

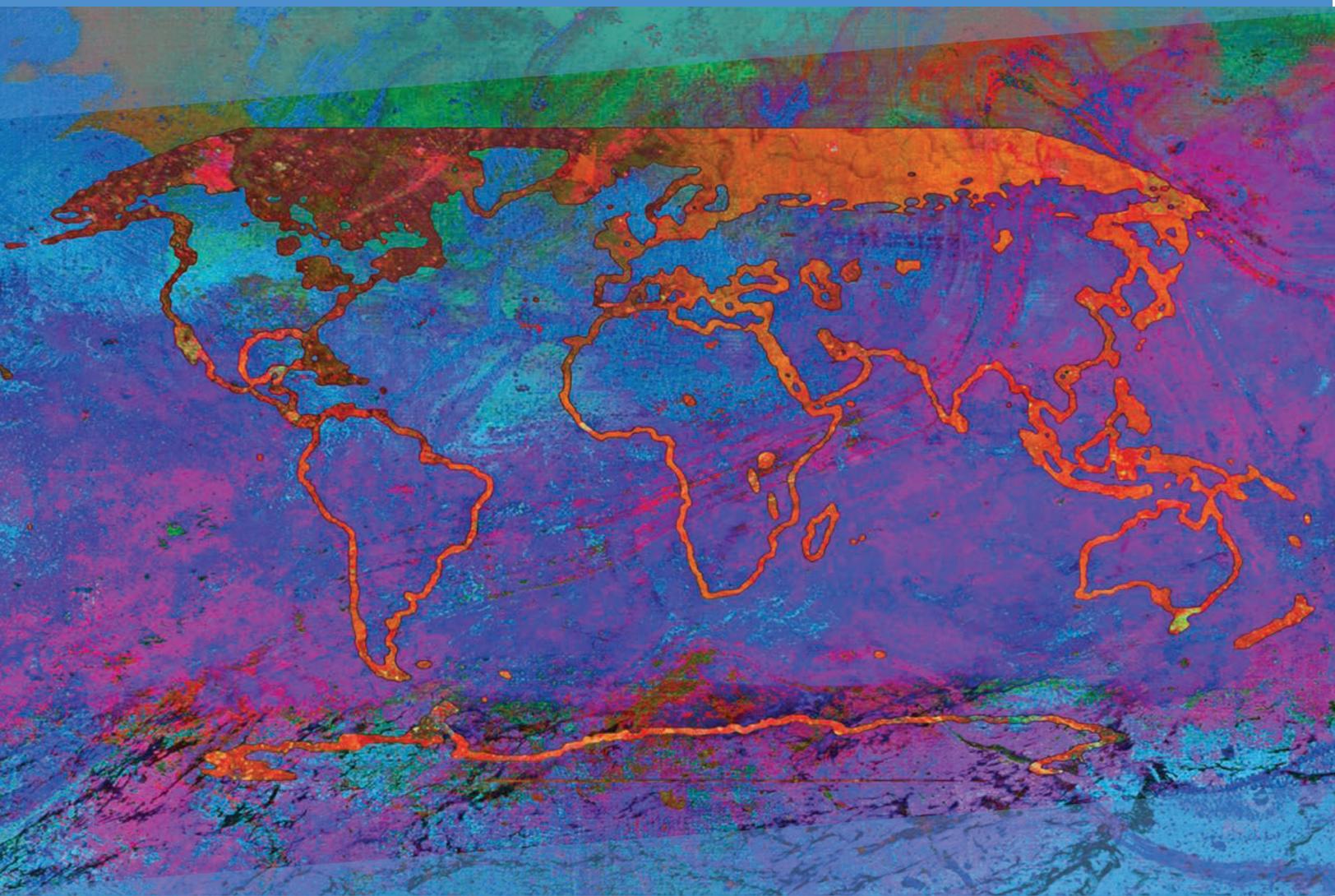
ipcc

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE mudança do clima

Mudança do Clima 2021

A Base Científica

Sumário para Formuladores de Políticas



WGI

Contribuição do Grupo de Trabalho I
ao Sexto Relatório de Avaliação do Painel
Intergovernamental sobre Mudança do Clima



Mudança do Clima 2021

A Base Científica

Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima

Editado por

Valérie Masson-Delmotte

Vice-Coordenadora do Grupo de Trabalho I

Panmao Zhai

Vice-Coordenador do Grupo de Trabalho I

Anna Pirani

Chefe do TSU

Sarah L. Connors

Chefe da Equipe de Ciências

Clotilde Péan

Chefe de Operações

Yang Chen

Gerente Sênior Científico

Leah Goldfarb

Gerente Sênior Científico

Melissa I. Gomis

Gerente Sênior Científico

J.B.Robin Matthews

Gerente Sênior Científico

Sophie Berger

Gerente Científico

Mengtian Huang

Gerente Científico

Ozge Yelekçi

Gerente Científico

Rong Yu

Gerente Científico

Baiquan Zhou

Gerente Científico

Elisabeth Lonnoy

Assistente de Projetos

Thomas K. Maycock

Editor Científico

Tim Waterfield

Gerente de TI

Katherine Leitzell

Gerente de Comunicação

Nada Caud

Gerente de Divulgação

Unidade de Suporte do Grupo de Trabalho I

Arte e layout da capa de Alisa Singer

© 2021 Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima

Esta tradução foi realizada pelo Governo do Brasil, e não é uma tradução oficial do IPCC.

Original impresso em outubro de 2021 pelo IPCC, Suíça. Cópias eletrônicas do Sumário para Formuladores de Políticas original estão disponíveis no site do IPCC, www.ipcc.ch

ISBN 978-92-9169-158-6

**Esta tradução foi realizada pelo Governo do Brasil,
e não é uma tradução oficial do IPCC.**

Tradutora

Mariane Arantes Rocha de Oliveira

Revisão

Danielly Godiva Santana Molleta

José Antônio Marengo

Letícia Cotrim da Cunha

Lidiane Rocha de Oliveira Melo

Lincoln Muniz

Márcio Rojas da Cruz

Diagramação

Ct. Comunicação

Sumário para Formuladores de Políticas

Índice

Introdução 7

A. A Situação Atual do Clima 7

B. Possíveis Futuros Climáticos 15

C. Informações Climáticas para Avaliações de Risco e Adaptação Regional 26

D. Limitando a Mudança do Clima Futura 31

Sumário para Formuladores de Políticas

Autores:

Richard P. Allan (Reino Unido), Paola A. Arias (Colômbia), Sophie Berger (França/Bélgica), Josep G. Canadell (Austrália), Christophe Cassou (França), Deliang Chen (Suécia), Annalisa Cherchi (Itália), Sarah L. Connors (França/Reino Unido), Erika Coppola (Itália), Faye Abigail Cruz (Filipinas), Aïda Diongue-Niang (Senegal), Francisco J. Doblas-Reyes (Espanha), Hervé Douville (França), Fatima Driouech (Marrocos), Tamsin L. Edwards (Reino Unido), François Engelbrecht (África do Sul), Veronika Eyring (Alemanha), Erich Fischer (Suíça), Gregory M. Flato (Canadá), Piers Forster (Reino Unido), Baylor Fox-Kemper (Estados Unidos da América), Jan S. Fuglestedt (Noruega), John C. Fyfe (Canadá), Nathan P. Gillett (Canadá), Melissa I. Gomis (França/Suíça), Sergey K. Gulev (Federação Russa), José Manuel Gutiérrez (Espanha), Rafiq Hamdi (Bélgica), Jordan Harold (Reino Unido), Mathias Hauser (Suíça), Ed Hawkins (Reino Unido), Helene T. Hewitt (Reino Unido), Tom Gabriel Johansen (Noruega), Christopher Jones (Reino Unido), Richard G. Jones (Reino Unido), Darrell S. Kaufman (Estados Unidos da América), Zbigniew Klimont (Áustria/Polónia), Robert E. Kopp (Estados Unidos da América), Charles Koven (Estados Unidos da América), Gerhard Krinner (França/Alemanha, França), June-Yi Lee (República da Coreia), Irene Lorenzoni (Reino Unido/Itália), Jochem Marotzke (Alemanha), Valérie Masson-Delmotte (França), Thomas K. Maycock (Estados Unidos da América), Malte Meinshausen (Austrália/Alemanha), Pedro M.S. Monteiro (África do Sul), Angela Morelli (Noruega/Itália), Vaishali Naik (Estados Unidos da América), Dirk Notz (Alemanha), Friederike Otto (Reino Unido/Alemanha), Matthew D. Palmer (Reino Unido), Izidine Pinto (África do Sul/Moçambique), Anna Pirani (Itália), Gian-Kasper Plattner (Suíça), Krishnan Raghavan (Índia), Roshanka Ranasinghe (Países Baixos/Sri Lanka, Austrália), Joeri Rogelj (Reino Unido/Bélgica), Maisa Rojas (Chile), Alex C. Ruane (Estados Unidos da América), Jean-Baptiste Sallée (França), Bjørn H. Samset (Noruega), Sonia I. Seneviratne (Suíça), Jana Sillmann (Noruega/Alemanha), Anna A. Sörensson (Argentina), Tannecia S. Stephenson (Jamaica), Trude Storelvmo (Noruega), Sophie Szopa (França), Peter W. Thorne (Irlanda/Reino Unido), Blair Trewin (Austrália), Robert Vautard (França), Carolina Vera (Argentina), Nouredine Yassaa (Argélia), Sönke Zaehle (Alemanha), Panmao Zhai (China), Xuebin Zhang (Canadá), Kirsten Zickfeld (Canadá/Alemanha)

Autores Colaboradores:

Krishna M. AchutaRao (Índia), Bhupesh Adhikary (Nepal), Edvin Aldrian (Indonésia), Kyle Armour (Estados Unidos da América), Govindasamy Bala (Índia/Estados Unidos da América), Rondrotiana Barimalala (África do Sul/Madagascar), Nicolas Bellouin (Reino Unido/França), William Collins (Reino Unido), William D. Collins (Estados Unidos da América), Susanna Corti (Itália), Peter M. Cox (Reino Unido), Frank J. Dentener (UE/Países Baixos), Claudine Dereczynski (Brasil), Alejandro Di Luca (Austrália, Canadá/Argentina), Alessandro Dosio (Itália), Leah Goldfarb (França/Estados Unidos da América), Irina V. Gorodetskaya (Portugal/Bélgica, Federação Russa), Pandora Hope (Austrália), Mark Howden (Austrália), Akm Saiful Islam (Bangladesh), Yu Kosaka (Japão), James Kossin (Estados Unidos da América), Svitlana Krakovska (Ucrânia), Chao Li (China), Jian Li (China), Thorsten Mauritsen (Alemanha/Dinamarca), Sebastian Milinski (Alemanha), Seung-Ki Min (República da Coreia), Thanh Ngo Duc (Vietnã), Andy Reisinger (Nova Zelândia), Lucas Ruiz (Argentina), Shubha Sathyendranath (Reino Unido/Canadá, Cidadão Ultramarino da Índia), Aimée B. A. Slangen (Países Baixos), Chris Smith (Reino Unido), Izuru Takayabu (Japão), Muhammad Irfan Tariq (Paquistão), Anne-Marie Treguier (França), Bart van den Hurk (Países Baixos), Karina von Schuckmann (França/Alemanha), Cunde Xiao (China)

Data do Documento: 7 de agosto de 2021 17:00 CEST (Horário De Verão da Europa Central)

Este Sumário para Formuladores de Políticas deve ser citado como:

IPCC, 2021: Sumário para Formuladores de Políticas. Em: *Mudança do Clima 2021: A Base da Ciência Física. Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. No Prelo.

Introdução

Este Sumário para Formuladores de Políticas (doravante referido pela sigla em inglês SPM) apresenta as principais conclusões das contribuições do Grupo de Trabalho I (GTI) ao Sexto Relatório de Avaliação do IPCC (doravante referido pela sigla em inglês AR6)¹ sobre as bases científicas da mudança do clima. É um relatório que tem por base a contribuição de 2013 do Grupo de Trabalho I ao Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (doravante referido pela sigla em inglês AR5) e os Relatórios Especiais² do ciclo 2018-2019 do AR6, e incorpora novas evidências de pesquisas posteriores em ciência do clima³.

Este SPM apresenta uma síntese de alto nível sobre o entendimento do estado atual do clima, incluindo como ele vem mudando e qual é o papel da influência humana, o estado do conhecimento sobre possíveis futuros climáticos, informações climáticas relevantes para regiões e setores, e como limitar a mudança do clima induzida pela atividade humana.

Baseadas em entendimento científico, as principais conclusões podem ser formuladas como declarações de fato ou associadas a um nível avaliado de confiança indicado pelo uso da linguagem de calibração do IPCC⁴.

A base científica de cada conclusão principal está nos capítulos do Relatório principal e na síntese integrada apresentada no Sumário Técnico (doravante referido como TS, no acrônimo em inglês), indicada entre chaves. O Atlas Interativo do AR6 GTI facilita a busca dessas conclusões e das informações complementares sobre mudança do clima nas regiões de referência do GTI⁵.

A. Situação Atual do Clima

Desde o AR5, refinamentos das estimativas observacionais e das informações de registros paleoclimáticos oferecem uma visão abrangente de cada componente do sistema climático e suas mudanças até o momento. Novas simulações de modelos climáticos, novas análises, e métodos que combinam diversas linhas de evidência resultaram em um melhor entendimento da influência humana sobre uma gama maior de variáveis climáticas, inclusive tempo e extremos climáticos. Os períodos considerados ao longo desta Seção baseiam-se na disponibilidade de produtos observacionais, registros paleoclimáticos e estudos avaliados por pares.

A1 É inequívoco afirmar que a influência humana aqueceu a atmosfera, os oceanos e os continentes. Mudanças rápidas e generalizadas ocorreram na atmosfera, oceanos, criosfera e biosfera. {2.2, 2.3, { Quadros Transversais 2.3, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.8, 5.2, 5.3, 6.4, 7.3, 8.3, 9.2, 9.3, 9.5, 9.6, Quadro Transversal 9.1} (Figura SPM.1, Figura SPM.2)}

- A.1.1 Os aumentos observados nas concentrações de gases de efeito estufa (GEE) distribuídos homogeneamente na atmosfera desde cerca de 1750 foram causados inequivocamente por atividades humanas. Desde 2011 (medições reportadas no AR5), as concentrações continuaram a aumentar na atmosfera, chegando a médias anuais de 410 ppm para dióxido de carbono (CO₂), 1.866 ppb para metano (CH₄), e 332 ppb para óxido nitroso (N₂O) em 2019⁶. Os continentes e os oceanos absorveram uma proporção quase constante (cerca de 56% globalmente ao ano) das emissões de CO₂ das atividades humanas nas últimas seis décadas, com diferenças regionais (*confiança alta*)⁷.
{2.2, 5.2, 7.3, TS.2.2, Quadro TS.5}

1 Decisão IPCC/XLVI-2.

2 Os três Relatórios Especiais são: Aquecimento Global de 1,5°C: Relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) sobre os impactos do aquecimento global de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais e respectivas trajetórias de emissão de gases de efeito estufa, no contexto do fortalecimento da resposta global à ameaça da mudança do clima, do desenvolvimento sustentável e dos esforços para erradicar a pobreza (sigla em inglês SR1.5); Mudança do Clima e Terra: Relatório especial do IPCC sobre mudanças climáticas, desertificação, degradação da terra, manejo sustentável da terra, segurança alimentar e fluxos de gases de efeito estufa em ecossistemas terrestres (sigla em inglês SRCCL); e Relatório Especial sobre o Oceano e a Criosfera em um Clima em Mudança (sigla em inglês SROCC).

3 A avaliação inclui a literatura científica aceita para publicação até 31 de janeiro de 2021.

4 Cada conclusão é baseada na avaliação de evidências e acordos complementares. Níveis de confiança são expressos com o uso de cinco qualificadores: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto, escritos em itálico, por exemplo: *confiança média*. Os seguintes termos têm sido usados para indicar a probabilidade avaliada de uma conclusão ou resultado: *praticamente certa* 99 – 100% de probabilidade, *muito provável* 90 – 100%, *provável* 66 – 100%, *tão provável quanto improvável* 33 – 66%, *improvável* 0 – 33%, *muito improvável* 0 – 10%, *excepcionalmente improvável* 0 – 1%.

Termos adicionais (*extremamente provável* 95 – 100%, *mais provável que improvável* >50 – 100%, e *extremamente improvável* 0 – 5%) também podem ser usados quando apropriado. A probabilidade avaliada é expressa em itálico, por exemplo, *muito provável*. Essa forma é condizente com o AR5. Neste Relatório, salvo disposição em contrário, são usados colchetes [x a y] para expressar o intervalo avaliado de *muito provável*, ou um intervalo de 90%.

5 O Atlas Interativo está disponível em <https://interactive-atlas.ipcc.ch>

6 Outras concentrações de GEE em 2019 foram: PFCs (109 ppt CF4 equivalente); SF6 (10 ppt); NF3 (2 ppt); HFCs (237 ppt HFC-134a equivalente); outros gases do Protocolo de Montreal (principalmente CFCs, HCFCs, 1032 ppt CFC-12 equivalente). Os aumentos de 2011 foram 19 ppm para CO₂, 63 ppb para CH₄ e 8 ppb para N₂O.

7 Continentes e oceanos não são sumidouros substanciais para outros GEE.

- A.1.2 Cada uma das últimas quatro décadas foi sucessivamente mais quente do que qualquer outra década que a precedeu desde 1850. A temperatura da superfície global⁸ nas primeiras duas décadas do século XXI (2001-2020) foi 0,99°C [0,84- 1,10] mais alta que em 1850-1900⁹. A temperatura da superfície global foi 1,09°C [0,95 a 1,20] mais alta no período 2011– 2020 em comparação a 1850–1900, com os maiores aumentos ocorrendo nos continentes (1,59°C [1,34 a 1,83]) que nos oceanos (0,88°C [0,68 a 1,01]). O aumento estimado da temperatura da superfície global desde o AR5 deve-se principalmente a um maior aquecimento desde 2003–2012 (+0,19°C [0,16 a 0,22]). Além disso, os avanços metodológicos e os novos conjuntos de dados contribuíram com aproximadamente 0,1°C à estimativa atualizada de aquecimento do AR6¹⁰.
- A.1.3 A faixa *provável* do aumento antropogênico da temperatura da superfície global desde 1850–1900 até 2010–2019¹¹ é de 0,8°C a 1,3°C, com uma melhor estimativa de 1,07°C. *Provavelmente* os GEE bem misturados contribuíram para um aquecimento de 1,0°C a 2,0°C, outros fatores humanos (principalmente aerossóis) contribuíram para um resfriamento de 0,0°C a 0,8°C, fatores naturais mudaram a temperatura da superfície global de –0,1°C a 0,1°C, e a variabilidade interna causou uma mudança de –0,2°C a 0,2°C. *Muito provavelmente* os GEE bem misturados foram os principais causadores¹² do aquecimento troposférico desde 1979, e é *extremamente provável* que a destruição antropogênica do ozônio estratosférico tenha sido o principal causador do resfriamento da estratosfera inferior entre 1979 e meados dos anos 90. {3.3, 6.4, 7.3, Quadro Interseccional TS.1, TS.2.3} (**Figura SPM.2**)
- A.1.4 Globalmente é *provável* que a precipitação média sobre os continentes tenha aumentado desde 1950, com uma taxa maior de aumento desde os anos 80 (*confiança média*). *Provavelmente* a influência humana contribuiu para o padrão das mudanças de precipitação observadas desde meados do século XX, e é *extremamente provável* que a influência humana tenha contribuído para o padrão das mudanças observadas na salinidade oceânica próxima da superfície. É *provável* que *storm tracks* (“linhas de tempestade”) de latitudes médias tenham se deslocado em direção aos polos nos dois hemisférios desde os anos 80, com sazonalidade acentuada nas tendências (*confiança média*). Para o Hemisfério Sul, é *muito provável* que a influência humana tenha contribuído para a mudança em direção aos polos da corrente de jato extratropical durante o verão austral. {2.3, 3.3, 8.3, 9.2, TS.2.4, TS.2.3, Quadro TS.6}
- A.1.5 É *muito provável* que a influência humana seja o principal motivo para a retração global dos glaciares desde os anos 90 e da diminuição da área de gelo marinho no Ártico entre 1979–1988 e 2010–2019 (cerca de 40% em setembro e cerca de 10% em março). Não houve uma tendência significativa na área de gelo marinho da Antártica entre 1979 e 2020 devido a tendências regionais opostas e uma grande variabilidade interna. É *muito provável* que a influência humana tenha contribuído, desde 1950, para a diminuição da cobertura de neve durante a primavera no Hemisfério Norte. É *muito provável* que a influência humana tenha contribuído para o derretimento observado da superfície do manto de gelo da Groenlândia nas últimas duas décadas, mas há apenas *evidência limitada, com concordância média*, sobre a influência antropogênica na perda de massa do manto de gelo Antártico. {2.3, 3.4, 8.3, 9.3, 9.5, TS.2.5}
- A.1.6 É *praticamente certo* que o oceano global superior (0-700 m) se aqueceu desde a década de 70 e é *extremamente provável* que as atividades humanas sejam a principal causa. É *praticamente certo* que as emissões antropogênicas de CO₂ foram o principal causador do nível atual de acidificação global da superfície do oceano aberto. Há *confiança alta* de que os níveis de oxigênio caíram em muitas regiões do oceano superior desde meados do século XX, e *confiança média* de que a influência humana contribuiu para essa queda. {2.3, 3.5, 3.6, 5.3, 9.2, ST.2.4}
- A.1.7 O nível médio global do mar aumentou em 0,20 m [0,15 a 0,25] entre 1901 e 2018. A taxa média de aumento foi de 1,3 mm/ano⁻¹ [0,6 a 2,1] entre 1901 e 1971, aumentando para 1,9 mm/ano⁻¹ [0,8 a 2,9] entre 1971 e 2006, e aumentando mais para 3,7 mm/ano⁻¹ [3,2 a 4,2] entre 2006 e 2018 (*confiança alta*). É *muito provável* que a influência humana tenha sido a principal causadora desses aumentos desde pelo menos 1971. {2.3, 3.5, 9.6, Quadro Transversal 9.1, Quadro TS.4}

8 A expressão “temperatura da superfície global” é usada em referência tanto à temperatura média da superfície global como à temperatura do ar na superfície global neste SPM. Mudanças nessas quantidades são avaliadas como sendo de confiança alta para diferir, no máximo, 10% um do outro, mas linhas de evidência conflitantes levam a uma baixa confiança no sinal de qualquer diferença na tendência de longo prazo. {Quadro Interseccional TS.1}

9 O período 1850–1900 é o período mais antigo de observações globais suficientemente completas para se estimar a temperatura da superfície global e, de forma condizente com o AR5 e o relatório SR1.5, é o período usado como uma aproximação das condições pré-industriais.

