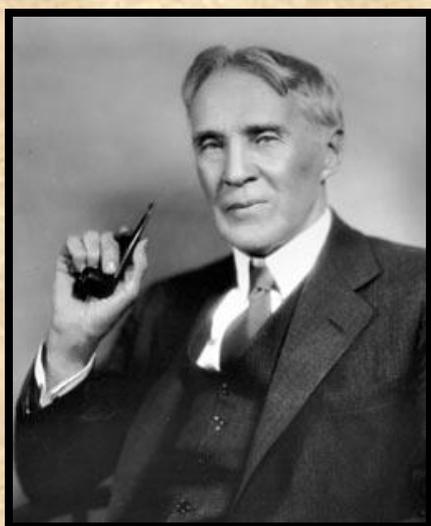
(Fonte Arrhenius: https://pt.wikipedia.org/wiki/Svante_Arrhenius)

(Fonte Chamberlin: https://pt.wikipedia.org/wiki/Thomas_Chrowder_Chamberlin)

Em 1909, **Robert Williams Wood** mostrou que, ao contrário da crença popular, o bloqueio da radiação infravermelha pelo vidro não é o principal mecanismo que explica o funcionamento de uma estufa.

Portanto, o termo científico, adotado pelo **IPCC**, usado para descrever a influência dos componentes bloqueadores de radiação infravermelha da atmosfera, no balanço térmico da Terra, é **forçante radiativa** e não **efeito estufa**.

A expressão sintética **efeito estufa** vem da popularização, no início da década de 1980, dos resultados alarmantes das pesquisas climatológicas. Enquanto os climatologistas analisavam o impacto do dióxido de carbono no clima, sem falar do efeito estufa, os primeiros alertas, para influenciar as decisões políticas, foram lançados no início dos anos 1980 com essa expressão, posteriormente retomada em relatórios cada vez mais divulgados, como o relatório **Brundtland (1987)**. Na França, **Jean-Marc Jancovici** e **Hervé Le Treut** popularizaram os riscos associados ao efeito estufa desde a década de 1980.



Robert Williams Wood

(Fonte Wood: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/88/Robert_Williams_Wood.png)

(Fonte Jancovici: <https://www.lafabriquedelacite.com/en/intervenants/jean-marc-jancovici-2/>)



Jean-Marc Jancovici

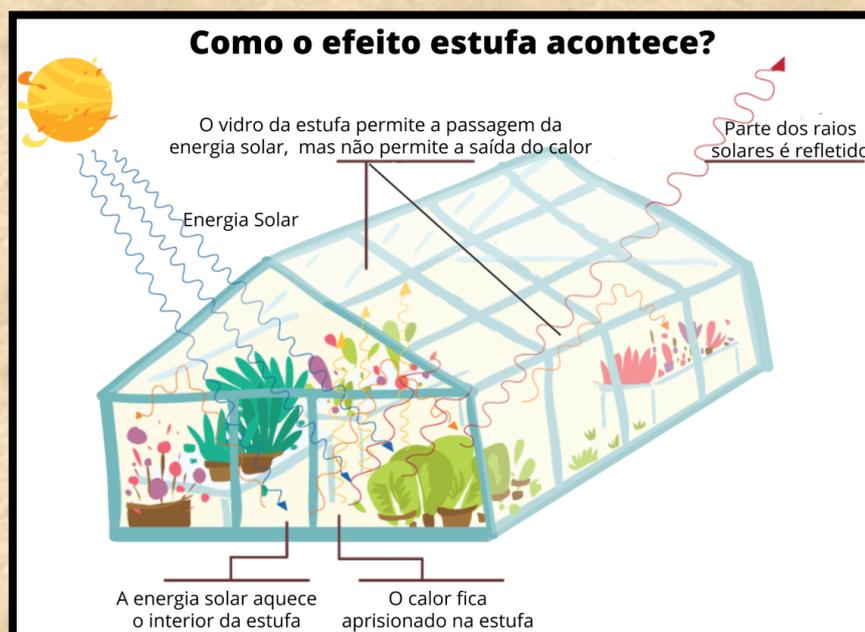


Hervé Le Treut

(Fonte Treut: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTNDA7V2fhsGDyefcKO3dIVtbt8f1cWatnCrw&usqp=CAU>)

Funcionamento de uma estufa

Ao contrário do que se pensa, e como este nome sugere, o **efeito estufa**, entendido como o mecanismo ligado à absorção e emissão de radiação térmica pelo vidro, não é essencial no funcionamento de uma "estufa". Em 1909, **Robert Williams Wood** refutou experimentalmente essa explicação. Ao substituir o vidro que cobre uma estufa por halita, um material totalmente transparente ao infravermelho, Robert Wood observou um aumento de temperatura, semelhante, em ambos os casos. Além disso, o aumento da temperatura em uma **estufa** não pode ser explicado pelo fato do vidro refletir o infravermelho. No entanto, a expressão "**efeito estufa**" foi mantida no uso atual. Mas o termo científico, usado pela comunidade científica para descrever a influência dos componentes de bloqueio de radiação infravermelha da atmosfera no equilíbrio térmico da Terra, é **forçante radiativa**.

