



INTRODUÇÃO À CIÊNCIA DA MUDANÇA DO CLIMA

Os próximos slides são uma seleção (com exclusões e poucas alterações) dos slides disponibilizados pela iniciativa:

One UN Climate Change Learning Partnership (UN CC: Learn),

em especial no curso online introdutório sobre mudança climática.

Acesse: <https://unccelearn.org/>

para conhecer melhor a iniciativa e/ou acessar o material completo.

(Elaborado por: Alexandre Gross/Projeto IPACC II)



A ciência da mudança climática permite-nos:

- ❑ Compreender como e por que o clima está mudando
- ❑ Avaliar a forma como os seres humanos estão influenciando o clima
- ❑ Projetar como o clima pode mudar no futuro
- ❑ Apoiar a formulação de políticas/decisões e de mudanças de comportamento



Fonte: National Science Foundation
Crédito da foto: Site do Niwot Ridge Iter/John W. Marr

Em todo o mundo, cientistas tentam entender melhor como o clima está mudando, que mudanças podemos esperar no futuro e qual o papel das atividades humanas. Embora haja um debate sobre a probabilidade de determinadas mudanças acontecerem e os mecanismos de suas causas, há um amplo consenso científico de que (1) o aquecimento do sistema climático é inequívoco e (2) que a influência humana sobre o sistema climático é clara.

IPCC (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis – Summary for Policymakers.



O que é clima?

Tempo

“O que está acontecendo na atmosfera em determinado momento”

Clima

“Tempo médio em períodos mais longos”

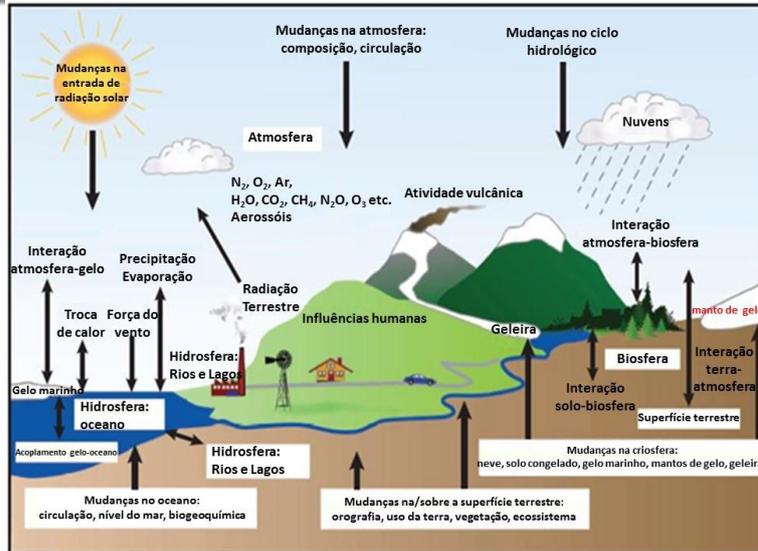
Fonte: Organização Meteorológica Mundial (World Meteorological Organization)

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) define clima da seguinte forma: *“O clima em sentido estrito é geralmente definido como média do tempo ou, de forma mais rigorosa, como a descrição estatística em termos da média e da variabilidade de quantidades relevantes durante um período de tempo que varia de meses a milhares ou milhões de anos. O período clássico para obter a média dessas variáveis é de 30 anos, tal como definido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM, ou WMO em inglês). As quantidades relevantes são mais frequentemente variáveis de superfície, como temperatura, precipitação e vento. Clima em um sentido mais amplo é o estado incluindo uma descrição estatística, do sistema climático”.*

IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, Glossary.*



Complexidade do sistema climático global



Fonte: IPCC, 2007, p. 96. Informações adicionais no site da OMM.

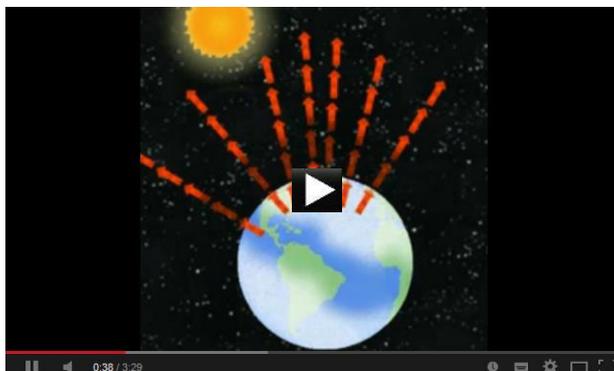
Em um sentido mais amplo, o clima é o estado do sistema climático, que compreende a atmosfera, a hidrosfera, a criosfera, a litosfera de superfície e a *biosfera*. Esses elementos em conjunto determinam o estado e a dinâmica do clima da Terra. O gráfico ilustra uma série de fatores naturais e humanos que têm influência sobre o clima. Um importante mecanismo dentro do sistema climático é o efeito estufa, explicado no *slide* a seguir.