10 Desde o AR5, os avanços metodológicos e os novos conjuntos de dados vêm fornecendo uma representação espacial mais completa das mudanças da temperatura na superfície, inclusive no Ártico. Esses e outros refinamentos aumentaram a estimativa da mudança da temperatura da superfície global em aproximadamente 0,1 °C, mas esse aumento não representa um aquecimento físico adicional desde o AR5.

11 A distinção de período em relação a A.1.2 surge porque os estudos de atribuição consideraram esse período um pouco mais antigo. O aquecimento observado entre 2010–2019 é de 1,06°C [0,88 a 1,21].

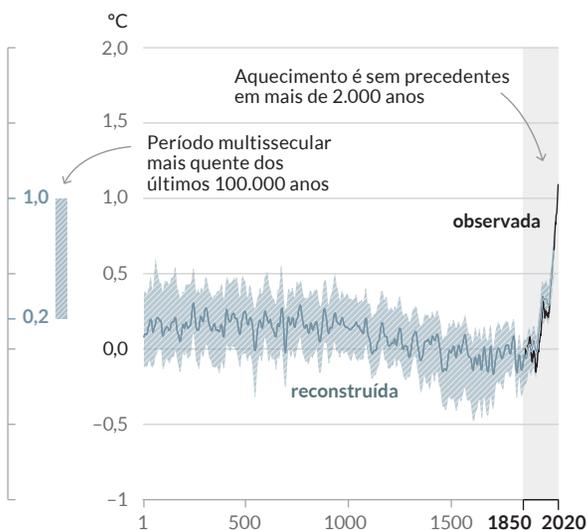
12 Ao longo deste documento, ‘principal causador’ significa ser responsável por mais de 50% de determinada mudança.

- A.1.8 As mudanças na biosfera terrestre desde 1970 condizem com aquecimento global: as zonas climáticas se deslocaram em direção aos polos nos dois hemisférios, e o comprimento das estações aumentaram em média até dois dias por década desde os anos 50 nas regiões extratropicais do Hemisfério Norte (*confiança alta*).
{2.3, TS.2.6}

O homem tem aquecido o clima a uma taxa sem precedentes há, no mínimo, 2.000 anos

Mudanças na temperatura da superfície global em relação a 1850-1900

(a) Mudança na temperatura da superfície global (média decenal) as **reconstruída** (1–2000) e **observada** (1850–2020)



(b) Mudança na temperatura da superfície global (média anual) **observada** e simulada considerando fatores **humanos & naturais** e **fatores naturais** (ambos 1850–2020)

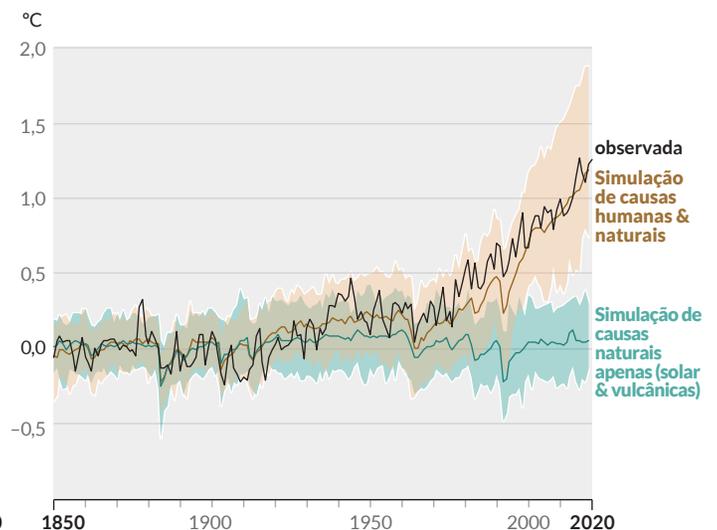


Figura SPM.1: Histórico da mudança de temperatura e causas do aquecimento recente.

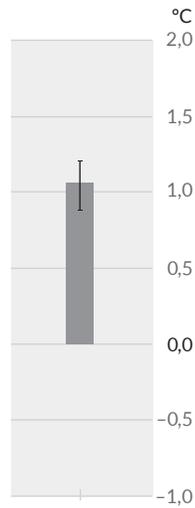
Painel a): Mudanças na temperatura da superfície global reconstruídas a partir de registros paleoclimáticos (linha cinza sólida, 1–2000) **e de observações diretas** (linha preta sólida, 1850–2020), ambos em relação a 1850–1900 e com média decenal. A barra vertical à esquerda mostra a temperatura estimada (faixa *muito provável*) durante o período multissecular mais quente dos últimos 100.000 anos (no mínimo), que ocorreu cerca de 6.500 anos atrás durante o período interglacial atual (Holoceno). O Último Interglacial, há cerca de 125.000 anos atrás, é o próximo candidato mais recente para um período de temperatura mais elevada. Esses últimos períodos quentes foram causados por variações orbitais lentas (multi-milenares). A sombra cinza com linhas brancas diagonais mostra faixas *muito prováveis* para reconstruções de temperatura.

Painel b): Mudanças na temperatura da superfície global nos últimos 170 anos (linha preta) relativas a 1850–1900 e com médias anuais, comparadas com simulações de modelos climáticos do CMIP6 (ver Quadro SPM.1) da resposta da temperatura tanto para agentes causadores humanos e naturais (em marrom), e para agentes causadores naturais apenas (atividades solares e vulcânicas, em verde). As linhas com cores fortes mostram a média multi-modelo, e as sombras coloridas mostram o intervalo *muito provável* de simulações (ver Figura SPM.2 para as contribuições avaliadas ao aquecimento).
{2.3.1, 3.3, Quadro Transversal 2.3, Quadro Interseccional TS.1, Figura 1a, TS.2.2}

O aquecimento observado é causado por emissões de atividades humanas, com o aquecimento por gases de efeito estufa parcialmente mascarado pelo resfriamento pelos aerossóis

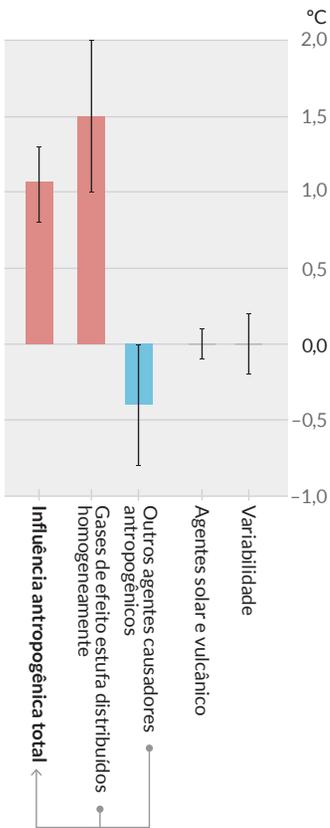
Aquecimento observado

(a) Aquecimento observado em 2010-2019 com relação a 1850-1900



Contribuições ao aquecimento com base em duas abordagens complementares

(b) Contribuições agregadas ao aquecimento de 2010-2019 com relação a 1850-1900, avaliadas a partir de estudos de atribuição



(c) Contribuições ao aquecimento de 2010-2019 com relação a 1850-1900, avaliadas a partir de estudos de forçante radiativa

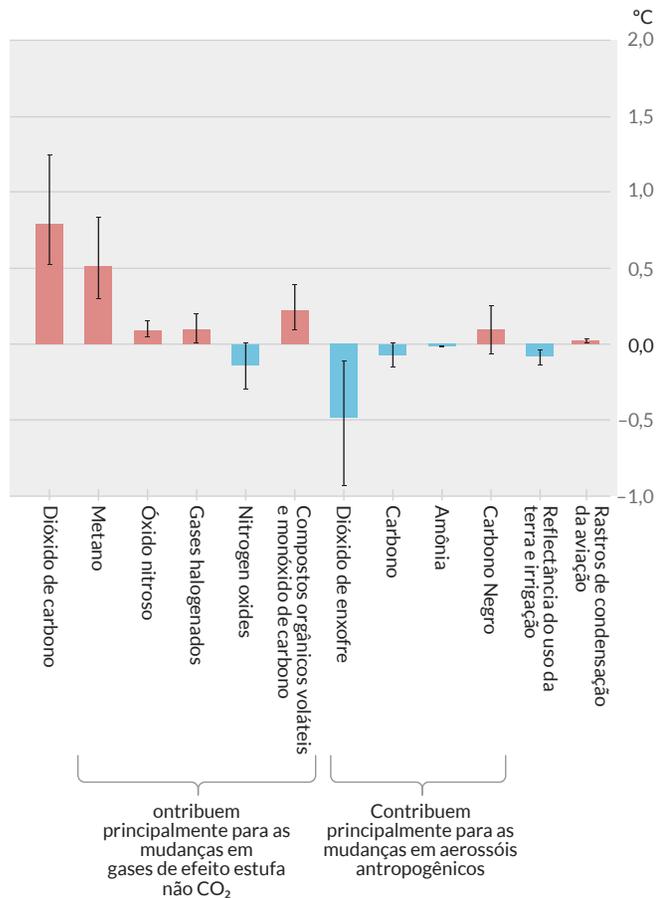


Figura SPM.2: Contribuições avaliadas ao aquecimento observado em 2010-2019 em comparação a 1850-1900.

Painel a): Aquecimento global observado (aumento da temperatura da superfície global) e seu intervalo *muito provável* {3.3.1, Quadro Transversal 2.3}.

Painel b): Evidências dos estudos de atribuição, que sintetizam a informação de modelos e observações climáticas. O painel ilustra a mudança de temperatura atribuída totalmente à influência humana, mudanças nas concentrações de gases de efeito estufa bem misturados, outros agentes causadores antropogênicos devido a aerossóis, ozônio e mudanças no uso da terra (reflectância do uso da terra), fenômenos solar e vulcânico, e variabilidade climática interna. As linhas pretas indicam intervalos *prováveis* {3.3.1}.

Painel c): Evidências da avaliação da forçante radiativa e sensibilidade climática. Este painel ilustra as mudanças de temperatura dos componentes individuais da influência humana, incluindo emissões de gases de efeito estufa, aerossóis e seus precursores; mudanças no uso da terra (reflectância do uso da terra e irrigação); e rastros de condensação da aviação.

As linhas pretas indicam intervalos *muito prováveis*. As estimativas representam tanto as emissões diretas na atmosfera como os seus efeitos, caso haja, sobre os outros agentes causadores climáticos. Para os aerossóis, tanto os efeitos diretos (via radiação) e indiretos (via interações com as nuvens) são considerados {6.4.2, 7.3}

A.2 A proporção das mudanças recentes no sistema climático como um todo e o estado atual de muitos aspectos desse sistema são sem precedentes em uma escala que vai de muitos séculos até milhares de anos.

{Quadro Transversal 2.1, 2.2, 2.3, 5.1} (Figura SPM.1)

- A.2.1 Em 2019, as concentrações atmosféricas de CO₂ foram maiores que em qualquer outro período nos últimos 2 milhões de anos, no mínimo (*confiança alta*), e as concentrações de CH₄ e N₂O foram maiores do que em qualquer outro período nos últimos 800.000 anos pelo menos (*confiança muito alta*). Desde 1750, os aumentos das concentrações de CO₂ (47%) e CH₄ (156%) excedem substancialmente, e os aumentos das concentrações de N₂O (23%) são similares, às mudanças naturais multi-milenares que ocorreram durante a transição entre os períodos glaciais e interglaciais nos últimos 800.000 anos (no mínimo) (*confiança muito alta*).
{2,2, 5,1, ST.2.2}
- A.2.2 Nos últimos 2.000 anos, no mínimo, a temperatura da superfície global aumentou mais rápido desde 1970 do que em qualquer outro período de 50 anos (*confiança alta*). Durante a década mais recente (2011–2020), as temperaturas excederam as do último período multi-secular mais quente (cerca de 6.500 anos atrás)¹³ [0,2°C a 1°C em referência a 1850–1900] (*confiança média*). Antes disso, o período mais quente tinha sido há 125.000 anos, quando a temperatura multi-secular [0,5°C a 1,5°C com referência a 1850–1900] se sobrepõe às observações da década mais recente (*confiança média*).
{Quadro Transversal 2.1, 2.3, Quadro Interseccional TS.1} (Figura SPM.1)
- A.2.3 Em 2011–2020, a área anual média de gelo marinho no Ártico chegou a sua menor extensão desde pelo menos 1850 (*confiança alta*). No verão mais recente, a área de gelo marinho no Ártico foi a menor em pelo menos 1.000 anos (*confiança média*). A característica global do recuo das geleiras, com quase todos os glaciares do mundo retraindo ao mesmo tempo desde a década de 50, é sem precedentes nos últimos 2.000 anos, no mínimo (*confiança média*).
{2,3, TS.2.5}
- A.2.4 Desde 1900, o nível global médio do mar subiu mais rápido do que em qualquer outro século nos últimos 3.000 anos, no mínimo (*confiança alta*). O oceano global se aqueceu mais rápido ao longo do último século do que desde o fim da última transição deglacial (cerca de 11.000 anos atrás) (*confiança média*). Ocorreu um aumento a longo prazo do pH da superfície do oceano aberto nos últimos 50 milhões de anos (*confiança alta*), mas nos últimos 2 milhões de anos um nível de pH tão baixo quanto o das últimas décadas é incomum (*confiança média*).
{2,3, TS.2.4, Quadro TS.4}

A.3 A mudança do clima causada pelo homem já está afetando muitos extremos de tempo e clima em todas as regiões do planeta. As evidências das mudanças observadas em eventos extremos como ondas de calor, precipitação intensa, secas, e ciclones tropicais, e, principalmente, sua atribuição à influência humana, ficaram mais fortes desde o AR5.

{2.3, 3.3, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, Quadro 8.1, Quadro 8.2, Quadro 9.2, 10.6, 11.2, 11.3, 11.4, 11.6, 11.7, 11.8, 11.9, 12.3} (Figura SPM.3)

- A.3.1 É *praticamente certo* que extremos de calor (incluindo as ondas de calor) se tornaram mais frequentes e mais intensos na maioria das regiões terrestres desde a década de 50, enquanto os extremos de frio (incluindo as ondas de frio) se tornaram menos frequentes e menos rigorosas, com *confiança alta* que mudança do clima induzida pela atividade humana é a principal causadora¹⁴ dessas alterações. Seria *extremamente improvável* que alguns dos extremos de calor observados recentemente na última década acontecessem sem a influência humana sobre o sistema climático. A frequência das ondas de calor marinhas praticamente dobrou desde a década de 80 (*confiança alta*), e *muito provavelmente* a influência humana contribuiu para a maioria delas desde 2006, pelo menos.
{Quadro 9.2, 11.2, 11.3, 11.9, TS.2.4, TS.2.6, Quadro TS.10} (Figura SPM.3)

¹³ De acordo com a sessão B.1, mesmo no cenário SSP1-1.9 (de emissões muito baixas), avalia-se que as temperaturas permanecerão acima das temperaturas das décadas mais recentes até pelo menos o ano de 2100, e, portanto, mais altas que as do período de escala de século, há 6.500 anos.

¹⁴ Ao longo deste documento, 'principal causador' significa ser responsável por mais de 50% de determinada mudança.

- A.3.2 A frequência e a intensidade de eventos de precipitações intensas aumentaram desde a década de 50 na maioria das regiões terrestres onde os dados observacionais são suficientes para uma análise de tendência (*confiança alta*), e a mudança do clima causada pelo homem é *provavelmente* a principal causa. A mudança do clima causada pelo homem contribuiu para aumentos das secas agrícola e ecológica¹⁵ em algumas regiões devido ao aumento de evapotranspiração terrestre¹⁶ (*confiança média*). {8.2, 8.3, 11.4, 11.6, 11.9, TS.2.6, Quadro TS.10} (Figura SPM.3)
- A.3.3 As diminuições na precipitação de monção global terrestre¹⁷ desde a década de 50 até a década de 80 foram parcialmente atribuídas às emissões antropogênicas de aerossóis no Hemisfério Norte, mas os aumentos desde então resultam do aumento das concentrações de GEE e da variabilidade interna decenal e multi-decenal (*confiança média*). No Sul da Ásia, Ásia Oriental e África Ocidental, aumentos na precipitação de monção devido ao aquecimento causado por emissões de GEE foram compensados pela diminuição da precipitação de monção devido ao resfriamento das emissões de aerossóis antropogênicos ao longo do século XX (*confiança alta*). Aumentos na precipitação de monção na África Ocidental desde a década de 80 devem-se, em parte, à influência crescente dos GEE e às reduções no efeito de resfriamento das emissões de aerossóis antropogênicos na Europa e América do Norte (*confiança média*). {2.3, 3.3, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, Quadro 8.1, Quadro 8.2, 10.6, Quadro TS.13}
- A.3.4 É *provável* que a proporção global da ocorrência de grandes ciclones tropicais (Categoria 3–5) tenha aumentado nas últimas quatro décadas, e a latitude em que os ciclones tropicais no Pacífico Norte ocidental atingem a sua intensidade máxima tenha se deslocado em direção ao norte; essas mudanças não são explicadas apenas pela variabilidade interna (*confiança média*). Há *baixa confiança* nas tendências de longo prazo (sejam multi-decenais ou centenais) referentes à frequência de ciclones tropicais de todas as categorias. Estudos de atribuição de eventos e compreensão física indicam que a mudança do clima causada pelo homem aumenta a precipitação intensa associada a ciclones tropicais (*confiança alta*) mas as limitações de dados impedem a detecção clara de tendências passadas em escala global. {8.2, 11.7, Quadro TS.10}
- A.3.5 Desde os anos 50, a influência humana *provavelmente* aumentou a chance de eventos extremos compostos¹⁸. Isso inclui a frequência de ondas de calor e secas concomitantemente em escala global (*confiança alta*); “risco de incêndio” em algumas regiões de todos os continentes habitados (*confiança média*); e inundações compostas em algumas localidades (*confiança média*). {11.6, 11.7, 11.8, 12.3, 12.4, TS.2.6, Tabela TS.5, Quadro TS.10}

15 Seca agrícola e ecológica (dependendo do bioma afetado): período de déficit anormal de umidade no solo, resultado da combinação de escassez de chuva e excesso de evapotranspiração, que durante o período de crescimento afeta a produção agrícola ou a função do ecossistema em geral. As mudanças observadas nas secas meteorológicas (déficits de precipitação) e hidrológicas (déficits de vazão) diferem das observadas nas secas agrícola e ecológica, sendo abordadas no material complementar deste AR6 (Capítulo 11).

16 Processo combinado através do qual a água é transferida de superfícies de água livre e gelo, solo descoberto e vegetação (que compõem a superfície da Terra) para a atmosfera.

17 A monção global é definida como a área onde a faixa anual de precipitação (verão local menos inverno local) é maior que 2,5 mm/dia–1. A precipitação de monção global terrestre refere-se à precipitação média em áreas terrestres dentro da monção global.

18 Eventos extremos compostos são uma combinação de múltiplos agentes causadores e/ou ameaças que favorecem riscos sociais ou ambientais. Alguns exemplos desses eventos são ondas de calor e secas concomitantemente, inundações compostas (p. ex., uma maré de tempestade combinada com chuvas extremas e/ou fluxos de rio), condições compostas de risco de incêndio (p. ex., uma combinação de condições de calor, seca e ventos), ou extremos simultâneos em localidades diferentes.