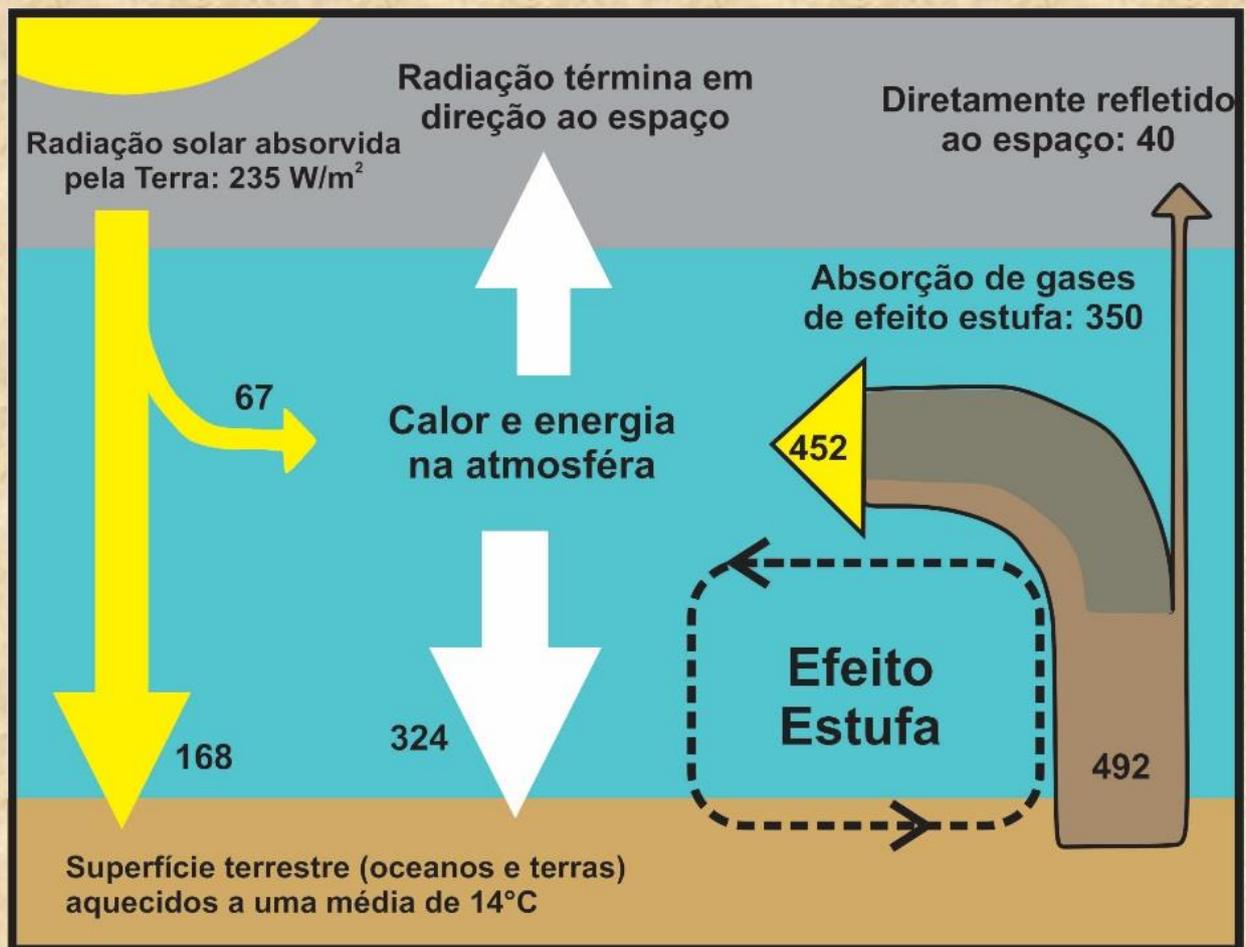


(Fonte: <https://nova-escola-producao.s3.amazonaws.com/VeJMch7XkXWPwDBYTTEr8sTVMj58UTMk3>)

Agpd8g89CutrQ7MVfXZbCksCFhm/sistematizacao)

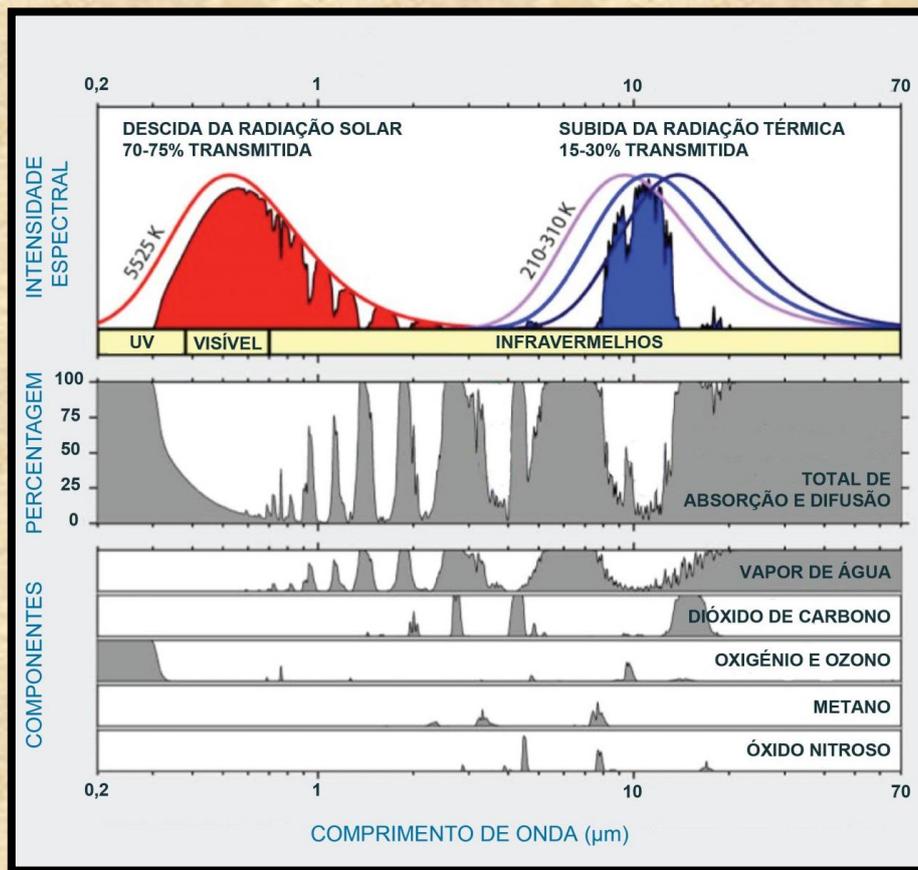
O funcionamento de uma estufa se explica, essencialmente, por uma análise de convecção e não de radiação: o calor se acumula no interior da estufa porque as paredes bloqueiam as trocas convectivas entre o interior e o exterior.