IPCC (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis.

(Nenhuma tradução é oficial do IPCC)



Vídeo da NASA sobre o efeito estufa



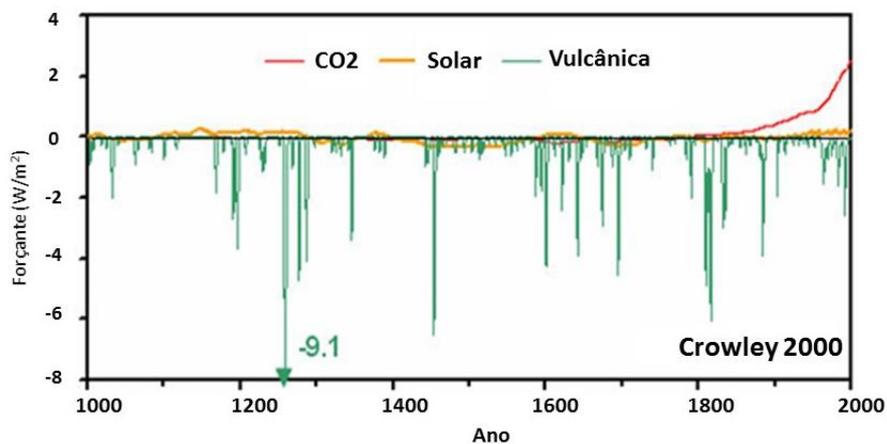
Entenda como o vapor d'água, o dióxido de carbono e outros gases causam o efeito estufa na Terra.

<https://www.youtube.com/watch?v=ZzCA60WnoMk>

Você sabe como o efeito estufa mantém a temperatura da superfície da Terra? O vídeo acima (<https://www.youtube.com/watch?v=ZzCA60WnoMk>) do Observatório da Terra, da Nasa (*Nasa's Earth Observatory*), explica isso de maneira gráfica.



Fatores que determinam o clima – “forçantes climáticas”



Fonte: Centro Nacional de Dados Climáticos da NOAA
(NOAAA National Climatic Data Center)

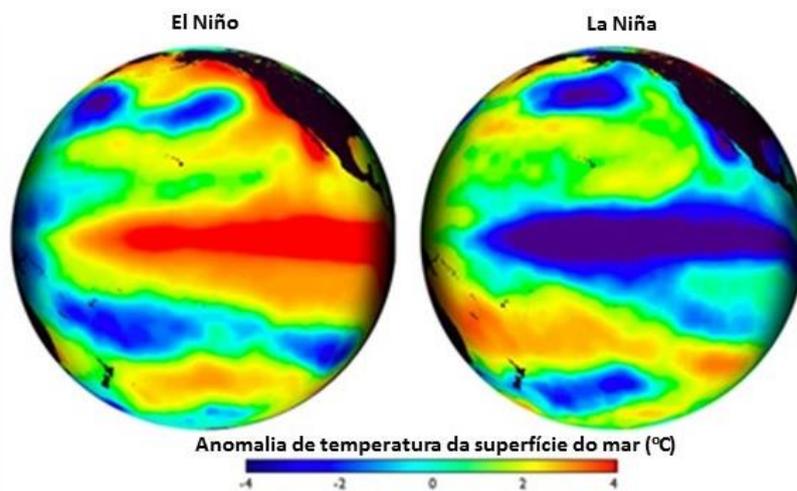
O efeito estufa natural é parte de um sistema equilibrado de transferência e transformação de energia na atmosfera, na superfície terrestre e nos oceanos. O clima da Terra permanece em grande parte estável, porque a energia recebida é igual à perdida (o balanço de energia é equilibrado). No entanto, existem fatores que causam grandes mudanças no sistema climático. Como esses fatores induzem ou “forçam” o sistema a mudar, são chamados de “forçantes”. A mudança de fluxos de energia causados por esses vetores é quantificada na forma de *forçamento radiativo* (FR). O FR positivo leva ao aquecimento da superfície, o FR negativo leva ao resfriamento da superfície.