A mudança do clima já está afetando todas as regiões habitadas do planeta, com a influência humana contribuindo para muitas das mudanças observadas nos extremos de tempo e clima

Tipo de mudança observada

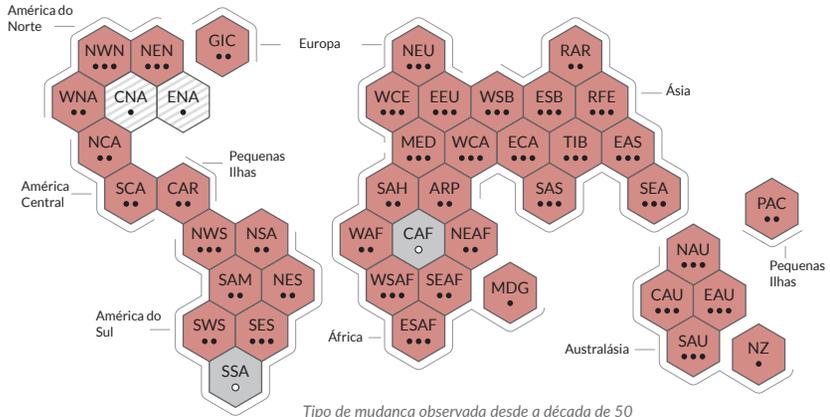
Em extremos de calor

- Aumento (41)
- Diminuição (0)
- Baixa concordância quanto ao tipo de mudança (2)
- Dados e/ou literatura insuficientes (2)

Confiança na contribuição humana às mudanças observadas

- Alta
- Média
- Baixa devido à pouca concordância
- Baixa devido a evidências limitadas

(a) Síntese da avaliação da mudança observada em **extremos de calor** e confiança na contribuição humana às mudanças observadas nas regiões do planeta



Tipo de mudança observada desde a década de 50

Tipo de mudança observada

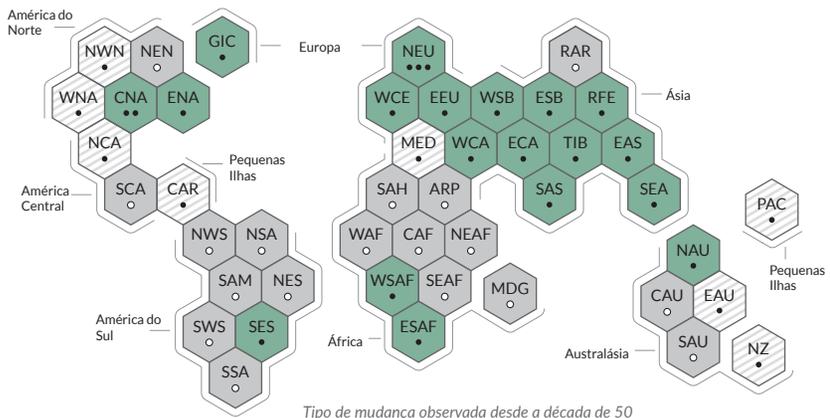
na precipitação intensa

- Aumento (19)
- Diminuição (0)
- Baixa concordância quanto ao tipo de mudança (8)
- Dados e/ou literatura insuficientes (18)

Confiança na contribuição humana às mudanças observadas

- Alta
- Média
- Baixa devido à pouca concordância
- Baixa devido a evidências limitadas

(b) Síntese da avaliação da mudança observada na **precipitação intensa** e confiança na contribuição humana às mudanças observadas nas regiões do planeta



Tipo de mudança observada desde a década de 50

Tipo de mudança observada

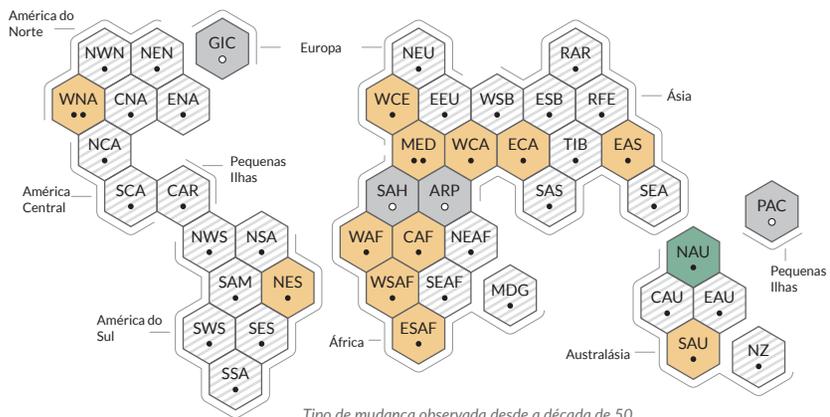
na seca agrícola e ecológica

- Aumento (12)
- Diminuição (1)
- Baixa concordância quanto ao tipo de mudança (28)
- Dados e/ou literatura insuficientes (4)

Confiança na contribuição humana às mudanças observadas

- Alta
- Média
- Baixa devido à pouca concordância
- Baixa devido a evidências limitadas

(c) Síntese da avaliação da mudança observada na **seca agrícola e ecológica** e confiança na contribuição humana às mudanças observadas nas regiões do planeta



Tipo de mudança observada desde a década de 50

Cada hexágono corresponde a uma das regiões de referência do Sexto Relatório de Avaliação do Grupo de Trabalho I do IPCC com contribuições do Grupo de Trabalho I

NWN Noroeste da América do Norte

Regiões de referência do Sexto Relatório de Avaliação do Grupo de Trabalho I do IPCC: **América do Norte:** NWN (Noroeste da América do Norte), NEN (Nordeste da América do Norte), WNA (Oeste da América do Norte), CNA (América do Norte Central), ENA (Leste da América do Norte), **América Central:** NCA (Noroeste da América Central), SCA (Sul da América Central), CAR (Caribe), **América do Sul:** NWS (Noroeste da América do Sul), NSA (Norte da América do Sul), NES (Nordeste da América do Sul), SAM (Monção da América do Sul), SWS (Sudoeste da América do Sul), SES (Sudeste da América do Sul), SSA (Sul da América do Sul), **Europa:** GIC (Groenlândia/Islandia), NEU (Norte da Europa), WCE (Europa Ocidental e Central), EEU (Europa Oriental), MED (Mediterrâneo), **África:** MED (Mediterrâneo), SAH (Saara), WAF (África Ocidental), CAF (África Central), NEAF (Nordeste da África), SEAF (Sudeste da África), WSAF (África Austral Ocidental), ESAF (África Austral Oriental), MDG (Madagascar), **Ásia:** RAR (Ártico Russo), WSB (Sibéria Ocidental), ESB (Sibéria Oriental), RFE (Extremo Oriente Russo), WCA (Ásia Central Ocidental), ECA (Ásia Central Oriental), TIB (Platô Tibetano), EAS (Ásia Oriental), ARP (Península Árabe), SAS (Ásia Meridional), SEA (Sudeste Asiático), **Australásia:** NAU (Norte da Austrália), CAU (Austrália Central), EAU (Austrália Oriental), SAU (Austrália Meridional), NZ (Nova Zelândia), **Pequenas Ilhas:** CAR (Caribe), PAC (Pequenas Ilhas do Pacífico)

Figura SPM.3: Síntese das mudanças regionais observadas avaliadas e atribuíveis.

No Sexto Relatório de Avaliação do IPCC com contribuições do Grupo de Trabalho I, as regiões habitadas são apresentadas como **hexágonos** com dimensões idênticas e em sua localização geográfica aproximada (ver legenda para as siglas regionais). Todas as avaliações foram feitas para as regiões como um todo e para a década de 50 até o momento. Avaliações feitas em escalas de tempo diferentes ou mais espaciais podem diferir do mostrado na figura. As **cores** em cada painel representam os quatro resultados da avaliação das mudanças observadas. Os hexágonos com listras claras em cinza claro e branco representam *baixa concordância* no tipo de mudança para a região como um todo, e os hexágonos em cinza representam dados e/ou literatura insuficientes, o que impede uma avaliação da região como um todo. As outras cores indicam, no mínimo, *confiança média* na mudança observada. O **nível de confiança** da influência humana sobre essas mudanças observadas baseia-se em avaliar a detecção e atribuição de tendências e literatura de atribuição de eventos, e é indicada pelo número de pontos: três pontos para *confiança alta*, dois pontos para *confiança média* e um ponto para *confiança baixa* (ponto cheio: concordância limitada; ponto vazio: evidência insuficiente).

Painel a) Para os extremos de calor, as evidências são, em sua maioria, extraídas das mudanças nas métricas baseadas em temperaturas máximas diárias; estudos regionais usando outros índices (duração da onda de calor, frequência e intensidade) também são utilizados. Os hexágonos vermelhos indicam regiões onde há no mínimo *confiança média* em um aumento observado em extremos de calor.

Painel b) Para a precipitação intensa, as evidências são, em sua maioria, extraídas das mudanças em índices baseados em precipitação de um dia ou cinco dias, com o uso de estudos regionais e globais. Os hexágonos verdes indicam regiões onde há no mínimo *confiança média* em um aumento observado em precipitações intensas.

Painel c) Secas agrícolas e ecológicas são avaliadas com base em mudanças observadas e simuladas na umidade total da coluna de solo, complementada por dados relativos a alterações na umidade da superfície do solo, balanço hídrico (precipitação menos evapotranspiração) e índices obtidos por precipitação e demanda evaporativa da atmosfera. Os hexágonos amarelos representam as regiões onde há, no mínimo, *confiança média* na observação de um aumento desse tipo de seca, e os hexágonos verdes indicam as regiões onde há, no mínimo, *confiança média* na observação de uma diminuição das secas agrícola e ecológica. Para todas as regiões, a tabela ST.5 ilustra uma faixa mais ampla de mudanças observadas, além das mudanças representadas nesta figura. Observe que SSA é a única região que não demonstra as mudanças observadas nas métricas representadas nesta figura, mas é afetada pelas mudanças observadas na temperatura média, diminuições do gelo, e aumento de ondas de calor marinhas.

{11.9, Tabela TS.5, Quadro TS.10, Figura 1, Atlas 1.3.3, Figura Atlas.2}

A.4 O conhecimento aprimorado dos processos climáticos, as evidências paleoclimáticas, e a resposta do sistema climático ao aumento da forçante radiativa oferece uma melhor estimativa da sensibilidade climática de equilíbrio de 3°C com uma faixa mais estreita em comparação com o AR5. {2.2, 7.3, 7.4, 7.5, Box 7.2, Quadro Transversal 9.1, 9.4, 9.5, 9.6}

A.4.1 A forçante radiativa antropogênica de 2,72 W [1,96 a 3,48] m⁻² em 2019 aqueceu o sistema climático, em comparação a 1750. Esse aquecimento deveu-se principalmente às maiores concentrações de GEE, reduzidas parcialmente por resfriamento devido ao aumento das concentrações de aerossóis. A forçante radiativa aumentou em 0,43 W m⁻² (19%) em comparação ao AR5, dos quais 0,34 W m⁻² deve-se ao aumento das concentrações de GEE desde 2011. O restante deve-se à melhor compreensão científica e mudanças na avaliação da forçante de aerossóis, que inclui diminuições na concentração e refinamento de seus cálculos (*confiança alta*).

{2.2, 7.3, TS.2.2, TS.3.1}

A.4.2 A forçante radiativa positiva antropogênica líquida provoca um acúmulo adicional de energia (aquecimento) no sistema climático, parcialmente reduzida pelo aumento da perda de energia para o espaço em resposta ao aquecimento da superfície. A taxa média observada de aquecimento do sistema climático aumentou de 0,50 W [0,32 a 0,69] m⁻² no período 1971–2006¹⁹, para 0,79 W [0,52 a 1,06] m⁻² no período 2006–2018²⁰ (*confiança alta*). O aquecimento dos oceanos foi responsável por 91% do aquecimento do sistema climático, com o aquecimento terrestre, a perda de gelo, e o aquecimento atmosférico sendo responsáveis por cerca de 5%, 3% e 1%, respectivamente (*confiança alta*).

{7.2, Quadro 7.2, TS.3.1}

A.4.3 O aquecimento do sistema climático causou um aumento do nível médio do mar por conta da perda de gelo nos continentes e expansão térmica do aquecimento do oceano. A expansão térmica explica 50% do aumento do nível do mar durante 1971–2018, enquanto a perda de gelo dos glaciares contribuiu com 22%, dos mantos de gelo com 20% e as mudanças no armazenamento de água nos continentes com 8%. A taxa da perda de mantos de gelo quadruplicou entre 1992–1999 e 2010–2019. Juntas, as perdas de massa de gelo dos mantos e glaciares foram os principais fatores que contribuíram para o aumento do nível médio do mar durante 2006–2018. (*confiança alta*)

{Quadro Transversal 9.1, 9.4, 9.5, 9.6}

A.4.4 A sensibilidade climática de equilíbrio é uma medida importante usada para estimar como o clima responde à forçante radiativa. Com base em múltiplas linhas de evidência²¹, a faixa *muito provável* dessa sensibilidade climática de equilíbrio está entre 2°C (*confiança alta*) e 5°C (*confiança média*). A melhor estimativa avaliada pelo AR6 é de 3°C com uma faixa *provável* de 2,5°C a 4°C (*confiança alta*), em comparação à faixa de 1,5°C a 4,5°C do AR5, que não forneceu uma melhor estimativa.

{7.4, 7.5, TS.3.2}

¹⁹ aumento cumulativo de energia de 282 ZJ [177 a 387] em 1971–2006 (1 ZJ = 10²¹ J).

²⁰ aumento cumulativo de energia de 152 ZJ [100 a 205] ZJ em 2006–2018.

²¹ Compreensão dos processos climáticos, o registro instrumental, os registros paleoclimáticos e limitações emergentes baseadas em modelos (ver em Glossário).

B. Possíveis Futuros Climáticos

Neste relatório, considerou-se reiteradamente um conjunto de cinco novos cenários ilustrativos de emissões a fim de investigar como o clima responderá a uma gama maior de gases de efeito estufa (GEE), futuro do uso da terra e poluição do ar em comparação ao AR5. Esse conjunto de cenários norteia os modelos de projeções da mudança do clima no sistema climático. Essas projeções consideram a atividade solar e a forçante negativa de vulcões. Os resultados do século XXI são demonstrados para o curto prazo (2021–2040), meio prazo (2041–2060) e longo prazo (2081–2100), com 1850–1900 como referência, salvo indicação em contrário.

Quadro SPM.1: Cenários, Modelos e Projeções Climáticas

Quadro SPM.1.1: Este relatório avalia a resposta climática a cinco cenários ilustrativos que incluem uma gama de possíveis futuros desenvolvimentos de fatores antropogênicos das mudanças climáticas encontrados na literatura. Eles começam em 2015, e incluem cenários²² com emissões altas e muito altas de GEE (SSP3-7.0 e SSP5-8.5) e emissões de CO₂ que praticamente dobram a partir dos níveis atuais até 2100 e 2050, respectivamente; cenários com emissões intermediárias de GEE (SSP2-4.5) e emissões de CO₂ que se mantêm nos níveis atuais até metade do século; e cenários com emissões baixas e muito baixas de GEE, e emissões de CO₂ que decaem até alcançar emissão líquida zero em 2050, ou após esse ano, seguidas de níveis variáveis de emissões líquidas negativas de CO₂²³ (SSP1-1.9 e SSP1-2.6), conforme a figura SPM.4. As emissões variam de acordo com os cenários, em função de hipóteses socioeconômicas, níveis de mitigação à mudança do clima, e, no caso de aerossóis e precursores não-metano de ozônio, controles de poluição atmosférica. Hipóteses alternativas podem resultar em emissões e respostas climáticas semelhantes, mas as hipóteses socioeconômicas e a viabilidade ou probabilidade de cenários individuais não fazem parte da avaliação. {TS.1.3, 1.6, Quadro Transversal 1.4} (Figura SPM.4)

Quadro SPM.1.2: Este relatório avalia os resultados de modelos climáticos que fazem parte da sexta fase do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (doravante referido por sua sigla em inglês: CMIP6) do Programa Mundial de Pesquisa Climática. Esses modelos incluem novas e melhores representações de processos físicos, químicos e biológicos, em resolução mais alta, em comparação aos modelos climáticos considerados em relatórios anteriores do IPCC. Isso melhorou a simulação do estado médio recente da maioria dos indicadores de grande escala da mudança do clima e de muitos outros aspectos do sistema climático. Algumas diferenças das observações permanecem, como por exemplo os padrões de precipitação regional. As simulações históricas do CMIP6 avaliadas neste relatório têm um conjunto de variação média da temperatura da superfície global de 0,2°C das observações durante a maior parte do período histórico, e o aquecimento observado está dentro da faixa *muito provável* do conjunto do CMIP6. No entanto, alguns modelos do CMIP6 simulam um aquecimento que está acima ou abaixo da faixa de aquecimento observado avaliada como *muito provável*.

{1.5, Quadro Transversal 2.2, 3.3, 3.8, TS.1.2, Quadro Interseccional TS.1} (Figura SPM.1 b, Figura SPM.2)

Quadro SPM.1.3: Os modelos do CMIP6 considerados neste relatório têm uma faixa maior de sensibilidade climática que a dos modelos do CMIP5 e da faixa avaliada como *muito provável* pelo AR6, que se baseia em múltiplas linhas de evidências. Esses modelos do CMIP6 também apresentam uma sensibilidade climática média maior que a do CMIP5 e a melhor estimativa avaliada pelo AR6. Os maiores valores de sensibilidade climática do CMIP6 em comparação ao CMIP5 podem ser encontrados em um *feedback* amplificado de nuvens, que no CMIP6 é cerca de 20% maior.

{Quadro 7.1, 7.3, 7.4, 7.5, TS.3.2}

Quadro SPM.1.4: Pela primeira vez em um relatório do IPCC, as mudanças futuras avaliadas na temperatura da superfície global, no aquecimento dos oceanos e no nível do mar são produzidas pela combinação de projeções de vários modelos com limitações observacionais baseadas em um aquecimento simulado anterior, bem como na avaliação do AR6 sobre a sensibilidade climática. Para outras quantidades, esses métodos robustos não existem ainda para limitar as projeções. Ainda assim, os padrões geográficos robustos projetados das muitas variáveis podem ser identificados em um determinado nível de aquecimento global, comuns a todos os cenários considerados e independente de tempo quando o nível de aquecimento global é atingido.

{1.6, Quadro 4.1, 4.3, 4.6, 7.5, 9.2, 9.6, Quadro Transversal 11.1, Quadro Interseccional TS.1}

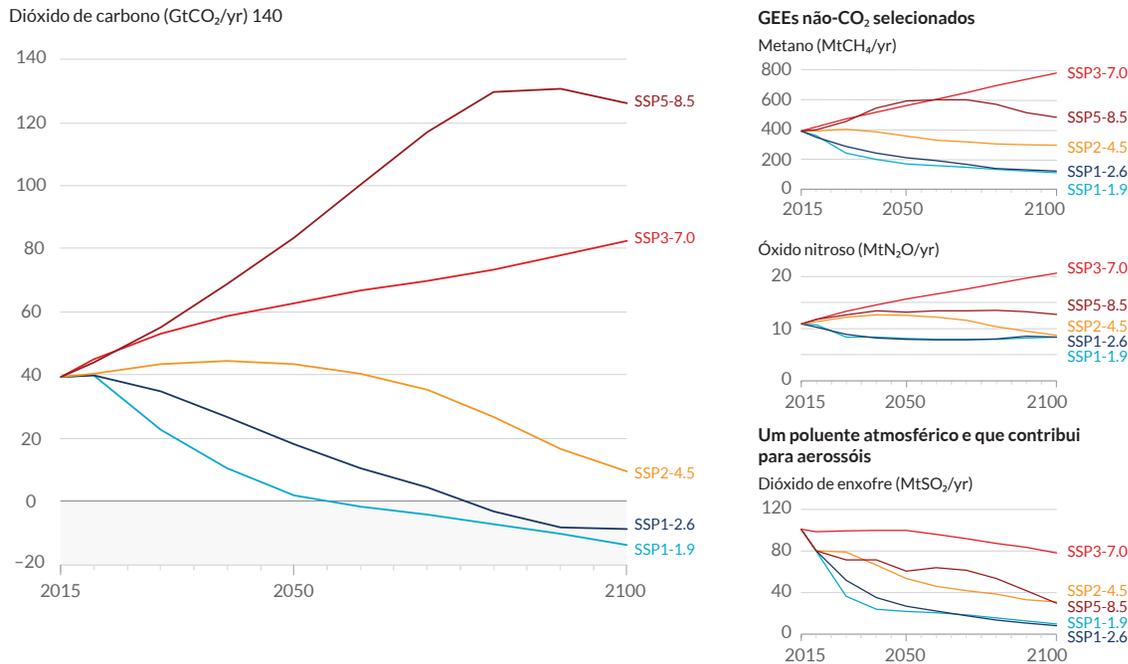
22 Neste relatório, os cinco cenários ilustrativos são chamados de SSPx-y, onde SSPx se refere a SSP, que significa “Shared Socio-economic Pathway”, ou Trajetória Socioeconômica Compartilhada em português, que descreve as tendências socioeconômicas inerentes ao cenário, e ‘y’ se refere ao nível aproximado de forçante radiativa (em W m⁻²) resultante do cenário no ano de 2100. As Seções ST1.3, 1.6 e 4.6 trazem uma comparação detalhada dos cenários usados em relatórios anteriores do IPCC. As SSPs representativas dos cenários específicos de forçante utilizados para conduzir modelos climáticos não são avaliadas pelo GTI. Em vez disso, a classificação como SSPx-y garante rastreabilidade à literatura complementar em que trajetórias específicas de forçantes são usadas como subsídio para os modelos climáticos. O IPCC é neutro no que diz respeito às hipóteses estruturais das SSPs, que não cobrem todos os cenários possíveis. Cenários alternativos podem ser considerados ou desenvolvidos.