Mecanismo sobre a Terra



Uma representação esquemática e simplificada das trocas de energia entre o espaço, a atmosfera terrestre e a superfície da terra.

RADIAÇÃO TRANSMITIDA PELA ATMOSFERA



Enquanto a maior parte da radiação solar passa pela atmosfera para atingir o solo (em vermelho), a maior parte da radiação emitida pela Terra não é transmitida (em azul), mas sim absorvida pela atmosfera (em cinza). A absorção de raios infravermelhos é principalmente devido ao vapor de água.

Quando a radiação solar atinge a atmosfera da Terra, parte (cerca de 30%) é refletida diretamente, ou seja, enviada de volta ao espaço, pelo ar, nuvens brancas e a superfície clara da Terra (pensamos obviamente em regiões brancas e geladas como o Ártico e Antártica, mas seu papel não deve ser superestimado: sua posição nos polos significa que eles recebem pouca energia solar; o **albedo** é a medida desse efeito de espelho). Os raios incidentes que não foram refletidos de volta ao espaço são absorvidos pela atmosfera (20,7%) e pela superfície da Terra (51%).

Esta última parte da radiação absorvida pela superfície do solo lhe aporta calor que, por sua vez é restituído, durante o dia e a noite, à atmosfera. A transferência de calor entre a Terra e a atmosfera ocorre, de acordo com o segundo princípio da termodinâmica, do quente (a terra) para o frio (a atmosfera); é feito por **convecção** (aquecimento e umidificação do ar em contato com o solo, depois ascensão desse ar e liberação do calor latente do vapor d'água quando se condensa em nuvens) e na forma de **radiação infravermelha** distante (principalmente no intervalo 8–13 μm , correspondendo à "radiação de corpo negro" para a temperatura do solo). O **efeito estufa** está interessado apenas nesta radiação, que será parcialmente absorvida pelos gases de efeito estufa, o que contribui para o aquecimento da atmosfera.

Então numa terceira etapa, esse calor contido pela atmosfera é reemitido em todas as direções; uma parte escapa para o espaço, mas outra parte retorna à Terra e vem como dedução do fornecimento de calor da superfície para a atmosfera, opondo-se assim ao resfriamento da superfície. Cabe destacar que o excesso de calor gerado pelas atividades humanas, via efeito estufa, é 93% absorvido pelo oceano, o que atenua o aumento da temperatura na atmosfera. O **oceano global** desempenha, portanto, um papel de termostato planetário e controle dos grandes equilíbrios naturais planetários.

Sem o efeito estufa (que implica em particular: sem vapor d'água e sem nuvens), e com um albedo constante, a temperatura média da Terra cairia para -18°C . Mas a essa temperatura o gelo se

estenderia sobre o globo, o albedo terrestre aumentaria e a temperatura provavelmente se estabilizaria abaixo de -50°C .

Gás de Efeito Estufa

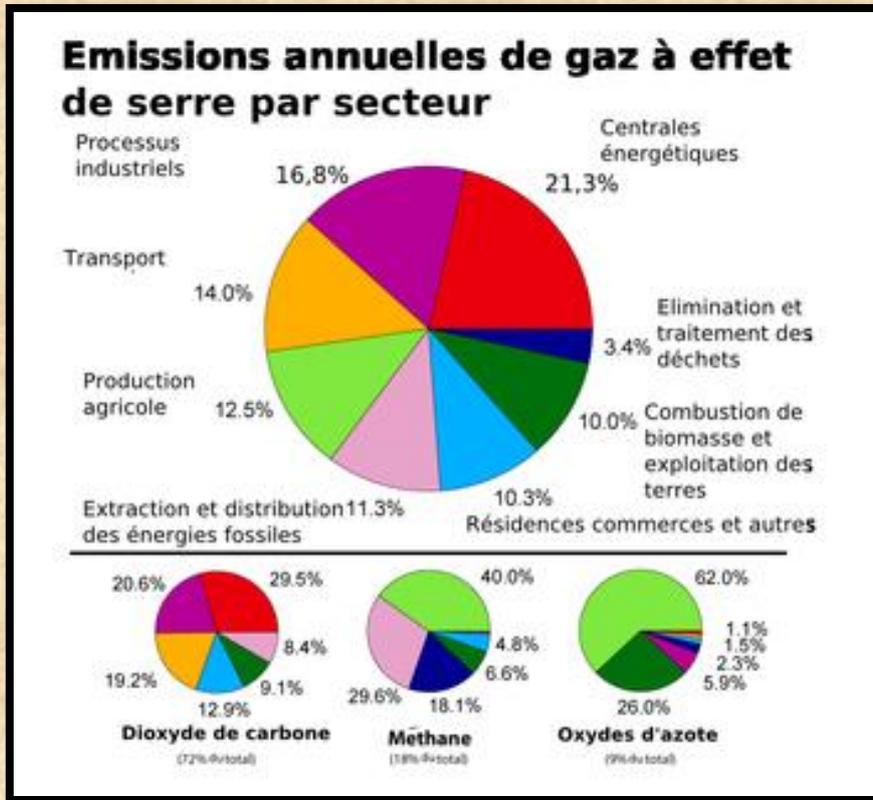
Os **gases de efeito estufa** são componentes gasosos da atmosfera que contribuem para o efeito estufa (tendo em conta que a atmosfera contém outros componentes não gasosos que contribuem para o efeito estufa, como gotas de água das nuvens sobre a Terra). Esses gases têm a característica comum de absorver parte do infravermelho emitido pela superfície da Terra.