Durante o último milênio, mudanças na produção de energia do sol, erupções vulcânicas e o aumento da concentração de *gases de efeito estufa* na atmosfera foram as forçantes mais importantes. O forçamento radiativo total tem sido positivo, o que levou a uma captação de energia pelo sistema climático. O gráfico mostra que o aumento da concentração atmosférica de CO_2 desde 1750 é o fator que mais contribuiu para o forçamento radiativo total.

IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis - Summary for Policymakers*, p. 11.



Variações climáticas naturais – exemplo do El Niño e da La Niña



Fonte: NOAA. Informações adicionais no site da OMM.

Mudanças no sistema climático resultantes de forçantes climáticas não devem ser confundidas com variações climáticas naturais. Na verdade, mesmo em um período relativamente estável, os sistemas que compõem e influenciam o clima global flutuam naturalmente. Essas variações ou “oscilações”, como são chamadas frequentemente (porque elas oscilam entre dois estados principais) podem ter um grande efeito sobre o clima, tanto em nível local quanto em escala global. Exemplos disso são os fenômenos El Niño, La Niña e El Niño a Oscilação Sul (ENOS). A ENOS é um padrão climático que ocorre aproximadamente a cada cinco anos, no Oceano Pacífico tropical. O El Niño (espanhol para menino) descreve um extenso aquecimento da superfície do oceano em todo o Pacífico equatorial central e oriental, com duração de três ou mais estações (ver área vermelha perto do equador no globo à esquerda). Quando essa região oceânica muda para temperaturas abaixo do normal, ela é chamada La Niña (espanhol para menina, ver área azul perto do equador no globo à direita).

Site da OMM.



Mudança climática e aquecimento global

Aquecimento global

Refere-se ao aquecimento geral do planeta, com base na temperatura média da superfície da Terra como um todo

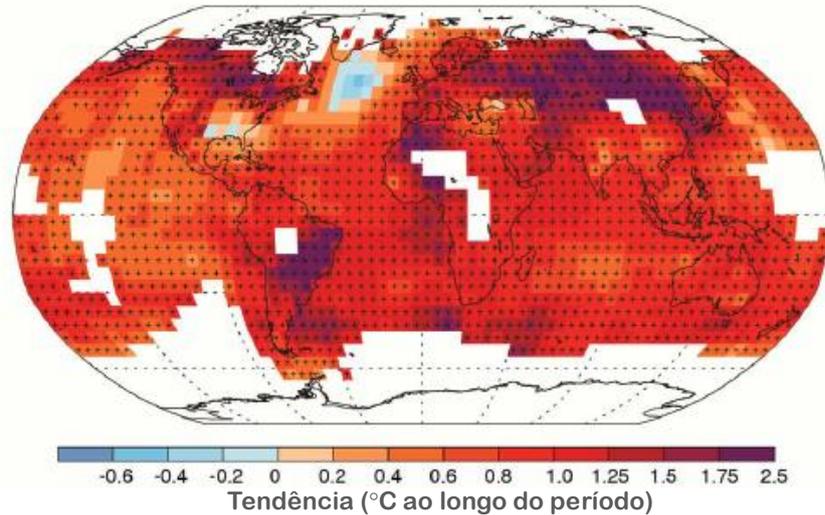
Mudança climática

Refere-se a mudanças nas características do clima, incluindo temperatura, umidade, precipitação, vento e eventos climáticos severos durante períodos longos

Informações adicionais no [site da OMM](#).



Mudança observada na temperatura da superfície (1901-2012)



Fonte: IPCC, 2013, p. 4.

O diagrama acima indica a mudança observada na temperatura média da superfície terrestre entre 1901 e 2012. Isso mostra que quase todo o globo sofreu um aquecimento da superfície.

De acordo com o IPCC, a temperatura média da superfície global aumentou 0,85°C durante o período de 1880-2012.



Ferramentas para prever e projetar mudanças no clima

Previsão do clima

- A previsão do clima é uma tentativa de produzir uma estimativa da evolução em andamento do clima no futuro.

Cenário de emissões

- Cenários de emissões descrevem futuras emissões para a atmosfera de gases de efeito estufa, aerossóis e outros poluentes e, juntamente com informações sobre uso e cobertura do solo, fornecem insumos para os modelos climáticos.

Modelo climático

- É uma representação numérica do sistema climático baseada nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos componentes do sistema, suas interações e seus processos de retroalimentação (*feedback*), e contabiliza algumas de suas propriedades conhecidas.

Projeção do clima

- Uma projeção climática é a resposta simulada do sistema climático a um cenário de futuras emissões ou concentrações de gases de efeito e aerossóis, geralmente obtida por meio de modelos climáticos.