23 Alcançam-se emissões líquidas negativas de CO₂ quando as remoções antropogênicas de CO₂ excedem as emissões antropogênicas. [Glossário]

Quadro SPM.1 (continuação)

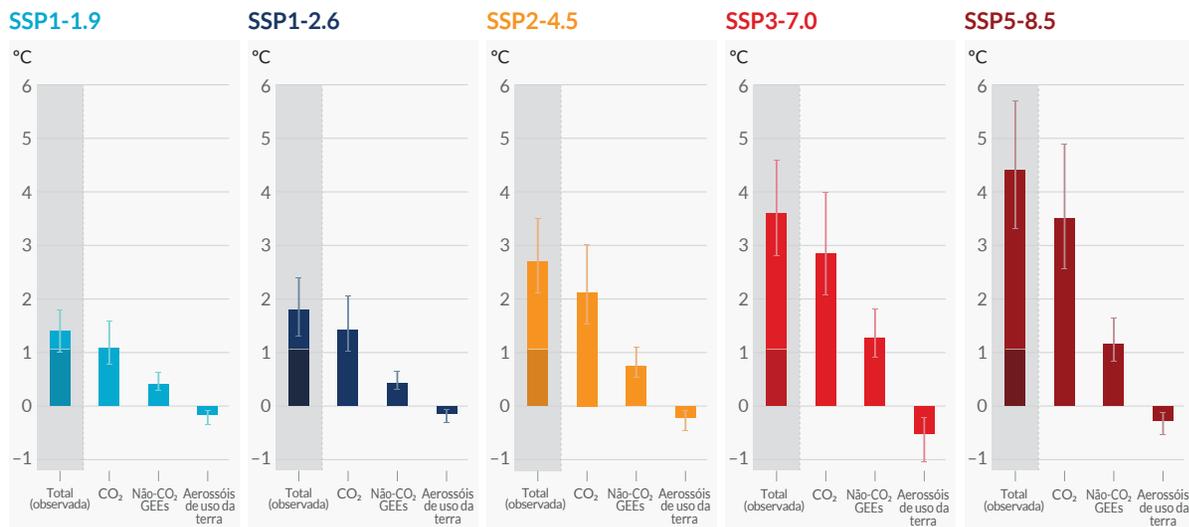
Futuras emissões causam um aquecimento adicional futuro, com o aquecimento total dominado por emissões pretéritas e futuras de CO₂

(a) Futuras emissões anuais de CO₂ (à esquerda) e de um subconjunto dos principais gases causadores não-CO₂ (à direita), nos cinco cenários ilustrativos



(b) Contribuição para o aumento da temperatura da superfície global a partir de diferentes emissões, com papel dominante das emissões de CO₂

Mudanças na temperatura da superfície global em 2081-2100 em relação a 1850-1900 (°C)



Aquecimento total (em cores escuras: o aquecimento observado até o momento), aquecimento por CO₂, aquecimento por GEE não-CO₂, e resfriamento por mudanças causadas por aerossóis e uso da terra

Figura SPM.4: Contribuições das futuras emissões antropogênicas dos principais causadores de mudança do clima e aquecimento por grupos de agentes causadores para os cinco cenários ilustrativos usados neste relatório.

Os cinco cenários são SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 e SSP5-8.5.

Painel a) Emissões anuais antropogênicas (causadas pelo homem) no período 2015–2100. As emissões demonstradas são trajetórias de dióxido de carbono (CO₂) de todos os setores (GtCO₂/ano) (gráfico à esquerda) e de um subconjunto de três agentes principais não- CO₂ considerados nos cenários: metano (CH₄, MtCH₄/ano, gráfico superior à direita), óxido nítrico (N₂O, MtN₂O/ano, gráfico central à direita) e dióxido de enxofre (SO₂, MtSO₂/ano, gráfico inferior à direita, que contribui com os aerossóis antropogênicos no Painel b).

Painel b) As contribuições ao aquecimento por grupos de agentes causadores antropogênicos e por cenário são demonstradas como mudança na temperatura da superfície global (°C) em 2081–2100 com relação a 1850–1900, com a indicação do aquecimento observado até o momento. As barras e linhas representam, respectivamente, valores médios e a faixa *muito provável* . Dentro de cada caixa de cenário, as barras representam o total de aquecimento global (°C; barra total) (ver Tabela SPM.1) e as contribuições ao aquecimento (°C) das mudanças em CO₂ (barra de CO₂), dos GEE não-CO₂ (a barra de GEE não-CO₂ compreende os gases de efeito estufa distribuídos homogênea e ozônio) e do resfriamento líquido causado por outros agentes antropogênicos (representados pela barra de aerossóis e uso da terra; aerossóis antropogênicos, mudanças na reflectância devido à mudanças no uso da terra e irrigação, e rastros de condensação da aviação; ver Figure SPM.2, Painel c, para as contribuições até o momento de cada agente individualmente). A melhor estimativa para o aquecimento observado em 2010–2019 em comparação a 1850–1900 (ver Figura SPM.2, Painel a) aparece indicada na coluna mais escura da barra de aquecimento total. No Painel b, as contribuições ao aquecimento são calculadas de acordo com a explicação da Tabela SPM.1 para a barra total. Para as outras barras, a contribuição por grupos de agentes causadores é calculada com um emulador de clima físico da temperatura da superfície global, que se baseia em avaliações da sensibilidade climática e forçante radiativa.

{Quadro Transversal 1.4, 4.6, Figura 4.35, 6.7, Figura 6.18, 6.22 e 6.24, Quadro Transversal 7.1, 7.3, Figura 7.7, Quadro TS.7, Figuras TS.4 e TS.15}

B.1 A temperatura da superfície global continuará a subir até pelo menos a metade do século em todos os cenários de emissões considerados. Os aquecimentos globais de 1,5°C e 2°C serão excedidos no século XXI caso não ocorram reduções consideráveis de CO₂ e outros gases de efeito estufa nas próximas décadas.

{2.3, Quadro Transversal 2.3, Quadro Transversal 2.4, 4.3, 4.4, 4.5} (Figura SPM.1, Figura SPM.4, Figura SPM.8, Tabela SPM.1, Quadro SPM.1)

B.1.1 Em comparação a 1850–1900, é *muito provável* que a temperatura média da superfície global em 2081–2100 aumente de 1,0°C a 1,8°C no cenário de emissões muito baixas de GEE que foi considerado (SSP1-1.9); de 2,1°C a 3,5°C no cenário intermediário (SSP2-4.5); e de 3,3°C a 5,7°C no cenário de emissões muito altas de GEE (SSP5-8.5)²⁴. A última vez que a temperatura da superfície global ficou estacionada em 2,5°C, ou 2,5°C acima da temperatura de 1850–1900, foi há mais de 3 milhões de anos (*confiança média*).

{2.3, Quadro Transversal 2.4, 4.3, 4.5, Quadro TS.2, Quadro TS.4, Quadro Interseccional TS.1} (Tabela SPM.1)

Tabela SPM.1: Mudanças na temperatura da superfície global, que foram avaliadas com base em múltiplas linhas de evidências, para intervalos selecionados de tempo de 20 anos cada e considerando cinco cenários ilustrativos de emissões. As diferenças de temperatura em comparação à média da temperatura da superfície global do período de referência 1850–1900 são reportadas em °C. Isso inclui a avaliação revisada do aquecimento histórico observado no AR5 para o período de referência 1986–2005, que no AR6 aumentou em 0,08°C [–0,01 a 0,12] (ver Nota de Rodapé 10). As mudanças relativas ao período de referência recente 1995–2014 podem ser calculadas aproximadamente diminuindo 0,85°C, a melhor estimativa do aquecimento observado de 1850–1900 a 1995–2014. {Quadro Transversal 2.3, 4.3, 4.4, Quadro Interseccional TS.1}

Cenário	Curto prazo, 2021–2040		Médio prazo, 2041–2060		Longo prazo, 2081–2100	
	Melhor estimativa (°C)	Faixa Muito provável (°C)	Melhor estimativa (°C)	Faixa Muito provável (°C)	Melhor estimativa (°C)	Faixa Muito provável (°C)
SSP1-1.9	1,5	1,2 a 1,7	1,6	1,2 a 2,0	1,4	1,0 a 1,8
SSP1-2.6	1,5	1,2 a 1,8	1,7	1,3 a 2,2	1,8	1,3 a 2,4
SSP2-4.5	1,5	1,2 a 1,8	2,0	1,6 a 2,5	2,7	2,1 a 3,5
SSP3-7.0	1,5	1,2 a 1,8	2,1	1,7 a 2,6	3,6	2,8 a 4,6
SSP5-8.5	1,6	1,3 a 1,9	2,4	1,9 a 3,0	4,4	3,3 a 5,7

B.1.2 Com base na avaliação de múltiplas linhas de evidências, tendo 1850–1900 por referência, o aquecimento global de 2°C seria excedido durante o século XXI nos cenários de emissões altas e muito altas de GEE considerados neste relatório (SSP3-7.0 e SSP5-8.5, respectivamente). É *muito provável* que o aquecimento global de 2°C seja excedido no cenário intermediário (SSP2-4.5). Nos cenários de emissões baixas e muito baixas de GEE, é *extremamente improvável* que o aquecimento de 2°C seja excedido (em SSP1-1.9), ou *improvável* de ser excedido (em SSP1-2.6)²⁵. É *muito provável* que o aquecimento global de 2°C seja ultrapassado no período considerado como médio prazo (2041–2060) no cenário de emissões muito altas de GEE (SSP5-8.5), *provável* de acontecer no cenário de emissões altas (SSP3-7.0), e *mais provável que improvável* de acontecer no cenário de emissões intermediárias (SSP2-4.5)²⁶.

{4.3, Quadro Interseccional TS.1} (Tabela SPM.1, Figura SPM.4, Quadro SPM.1)

24 Salvo indicação em contrário, mudanças na temperatura da superfície global são reportadas em médias consecutivas de 20 anos.

25 SSP1-1.9 e SSP1-2.6 são cenários que começam em 2015 e apresentam emissões muito baixas e baixas de GEE e emissões de CO₂ declinando até alcançar emissões líquidas zero por volta de 2050, ou após esse ano, seguidos por níveis variados de emissões líquidas negativas de CO₂.

26 O termo "ultrapassar" é definido aqui como o momento em que a mudança da temperatura global da superfície avaliada, após uma média ao longo de um período de 20 anos, é excedida em um determinado nível de aquecimento global.

- B.1.3 Tendo como referência o período 1850-1900, o aquecimento de 1,5°C seria excedido no século XXI nos cenários considerados como de emissões intermediárias, altas e muito altas neste relatório (SSP2-4.5, SSP3-7.0 e SSP5-8.5, respectivamente). De acordo com os cinco cenários ilustrativos, no prazo considerado como de curto prazo (2021-2040), é *muito provável* que o aquecimento global de 1,5°C seja excedido no cenário de emissões muito altas de GEE (SSP5-8.5), *provável* nos cenários de emissões intermediárias e altas (SSP2-4.5 e SSP3-7.0), *mais provável que improvável* no cenário de emissões baixas (SSP1-2.6) e *mais provável que improvável* de ser alcançado no cenário de emissões muito baixas (SSP1-1.9)²⁷. Ademais, no cenário de emissões muito baixas de GEE (SSP1-1.9), é *mais provável que improvável* que a temperatura da superfície global caia para abaixo de 1,5°C até o fim do século XXI, com um *overshoot* temporário de não mais que 0,1°C acima do aquecimento global de 1,5°C.
{4.3, Quadro Interseccional TS.1} (Tabela SPM.1, Figura SPM.4)
- B.1.4 A temperatura global da superfície em um único ano pode variar acima ou abaixo da tendência antropogênica de longo prazo, devido à variabilidade natural substancial²⁸. A ocorrência de anos específicos com a ocorrência de mudança de temperatura da superfície global acima de um certo nível, por exemplo 1,5°C ou 2°C, em comparação a 1850–1900, não implica que esse nível de aquecimento foi atingido²⁹.
{Quadro Transversal 2.3, 4.3, 4.4, Quadro 4.1, Quadro Interseccional TS.1} (Tabela SPM.1, Figura SPM.1, Figura SPM.8)
- B.2 Muitas mudanças no sistema climático ficam maiores em relação direta com o aumento do aquecimento global. Entre elas, o aumento da frequência e intensidade de extremos de calor, ondas de calor marinhas, precipitação intensa, secas agrícola e ecológica em algumas regiões, e proporção de ciclones tropicais intensos, bem como reduções no gelo do oceano Ártico, na cobertura de neve e no permafrost.**
{4.3, 4.5, 4.6, 7.4, 8.2, 8.4, Quadro 8.2, 9.3, 9.5, Quadro 9.2, 11.1, 11.2, 11.3, 11.4, 11.6, 11.7, 11.9, Quadro Transversal 11.1, 12.4, 12.5, Quadro Transversal 12.1, Atlas.4, Atlas.5, Atlas.6, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Atlas.11} (Figura SPM.5, Figura SPM.6, Figura SPM.8)
- B.2.1 É *praticamente certo* que a superfície terrestre continuará a aquecer mais que a superfície dos oceanos (*provavelmente* de 1,4 a 1,7 vezes mais). É *praticamente certo* que o Ártico vai continuar a aquecer acima da temperatura da superfície global, com *confiança alta* de que será acima de duas vezes a taxa de aquecimento global.
{2.3, 4.3, 4.5, 4.6, 7.4, 11.1, 11.3, 11.9, 12.4, 12.5, Quadro Transversal 12.1, Atlas.4, Atlas.5, Atlas.6, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Atlas.11, Quadro Interseccional TS.1, TS.2.6} (Figura SPM.5)
- B.2.2 A cada incremento adicional de aquecimento global, as mudanças nos extremos continuam a aumentar. Por exemplo, cada 0,5°C adicional de aquecimento global causa aumentos claramente perceptíveis na intensidade e frequência de extremos de calor, incluindo ondas de calor (*muito provável*) e precipitação intensa (*confiança alta*), bem como secas agrícola e ecológica³⁰ em algumas regiões (*confiança alta*). Mudanças perceptíveis na intensidade e frequência das secas meteorológicas, com mais regiões demonstrando aumentos e não diminuições, são vistas em algumas regiões a cada 0,5°C adicional de aquecimento global (*confiança média*). Aumentos na frequência e intensidade das secas hidrológicas tornam-se maiores com o aumento do aquecimento global em algumas regiões (*confiança média*). Haverá um aumento na ocorrência de alguns eventos extremos sem precedentes no registro observacional com um incremento do aquecimento global, mesmo que a 1,5°C. As mudanças percentuais projetadas em relação à frequência são maiores para os eventos mais raros (*confiança alta*).
{8.2, 11.2, 11.3, 11.4, 11.6, 11.9, Quadro Transversal 11.1, Quadro Transversal 12.1, TS.2.6} (Figura SPM.5, Figura SPM.6)

27 A avaliação do AR6 de quando um determinado nível de aquecimento global é excedido pela primeira vez se beneficia da consideração dos cenários ilustrativos, das múltiplas linhas de evidência que entram na avaliação da futura resposta da temperatura global à forçante radiativa, e da estimativa aprimorada do aquecimento histórico. Logo, a avaliação do AR6 não é diretamente comparável ao SR1.5 SPM, que reportou a probabilidade de se alcançar um aquecimento global de 1,5°C entre 2030 e 2052, a partir de uma simples extrapolação linear das taxas de aquecimento do passado recente. Ao considerar cenários semelhantes ao SSP1-1.9 em vez da extrapolação linear, a estimativa do SR1.5 de quando o aquecimento global de 1,5°C é excedido pela primeira vez é próxima da melhor estimativa reportada neste relatório.

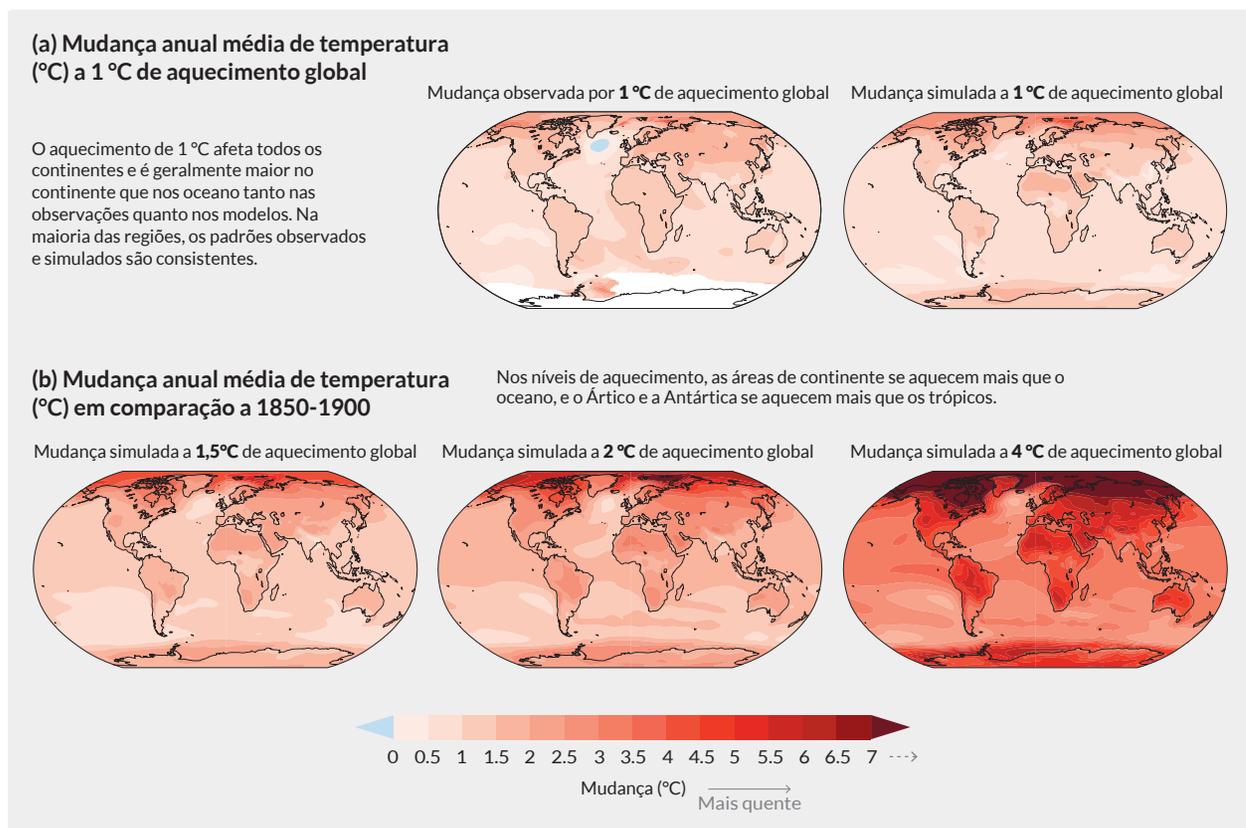
28 O termo variabilidade natural refere-se às flutuações climáticas que ocorrem sem a influência antropogênica, ou seja, variabilidade interna combinada com a resposta a fatores naturais externos como erupções vulcânicas, mudanças na atividade solar e, em escalas maiores de tempo, efeitos orbitais e placas tectônicas.

29 Estima-se que a variabilidade interna em um único ano seja $\pm 0,25^\circ\text{C}$ (faixa de 5–95%, *confiança alta*).

30 As mudanças projetadas nas secas agrícola e ecológica são avaliadas principalmente com base na umidade total da coluna de solo. Ver Nota de Rodapé 15 para a definição e relação com a precipitação e evapotranspiração.

