

# O Oceano e a Criosfera em um Clima em Mudança

Um Relatório Especial do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima

**Sumário para Formuladores de Políticas**



# O Oceano e a Criosfera em um Clima em Mudança

Um Relatório Especial do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima

## Sumário para Formuladores de Políticas

Editado por

**Hans-Otto Pörtner**

Vice-Coordenador do Grupo de Trabalho II

**Valérie Masson-Delmotte**

Vice-Coordenadora do Grupo de Trabalho I

**Melinda Tignor**

Chefe do TSU do GTII

**Elvira Poloczanska**

Conselheira Científica dos  
Vice-Coordenadores do GT II e do TSU

**Debra Roberts**

Vice-Coordenadora do Grupo de Trabalho II

**Panmao Zhai**

Vice-Coordenador do Grupo de Trabalho I

**Katja Mintenbeck**

Diretora de Ciência

**Andrés Alegría**

Gerente Gráfico

**Maike Nicolai**

Gerente de Comunicação

**Andrew Okem**

Gerente Científico

**Jan Petzold**

Gerente Científico

**Bardhyl Rama**

Diretor de Operações

**Nora M. Weyer**

Gerente Científico

Unidade de Suporte do Grupo de Trabalho II

Arte e layout da capa e contracapa de Stefanie Langsdorf

© 2019 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 novembro de 2019 pelo IPCC, Suíça. Cópias eletrônicas do Sumário para Formuladores de Políticas original estão disponíveis no site do IPCC, [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)

ISBN 978-92-9169-155-5

## Informações sobre a versão traduzida para a língua portuguesa

### Tradutora

Mariane Arantes Rocha de Oliveira

### Revisão

Andréa Nascimento de Araújo

Claudia Alves de Magalhães

Letícia Cotrim da Cunha

### Diagramação

Ct. Comunicação



GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY  
INVESTING IN OUR PLANET



Empoderando vidas.  
Fortalecendo nações.

MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,  
E INOVAÇÕES



PÁTRIA AMADA  
**BRASIL**  
GOVERNO FEDERAL

# **Sumário para Formuladores de Políticas**





## Sumário para Formuladores de Políticas

### **Autores do texto:**

Nerilie Abram (Austrália), Carolina Adler (Suíça/Austrália), Nathaniel L. Bindoff (Austrália), Lijing Cheng (China), So-Min Cheong (República da Coreia), William W. L. Cheung (Canadá), Matthew Collins (UK), Chris Derksen (Canadá), Alexey Ekaykin (Federação Russa), Thomas Frölicher (Suíça), Matthias Garschagen (Alemanha), Jean-Pierre Gattuso (França), Bruce Glavovic (Nova Zelândia), Stephan Gruber (Canadá/Alemanha), Valeria Guinder (Argentina), Robert Hallberg (EUA), Sherilee Harper (Canadá), Nathalie Hilmi (Mônaco/França), Jochen Hinkel (Alemanha), Yukiko Hirabayashi (Japão), Regine Hock (EUA), Anne Hollowed (EUA), Helene Jacot Des Combes (Fiji), James Kairo (Kenya), Alexandre K. Magnan (França), Valérie Masson-Delmotte (França), J.B. Robin Matthews (Reino Unido), Kathleen McInnes (Austrália), Michael Meredith (Reino Unido), Katja Mintenbeck (Alemanha), Samuel Morin (França), Andrew Okem (África do Sul/Nigéria), Michael Oppenheimer (EUA), Ben Orlove (EUA), Jan Petzold (Alemanha), Anna Pirani (Itália), Elvira Poloczanska (Reino Unido/Austrália), Hans-Otto Pörtner (Alemanha), Anjal Prakash (Nepal/Índia), Golam Rasul (Nepal), Evelia Rivera-Arriaga (México), Debra C. Roberts (África do Sul), Edward A.G. Schuur (EUA), Zita Sebesvari (Hungria/Alemanha), Martin Sommerkorn (Noruega/Alemanha), Michael Sutherland (Trinidad e Tobago), Alessandro Tagliabue (Reino Unido), Roderik Van De Wal (Países Baixos), Phil Williamson (Reino Unido), Rong Yu (China), Panmao Zhai (China)

### **Colaboradores:**

Andrés Alegria (Honduras), Robert M. DeConto (EUA), Andreas Fischlin (Suíça), Shengping He (Noruega/China), Miriam Jackson (Noruega), Martin Künsting (Alemanha), Erwin Lambert (Netherlands), Pierre-Marie Lefeuve (Noruega/França), Alexander Milner (Reino Unido), Jess Melbourne-Thomas (Austrália), Benoit Meyssignac (França), Maïke Nicolai (Alemanha), Hamish Pritchard (Reino Unido), Heidi Steltzer (EUA), Nora M. Weyer (Alemanha)

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

### **O Sumário para Formuladores de Políticas original deve ser citado como:**

IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M.Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. No prelo.