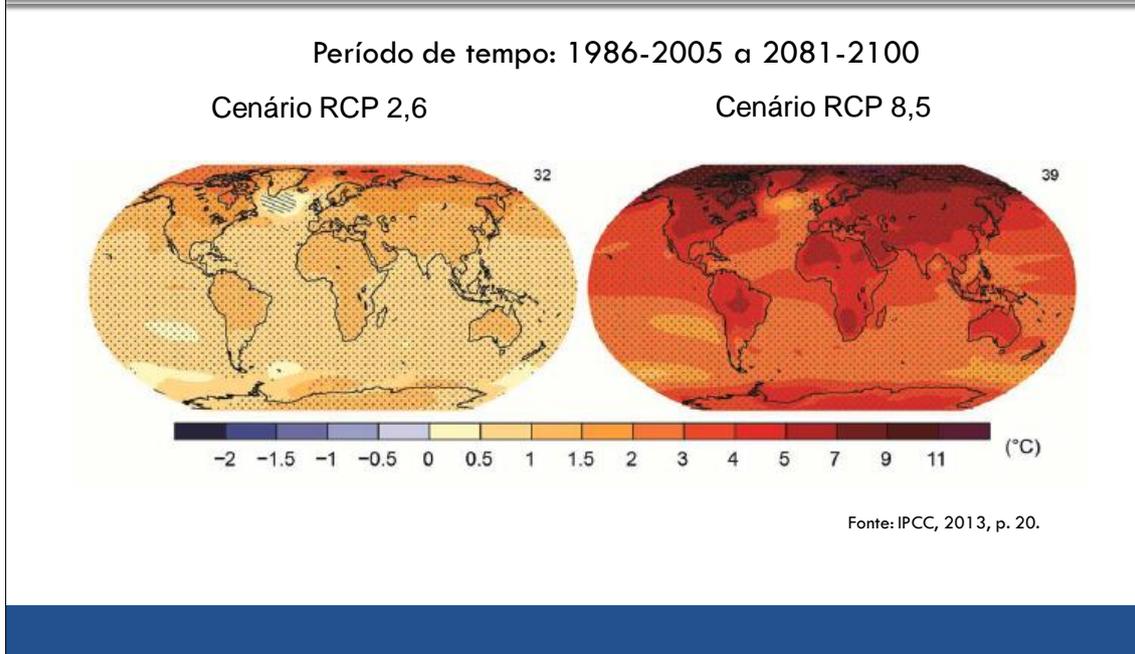
Fonte: IPCC, 2013; site do IPCC. Informações adicionais no site da OMM.

Os cientistas não apenas observam mudanças passadas no clima, mas também tentam analisar possíveis mudanças futuras. Para esse fim, desenvolveram uma série de ferramentas. Assim como um arquiteto pode construir um modelo em escala de um edifício para compreender e prever o comportamento da construção, também os cientistas do clima podem construir um **modelo** computadorizado do sistema climático para compreender e prever seu comportamento. Uma das entradas para um modelo climático são *cenários de emissões*, que estimam futuros lançamentos de gases de efeito estufa e aerossóis para a atmosfera com base em premissas relativas, por exemplo, os desenvolvimentos socioeconômicos e tecnológicos futuros. As saídas de um modelo climático alimentam uma *projeção climática*, ou seja, uma resposta simulada do sistema climático a determinado cenário de emissões. Essa dependência de cenários de emissões diferencia projeções climáticas de *previsões climáticas* que se baseiam em condições conhecidas no presente e em suposições sobre os processos físicos que irão determinar alterações futuras.

Site da OMM.



Mudança prevista na temperatura média da superfície



Esta figura ilustra a mudança prevista (ou seja, futura) na temperatura média da superfície para dois cenários diferentes. As projeções são para o final do século XXI (2081-2100) e são dadas em relação à média do período 1986-2005. A projeção à esquerda baseia-se em um cenário com emissões relativamente limitadas de gás de efeito estufa (RCP 2,6), ao passo que a projeção à direita se baseia em um cenário com emissões de gases de efeito estufa muito elevadas (RCP 8,5). O RCP 2,6 projeta um aumento de 0,3°C a 1,7°C na temperatura média da superfície em comparação aos tempos pré-industriais, ao passo que o RCP 8,5 projeta um aumento de 2,6°C a 4,8°C em 2081-2100.

IPCC (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis - Summary for Policymakers.