- B.2.3 Projeta-se que algumas regiões de latitude média e semiáridas, e a região de monções da América do Sul, apresentarão os maiores aumentos de temperatura nos dias mais quentes, cerca de 1,5 a 2 vezes mais que a taxa de aquecimento global (*confiança alta*). Projeta-se que o Ártico sentirá o maior aumento na temperatura dos dias mais frios, cerca de 3 vezes mais que a taxa de aquecimento global (*confiança alta*). O incremento do aquecimento global fará a frequência das ondas de calor marinhas continuar a aumentar (*confiança alta*), especialmente nos oceanos tropicais e no Ártico (*confiança média*). {Box 9.2, 11.1, 11.3, 11.9, Quadro Transversal 11.1, Quadro Transversal 12.1, 12.4, TS.2.4, TS.2.6} (Figura SPM.5)
- B.2.4 É *muito provável* que o incremento do aquecimento global faça com que os eventos de precipitação intensa se acentuem e se tornem mais frequentes na maioria das regiões. Em escala global, projeta-se que os eventos diários de precipitação intensa se intensifiquem cerca de 7% para cada 1°C de aquecimento global (*confiança alta*). Projeta-se que a proporção de ciclones tropicais intensos (categorias 4-5) e as velocidades de pico dos ventos dos ciclones tropicais mais intensos vão aumentar em escala global com o aumento do aquecimento global (*confiança alta*). {8.2, 11.4, 11.7, 11.9, Quadro Transversal 11.1, Quadro TS.6, TS.4.3.1} (Figura SPM.5, Figura SPM.6)
- B.2.5 Projeta-se que um aquecimento adicional aumente ainda mais o degelo do *permafrost*, além da perda da cobertura de neve sazonal, de gelo nos continentes e do gelo do Ártico (*confiança alta*). Os cinco cenários ilustrativos considerados neste relatório mostram que é *provável* que o Ártico fique praticamente sem gelo em setembro³¹ por pelo menos uma vez antes de 2050, com ocorrências mais frequentes em níveis de maior aquecimento. Há *confiança baixa* na diminuição projetada do gelo marinho da Antártica. {4.3, 4.5, 7.4, 8.2, 8.4, Quadro 8.2, 9.3, 9.5, 12.4, Quadro Transversal 12.1, Atlas.5, Atlas.6, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.11, TS.2.5} (Figura SPM.8)

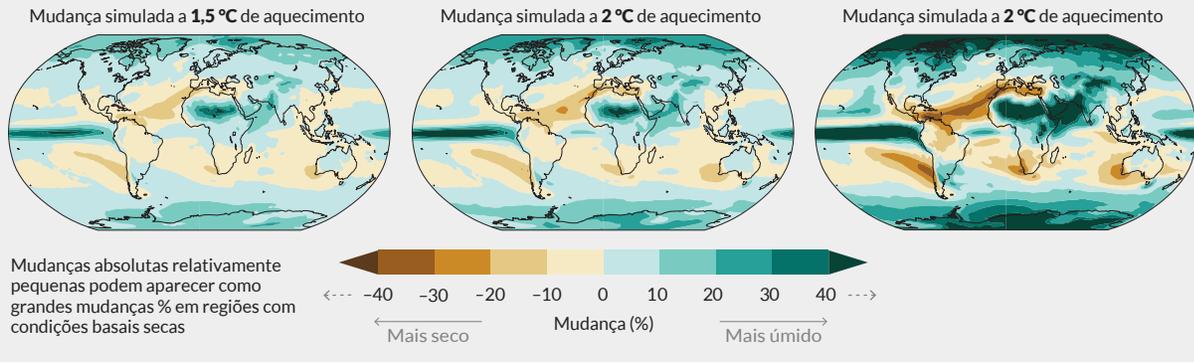
A cada incremento de aquecimento global, as mudanças aumentam na temperatura média regional, precipitação e umidade do solo



31 Área média mensal de gelo marinho de menos de 1 milhão de km², o que representa cerca de 15% da área média de gelo marinho no mês de setembro observado em 1979-1988

(c) Mudança anual média na precipitação (%) em comparação a 1850-1900

Projeta-se que a precipitação aumente em altas altitudes, região do oceano Pacífico Equatorial, e partes das regiões de monções, mas que decaia em partes dos subtropicais e áreas limitadas dos trópicos.



(d) Mudança anual média na umidade total da coluna de solo (desvio padrão)

Nos níveis de aquecimento, as mudanças na umidade do solo em grande parte acompanham as mudanças na precipitação, mas também mostram algumas diferenças devido à influência da evapotranspiração.

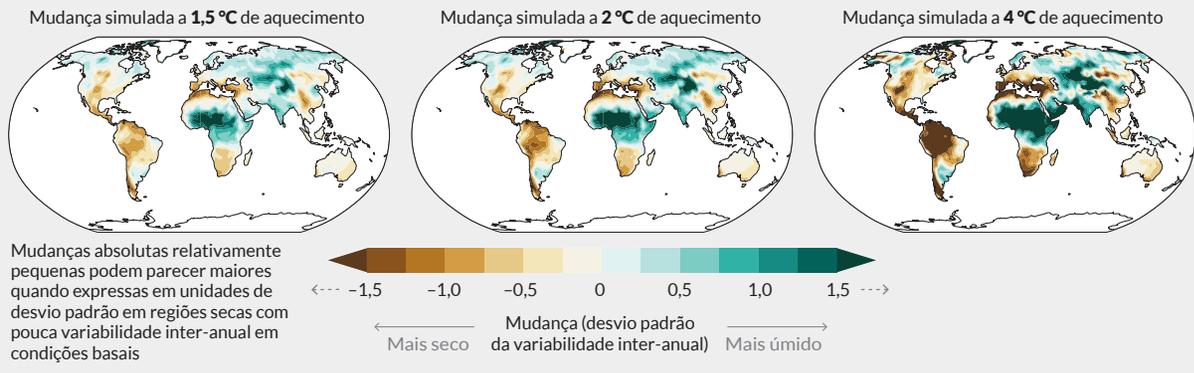


Figura SPM.5: Mudanças na temperatura média da superfície precipitação, e umidade do solo.

Painel a) Comparação entre as mudanças observadas e simuladas de temperatura média da superfície. O mapa à esquerda ilustra as mudanças observadas na temperatura média anual da superfície no período de 1850–2020 por °C de aquecimento global (°C). As mudanças locais observadas na temperatura média da superfície são regredidas linearmente em comparação à temperatura global no período 1850–2020. Os dados de temperatura observados são de Berkeley Earth, o conjunto de dados com maior cobertura e maior resolução horizontal. A regressão linear é aplicada a todos os anos para os quais há dados disponíveis no ponto de grade correspondente. O método de regressão foi usado para considerar a série temporal observacional completa e, assim, reduzir o papel da variabilidade interna no âmbito dos pontos de grade. Em branco são as áreas onde a cobertura temporal foi de 100 anos ou menos, e portanto, muito curta para calcular uma regressão linear correta. O mapa à direita baseia-se em simulações de modelos e demonstra mudança no multi-modelo anual de temperaturas médias simuladas no âmbito de um aquecimento global de 1°C (20 anos de mudança de temperatura da superfície global média em relação a 1850–1900). Os triângulos em cada ponta da barra de cores indicam valores fora dos limites, ou seja, valores acima ou abaixo dos limites determinados.

Painel b) Mudança simulada na temperatura média anual (°C), Painel c) mudança na precipitação (%), e Painel d) mudança na umidade total da coluna de solo (desvio padrão da variabilidade inter-anual) nos aquecimentos de 1,5°C, 2°C e 4°C (20 anos de mudança de temperatura da superfície global média em relação a 1850–1900). As mudanças simuladas correspondem à mudança média dos multi-modelos do CMIP6 (mudança mediana da umidade do solo) no aquecimento global correspondente, ou seja, o mesmo método do mapa à direita do Painel a).

No Painel c), grandes mudanças percentuais positivas em regiões secas podem corresponder a pequenas mudanças absolutas. No Painel d), a unidade é o desvio padrão da variabilidade inter-anual na umidade do solo durante 1850–1900. O desvio padrão é uma métrica amplamente usada na caracterização da gravidade da seca. Uma redução projetada da umidade média do solo por um desvio padrão corresponde às condições de umidade do solo típicas de secas que ocorreram cerca de uma vez a cada seis anos no período 1850–1900. No Painel d), grandes mudanças em regiões secas com pouca variabilidade inter-anual nas condições basais correspondem a uma pequena mudança absoluta. Os resultados de todos os modelos que atingem o nível de aquecimento correspondente em qualquer um dos cinco cenários ilustrativos (SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 e SSP5-8.5) são uma média. Os mapas das mudanças anuais médias de temperatura e precipitação em um aquecimento global de 3°C estão disponibilizados na Figura 4.31 e na Figure 4.32 na Seção 4.6.

Os mapas correspondentes dos Painéis b), c) e d) incluindo o sombreado que indica o nível de concordância do modelo no âmbito das quadrículas estão nas Figuras 4.31, 4.32 e 11.19, respectivamente; como destacado no quadro CC do Atlas.1, o sombreado nas quadrículas não é informativa de escalas espaciais maiores (p. ex., sobre as regiões de referência deste AR6) em que os sinais agregados são menos afetados pela variabilidade em pequena escala que conduz a um aumento de robustez.

{TS.1.3.2, Figura TS.3, Figura TS.5, Figure 1.14, 4.6.1, Quadro Transversal 11.1, Quadro Transversal Atlas.1}

Mudanças projetadas nos extremos são maiores na frequência e intensidade com cada incremento adicional de aquecimento global

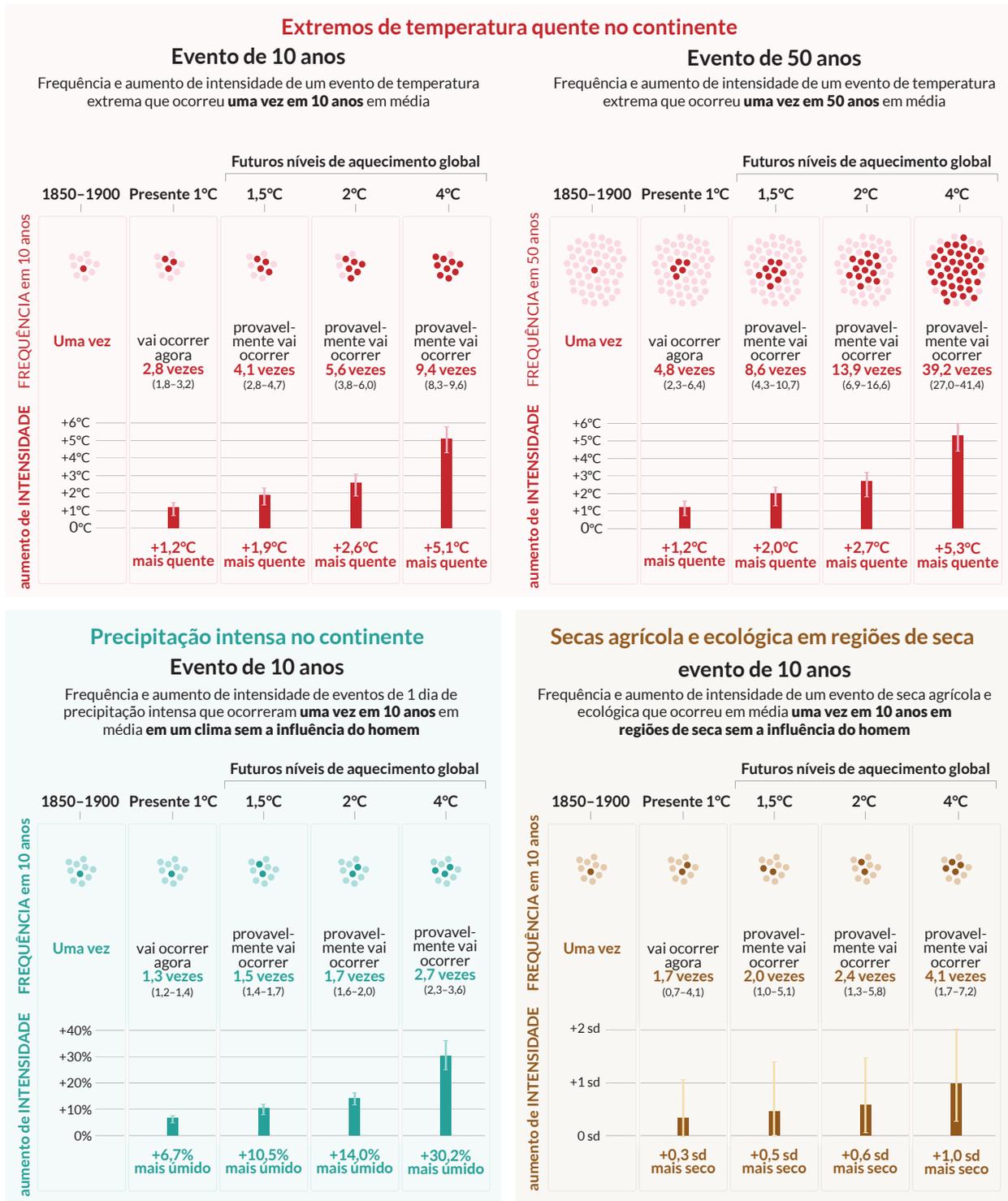


Figura SPM.6: Mudanças projetadas na intensidade e frequência dos extremos de temperatura quente no continente, precipitação extrema no continente, e secas agrícola e ecológica em regiões de seca

As mudanças projetadas são apresentadas em níveis de aquecimento global de 1°C, 1,5°C, 2°C, e 4°C em comparação a 1850-1900⁹, período que representa um clima sem a influência do homem. A figura mostra as frequências e aumentos na intensidade de eventos extremos acontecidos a cada 10 ou 50 anos desde o período de referência (1850-1900) em diferentes níveis de aquecimento global.

Os extremos de temperatura quente são definidos como temperaturas máximas diárias no continente que foram excedidas em suas médias uma vez na década (evento de 10 anos) ou vez em 50 anos (evento de 50 anos) durante o período de referência 1850-1900. **Eventos de precipitação extrema** são definidos como a precipitação diária no continente que excedeu a média uma vez na década durante o período de referência 1850-1900. **Eventos**

de seca agrícola e ecológica são definidos como aqueles em que a média anual da umidade total da coluna de solo fica abaixo do percentil 10 do período de referência 1850–1900. Esses extremos são definidos em uma escala de quadrícula no modelo. Para extremos de temperatura quente e extremos de precipitação, os resultados são apresentados de forma global. Os resultados de secas agrícolas e ecológicas são apresentados apenas para as regiões de seca, que correspondem às regiões do AR6 onde há no mínimo *confiança média* em um aumento projetado dessas secas em um aquecimento de 2°C em comparação ao período de referência 1850–1900 no CMIP6. Essas regiões incluem o oeste da América do Norte, a parte central da América do Norte, o norte da América do Norte, o sul da América Central, o Caribe, o norte da América do Sul, o nordeste da América do Sul, a região de monções da América do Sul, sudoeste da América do Sul, o sul da América do Sul, Europa Ocidental e Central, Mediterrâneo, oeste da África Austral, Madagascar, leste da Austrália, Sul da Austrália (o Caribe não está incluído no cálculo da figura por conta do número muito pequeno de células de grade de continente). As regiões que não apresentam período seco não apresentam um aumento ou diminuição geral na severidade da seca. As projeções das mudanças na seca agrícola e ecológica no conjunto de multi-modelos CMIP5 diferem do CMIP6 em algumas regiões, incluindo partes da África e Ásia. As avaliações das mudanças projetadas para as secas meteorológicas e hidrológicas estão disponibilizadas no Capítulo 11. {11.6, 11.9}

Na seção '**frequência**', cada ano é representado por um ponto. Os pontos escuros indicam os anos em que o limiar extremo é excedido, e os pontos claros são os anos em que esse limiar não é excedido. Os valores correspondem aos medianos (em negrito) e sua faixa respectiva de 5–95% com base no conjunto de multi-modelos das simulações do CMIP6 em diferentes cenários SSP. Para fins de consistência, o número de pontos escuros baseia-se na média arredondada. Na seção '**intensidade**', medianas e sua faixa de 5-95%, também com base no conjunto multi-modelo de simulações de CMIP6, são apresentadas como barras escuras e claras, respectivamente.

Mudanças na intensidade dos extremos de temperatura quente e extremos de precipitação são apresentadas em graus Celsius e porcentagens. No caso da seca agrícola e ecológica, as mudanças de intensidade são expressas como frações do desvio padrão da umidade anual do solo.

{11.1, 11.3, 11.4, 11.6, Figura 11.12, Figura 11.15, Figura 11.6, Figura 11.7, Figura 11.18}

B.3 Projeta-se que o aquecimento global constante intensifique ainda mais o ciclo da água, incluindo sua variabilidade, precipitação global de monções, e a severidade dos eventos de chuva e seca. {4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, Quadro 8.2, 11.4, 11.6, 11.9, 12.4, Atlas.3} (Figura SPM.5, Figura SPM.6)

B.3.1 Há evidências consideráveis desde o AR5 de que o ciclo global da água continuará se intensificando à medida que as temperaturas aumentam (*confiança alta*), com projeções de que a precipitação e os fluxos de água de superfície se tornarão mais variáveis na maioria dos continentes nas estações (*confiança alta*) e a cada ano (*confiança média*). Projeta-se que a precipitação anual média nos continentes aumente de 0–5% no cenário de emissões muito baixas de GEE (SSP1-1.9), de 1,5-8% no cenário de emissões intermediárias (SSP2-4.5) e de 1–13% no cenário de emissões muito altas (SSP5-8.5) até 2081–2100, em comparação a 1995-2014 (faixas *prováveis*). Projeta-se que a precipitação aumente em altas altitudes, região do oceano Pacífico Equatorial, e partes das regiões de monções, mas que decaia em partes dos subtropicos e áreas limitadas dos trópicos em SSP2-4.5, SSP3-7.0 e SSP5-8.5 (*muito provável*). Projeta-se que aumentará a parte de continente global que passará por aumentos ou redução perceptíveis na precipitação sazonal média (*confiança média*). Há *confiança alta* em um início mais precoce do derretimento da neve na primavera, com picos de fluxos mais elevados em detrimento dos fluxos de verão em regiões globalmente dominadas pela neve.

{4.3, 4.5, 4.6, 8.2, 8.4, Atlas.3, TS.2.6, Quadro TS.6, TS.4.3} (Figura SPM.5)

B.3.2 Um clima mais quente intensificará as estações do ano e os eventos de tempo e clima muito úmidos e muito secos, com impactos em enchentes ou secas (*confiança alta*), mas a localização e frequência desses eventos dependem das mudanças projetadas na circulação atmosférica regional, incluindo as monções e faixas de tempestades. Projeta-se como *muito provável* que a variabilidade de chuva relativa ao El Niño–Oscilação Sul aumente na segunda metade do século nos cenários SSP2-4.5, SSP3-7.0 e SSP5-8.5.

{4.3, 4.5, 4.6, 8.2, 8.4, 8.5, 11.4, 11.6, 11.9, 12.4, ST.2.6, ST.4.2, Quadro ST.6} (Figura SPM.5, Figura SPM.6)

B.3.3 Projeta-se que a precipitação de monção aumente no médio a longo prazo e escala global, principalmente no Sul e Sudeste Asiático, Leste Asiático e África Ocidental além do extremo oeste de Sahel (*confiança alta*). Projeta-se a estação de monções comece mais tarde nas Américas do Norte e Sul e África Ocidental (*confiança alta*) e termine mais tarde na África Ocidental (*confiança média*).

{4.4, 4.5, 8.2, 8.3, 8.4, Quadro 8.2 ST.13}

B.3.4 A longo prazo, projeta-se uma *provável* mudança em direção ao sul e intensificação das faixas de tempestade em latitudes médias no verão do hemisfério sul e precipitação associada nos cenários de emissões altas de GEE (SSP3-7.0, SSP5-8.5), mas a curto prazo o efeito da recuperação do ozônio estratosférico se contrapõe a essas mudanças (*confiança alta*). Há *confiança média* em um deslocamento constante das tempestades e sua precipitação em direção aos polos no Pacífico Norte, embora haja *confiança baixa* nas mudanças projetadas nas faixas de tempestade do Atlântico Norte.

{ST.4.2, 4.4, 4.5, 8.4, ST.2.3}

B.4 Nos cenários com aumento de emissões de CO₂, projeta-se que os sumidouros de carbono em continente e no oceano sejam menos eficazes em retardar o acúmulo de CO₂ na atmosfera. {4.3, 5.2, 5.4, 5.5, 5.6} (Figura SPM.7)

- B.4.1 Embora projete-se que os sumidouros naturais de carbono no continente e no oceano absorvam, em termos absolutos, uma quantidade cada vez maior de CO₂ nos cenários de altas emissões em comparação aos de baixas, eles ficam menos eficazes, ou seja, a proporção de emissões absorvidas em continente e no oceano diminui com o aumento das emissões cumulativas de CO₂. Projeta-se que isso resulte em uma proporção maior de CO₂ emitido remanescente na atmosfera (*confiança alta*). {5.2, 5.4, Quadro TS.5} (Figura SPM.7)
- B.4.2 Com base em projeções de modelos, no cenário intermediário que estabiliza as concentrações de CO₂ neste século (SSP2-4.5), projeta-se uma diminuição das taxas de CO₂ absorvido pelo continente e pelo oceano na segunda metade do século XXI (*confiança alta*). Nos cenários de emissões baixas e muito baixas de GEE (SSP1-1.9, SSP1-2.6), onde as concentrações de CO₂ atingem um pico e depois decaem durante século XXI, o continente e oceano começam a absorver menos carbono em resposta à queda nas concentrações atmosféricas de CO₂ (*confiança alta*) e se tornam uma fonte líquida enfraquecida em 2100 no cenário SSP1-1.9 (*confiança média*). É *muito improvável* que o sumidouro combinado de continente e oceano se torne uma fonte em 2100 nos cenários sem emissões negativas líquidas³² (SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5). {4,3, 5.4, 5.5, 5.6, Quadro TS.5, TS.3.3}
- B.4.3 A magnitude dos *feedbacks* entre a mudança do clima e o ciclo de carbono aumenta, mas também fica mais incerta em cenários de emissões altas de CO₂ (*confiança muito alta*). No entanto, projeções de modelos climáticos mostram que em 2100 as incertezas sobre concentrações atmosféricas de CO₂ são dominadas por diferenças entre os cenários de emissões (*confiança alta*). Respostas adicionais do ecossistema ao aquecimento ainda não totalmente incluídas em modelos climáticos, como fluxos de CO₂ e CH₄ de zonas úmidas, degelo do *permafrost* e incêndios florestais aumentariam ainda mais as concentrações desses gases na atmosfera (*confiança alta*). {5.4, Quadro TS.5, TS.3.2}

A proporção de emissões de CO₂ absorvida por continente e OCEANO é menor nos cenários com maiores emissões cumulativas de CO₂

O total de emissões cumulativas de CO₂ absorvidas por continente e OCEANO (colorido) e as remanescentes na atmosfera (em cinza) nos cinco cenários ilustrativos de 1850 a 2100

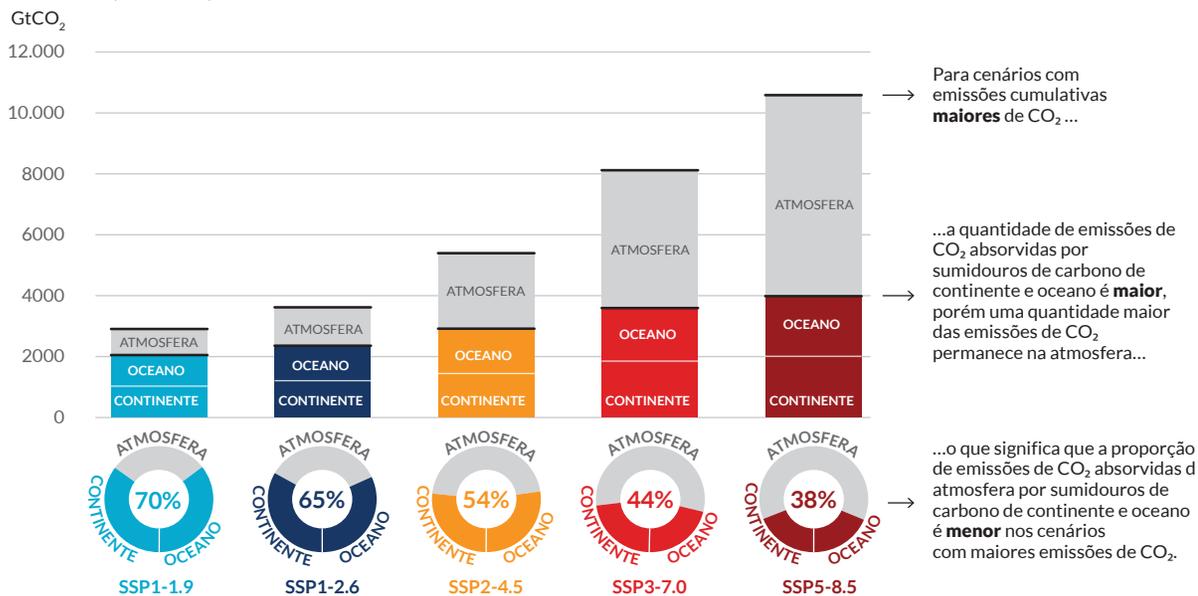


Figura SPM.7: Emissões antropogênicas cumulativas de CO₂ absorvidas por sumidouros de continente e oceano até 2100 nos cinco cenários ilustrativos.