Os **principais gases de efeito estufa** são vapor d'água, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (ou protóxido de azoto, N_2O) e ozônio (O_3). Os gases de efeito estufa industriais incluem halocarbonos pesados (fluorocarbonetos clorados, incluindo os CFC, moléculas de HCFC-22, como freon e perfluorometano) e hexafluoreto de enxofre (SF_6).

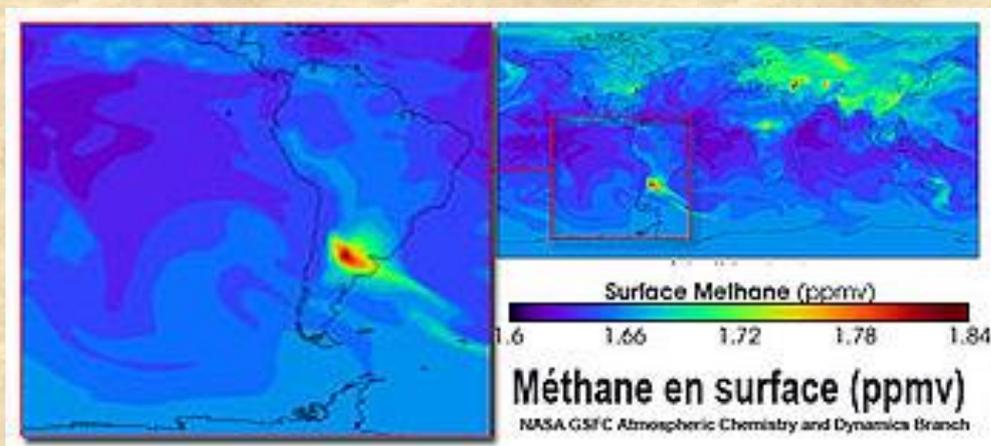
Contribuições aproximadas para o efeito estufa dos principais gases, segundo o IPCC:

- Vapor de água: 60%
- Dióxido de carbono: 26%
- Ozônio: 8%
- Metano e óxido nitroso: 6%

Efeitos das atividades humanas



Emissão de gás de efeito estufa.



A pecuária (gado, principalmente na Argentina) é uma das fontes de metano (modelagem/Nasa).

A maioria dos gases de efeito estufa (GES) são de origem natural. Mas alguns deles são originados, unicamente, devido à atividade humana ou sua concentração na atmosfera aumenta devido a essa atividade. Este é particularmente o caso do **ozônio** (O₃), do

dióxido de carbono (CO₂) e do **metano** (CH₄). A comprovação de que o aumento do CO₂ atmosférico é de origem humana é feita por análise isotópica. Por outro lado, este último gás liberado na atmosfera contribui com apenas 40% para o **efeito estufa** adicional decorrente da atividade humana.

Distribuição de gases de efeito estufa **antropogênicos** (devido a atividades humanas):

Nome	Fórmula	Contribuição ao efeito estufa	Equivalente a CO ₂	Tempo de vida
Dióxido de carbono	CO ₂	76,6%	1 x	100 anos
Metano	CH ₄	14,3%	20 x	12 anos
Protóxido de azoto	N ₂ O	7,9%	200 x	5.000 anos
Hexafluoreto de enxofre	SF ₆	1,1%	2000 x	50.000 anos

O **ozônio** é fornecido em grandes quantidades pela atividade industrial humana, enquanto os **CFC**, ainda amplamente utilizados, destroem o ozônio, o que significa que podemos constatar um fenômeno duplo:

- um acúmulo de ozônio na troposfera acima das regiões industriais;
- destruição do ozônio na estratosfera acima dos polos.