INFORMAÇÕES ADICIONAIS

Projeções de mudanças no sistema climático são baseadas em uma hierarquia de modelos climáticos que variam de modelos climáticos simples, passando por modelos complexos intermediários, até modelos climáticos abrangentes, bem como modelos do sistema da Terra. Com base em um conjunto de cenários de forçantes antrópicas, os módulos simulam mudanças. Os Caminhos Representativos de Concentração (*Representative Concentration Pathways – RCPs*) são um novo conjunto de cenários utilizados para o 5º Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC).

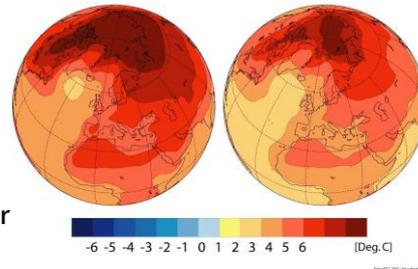
A mudança climática tem impacto sobre:

Ecosistemas	Biodiversidade, armazenamento de carbono, habitats...
Sistemas humanos	Agricultura, água potável, saúde...
Sistemas urbanos	Transportes, edifícios, estilo de vida...
Sistemas econômicos	Energia, manufatura, indústrias de capital natural...
Sistemas sociais	Equidade, migração, paz e conflito...

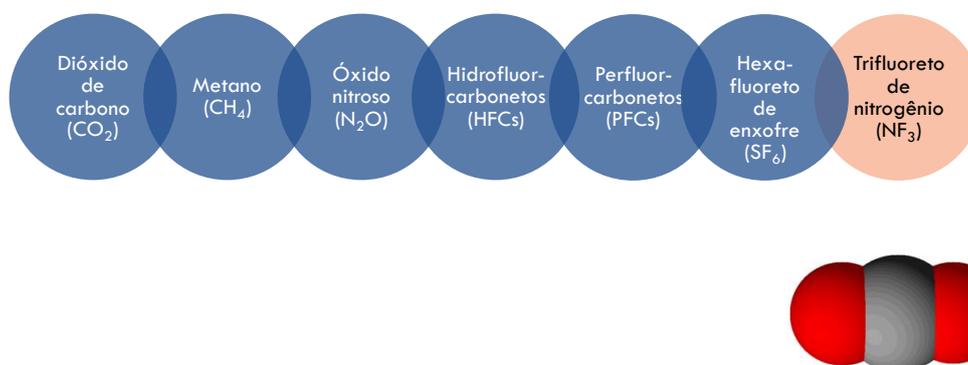


Por que a ciência da mudança climática é importante?

- Dados e previsões meteorológicas são importantes para:
 - ▣ planejamento de curto prazo
 - ▣ respostas de emergência
- Os modelos climáticos ajudam a prever cenários climáticos de longo prazo
- Contribui para avaliações de vulnerabilidade e planejamento da adaptação
- Promove um desenvolvimento resiliente ao clima e evita mal-adaptação



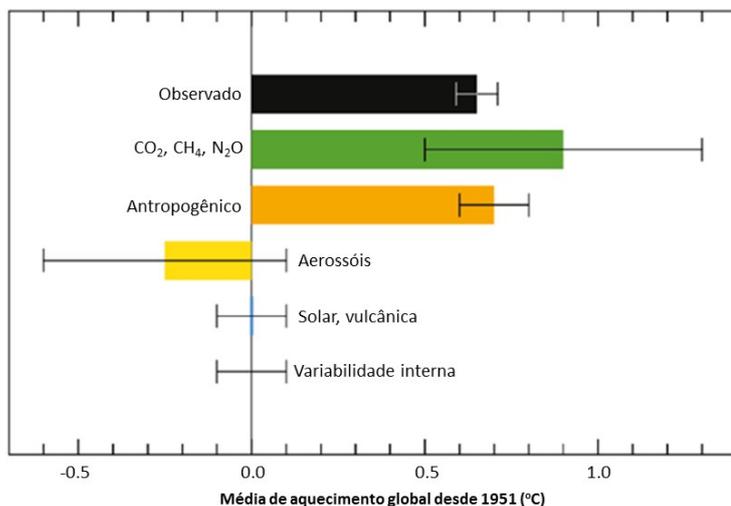
Gases de efeito estufa importantes:



Caso desejar, assista ao vídeo que apresenta de forma simples algumas características dos principais gases (1min20s): <https://www.youtube.com/watch?v=ryg3zu4e3y4>



Influência humana sobre o sistema climático



É extremamente provável que mais de 50% do aquecimento desde 1951 seja devido ao aumento dos gases de efeito estufa e outras forçantes antrópicas atuando em conjunto.

Fonte: IPCC, 2013. Informações adicionais no site da WMO.