Nos cinco cenários ilustrativos (SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 e SSP5-8.5), as emissões cumulativas antropogênicas (ou seja, induzidas pelo homem) de dióxido de carbono (CO₂) absorvidas pelos sumidouros continentais e oceânicos são simuladas de 1850 a 2100 pelos modelos climáticos do CMIP6 nas simulações baseadas em concentrações. Os sumidouros de carbono no continente e oceano respondem a emissões pretéritas, presentes e futuras, logo, os sumidouros cumulativos de 1850 a 2100 são apresentados aqui. Durante o período histórico (1850-2019), os sumidouros observados em continente e oceano absorveram 1430 GtCO₂ (59% das emissões).

³² Esses ajustes projetados de sumidouros de carbono à estabilização ou queda de CO₂ atmosférico são considerados nos cálculos o orçamento de carbono restante.

O **gráfico de barras** ilustra a quantidade projetada de emissões antropogênicas cumulativas de CO₂ (GtCO₂) entre 1850 e 2100 remanescentes da atmosfera (em cinza) e absorvidas pelo continente e oceano (parte colorida) no ano 2100. O **gráfico de rosca** ilustra a proporção de emissões antropogênicas cumulativas de CO₂ absorvidas pelos sumidouros em continente e oceano e as remanescentes na atmosfera no ano 2100. Os valores em % indicam a proporção de emissões antropogênicas cumulativas de CO₂ absorvidas pelos sumidouros em continente e oceano juntos no ano 2100. O total geral das emissões antropogênicas de carbono é calculado somando as emissões líquidas de uso da continente do banco de dados do cenário do CMIP6 às outras emissões setoriais calculadas a partir de testes do modelo climático com as concentrações de CO₂ indicadas³³. A absorção de CO₂ por continente e oceano desde 1850 é calculada a partir da produtividade líquida do bioma em continente, corrigida para perdas de CO₂ devido à mudança de uso da terra adicionando as emissões de mudança do uso da terra, e o fluxo líquido de CO₂ dos oceanos.

{Quadro TS.5, Quadro TS.5, Figura 1, 5.2.1, Tabela 5.1, 5.4.5, Figura 5.25}

B.5 Muitas mudanças relativas a emissões pretéritas e futuras de gases de efeito estufa serão irreversíveis durante séculos, ou mesmo milênios, principalmente as mudanças nos oceanos, mantos de gelo e nível global do mar.

{Quadro Transversal 2.4, 2.3, 4.3, 4.5, 4.7, 5.3, 9.2, 9.4, 9.5, 9.6, Quadro 9.4} (Figura SPM.8)

B.5.1 As emissões pretéritas de GEE desde 1750 já comprometeram o oceano global frente a um aquecimento futuro (*confiança alta*). No resto do século XXI, o *provável* aquecimento do oceano varia de 2–4 (SSP1-2.6) a 4–8 vezes (SSP5-8.5) a mudança ocorrida entre 1971–2018. Com base em múltiplas linhas de evidência, a estratificação do oceano superior (*praticamente certa*), a acidificação do oceano (*praticamente certa*) e a desoxigenação do oceano (*confiança alta*) continuarão a aumentar no século XXI, em taxas dependentes das futuras emissões. As mudanças serão irreversíveis durante centenas ou milhares de anos na temperatura global dos oceanos (*confiança muito alta*), acidificação do oceano profundo (*confiança muito alta*) e desoxigenação (*confiança média*).

{4.3, 4.5, 4.7, 5.3, 9.2, TS.2.4} (Figura SPM.8)

B.5.2 Montanhas e glaciares polares vão continuar a derreter durante décadas ou séculos (*confiança muito alta*). A perda de carbono do *permafrost* seguida pelo degelo do *permafrost* é irreversível em escalas centenárias (*confiança alta*). A perda de gelo constante no século XXI é *praticamente certa* no manto de gelo da Groenlândia e *provável* no manto de gelo da Antártica. Há *confiança alta* de que a perda total de gelo do manto da Groenlândia vai aumentar com as emissões cumulativas. Há *evidência limitada* para resultados de baixa probabilidade e alto impacto (resultantes de processos de instabilidade da camada de gelo caracterizados por incerteza significativa e em alguns casos envolvendo pontos de inflexão) que aumentariam fortemente a perda de gelo do manto de gelo da Antártica durante séculos em cenários de emissões altas de GEE³⁴.

{4.3, 4.7, 5.4, 9.4, 9.5, Quadro 9.4, Quadro TS.1, ST.2.5}

B.5.3 É *praticamente certo* que o nível global médio do mar continue subindo durante o século XXI. Com relação a 1995-2014, o aumento *provável* do nível global médio do mar até 2100 será de 0,28-0,55 m no cenário de emissões muito baixas de GEE (SSP1-1.9), 0,32-0,62 m no cenário de emissões baixas (SSP1-2.6), 0,44-0,76 m no cenário de emissões intermediárias (SSP2-4.5), e 0,63-1,01 m no cenário de emissões muito altas (SSP5-8.5); até 2150 será de 0,37-0,86 m no cenário de emissões muito baixas (SSP1-1.9), 0,46-0,99 m no cenário de emissões baixas (SSP1-2.6), 0,66-1,33 m no cenário intermediário (SSP2-4.5), e 0,98-1,88 m no cenário de emissões muito altas (SSP5-8.5) (*confiança média*)³⁵. O aumento do nível global médio do mar acima da faixa *provável* – chegando a 2 m até 2100 e 5 m até 2150 no cenário de emissões muito altas de GEE (SSP5-8.5) (*confiança baixa*) – não pode ser descartado devido à incerteza significativa em processos nos mantos de gelo.

{4.3, 9.6, Quadro 9.4, Quadro TS.4} (Figura SPM.8)

B.5.4 No longo prazo, o nível do mar já está comprometido por séculos, até milênios, devido ao aquecimento contínuo do oceano profundo e degelo de mantos de gelo, e continuará elevado por milhares de anos (*confiança alta*). Nos próximos 2.000 anos, o nível global médio do mar aumentará em cerca de 2 a 3 m se o aquecimento se limitar a 1,5°C; de 2 a 6 m se limitado a 2°C; e de 19 a 22 m com 5°C de aquecimento, e continuará a aumentar nos milênios seguintes (*confiança baixa*). As projeções de aumentos do nível global médio do mar nos próximos milênios são consistentes com níveis reconstruídos durante os períodos anteriores de clima quente: *provavelmente* 5–10 m mais alto que hoje há cerca de 125.000 anos, quando as temperaturas globais eram *muito provavelmente* 0,5°C–1,5°C mais altas que em 1850–1900; e *muito provavelmente* 5–25 m mais alto que há cerca de 3 milhões de anos, quando as temperaturas globais eram 2,5°C–4°C mais altas (*confiança média*).

{2.3, Quadro Transversal 2.4, 9.6, Quadro TS.2, Quadro TS.4, Quadro TS.9}

³³ As outras emissões setoriais são calculadas como o residual da absorção líquida de CO₂ no continente e oceano e as mudanças nas concentrações atmosféricas de CO₂ indicadas nas simulações do CMIP6. Essas emissões calculadas são emissões líquidas e não separam emissões antropogênicas brutas de remoções, que são incluídas implicitamente.

³⁴ Resultados de baixa probabilidade e alto impacto são aqueles cuja probabilidade de ocorrência é baixa ou pouco conhecida (como no contexto de incerteza significativa), mas cujos impactos potenciais na sociedade e nos ecossistemas podem ser altos. Um ponto de inflexão é um limiar crítico além do qual um sistema se reorganiza, frequentemente de forma abrupta e/ou irreversível. {Quadro Transversal 1.3, 1.4, 4.7}

³⁵ Para comparar com o período de referência 1986–2005 usado no AR5 e no Relatório Especial sobre o Oceano e a Criosfera, basta acrescentar 0,03 m às estimativas de aumento do nível global médio do mar. Para comparar com o período de referência 1900 usado na Figura SPM.8, basta acrescentar 0,16 m.

As atividades humanas afetam todos os componentes importantes de sistemas climáticos, com alguns respondendo a elas durante décadas, e outros durante séculos

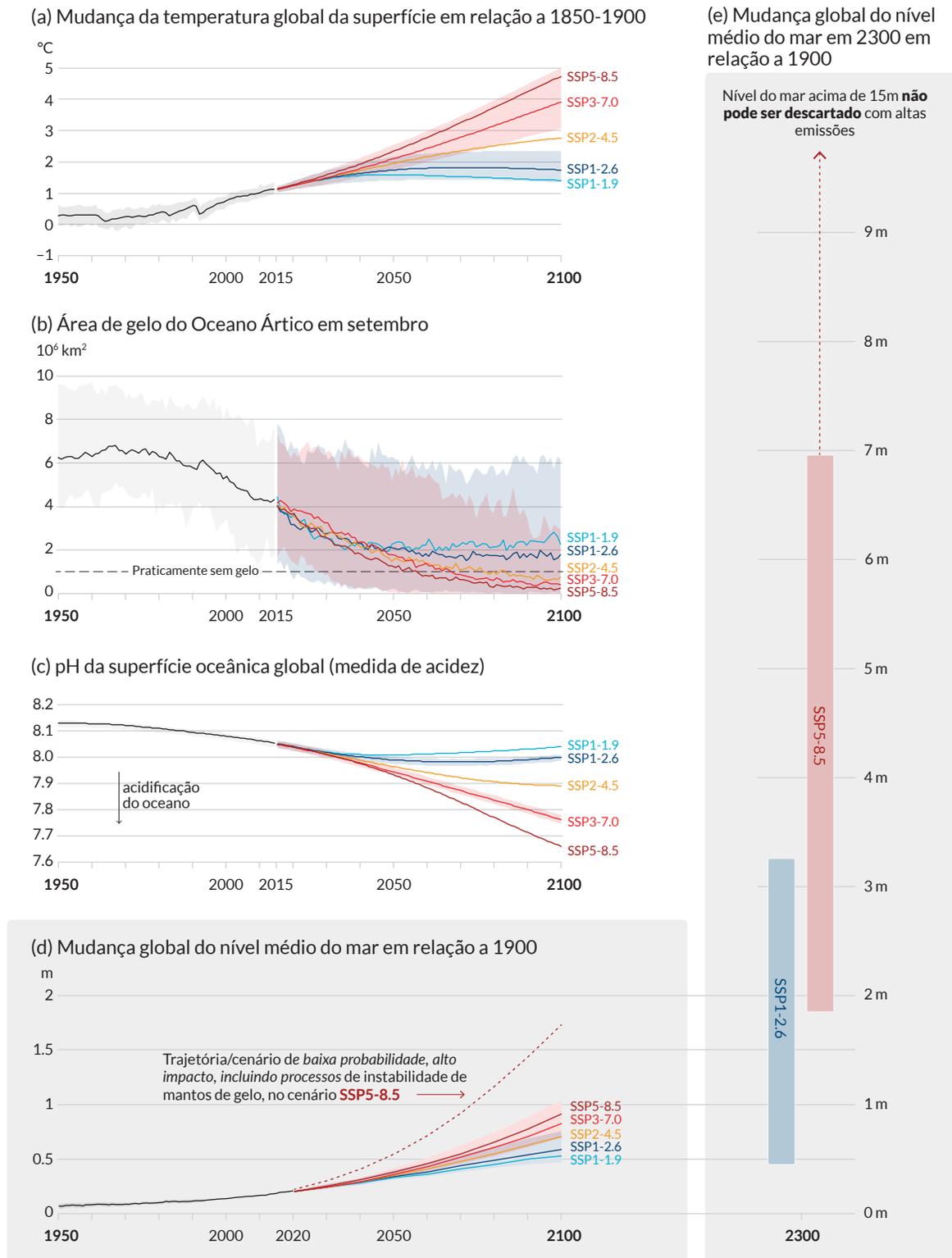


Figura SPM.8: Indicadores selecionados de mudança do clima global nos cinco cenários ilustrativos usados neste relatório.

As projeções para cada um dos cinco cenários estão coloridas. As sombras representam faixas de incerteza – mais detalhes em cada painel abaixo. As curvas em preto representam as simulações históricas (painéis a, b, c) ou as observações (painel d). Os valores históricos estão incluídos em todos os gráficos para dar um contexto às mudanças futuras projetadas.

Painel a) Mudança da temperatura global da superfície em °C em relação a 1850–1900. Essas mudanças foram obtidas pela combinação de simulações dos modelos do CMIP6 com as restrições observacionais baseadas no aquecimento simulado anterior, bem como em uma avaliação atualizada da sensibilidade climática de equilíbrio (ver Quadro SPM.1). As mudanças relativas a 1850–1900 baseadas em períodos médios de 20 anos foram calculadas através da soma de 0,85°C (aumento da superfície global observado de 1850–1900 a 1995–2014) às mudanças simuladas relativas a 1995–2014. Faixas *muito prováveis* são disponibilizadas em SSP1-2.6 e SSP3-7.0.

Painel b) Área de gelo do Oceano Ártico em setembro em 10⁶ km² com base nas simulações dos modelos do CMIP6. Faixas *muito prováveis* são disponibilizadas em SSP1-2.6 e SSP3-7.0. Projeta-se que o Ártico esteja praticamente sem gelo perto de meados do século nos cenários de emissões de GEE intermediárias e altas.

Painel c) pH da superfície oceânica global (medida de acidez) com base nas simulações dos modelos do CMIP6. Faixas *muito prováveis* são disponibilizadas em SSP1-2.6 e SSP3-7.0.

Painel d) Mudança global do nível médio do mar em relação a 1900. As mudanças históricas são observadas (desde os marégrafos antes de 1992, e os altímetros depois), e as mudanças futuras são avaliadas consistentemente com restrições observacionais baseadas na emulação do CMIP de modelos de manto de gelo e geleira. Faixas *prováveis* são disponibilizadas em SSP1-2.6 e SSP3-7.0. Apenas as faixas *prováveis* foram avaliadas em termos de mudanças no nível do mar devido a dificuldades em estimar a distribuição de processos de incerteza significativa. A curva tracejada indica o impacto potencial desses processos de incerteza significativa. Ela mostra o percentil 83 das projeções de SSP5-8.5 que incluem processos de baixa probabilidade e alto impacto de manto de gelo que não podem ser descartados; por conta da *confiança baixa* nas projeções desses processos, esta curva não constitui parte de uma faixa *provável* . As mudanças relativas a 1900 são calculadas através da soma de 0,158 m (aumento observado do nível global médio do mar de 1900 a 1995–2014) às mudanças simuladas e observadas relativas a 1995–2014.

Painel e): Mudança global do nível médio do mar em 2300, em metros, em relação a 1900. Apenas os cenários SSP1-2.6 e SSP5-8.5 são projetados em 2300, já que as simulações que vão além de 2100 para os outros cenários são poucas para apresentarem resultados sólidos. Os percentis de 17 a 83 estão sombreados. A seta tracejada ilustra o percentil 83 das projeções de SSP5-8.5 incluem processos de baixa probabilidade e alto impacto de manto de gelo que não podem ser descartados.

Os Painéis b) e c) baseiam-se em simulações únicas de cada modelo, e por isso incluem um componente de variabilidade interna. Os Painéis a), d) e e) baseiam-se em médias de longo prazo, por isso as contribuições de variabilidade interna são pequenas.

{Figura TS.8, Figura TS.11, Quadro TS.4 Figura 1, Quadro TS.4 Figura 1, 4.3, 9.6, Figura 4.2, Figura 4.8, Figura 4.11, Figura 9.27}

C. Informações Climáticas para Avaliações de Risco e Adaptação Regional

As informações sobre a física do clima tratam/avaliam como o sistema climático responde à interação entre a influência humana, os agentes causadores naturais, e a variabilidade interna. O conhecimento da resposta climática e a gama de resultados possíveis, incluindo os de baixa probabilidade e alto impacto, subsidia os serviços climáticos – avaliação dos riscos relacionados ao clima e planejamento de adaptação. Informações sobre a física do clima nos âmbitos global, regional e local são desenvolvidas a partir de múltiplas linhas de evidência, incluindo produtos observacionais, resultados de modelos climáticos e diagnósticos personalizados.

C.1 Os agentes causadores naturais e a variabilidade interna modularão as mudanças causadas pelo homem, especialmente no âmbito regional e no curto prazo, com poucos efeitos no aquecimento global centenário. É importante considerar essas modulações no planejamento de toda gama de mudanças possíveis.

{1.4, 2.2, 3.3, Quadro Transversal 3.1, 4.4, 4.6, Quadro Transversal 4.1, 4.4, Quadro 7.2, 8.3, 8.5, 9.2, 10.3, 10.4, 10.6, 11.3, 12.5, Atlas.4, Atlas.5, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Quadro Transversal Atlas.2, Atlas.11}

C.1.1 O registro histórico da temperatura da superfície global ressalta que a variabilidade decenal tem aumentado e mascarado as mudanças de longo prazo causadas pelo homem, e essa variabilidade continuará no futuro (*confiança muito alta*). Por exemplo, a variabilidade interna decenal e as variações nos fatores solares e vulcânicos mascararam parcialmente o aquecimento global antropogênico da superfície entre 1998–2012, com marcas regionais e sazonais pronunciadas (*confiança alta*). No entanto, o aquecimento do sistema climático continuou durante esse período, como foi refletido tanto no aquecimento constante do oceano global (*confiança muito alta*) quanto no aumento contínuo de extremos de calor no continente (*confiança média*).