A combustão de **carbonos fósseis** como carvão, lenha, petróleo ou gás natural (metano) liberta CO₂ em grandes quantidades na atmosfera: a concentração atmosférica de dióxido de carbono aumentou assim em **120 ppm**, passando do pré-industrial de **280 ppm** para **400 ppm** atualmente. Um dos setores de atividade que mais liberta gases de efeito de estufa é o energético. Esses

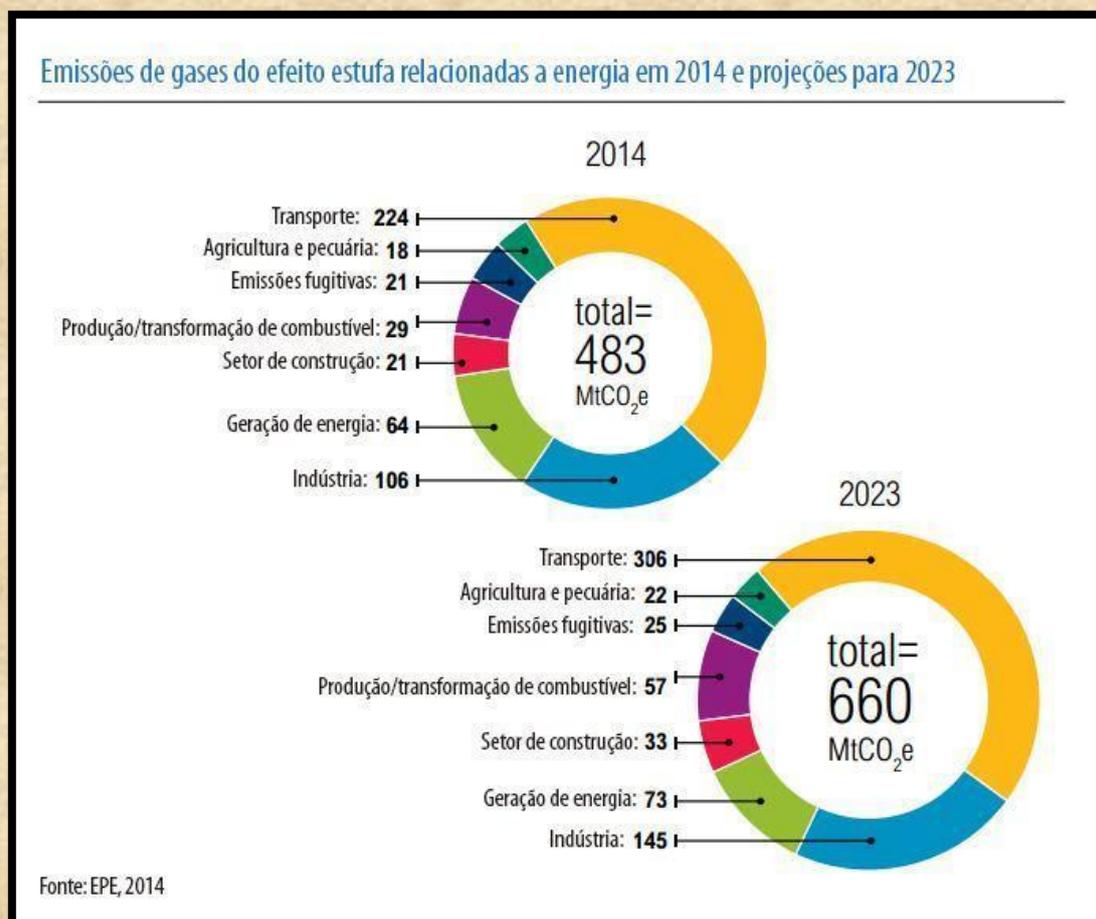
combustíveis também aumentam a concentração de gases de efeito estufa, porque estão enterrados no solo há milhares de anos, o que quebrou o equilíbrio. Esta é uma adição de dióxido de carbono na atmosfera que também não é completamente compensada por uma absorção bastante grande: apenas metade seria reciclada pela natureza; a outra metade permaneceria na atmosfera e aumentaria o efeito estufa.

A segunda causa das emissões de **gases de efeito estufa** é o desmatamento, que sozinho é responsável por 20% das emissões globais. Os desmatamentos mais importantes dizem respeito às três grandes florestas tropicais que são: a **floresta amazônica**, a **floresta da Bacia do Congo** e a **floresta indonesiana**. Essa é uma das maiores causas, pois todo o carbono absorvido por essas árvores é liberado de volta ao ar. Se houvesse o replantio, essa quantidade de gás carbônico seria reabsorvida por outra árvore, mas sem o replantio, há apenas uma adição da quantidade desse gás no ar.

As atividades humanas liberam, portanto, uma abundância de GES: os cientistas do IPCC que estudam o clima, acreditam que o aumento dos níveis de gases de origem antropogênica é a causa do aquecimento global.

Na França, segundo o grupo Facteur 4, as emissões de gases de efeito estufa provêm dos **transportes** (26%), seguidas da **indústria** (22%), da **agricultura** (19%), **edifícios e habitações** (19%), **produção e transformação de energia** (13%) e **tratamento de resíduos** (3%). Desde 1990, as emissões **aumentaram** mais de 20% para **transportes e edifícios**. Por outro lado, **caíram** 22% na

indústria, 10% no **setor agrícola**, 9% no **setor de energia** e 8% no **tratamento de resíduos**.