A figura acima ilustra o importante impacto das atividades humanas sobre o clima. Ela mostra a contribuição de diferentes fatores antrópicos e naturais para o aumento de temperatura observado de cerca de 0,6°C desde 1951 (barra preta). O gráfico mostra que gases de efeito estufa, como dióxido de carbono, metano e óxido nítrico (barra verde) são as principais causas da alteração da temperatura observada. A barra amarela mostra a influência dos aerossóis (partículas minúsculas encontrados na atmosfera) que têm um efeito forçante negativo (refrigeração) sobre o clima. Na verdade, os aerossóis e sua interação com as nuvens compensam parte substancial do forçamento radiativo positivo por GEEs. Aerossóis atmosféricos não devem ser confundidos com *sprays* de aerossol que, muitas vezes, contêm gases de efeito estufa e, portanto, têm um efeito forçante radiativo positivo.

No geral, a atividade humana levou ao forçamento radiativo positivo (aquecimento global), como indicado pela barra laranja. O forçamento radiativo devido a mudanças na produção de energia do sol e erupções vulcânicas teve um papel menor no período de referência.

IPCC Report Climate Change 2013: The Physical Science Basis - Summary for Policymakers – pages 03-04



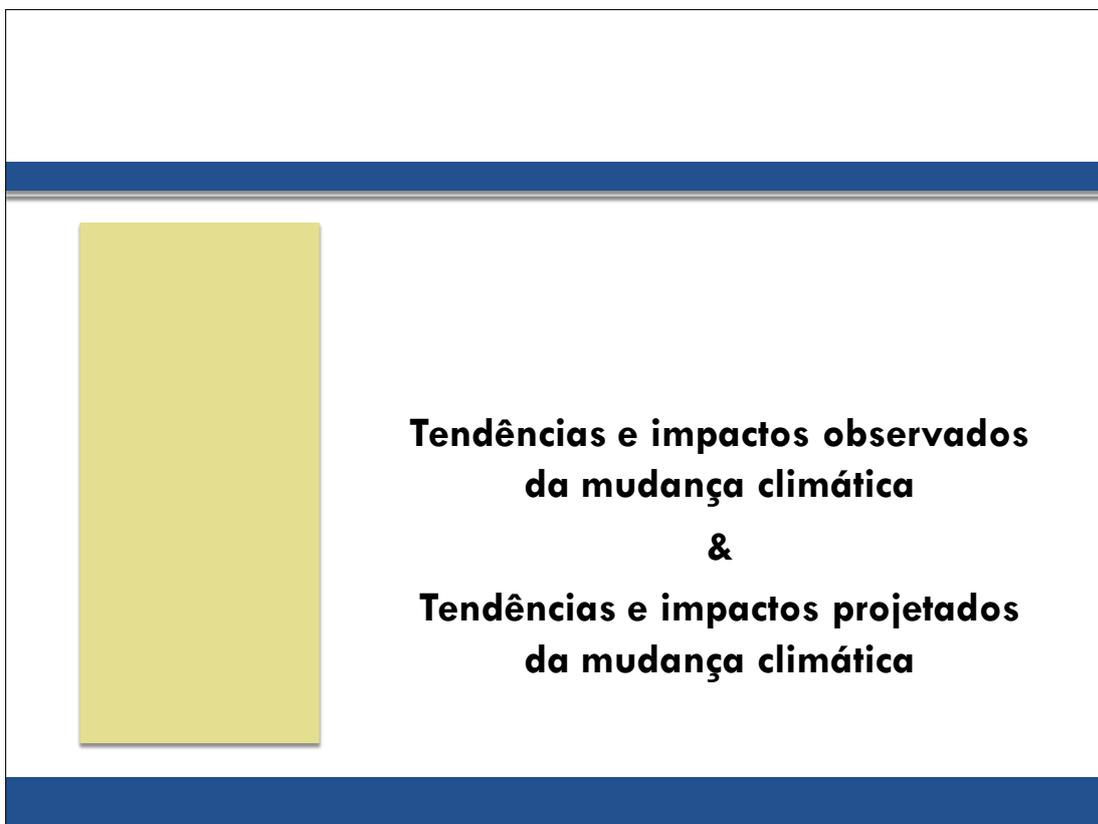
INFORMAÇÕES ADICIONAIS

Aerossóis atmosféricos são capazes de alterar o clima em dois aspectos importantes:

- eles dispersam e absorvem a radiação solar e infravermelha; e
- eles podem mudar as propriedades microfísicas e químicas das nuvens e, possivelmente, sua vida e sua extensão.