{1.4, 3.3, Quadro Transversal 3.1, 4.4, Quadro 7.2, 9.2, 11.3, Quadro Interseccional TS.1} **(Figura SPM.1)**

- C.1.2 Mudanças antropogênicas projetadas no clima médio e nos agentes climáticos causadores de impacto (CIDs na sigla em inglês)³⁶, incluindo os extremos, serão ampliados ou atenuados pela variabilidade interna³⁷ (*confiança alta*). No que diz respeito ao clima atual, o resfriamento de curto prazo em qualquer local específico pode ocorrer e seria consistente com o aumento da temperatura da superfície global devido à influência humana (*alta confiança*).
{1.4, 4.4, 4.6, 10.4, 11.3, 12.5, Atlas.5, Atlas.10, Atlas.11, ST.4.2}
- C.1.3 A variabilidade interna foi amplamente responsável pela amplificação e atenuação das mudanças na precipitação média decenal e multi-decenal causadas pelo homem observadas em muitas regiões de continente (*confiança alta*). Em âmbitos global e regional, as mudanças a curto prazo nas monções serão dominadas pelos efeitos da variabilidade interna (*confiança média*). Além da influência da variabilidade interna, as mudanças projetadas, a curto prazo, para a precipitação nos âmbitos regional e global são incertas por conta da incerteza do modelo e incerteza em forçantes dos aerossóis naturais e antropogênicos (*confiança média*).
{1.4, 4.4, 8.3, 8.5, 10.3, 10.4, 10.5, 10.6, Atlas.4, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Quadro Transversal Atlas.2, Atlas.11, TS.4.2, Quadro TS.6, Quadro TS.13}
- C.1.4 Com base no registro paleoclimático e evidências históricas, é *provável* que pelo menos uma grande erupção vulcânica explosiva ocorra no século XXI³⁸. Essa erupção reduziria a temperatura da superfície global e a precipitação, especialmente no continente, por um a três anos, alteraria a circulação global de monções, modificaria a precipitação extrema e mudaria muitos CIDs (*confiança média*). Se essa erupção ocorrer, isso mascararia as mudanças antropogênicas do clima de forma parcial e temporária.
{4.4, Quadro Transversal 4.1, 2.2, 8.5, TS.2.1}
- C.2 Com o aquecimento global adicional, projeta-se que cada região experimente cada vez mais mudanças simultâneas e múltiplas dos agentes climáticos causadores de impactos. As mudanças em vários agentes climáticos causadores de impactos seriam mais espalhadas aos 2°C de aquecimento global em comparação a 1,5°C e ainda mais generalizadas e/ou pronunciadas para níveis de aquecimento mais elevados.**
{8.2, 9.3, 9.5, 9.6, Quadro10.3, Quadro11.3, Quadro11.4, 11.3, 11.4, 11.5, 11.6, 11.7, 11.9, 12.2, 12.3, 12.4, 12.5, Atlas.4, Atlas.5, Atlas.6, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Atlas.11, Quadro Transversal 11.1, Quadro Transversal 12.1} (Tabela SPM.1, Figura SPM.9)
- C.2.1 Projeta-se que todas as regiões³⁹ passem por mais aumentos dos agentes climáticos causadores de impactos (CIDs, na sigla em inglês) e quedas dos CIDs frios (*confiança alta*). Projeta-se mais diminuições do *permafrost*, neve, geleiras e mantos de gelo, gelo em lagos e gelo marinho do Ártico (*confiança de média a alta*)⁴⁰. Essas mudanças seriam maiores com o aquecimento global de 2°C ou acima de 1,5°C (*confiança alta*). Por exemplo, projeta-se que os limiares de calor extremos relevantes para a agricultura e saúde sejam excedidos mais frequentemente em níveis de aquecimento maiores (*confiança alta*).
{9.3, 9.5, 11.3, 11.9, 12.3, 12.4, 12.5, Atlas.4, Atlas.5, Atlas.6, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Atlas.11, TS.4.3, Quadro Transversal 11.1, Quadro Transversal 12.1} (Tabela SPM.1, Figura SPM.9)
- C.2.2 Com o aquecimento global de 1,5°C, projeta-se que aumentem a precipitação intensa e enchentes resultantes, e que sejam mais frequentes na maioria das regiões da África e Ásia (*confiança alta*), América do Norte (*confiança de média e alta*)⁴⁰ e Europa (*confiança média*). Além disso, projetam-se secas agrícolas ou ecológicas mais frequentes em algumas regiões em todos os continentes, exceto a Ásia, em comparação com 1850–1900 (*confiança média*); projetam-se também aumentos das secas meteorológicas em algumas regiões (*confiança média*). Projeta-se que um pequeno número de regiões experimente aumentos ou diminuições da precipitação média (*confiança média*).
{11.4, 11.5, 11.6, 11.9, Atlas.4, Atlas.5, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.10, Atlas.11, TS.4.3} (Tabela SPM.1)

36 Agentes climáticos causadores de impacto (CIDs, na sigla em inglês) são condições física do sistema climático (p. ex., médias, eventos, extremos) que afetam um elemento da sociedade ou os ecossistemas. Dependendo da tolerância do sistema, os CIDs e suas mudanças podem ser prejudiciais, benéficas, neutras ou uma combinação de cada um dos elementos e regiões do sistema interativo. Os tipos de CID incluem calor e frio, úmido e úmido, vento, neve e gelo, oceano aberto e costeiro.

37 O principal fenômeno da variabilidade interna inclui o El Niño–Oscilação Sul, a variabilidade decenal do Pacífico e a variabilidade multi-decenal do Atlântico por meio de sua influência regional.

38 Baseados em reconstruções de 2.500 anos, erupções abaixo de -1 W m^{-2} ocorrem, em média, duas vezes ao século.

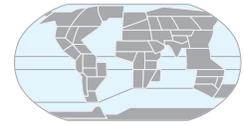
39 Neste relatório, o termo “regiões” refere-se às regiões de referência usadas neste AR6 para resumir a informação em regiões subcontinentais e oceânicas. As mudanças são comparadas com as médias dos últimos 20–40 anos, salvo indicação em contrário. {1.4, 12.4, Atlas.1, Atlas Interativo}.

40 O nível específico de confiança ou probabilidade depende da região considerada. Os detalhes estão disponibilizados no Sumário Técnico e no Relatório complementar.

- C.2.3 Com 2°C de aquecimento global e acima, o nível de confiança e a magnitude da mudança nas secas e na precipitação intensa e média em comparação ao aquecimento de 1,5°C aumentam. Projeta-se que precipitação intensa e enchentes resultantes se tornem mais intensas e frequentes nas Ilhas do Pacífico e em muitas regiões da América do Norte e Europa (*confiança média a alta*)⁴⁰. Essas mudanças também são vistas em algumas regiões da Australásia e Américas Central e do Sul (*confiança média*). Projeta-se que diversas regiões na África, América do Sul e Europa passem por um aumento na frequência e/ou gravidade das secas agrícolas e ecológicas com *confiança de média a alta*⁴⁰; também se projetam aumentos na Australásia, América Central e do Norte, e Caribe com *confiança média*. Projeta-se também que um pequeno número de regiões na África, Australásia, Europa e América do Norte sejam afetadas por aumentos das secas hidrológicas, além disso projeta-se que várias regiões sejam afetadas por aumentos ou diminuições em secas meteorológicas, com um maior número de regiões apresentando aumento (*confiança média*). Projeta-se que a precipitação média aumente em todas as regiões polares, norte da Europa e do norte da América do Norte, na maioria das regiões asiáticas e em duas regiões da América do Sul (*confiança alta*). {11.4, 11.6, 11.9, 12.4, 12.5, Atlas.5, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.9, Atlas.11, TS.4.3, Quadro Transversal 11.1, Quadro Transversal 12.1} (Tabela SPM.1, Figura SPM.5, Figura SPM.6, Figura SPM.9)
- C.2.4 Projeta-se que mais agentes climáticos causadores de impactos em mais regiões mudem a 2°C de aquecimento global, e acima, em comparação a 1,5°C (*confiança alta*). Mudanças específicas de determinadas regiões incluem a intensificação de ciclones tropicais e/ou tempestades extratropicais (*confiança média*), aumento de enchentes fluviais (*confiança média a alta*)⁴⁰, reduções na precipitação média e aumentos na aridez (*confiança média a alta*)⁴⁰, e aumentos do “risco de incêndio” (*confiança média a alta*)⁴⁰. Há *confiança baixa* na maioria das regiões na mudança potencial de outros agentes causadores climáticos, como como granizo, tempestades de gelo, tempestades severas, tempestades de poeira, nevascas e deslizamentos de terra. {11.7, 11.9, 12.4, 12.5, Atlas.4, Atlas.6, Atlas.7, Atlas.8, Atlas.10, TS.4.3.1, TS.4.3.2, TS.5, Quadro Transversal, 11.1, Quadro Transversal 12.1} (Tabela SPM.1, Figura SPM.9)
- C.2.5 É *muito provável a praticamente certo*⁴⁰ que aumento regional do nível médio do mar continuará ao longo do século XXI, exceto em algumas regiões com taxas de elevação geológicas substanciais. Projeta-se que cerca de dois-terços do litoral global terão um aumento regional do nível médio do mar de $\pm 20\%$ do aumento global médio (*confiança média*). Devido ao aumento relativo do nível do mar, projeta-se que os eventos extremos ao nível do mar que ocorreram uma vez por século no passado recente ocorram pelo menos anualmente em mais de metade de todas as localizações de marégrafos até 2100 (*confiança alta*). O aumento relativo do nível do mar contribui para o aumento da frequência e gravidade das inundações costeiras em zonas baixas e para a erosão costeira ao longo da maior parte das costas arenosas (*confiança alta*). {9.6, 12.4, 12.5, Box TS.4, TS.4.3, Quadro Transversal 12.1} (Figura SPM.9)
- C.2.6 As cidades intensificam localmente o aquecimento antropogênico, e maior urbanização junto com extremos quentes mais frequentes aumentarão a gravidade das ondas de calor (*confiança muito alta*). A urbanização também aumenta a precipitação média e intensa sobre e/ou a favor do vento das cidades (*confiança média*) resultando na intensidade do escoamento superficial (*confiança alta*). Nas cidades costeiras, a combinação de eventos extremos relacionados ao nível do mar (devido ao aumento do nível do mar e marés meteorológicas) e eventos de chuvas extremas/enchentes fluvial farão com que as inundações sejam mais prováveis (*confiança alta*). {8.2, Quadro 10.3, 11.3, 12.4, Quadro ST.14}
- C.2.7 Projeta-se que muitas regiões vão passar por um aumento na probabilidade de eventos compostos com um aquecimento global maior (*confiança alta*). Em particular, é provável que ondas de calor e secas concomitantes se tornem mais frequentes. Extremos concomitantes em diversos locais tornam-se mais frequentes, inclusive em áreas de cultivo, com o aquecimento global em 2°C, e acima, em comparação a 1,5°C (*confiança alta*). {11.8, Quadro 11.3, Quadro 11.4, 12.3, 12.4, TS.4.3, Quadro Transversal 12.1} (Tabela SPM.1)

Projeta-se que múltiplos agentes climáticos causadores de impactos mudem em todas as regiões do mundo

Agentes climáticos causadores de impacto (CIDs, na sigla em inglês) são condições físicas do sistema climático (p. ex., médias, eventos, extremos) que afetam um elemento da sociedade ou os ecossistemas. Dependendo da tolerância do sistema, os CIDs e suas mudanças podem ser prejudiciais, benéficas, neutras ou uma combinação de cada um dos elementos e regiões do sistema interativo. Os CIDs são agrupados em sete tipos, resumidos abaixo dos ícones da figura. Projeta-se que todas as regiões passem por mudanças em pelo menos 5 CIDs. Projeta-se que quase todas elas (96%) passem por mudanças em pelo menos 10 CIDs, e a metade delas em pelo menos 15 CIDs. Para muitos CIDs há uma grande variação geográfica onde eles mudam, e assim projeta-se que cada região experimente um conjunto específico de mudanças nos CIDs. Cada barra do gráfico representa um conjunto de mudanças geográficas específicas que podem ser investigadas no Atlas Interativo em interactive-atlas.ipcc.ch



Número de regiões de continente e litoral (a) e regiões de oceano aberto (b) onde projeta-se que cada agente climático causador de impacto (CID, na sigla em inglês) **auge ou **diminua** com confiança **alta** (sombra escura) ou **média** (sombra clara)**

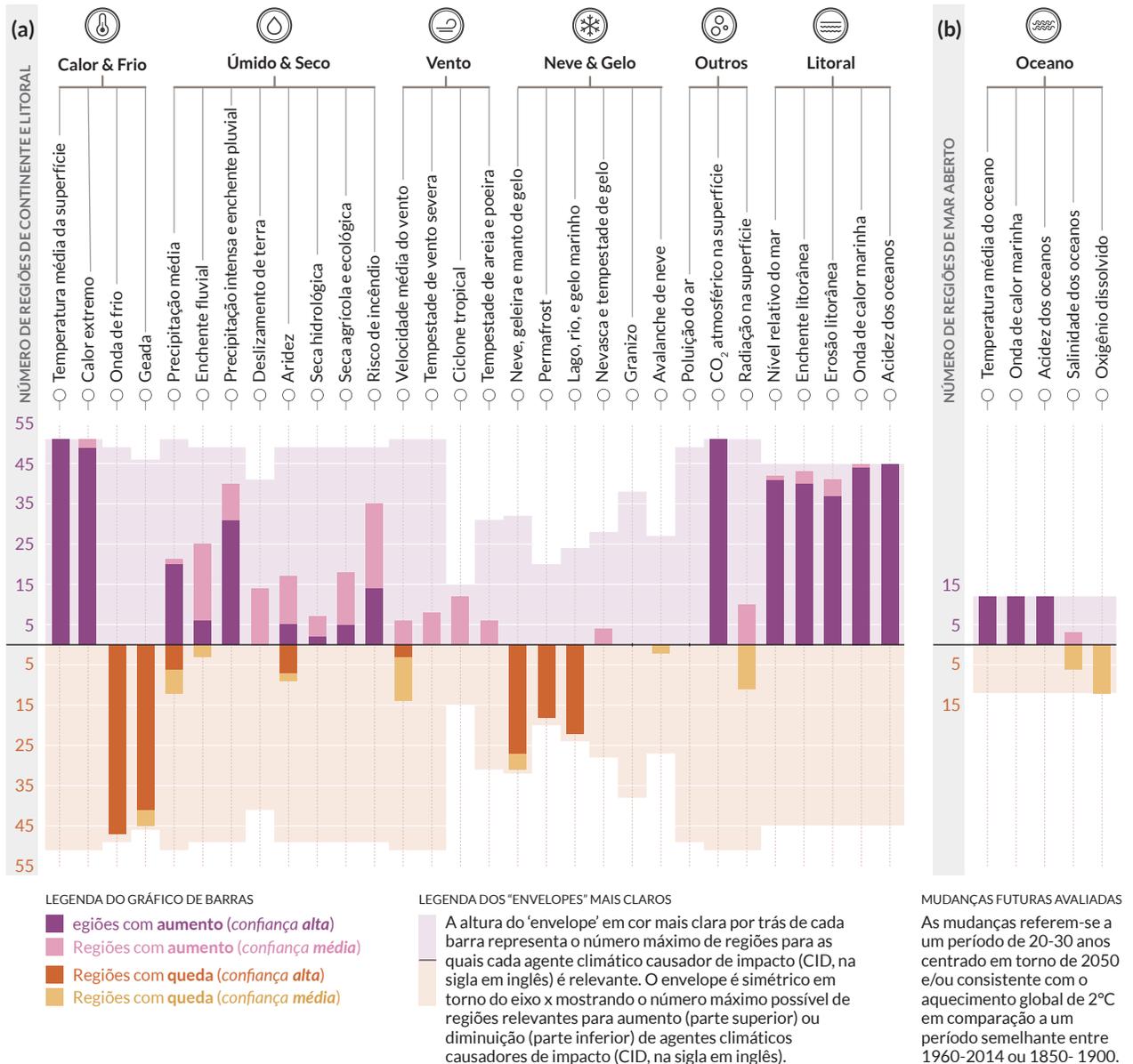


Figura SPM.9: Síntese do número de regiões de referência do AR6 em que se projeta uma alteração do agente climático causador de impacto.

São apresentados um total de 35 agentes climáticos causadores de impacto compilados em sete tipos: calor e frio, úmido e seco, vento, neve e gelo, litoral, oceano aberto e outros. Para cada agente climático causador de impacto, o gráfico de barras abaixo apresenta o número de regiões de referência deste AR6 onde se projetam mudanças. As **cores** representam a direção da mudança e o nível de confiança nessa mudança: lilás indica um aumento, marrom indica uma diminuição; tons mais escuros e claros indicam **confiança de alta a média**, respectivamente. Cores mais claras de fundo representam o número máximo de regiões para as quais cada agente climático causador de impacto é amplamente relevante.

O **Painel a)** apresenta 30 agentes climáticos causadores de impacto que são relevantes para **regiões de continente e litoral** e o **Painel b)** apresenta os 5 agentes climáticos causadores de impacto que são relevantes para as **regiões de oceano aberto**. As ondas de calor marinhas e a acidez dos oceanos são avaliadas nas regiões de oceano costeiro no Painel a) e nas regiões de oceano aberto no Painel b). As mudanças referem-se a um período de 20-30 anos centrado em torno de 2050 e/ou consistente com o aquecimento global de 2°C em comparação a um período semelhante entre 1960-2014, exceto para as secas hidrológicas e as agrícolas e ecológicas, que são comparadas a 1850-1900. As definições das regiões estão disponibilizadas no Atlas.1 do Atlas Interativo (ver em *interactive-atlas.ipcc.ch*).

{Tabela ST.5, Figura ST.22, Figura ST.25, 11.9, 12.2, 12.4, Atlas.1} (Tabela SPM.1)

C.3 Resultados de baixa probabilidade, como o colapso de mantos de gelo, mudanças abruptas na circulação dos oceanos, alguns eventos extremos compostos e um aquecimento significativamente maior que a faixa avaliada como muito provável no futuro não podem ser descartados e fazem parte da avaliação de risco.

{1.4, Quadro Transversal 1.3, Quadro Transversal 4.1, 4.3, 4.4, 4.8, 8.6, 9.2, Quadro 9.4, Quadro 11.2, 11.8, Quadro Transversal 12.1} (Tabela SPM.1)

C.3.1 Caso o aquecimento global exceda a faixa avaliada como *muito provável* em um determinado cenário de emissões de GEE, em muitos aspectos do sistema climático as mudanças global e regional, como precipitação regional e outros agentes climáticos causadores de impacto, também excederem suas faixas *muito prováveis (confiança alta)*. Esses resultados de baixa probabilidade e alto aquecimento são associados a impactos possivelmente muito grandes, como ondas de calor e precipitações mais intensas e mais frequentes, e riscos maiores para os sistemas humanos e ecológicos, especialmente em cenários com emissões altas de GEE.

{Quadro Transversal 1.3, 4.3, 4.4, 4.8, Quadro 9.4, Quadro 11.2, Quadro Transversal 12.1, TS.1.4, Quadro TS.3, Quadro TS.4} (Tabela SPM.1)

C.3.2 Resultados de baixa probabilidade e alto impacto³⁴ podem ocorrer em escalas global e regional mesmo para o aquecimento global dentro da faixa *muito provável* em um determinado cenário de emissões de GEE. A probabilidade desses resultados de baixa probabilidade e alto impacto aumenta juntamente com o aumento dos níveis de aquecimento global (*confiança alta*). Respostas abruptas e pontos de inflexão do sistema climático, como o forte aumento do derretimento do manto de gelo Antártico e o processo de savanização da floresta, não podem ser descartadas (*confiança alta*).

{1.4, 4.3, 4.4, 4.8, 5.4, 8.6, Quadro 9.4, Quadro Transversal 12.1, TS.1.4, TS.2.5, Quadro TS.3, Quadro TS.4, Quadro TS.9} (Tabela SPM.1)

C.3.3 Caso o aquecimento global aumente, alguns eventos compostos extremos¹⁸ com baixa probabilidade no passado se tornarão mais frequentes, e haverá uma maior probabilidade de ocorrerem eventos com maiores intensidades, durações e/ou extensão espacial, sem precedentes nos registros observacionais (*confiança alta*).

{11.8, Quadro 11.2, 9.6, Quadro Transversal 12.1, Quadro TS.3, Quadro TS.9}

C.3.4 É *muito provável* que a Circulação de Revolvimento Meridional Atlântico (*Atlantic Meridional Overturning Circulation – AMOC*) enfraqueça durante o século XXI em todos os cenários de emissões. Embora haja *confiança alta* de que esse enfraquecimento aconteça durante o século XXI, há apenas *confiança baixa* na magnitude dessa tendência. Há *confiança média* de que não haverá um colapso abrupto antes de 2100. Caso ocorra, é muito provável que esse colapso cause mudanças abruptas nos padrões regionais meteorológicos e do ciclo da água, como uma mudança para o sul no cinturão de chuva tropical, o enfraquecimento das monções africanas e asiáticas e o fortalecimento das monções do hemisfério sul, e seca na Europa.

{4.3, 8.6, 9.2, ST2.4, Quadro ST.3}

C.3.5 Eventos naturais imprevisíveis e raros não relacionados à influência humana sobre o clima podem causar resultados de baixa probabilidade e alto impacto. Por exemplo, em décadas passadas ocorreu uma sequência de grandes erupções vulcânicas explosivas, que causaram perturbações climáticas globais e regionais consideráveis ao longo de várias décadas futuras. Esses eventos não podem ser descartados no futuro, mas devido à sua imprevisibilidade inerente, não foram incluídos no conjunto de cenários ilustrativos mencionados neste Relatório.

{2.2, Quadro Transversal 4.1, Quadro TS.3}

D. Limitando a Mudança do Clima Futura

Desde o AR5, as estimativas do balanço de carbono vêm sendo aprimoradas por uma nova metodologia apresentada pela primeira vez no SR1.5, evidências atualizadas, e a integração de resultados de múltiplas linhas de evidência. Uma série abrangente de possíveis futuros controles de poluição atmosférica em cenários é usada para avaliar consistentemente os efeitos de várias hipóteses sobre projeções de poluição climática e atmosférica. Um novo desenvolvimento é a habilidade de determinar quando as respostas do clima às reduções de emissões se tornariam perceptíveis acima da variabilidade climática natural, incluindo a variabilidade interna e respostas aos fatores naturais.