## Introdução

Este Relatório Especial sobre o Oceano e a Criosfera<sup>1</sup> em um Clima em Mudança (doravante referido neste texto por sua sigla em inglês SROCC) foi preparado de acordo com a decisão do Painel do IPCC, em 2016, de preparar três Relatórios Especiais durante o Sexto Ciclo de Avaliação<sup>2</sup>. Ao avaliar a nova literatura científica<sup>3</sup>, o SROCC<sup>4</sup> responde às propostas de organizações governamentais e de observadores. O SROCC acompanha outros dois Relatórios Especiais, um sobre o Aquecimento Global de 1,5°C (SR1.5) e o outro sobre Mudança do clima e terra (SRCCL)<sup>5</sup>, além do Relatório de Avaliação Global da Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (IPBES).

Este Sumário para Formuladores de Políticas (doravante referido neste texto por sua sigla em inglês SPM) agrega as principais constatações do relatório e está dividido em três partes: *SPM.A: Mudanças e Impactos Observados*, *SPM.B: Mudanças e Riscos Projetados*, e *SPM.C: Como implementar respostas para as mudanças dos Oceanos e Criosfera*. Para ajudar na leitura do documento, os ícones abaixo indicam onde o conteúdo pode ser encontrado. O nível de confiança associado a cada conclusão é relatado de acordo com a linguagem de calibração do IPCC<sup>6</sup> e a base científica subjacente de cada conclusão principal é indicada por referências a seções do relatório subjacente.

Chave de ícones para indicação de conteúdo

	Criosfera de alta montanha
	Regiões polares
	Costas e aumento do nível do mar
	Oceano

<sup>1</sup> A criosfera é definida neste relatório (Anexo I: Glossário) como os componentes do Sistema Terrestre na superfície e abaixo da terra e do oceano que estão congelados, incluindo cobertura de neve, geleiras, mantos e capas de gelo, *icebergs*, gelo marinho, lagos congelados, gelo de rio, *permafrost* e solo congelado sazonalmente.

<sup>2</sup> A decisão de preparar um Relatório Especial sobre Mudança do Clima, Oceanos e a Criosfera foi tomada na Quadragésima Terceira Sessão do IPCC em Nairóbi, Quênia, de 11 a 13 de abril de 2016.

<sup>3</sup> Datas limite: 15 de outubro de 2018 para submissão de manuscritos, 15 de maio de 2019 para aceitação para publicação.

<sup>4</sup> O SROCC é produzido sob a liderança científica dos Grupos de Trabalho I e II. De acordo com o esquema aprovado, as opções de mitigação (Grupo de Trabalho III) não são avaliadas, com exceção do potencial de mitigação do carbono azul (ecossistemas costeiros).

<sup>5</sup> Os títulos completos dos outros dois Relatórios Especiais são: "Aquecimento Global de 1,5°C. Relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (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"; "Mudança do clima e terra: Relatório especial do IPCC sobre mudança do clima, desertificação, degradação da terra, manejo sustentável da terra, segurança alimentar, e fluxos de gases de efeito estufa em ecossistemas terrestres".

<sup>6</sup> Cada conclusão é baseada na avaliação de evidências e acordos subjacentes. Níveis de confiança são expressos com o uso de cinco qualificadores: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto, em itálico, por exemplo, *confiança média*. Os seguintes termos têm sido usados para indicar a probabilidade avaliada de uma conclusão ou resultado: probabilidade virtualmente certa 99–100%, 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%, mais improvável que provável 0–<50%, extremamente improvável 0–5%) também podem ser usados quando apropriado. A probabilidade avaliada é expressa em itálico, por exemplo, *muito provável*. Isso está condizente com o AR5 do IPCC e outros Relatórios Especiais do AR6. Termos adicionais (extremamente provável 95–100%, mais provável que não provável >50–100%, mais improvável que provável 0–<50%, extremamente improvável 0–5%) são usados quando convém. Este Relatório também usa os termos "variação *provável*" ou "variação *muito provável*" para indicar que a probabilidade avaliada de um resultado está dentro da variação de probabilidade de 17 a 83% ou de 5 a 95%. {1.9.2, Figura 1.4}