A dispersão da radiação solar atua para resfriar o planeta, enquanto a absorção da radiação solar por aerossóis aquece o ar diretamente em vez de permitir que a luz solar seja absorvida pela superfície da Terra. O forçamento radiativo total de todos os tipos de aerossóis é negativo. Aerossóis também causam um forçamento radiativo negativo indiretamente por meio das mudanças que causam nas propriedades das nuvens.

Site da OMM



Accesse o vídeo do IPCC: Mudança Climática 2013: Evidências da Ciência Física:

<https://www.youtube.com/watch?v=6yiTZm0y1YA>

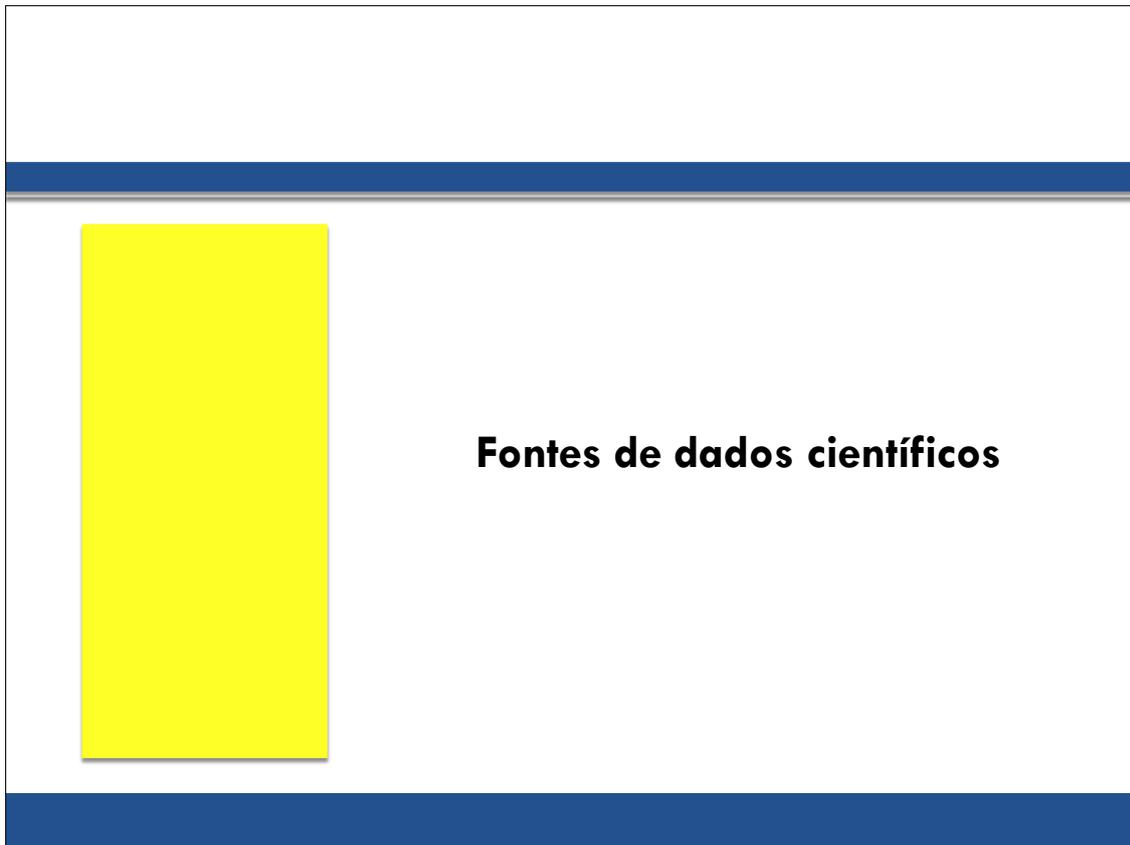


Em foco: caminhos representativos de concentração (RCPs)

- Conjunto de quatro novos cenários definidos pela comunidade científica para o Quinto Relatório de Avaliação do IPCC.
- Os quatro RCPs incluem:
 - um cenário de mitigação levando a um nível de forçante muito baixo (RCP 2,6);
 - dois cenários de estabilização (RCP 4,5 e RCP 6); e
 - um cenário com emissões de gases de efeito estufa muito elevadas (RCP 8,5).
- Os RCPs representam uma série de políticas climáticas do século XXI.