D.1 Do ponto de vista da ciência física, limitar o aquecimento global antropogênico a um nível específico requer a limitação das emissões cumulativas de CO₂, alcançando no mínimo emissões líquidas zero de CO₂, juntamente com fortes reduções nas emissões de outros gases de efeito estufa. Reduções expressivas, rápidas e sustentadas das emissões de CH₄ também limitariam o efeito de aquecimento resultante da diminuição da poluição por aerossóis e melhorariam a qualidade do ar. {3.3, 4.6, 5.1, 5.2, 5.4, 5.5, 5.6, Quadro 5.2, Quadro Transversal 5.1, 6.7, 7.6, 9.6} (Figura SPM.10, Figura SPM.2)

D.1.1 Este Relatório reafirma com *confiança alta* a conclusão do AR5 de que há uma relação quase linear entre as emissões de CO₂ antropogênicas cumulativas e o aquecimento global que elas causam. Cada 1000 GtCO₂ de emissões cumulativas de CO₂ são avaliados como *prováveis* de causar um aumento de 0,27°C a 0,63°C na temperatura da superfície global, com uma melhor estimativa de 0,45°C⁴¹. Essa é uma faixa mais estreita em comparação com AR5 e SR1.5. Essa quantidade é referida como Resposta Transiente do Clima às Emissões de Carbono Cumulativas (TCRE, na sigla em inglês). Essa relação indica que atingir emissões antropogênicas líquidas zero⁴² de CO₂ é um requisito para estabilizar o aumento global de temperatura induzido pelo homem em qualquer nível de aquecimento, mas limitar o aumento global de temperatura a um nível específico implicaria limitar as emissões cumulativas de CO₂ a um balanço de carbono⁴³. {5.4, 5.5, TS.1.3, TS.3.3, Quadro TS.5} (Figura SPM.10)

41 Na literatura, são usadas unidades de °C por 1000 PgC, e o AR6 reporta que a Resposta Transiente do Clima às Emissões de Carbono Cumulativas provavelmente varia entre 1,0°C a 2,3°C por 1000 PgC no relatório complementar, com a melhor estimativa de 1,65°C.

42 Condição na qual as emissões de dióxido de carbono antropogênico (CO₂) são equilibradas pelas remoções de CO₂ antropogênicas em um período específico.

43 O termo balanço de carbono se refere à quantidade máxima de emissões líquidas cumulativas de CO₂ antropogênico global que resultaria em limitar o aquecimento global a um determinado nível com uma determinada probabilidade, tendo em conta o efeito de outro forçante climático antropogênico.

A isso se refere como balanço total de carbono quando expresso a partir do período pré-industrial, e como balanço de carbono restante quando expresso a partir de uma data recente especificada (ver Glossário). As emissões cumulativas históricas de CO₂ determinam, em grande parte, o grau de aquecimento atual, enquanto futuras emissões causam um aquecimento adicional futuro. O balanço de carbono restante indica quanto CO₂ ainda poderia ser emitido e mantendo, ao mesmo tempo, o aquecimento abaixo de um nível de temperatura específico.

Cada tonelada de emissão de CO₂ aumenta o aquecimento global

Aumento da temperatura da superfície global desde 1850-1900 (°C) em função de emissões cumulativas de CO₂ (GtCO₂)

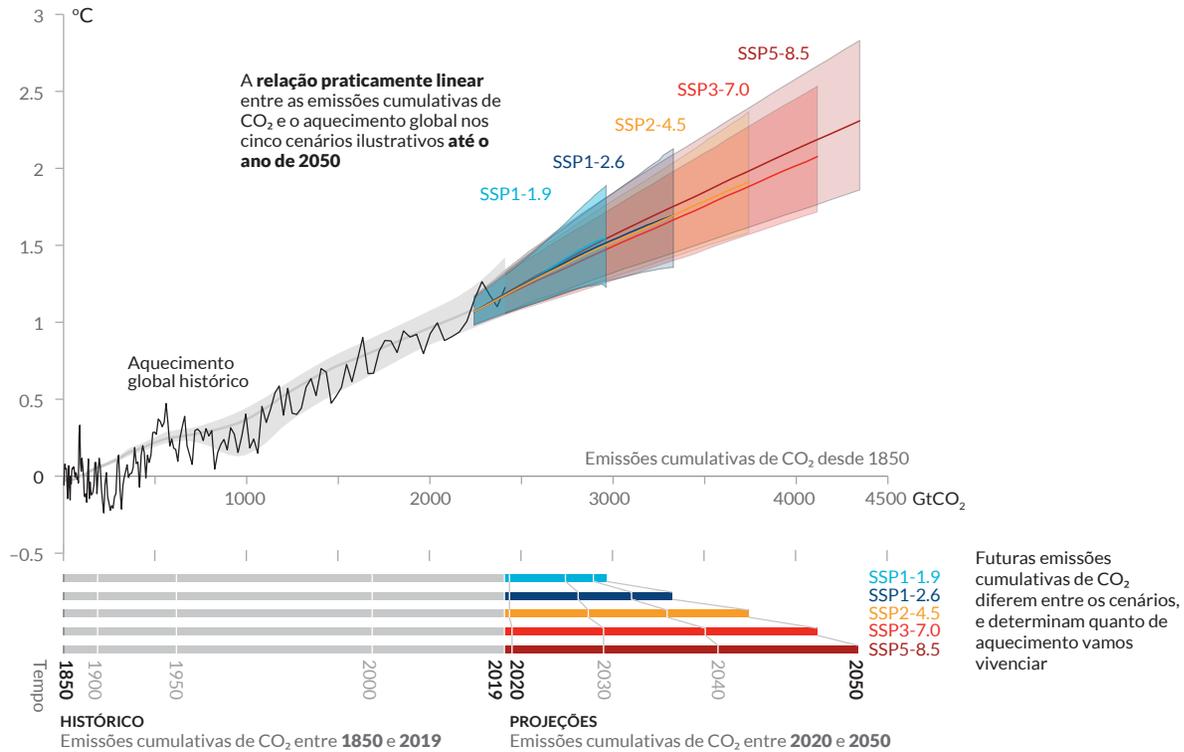


Figura SPM.10: Relação praticamente linear entre as emissões cumulativas de CO₂ e o aumento da temperatura da superfície global.

Painel superior: Dados históricos (linha preta fina) mostram o aumento observado em °C da temperatura da superfície global desde 1850–1900 em função de emissões cumulativas de dióxido de carbono (CO₂) em GtCO₂ de 1850 a 2019. A faixa cinza e sua linha central mostram a estimativa correspondente do histórico de aquecimento antropogênico da superfície (ver Figura SPM.2). As áreas coloridas mostram a faixa avaliada como muito provável de projeções de temperatura da superfície global, e as linhas centrais coloridas mais fortes mostram a estimativa média em função das emissões cumulativas de CO₂ de 2020 até o ano 2050 no conjunto de cenários ilustrativos (SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, e SSP5-8.5, ver Figura SPM.4). As projeções usam as emissões cumulativas de CO₂ de cada cenário respectivo, e o aquecimento global projetado inclui a contribuição de todas as forçantes antropogênicas. A relação é ilustrada no domínio das emissões cumulativas de CO₂ para as quais há *confiança alta* de que a Resposta Transiente do Clima às Emissões de Carbono Cumulativas (TCRE, na sigla em inglês) permanece constante, e pelo período de 1850 a 2050 durante o qual as emissões globais de CO₂ permaneceram positivas líquidas em todos os cenários ilustrativos já que há *evidência limitada* fundamentando a aplicação quantitativa de TCRE para estimar a evolução da temperatura com emissões negativas líquidas de CO₂.

Painel inferior: Histórico de emissões cumulativas de CO₂ e as emissões projetadas em GtCO₂ nos respectivos cenários.

{Figura TS.18, Figura 5.31, Seção 5.5}

D.1.2 No período de 1850–2019, foi emitido um total de 2390 ± 240 (faixa *provável*) GtCO₂ de CO₂ antropogênico. Os balanços de carbono restante foram estimados para vários limites de temperatura global e vários níveis de probabilidade, com base no valor estimado da TCRE e sua incerteza, estimativas do histórico de aquecimento, variações no aquecimento projetado de emissões de não-CO₂, *feedbacks* do sistema climático como emissões do *permafrost* em degelo, e a mudança da temperatura da superfície global após as emissões antropogênicas globais de CO₂ atingirem zero líquido.

{5.1, 5.5, Quadro 5.2, TS.3.3} (Tabela SPM.2)

Tabela SPM.2: Estimativas do histórico de emissões de CO₂ e balanços de carbono restante. Os balanços de carbono restante estimados são calculados a partir do início de 2020 e estendem-se até que as emissões líquidas globais zeros de CO₂ sejam alcançadas. Elas se referem às emissões de CO₂, tendo em conta o efeito de aquecimento global das emissões não-CO₂. Nesta tabela, aquecimento global se refere ao aumento antropogênico de temperatura da superfície global, que exclui o impacto da variabilidade natural sobre as temperaturas globais em anos isolados. {Tabela ST.3, Tabela 3.1, Tabela 5.1, Tabela 5.7, Tabela 5.8, 5.5.1, 5.5.2, Quadro 5.2}

Aquecimento global entre 1850–1900 e 2010–2019 (°C)		Histórico de emissões cumulativas de CO ₂ de 1850 a 2019 (GtCO ₂)					
1,07 (0,8–1,3; faixa provável)		2390 (± 240; faixa provável)					
Aquecimento global aproximado relativo a 1850–1900 até o limite de temperatura (°C)* ⁽¹⁾	Aquecimento global adicional relativo a 2010–2019 até o limite de temperatura (°C)	Balanços de carbono restante estimados desde o começo de 2020 (GtCO ₂)					Variações nas reduções das emissões não-CO ₂ * ⁽³⁾
		Probabilidade de limitar o aquecimento global ao limite de temperatura * ⁽²⁾					
		17%	33%	50%	67%	83%	
1,5	0,43	900	650	500	400	300	Reduções maiores ou menores das emissões complementares de não-CO ₂ podem aumentar ou diminuir os valores à esquerda em 220 GtCO ₂ ou mais
1,7	0,63	1450	1050	850	700	550	
2,0	0,93	2300	1700	1350	1150	900	

*⁽¹⁾ Valores a cada 0,1 °C de incremento de aquecimento estão disponibilizados nas Tabelas ST.3 e 5.8.

*⁽²⁾ Essa probabilidade baseia-se na incerteza da Resposta Transiente do Clima às Emissões de Carbono Cumulativas (TCRE, na sigla em inglês) e feedbacks adicionais do sistema Terrestre, e apresenta a probabilidade de que o aquecimento global não exceda os níveis de temperatura listados nas duas colunas à esquerda. Incertezas relacionadas ao histórico de aquecimento (±550 GtCO₂) e forçantes não-CO₂ e resposta (±220 GtCO₂) estão parcialmente abordados pela incerteza avaliada da TCRE, mas as incertezas em emissões recentes desde 2015 (±20 GtCO₂) e a resposta climática depois que as emissões líquidas zero de CO₂ são alcançadas (±420 GtCO₂) estão separadas.

*⁽³⁾ As estimativas do balanço de carbono restante consideram o aquecimento por fatores não-CO₂ como implícito nos cenários avaliados em SR1.5. A contribuição do Grupo de Trabalho III ao AR6 irá avaliar a mitigação de emissões não-CO₂.

D.1.3 Diversos fatores que determinam as estimativas do balanço de carbono restante foram reavaliados, e as atualizações desde o SR1.5 foram pequenas. Quando ajustadas para emissões desde relatórios anteriores, as estimativas dos balanços de carbono restante são, portanto, de magnitude semelhante em comparação ao SR1.5, porém maiores em comparação ao AR5 devido às melhorias metodológicas⁴⁴.

{5.5, Quadro 5.2, ST.3.3} (Tabela SPM.2)

D.1.4 A Remoção antropogênica de dióxido de carbono (*Carbon Dioxide Removal* – CDR, na sigla em inglês) tem o potencial de remover CO₂ da atmosfera armazená-lo de forma duradoura em reservatórios (*confiança alta*). O objetivo da CDR é compensar as emissões residuais para atingir emissões líquidas zero de CO₂ ou GEE, ou diminuir a temperatura da superfície, se implementada em uma escala onde as remoções antropogênicas excedem as emissões antropogênicas. Os métodos de CDR podem ter efeitos potencialmente amplos nos ciclos biogeoquímicos e no clima, o que pode enfraquecer ou fortalecer o potencial desses métodos para remover o CO₂ e reduzir o aquecimento, e também pode influenciar a disponibilidade e a qualidade da água, a produção de alimentos e a biodiversidade⁴⁵ (*confiança alta*).

{5.6, Quadro Transversal 5.1, TS.3.3}

44 Em comparação ao AR5, e ao analisar as emissões desde esse mesmo relatório, as estimativas do AR6 estão cerca de 300–350 GtCO₂ maiores para o orçamento de carbono restante consistente com a limitação do aquecimento a 1,5°C; para o aquecimento de 2°C, a diferença é de cerca de 400–500 GtCO₂.

45 Os potenciais efeitos negativos e positivos da CDR para a biodiversidade, a água e a produção de alimentos são específicos a depender do método, muitas vezes em função contexto local, da gestão, do uso prévio do solo e da escala. O Grupo de Trabalho II e III do IPCC avaliam os efeitos potenciais, ecológicos e socioeconômicos dos métodos de CDR em suas contribuições ao AR6.

- D.1.5 A Remoção antropogênica de dióxido de carbono (CDR) conduzindo a emissões líquidas globais negativas reduziria a concentração atmosférica de CO₂ e reverteria a acidificação superficial dos oceanos (*confiança alta*). As remoções e emissões antropogênicas de CO₂ são parcialmente compensadas pela liberação e absorção de CO₂ respectivamente, de ou para reservatórios de carbono no continente e no oceano (*confiança muito alta*). A CDR reduziria o CO₂ atmosférico em uma quantidade aproximadamente igual ao aumento de uma emissão antropogênica da mesma magnitude (*confiança alta*). A diminuição do CO₂ atmosférico resultante das remoções antropogênicas de CO₂ pode ser até 10% menor do que o aumento do CO₂ atmosférico a partir de uma quantidade igual de emissões de CO₂, dependendo da quantidade total de CDR (*confiança média*). {5,3, 5,6, TS.3.3}
- D.1.6 Se as emissões líquidas globais negativas de CO₂ fossem alcançadas e mantidas, o aumento da temperatura da superfície global induzido por CO₂ seria revertido gradualmente, mas outras mudanças climáticas continuariam em seu curso atual por décadas a milênios (*confiança alta*). Por exemplo, levaria vários séculos a milênios para o nível global médio do mar reverter o curso mesmo sob grandes emissões líquidas negativas de CO₂ (*confiança alta*). {4,6, 9,6, ST.3.3}
- D.1.7 Nos cinco cenários ilustrativos, as mudanças simultâneas nas emissões de CH₄, aerossóis e precursores de ozônio, que também contribuem para a poluição do ar, resultam em um aquecimento líquido da superfície global a curto e longo prazo (*confiança alta*). A longo prazo, esse aquecimento líquido é menor nos cenários onde há controles de poluição do ar juntamente com reduções expressivas e sustentadas de emissões de CH₄ (*confiança alta*). Nos cenários de emissões baixas e muito baixas de GEE, as reduções presumidas das emissões antropogênicas de aerossóis resultaram em um aquecimento líquido, enquanto as reduções de emissões de CH₄ e outros precursores de ozônio resultaram em resfriamento líquido. Devido ao curto tempo de vida tanto do CH₄ quanto dos aerossóis, esses efeitos climáticos se compensam parcialmente e as reduções nas emissões de CH₄ também contribuem para a melhoria da qualidade do ar por meio da redução de ozônio da superfície global (*confiança alta*). {6.7, Box TS.7} (Figura SPM.2, Quadro SPM.1)
- D.1.8 É necessário alcançar emissões globais líquidas zero de CO₂ para estabilizar o aumento de temperatura da superfície global induzido por CO₂, com as emissões de CO₂ equilibradas pelas remoções do mesmo gás. Isso é diferente de alcançar emissões líquidas zero de GEE, onde as emissões antropogênicas de GEE ponderadas por métricas são iguais às remoções antropogênicas de GEE ponderadas por métricas. Para uma determinada trajetória de emissão de GEE, as trajetórias de gases de efeito estufa isolados determinam a resposta climática resultante⁴⁶, enquanto a escolha da métrica⁴⁷ de emissão usada para calcular as emissões agregadas e remoções de diferentes GEE afetam o momento no tempo em que os gases agregados são calculados para alcançarem emissões líquidas zero. Projeta-se que as trajetórias de emissão que alcançam e mantêm emissões líquidas zero de GEE definidas pelo potencial de aquecimento de 100 anos resultam em uma queda da temperatura da superfície após um pico inicial (*confiança alta*). {4.6, 7.6, Quadro 7,3, ST.3.3}
- D.2 Os cenários com emissões baixas ou muito baixas de GEE (SSP1-1.9 e SSP1-2.6) levam, em anos, a efeitos perceptíveis nas concentrações de GEE e aerossóis, e qualidade do ar, em comparação aos cenários de emissões altas e muito altas (SSP3-7.0 ou SSP5-8.5). Nesses cenários contrastantes, as diferenças perceptíveis nas tendências da temperatura da superfície global começariam a sair da variabilidade natural dentro de cerca de 20 anos, e durante períodos mais longos para muitos outros agentes causadores de impacto climático (*confiança alta*). {4.6, Quadro Transversal 6.1, 6.6, 6.7, 9.6, Quadro Transversal 11.1, 11.2, 11.4, 11.5, 11.6, {12.4, 12.5} (Figura SPM.8, Figura SPM.10)**
- D.2.1 As reduções de emissões em 2020, associadas a medidas para reduzir a disseminação da COVID-19, resultaram em efeitos transitórios, mas perceptíveis, na poluição do ar (*confiança alta*), e por consequência um aumento pequeno e temporário na forçante radiativa, principalmente devido às reduções no resfriamento que são causadas por aerossóis advindos das atividades humanas (*confiança média*). No entanto, as respostas, tanto global como regional, a essa forçante temporária são imperceptíveis acima da variabilidade natural (*confiança alta*). As concentrações de CO₂ atmosférico continuaram a aumentar em 2020, sem diminuição perceptível da taxa de aumento de CO₂ observada (*confiança média*)⁴⁸. {Quadro Transversal 6.1, TS.3.3}

46 Termo geral para como o sistema climático responde à forçante radiativa (ver Glossário).

47 A escolha da métrica de emissões depende dos objetivos para os quais gases e agentes forçantes estão sendo comparados. Este relatório contém valores métricos de emissão atualizados e avalia novas abordagens para agregar gases.

48 Para os outros GEE, não havia literatura suficiente disponível à época da avaliação para avaliar as mudanças perceptíveis em sua taxa de crescimento atmosférico em 2020.

- D.2.2 Reduções nas emissões de GEE também resultam em melhorias na qualidade do ar. No entanto, no curto prazo⁴⁹, mesmo em cenários com uma forte redução de GEE, como nos cenários de emissões baixas e muito baixas (SSP1-2.6 e SSP1-1.9), em muitas regiões poluídas essas melhorias não são suficientes para cumprir as orientações de qualidade do ar especificadas pela Organização Mundial de Saúde (*confiança alta*). Cenários com reduções direcionadas de emissões de poluentes atmosféricos resultam em melhorias mais rápidas na qualidade do ar em anos em comparação às reduções apenas nas emissões de GEE, mas a partir de 2040, projetam-se novas melhorias em cenários que combinem esforços para reduzir os poluentes atmosféricos e também as emissões de GEE, com a magnitude do benefício variável entre as regiões (*confiança alta*). {6.6, 6.7, Quadro TS.7}.
- D.2.3 Cenários de emissões muito baixas ou baixas de GEE (SSP1-1.9 e SSP1-2.6) teriam efeitos rápidos e sustentados para limitar a mudança do clima antropogênica em comparação com os cenários de emissões altas ou muito altas de GEE (SSP3-7.0 ou SSP5-8.5), mas as respostas iniciais do sistema climático podem ser mascaradas pela variabilidade natural. Para a temperatura da superfície global, é *provável* que as diferenças nas tendências de 20 anos surjam no curto prazo no cenário de emissões muito baixas de GEE (SSP1-1.9), em comparação aos cenários de emissões altas ou muito altas (SSP3-7.0 ou SSP5-8.5). A resposta de muitas outras variáveis climáticas surgiria da variabilidade climática em épocas diferentes ao fim do século XXI (*confiança alta*). {4.6, Quadro Interseccional ST.1} (**Figura SPM.8, Figura SPM.10**)
- D.2.4 Cenários com emissões muito baixas ou baixas de GEE (SSP1-1.9 e SSP1-2.6) resultariam em mudanças substancialmente menores em uma faixa de CIDs³⁶ além de 2040 do que em cenários de emissões altas e muito altas de GEE (SSP3-7.0 e SSP5-8.5). Até o final do século, cenários de emissões muito baixas e baixas de GEE vão limitar fortemente a mudança de diversos CIDs, como o aumento da frequência de eventos extremos ao nível do mar, precipitação intensa e enchentes pluviais, e a ultrapassagem de limiares de calor perigosos, ao mesmo tempo em que limitam o número de regiões isso ocorre, em relação a cenários de emissões de GEE mais elevados (*confiança alta*). As mudanças também seriam menores em cenários de emissões muito baixas em comparação aos cenários de baixas emissões, assim como em comparação aos cenários intermediários (SSP2-4.5), em comparação com cenários de emissões altas ou muito altas (*confiança alta*). {9.6, Quadro Transversal 11.1, 11.2, 11.3, 11.4, 11.5, 11.6, 11.9, 12.4, 12.5, TS.4.3}

49 Curto prazo: (2021– 2040)