Distribuição dos gases do efeito estufa

(Fonte: <https://www.ecodebate.com.br/wp-content/uploads/2015/09/emissoes.jpg>)

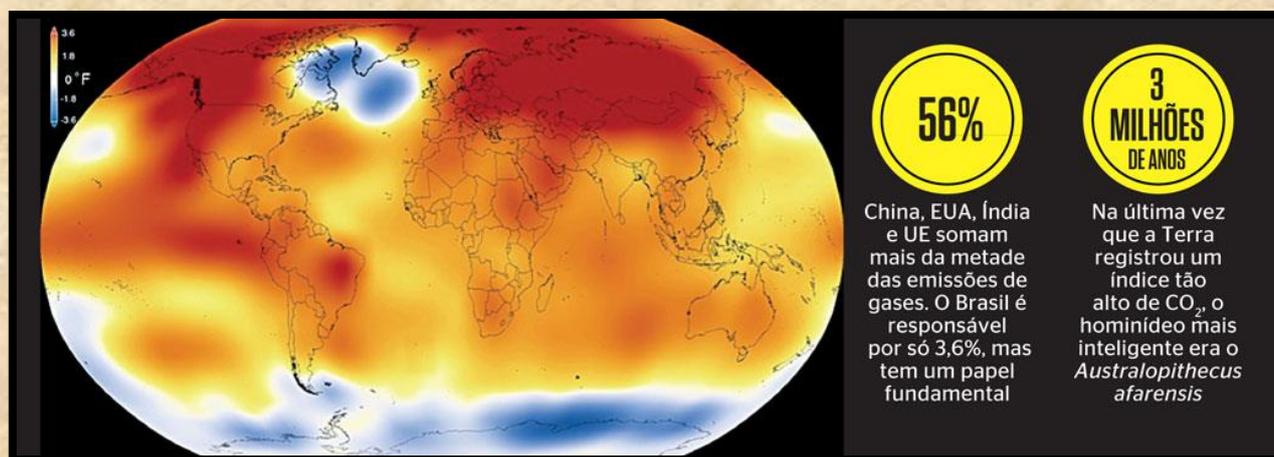
Como parte da redução das emissões de gases de efeito estufa geradas pelo tráfego de automóveis, um estudo realizado para o PREEDIT mostrou a influência das políticas de estacionamento nas possibilidades de limitar a geração de gases de efeito estufa. A abordagem diz respeito às emissões relacionadas com a construção de lugares de estacionamento, o funcionamento dos parques de estacionamento e sobretudo a mobilidade induzida pela oferta de estacionamento.

O artigo publicado sobre o **Ciclo do Carbono** trata da polêmica sobre o aquecimento global detalhando o ponto de vista que contesta o impacto das atividades humanas.

Hipótese do efeito estufa descontrolado

Teme-se, na pior das hipóteses, o desencadeamento de um efeito "**bola de neve**" (*feedback positivo*), onde o aquecimento levaria a um aquecimento ainda maior, a partir do desaparecimento do gelo (redução do albedo) e sobretudo pela liberação do estoques naturais de GES, atualmente fixado pelos **permafrost**, **hidratos de metano marinhos** ou pela **biomassa**.

Se isso acontecer e as reações não terminarem até após terem produzido um grande aumento da temperatura, isso é chamado de **efeito estufa descontrolado** (*runaway greenhouse effect*).



Efeito estufa descontrolado

(Fonte: <https://istoe.com.br/wp-content/uploads/sites/14/2019/11/54-3.jpg>)

De acordo com a **hipótese da arma de clatrato** (*clathrate gun hypothesis*), um efeito estufa descontrolado poderia ser causado pela liberação de metano a partir de **clatratos** (hidratos de metano que

revestem o fundo dos oceanos) como resultado do aquecimento global. Supõe-se que a extinção em massa de espécies durante o Permiano-Triássico foi causada por tal fuga. Estima-se também que grandes quantidades de metano podem ser liberadas da tundra siberiana que começa a derreter, o metano é 21 vezes mais potente como gás de efeito estufa do que o dióxido de carbono.

No entanto, tal hipótese permanece altamente improvável: estudos recentes têm provado que o hidrato de metano do fundo dos oceanos encontra-se estável, e que o contido nos permafrost apresenta pouca chances de escapar.

Consequências ambientais

O **efeito estufa** não é em si prejudicial aos ecossistemas; sem ele, a Terra seria apenas uma bola de gelo onde a vida não seria possível, pois não haveria água líquida. O perigo para os ecossistemas reside mais na variação demasiada rápida e excessiva das condições climáticas, para que a maioria das espécies evoluídas possa adaptar-se às mudanças de temperatura e precipitação. Os ecossistemas marinhos e costeiros também podem ser afetados pelo aumento do nível do mar, por mudanças nas correntes marinhas e pelas características físico-químicas da água do mar (acidez, nível de gases dissolvidos, etc.).

As **populações humanas** seriam, obviamente afetadas pelo aquecimento global, a elevação do nível do mar, levando ao desaparecimento de grandes cidades e vastas porções de países. Além disso, temperaturas mais altas promovem a proliferação de

insetos transmissores de doenças infecciosas, que sobrevivem melhor em ambientes quentes e úmidos.

O IPCC prevê, de acordo com os cenários, aumentos de 1,5°C a 6°C para o próximo século, assumindo que o aumento das emissões de GEE (Gases do Efeito Estufa) continue no ritmo dos últimos 20 anos. Em vez de uma desaceleração global das emissões desde a assinatura do **Protocolo de Kyoto**, elas continuaram a aumentar a um ritmo crescente em 2018. Uma cessação total e imediata das emissões de carbono não impediria, no entanto, que a temperatura média do planeta continuasse aumentando por várias centenas de anos, porque certos gases de efeito estufa só desaparecem da atmosfera muito lentamente.