Para o Quinto Relatório de Avaliação do IPCC, a comunidade científica definiu um conjunto de quatro novos cenários, denominados caminhos representativos de concentração (*representative concentration pathways* – RCPs). Esses quatro RCPs incluem um cenário de *mitigação* que leva a um nível de forçante muito baixo (RCP 2,6), dois cenários de estabilização (RCP 4,5 e RCP 6), e um cenário com emissões de gases de efeito estufa muito elevadas (RCP 8,5). Os RCPs podem, portanto, representar uma gama de políticas climáticas do século XXI, em comparação com a ausência de políticas climáticas do Relatório Especial sobre Cenários de Emissões (*Special Report on Emissions Scenarios* – SRES) utilizado no Terceiro e no Quarto Relatório de Avaliação.

IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis - Summary for Policymakers*.



Esta seção apresenta uma visão geral das principais fontes de informações científicas sobre o clima, bem como sobre programas e instituições relevantes.



O Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC)

Principal órgão voltado
à avaliação da
mudança climática

Fundado em 1988 por
PNUMA e OMM

Avalia informações
científicas, técnicas e
socioeconômicas

Não realiza
pesquisa

Milhares de cientistas
de todo o mundo
contribuem para seu
trabalho

ipcc
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON
climate change

O IPCC é o principal órgão internacional que sintetiza e avalia o conhecimento sobre mudança climática. Fundado em 1988 pelo PNUMA e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), o IPCC avalia todas as informações revisadas e publicadas sobre mudança climática. Agraciado com o Prêmio Nobel da Paz em 2007, o órgão formou uma rede de cientistas do clima, biólogos, economistas, sociólogos etc., de todos os continentes na Terra, para produzir relatórios sobre o estado do conhecimento da ciência da mudança climática, analisar os impactos sociais e econômicos da mudança climática e identificar possíveis adaptações e opções de mitigação.



Relatórios importantes publicados pelo IPCC



O IPCC publica diversos relatórios relevantes para o regime de mudança climática. Amplamente citados, os abrangentes relatórios de avaliação revisam a ciência mais recente sobre mudança climática, seus impactos, vulnerabilidade e adaptação, bem como opções de mitigação. Além desses relatórios, o IPCC também publica relatórios especiais sobre temas selecionados, por exemplo: fontes de energia renováveis, eventos extremos e desastres, cenários de emissões etc. O órgão também produz documentos de orientação metodológica e documentos técnicos.



Organização Meteorológica Mundial (OMM) – programas climáticas globais

- Programa Mundial sobre o Clima (WCP)
 - Programa mundial de pesquisa climática
 - Sistema global de observação do clima
 - Programa mundial de serviços climáticos
 - Programa de pesquisa sobre mudança climática, vulnerabilidade, impactos e adaptação
- Programa de Pesquisa Atmosférica e Meio Ambiente (ARE)
- Marco Global para Serviços Climáticos (GFCS)
- Conselho Consultivo: Comissão de Climatologia (CCI)





Links Úteis:

Site do IPCC: <https://www.ipcc.ch/>

Páginas do Clima da OMM: <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/>

Marco Global para Serviços Climáticos (GFCS): <http://www.gfcs-climate.org/>

Programa Mundial sobre o clima (WCP): <https://www.wmo.int/pages/prog/wcp/>

Portal do conhecimento sobre mudança climática do Banco Mundial:
<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>

Mudança climática global – NASA: <https://climate.nasa.gov/>

Iniciativa mudança climática – ESA:
http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate/ESA_s_Climate_Change_Initiative_CCI

Portal comunitário de dados – NCAR: <https://data.ucar.edu/>

Max Planck: a atmosfera no sistema da Terra: <https://mpimet.mpg.de/en/science/the-atmosphere-in-the-earth-system.html>

Páginas sobre mudança climática – “The Guardian”:
<https://www.theguardian.com/science/scienceofclimatechange>

Aquecimento global – “National Geographic”:
<https://www.nationalgeographic.com/environment/climate-change/>

UM CC Learn: <https://www.unccllearn.org/>

Leituras Recomendadas:

Cambridge University (2013). Climate Change: Action, Trends and Implications for Business:
<https://www.unccllearn.org/wp-content/uploads/library/ipccwebguide.pdf>

IPCC (2013). Climate Change 2013, The Physical Science Basis - Summary for Policymakers:
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf

UNEP (2009). Climate Change Science Compendium:
<http://www.unccllearn.org/sites/default/files/inventory/unep82.pdf>

UNEP (2009). Climate in Peril, A Popular Guide to the Latest IPCC Reports:
<http://www.unccllearn.org/sites/default/files/inventory/unep125.pdf>

WMO (2013). The Global Climate 2001–2010, A Decade of Climate Extremes:
<http://www.unccllearn.org/sites/default/files/inventory/wmo110.pdf>