Efeito Estufa sobre os outros planetas

Efeito Estufa sobre Vênus

Em **Vênus**, o efeito estufa elevou a temperatura para mais de 460°C. Um estudo afirma que esse efeito não se deve ao dióxido de carbono, que constitui 96% da atmosfera de Vênus, mas a constituintes presentes em quantidades relativas muito pequenas, como SO₂ e H₂O. De fato, na faixa infravermelha correspondente à emissão térmica máxima para um corpo na temperatura da superfície e na atmosfera inferior de Vênus, o CO₂ tem janelas de transmissão muito amplas que não podem capturar efetivamente a radiação infravermelha. Por outro lado, SO₂ e H₂O absorvem radiação nessa faixa de comprimento de onda, assim como as partículas finas de ácido sulfúrico que compõem as nuvens. Vênus, mais próximo

(72,3%) do Sol do que a Terra, recebe assim quase o dobro (191%) da energia solar recebida pela Terra.

Outros estudos, no entanto, contradizem esse ponto e destacam o papel essencial do CO₂ no efeito estufa venusiano.



Efeito estufa em Vênus

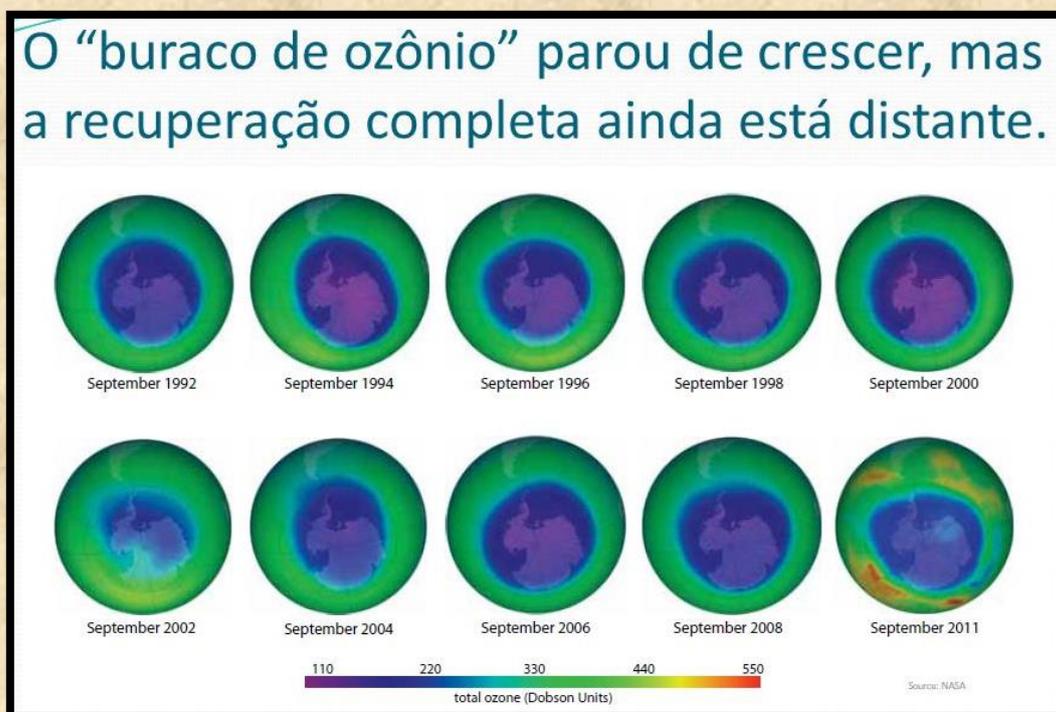
(Fonte: <https://toplulu.com.br/wp-content/uploads/2017/07/efeito-estufa-em-venus.jpg>)

Efeito Estufa sobre Marte

A atmosfera de **Marte** contém uma grande proporção de CO₂, porém a atmosfera do planeta é muito fina para ter um impacto significativo na temperatura (estimada em menos de +5,5°C). O CO₂ constitui cerca de 96% em volume (e quase tanto em massa) da atmosfera marciana, sua pressão parcial é aproximadamente igual à pressão atmosférica total de 600 Pa, enquanto que esta pressão parcial na Terra é de cerca de 40 Pa. Sobre a Terra a fração molar de CO₂ no ar é de apenas 0,04% em volume (0,06% em massa).

Confusão entre efeito estufa e buraco na camada de ozônio

O **efeito estufa** e o **aquecimento global** que ele induz são muitas vezes confundidos com a **alteração da camada de ozônio**. No entanto, trata-se de dois fenômenos muito distintos, o primeiro diz respeito à **retenção na atmosfera de raios infravermelhos** (ou seja, calor); o segundo diz respeito ao **aumento da transparência da atmosfera aos raios ultravioleta**. Além disso, se os principais responsáveis pela deterioração da camada de ozônio, ou seja, os CFCs (clorofluorcarbonos, proibidos nos países industrializados desde 1989) também são gases de efeito estufa, o inverso não é verdadeiro: **gases de efeito estufa**, como dióxido de carbono e metano, não têm efeito sobre a **camada de ozônio**.



(Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/3781262/12/images/24/O+buraco+de+oz%C3%B4nio+parou+de+crescer%2C+mas+a+recupera%C3%A7%C3%A3o+completa+ainda+est%C3%A1+distante..jpg>)

Notas e Referências

- Arrhenius, S. 1896. « On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground », *Philosophical Magazine and Journal of Science*, vol. 5, n° 41, p. 237-276.
- Baruch, J.O. 2007. « 10 [Idées reçues] sur le climat », *La Recherche*, n° 412.
- Benoît Urgelli, 2003. « Note sur la théorie de la serre, par R.W. Wood (1909) », sur ENS Lyon.
- Benton, M.J. & Twitchett, R.J. 2003. « How to kill (almost) all life: the end-Permian extinction event », *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 18.
- Bullister, J.L., Rhein, M. & Mauritzen, C. 2013. *Ocean Circulation and Climate*, Elsevier Inc. Chapters, p. 7.
- Carbon Dioxide and Climate: A Scientific Assessment, Report of an Ad Hoc Study Group on Carbon Dioxide and Climate, Woods Hole, Massachusetts, 23-27 juillet 1979.
- Ce que relève, par exemple, Jean-Marc Jancovici sur son site .
- Contribution totale (naturelle et anthropique) à l'effet de serre d'après les valeurs issues du rapport IPCC 2001.
- D'après le site du STAR Lab de l'université Stanford.
- Denhez F. & Petit, M. 2005. *Atlas de la menace climatique : le réchauffement de l'atmosphère : enjeu numéro un de notre siècle*, Les éditions Autrement, 80 p.
- Dufresne J.L. 2000. « Jean-Baptiste Joseph Fourier et la découverte de l'effet de serre », *La Météorologie*, n° 53.
- Dufresne, J.L. & Treiner, J. 2011. « L'effet de serre atmosphérique : plus subtil qu'on ne le croit ! », *La Météorologie*.
- Effet de serre sur Vénus, la Terre et Mars. Document du CESR , consulté le 17 septembre 2011.
- ESRL Global Monitoring Division - Global Greenhouse Gas Reference Network, sur esrl.noaa.gov, Earth System Research Laboratory.
- Fleming, J.R. 1998. *Historical Perspectives on Climate Change*, New York, Oxford University Press, p. 67.
- Foote E.N. 1857. « Circumstances affecting the Heat of the Sun's Rays », *The American Journal of Science and Arts*.
- Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer, « Changement climatique et évolution des courants marins profonds », 22 octobre 2018.
- Institut polaire français Paul-Emile Victor - Agence au service de la science polaire, sur Institut polaire français Paul-Emile Victor.
- L'atmosphère et les nuages de Vénus. Document IMCCE, consulté le 18 décembre 2008.
- Les différents gaz à effet de serres ademe.fr, consulté en juin 2017

- Les enjeux de la déforestation, sur developpement-durable.gouv.fr.
- Les Transports Intelligents - PREDIT - Programme de recherche et d'innovation dans les transports terrestres, sur transport-intelligent.net.
- Lu, D. & Flavelle, C. 2019. «Rising Seas Will Erase More Cities by 2050, New Research Shows» [archive], *The New York Times*.
- Patil R.C., Rathore M.M. & Chopra M., 2011. « An Overview of Solar Cookers », *1st International Conference on Recent Trends in Engineering & Technology*.
- Philosophical journal*, 1909.
- Responsabilité et environnement*, N° 95 - Juillet 2019 «Avant-propos par Dr Fatih Birol» .
- SARECO, 2008. *Qu'est-ce qu'une politique de stationnement économe en gaz à effet de serre?*.
- Seidel, S. 1983. (Environmental Protection Agency) and Dales Keyes(consultant), *Can we delay a greenhouse warming? the effectiveness and feasibility of options to slow a build-up of carbon dioxide in the atmosphere*, Washington. Office of Policy and Resource Management. Strategic Studies Staff.
- Severinghaus, J.P., Whiticar, M.J., Brook, E.J., Petrenko, V.V. & Ferretti, D.F. 2006. « Ice Record of ^{13}C for Atmospheric CH_4 Across the Younger Dryas-Preboreal Transition », *Science*, vol. 313, n° 5790, p. 1109–1112 (PMID 16931759, DOI 10.1126/science.1126562, Bibcode 2006Sci...313.1109S).
- Shmaefsky, B. 2004. *Favorite demonstrations for college science : an NSTA Press journals collection*, NSTA Press, 175 p. (ISBN 978-0-87355-242-4)
- Sorenson, R.P. 2011. « Eunice Foote's Pioneering Research on CO_2 and Climate Warming », *Search and Discovery*.
- Sous la présidence de Christian de Boissieu, *Division par quatre des émissions de gaz à effet de serre de la France à l'horizon 2050*, La Documentation française, 2006 (ISBN 2-11-006280-0]
- Sowers, T. 2006. « Late Quaternary Atmospheric CH_4 Isotope Record Suggests Marine Clathrates Are Stable », *Science*, vol. 311, n° 5762, p. 838–840 (DOI 10.1126/science.1121235, Bibcode 2006Sci...311..838S).
- The IPCC 4th Assessment Report is coming out. A picture of climate change the current state of understanding, GIEC (IPCC), 2007.

Bibliographie

Gérard Borvon, G. 2013. *Histoire du carbone et du CO_2* , Vuibert.

Leituras extras

Mission interministérielle à l'effet de serre

Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique

Carte sur l'effet de serre Atlas of Canada (en) par Ressources naturelles Canada

Initiative européenne de Participation (WAVE) utilisant les technologies de l'information

Realclimate Blog de commentaire des résultats scientifiques récents animé par des scientifiques.

Émissions européennes par rapport à l'objectif de Kyoto História do Efeito Estufa
Mémoire de Fourier sur la température du globe terrestre et des espaces planétaires, en ligne et commenté sur le site BibNum .

Article de 1896 d'Arrhenius sur le CO₂ dans l'atmosphère, en ligne et commenté sur le site BibNum.

« Depuis quand "sait-on" pour l'effet de serre ? » par Jean-Marc Jancovici, 2003

Gérard Borvon Une brève histoire de l'effet de serre et du changement climatique.