## Quadro inicial | A Importância do Oceano e da Criosfera para as pessoas

Todas as pessoas na Terra dependem direta ou indiretamente do oceano e da criosfera. O oceano global cobre 71% da superfície da Terra e contém cerca de 97% da água do planeta. A criosfera refere-se a componentes congelados do Sistema Terrestre<sup>1</sup>. Cerca de 10% da área terrestre da Terra é coberta por geleiras ou mantos de gelo. O oceano e a criosfera sustentam habitats únicos e estão interconectados com outros componentes do sistema climático por meio da troca global de água, energia e carbono. As respostas projetadas dos oceanos e da criosfera às emissões pretéritas e atuais de gases de efeito estufa induzidas pelo homem e ao aquecimento global contínuo incluem *feedbacks* climáticos e mudanças ao longo de décadas e milênios que não podem ser evitadas, limites de mudanças bruscas, e irreversibilidade. {Quadro 1.1, 1.2}

Comunidades humanas em contato próximo com os ambientes costeiros, pequenas ilhas (incluindo Pequenos Estados Insulares em Desenvolvimento, SIDS), áreas polares e altas montanhas<sup>7</sup> estão particularmente expostas às mudanças do oceano e da criosfera, tais como o aumento do nível do mar, nível do mar extremo e encolhimento da criosfera. Outras comunidades mais afastadas da costa também estão expostas a mudanças no oceano, como por meio de eventos climáticos extremos. Hoje, cerca de 4 milhões de pessoas vivem permanentemente na região do Ártico, das quais 10% são indígenas. A zona costeira baixa<sup>8</sup> atualmente abriga cerca de 680 milhões de pessoas (quase 10% da população global de 2010), projetadas para atingir mais de um bilhão em 2050. Os SIDS abrigam 65 milhões de pessoas. Cerca de 670 milhões de pessoas (quase 10% da população global de 2010), incluindo povos indígenas, vivem em regiões de alta montanha em todos os continentes, exceto na Antártida. Nas regiões de alta montanha, a população deverá atingir entre 740 e 840 milhões até 2050 (aproximadamente 8,4–8,7% da população global projetada {1.1, 2.1, 3.1, Quadro 9 do Capítulo Transversal, Figura 2.1}

Além de seu papel no sistema climático, como a captação e redistribuição de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) natural e antrópico e calor, bem como o apoio ao ecossistema, os serviços prestados às pessoas pelo oceano ou pela criosfera incluem a oferta de alimentos e água, energia renovável e benefícios para saúde e bem-estar, valores culturais, turismo, comércio e transporte. O estado do oceano e da criosfera interage com cada aspecto da sustentabilidade refletido nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (ODS). {1.1, 1.2, 1.5}


<sup>7</sup> As áreas de alta montanha incluem todas as regiões montanhosas onde geleiras, neve ou gelo permanente são características proeminentes da paisagem. Para obter uma lista das regiões de alta montanha descritas neste relatório, consulte o Capítulo 2. A população nas regiões de alta montanha é calculada para áreas a menos de 100 quilômetros de geleiras ou *permafrost* nas áreas de alta montanha avaliadas neste relatório. {2.1} As projeções para 2050 indicam a variação de população nessas regiões nas cinco Trajetórias Socioeconômicas Compartilhadas. {Quadro 1 do Capítulo Transversal em Capítulo 1}


<sup>8</sup> A população da zona costeira de baixa altitude é calculada para áreas terrestres conectadas à costa, incluindo pequenos estados insulares, a menos de 10 metros acima do nível do mar. {Capítulo Transversal Quadro 9} As projeções para 2050 mostram a variação da população nessas regiões nas cinco Trajetórias Socioeconômicas Compartilhadas. {Quadro 1 do Capítulo Transversal em Capítulo 1}


## A. Mudanças e impactos observados


### Mudanças físicas observadas

**A.1 Nas últimas décadas, o aquecimento global levou a um encolhimento generalizado da criosfera, com perda de massa dos mantos de gelo e geleiras (*confiança muito alta*), redução da cobertura por neve (*confiança alta*) e da extensão e espessura de gelo marinho do Ártico (*confiança muito alta*), e aumentou a temperatura do *permafrost* (*confiança muito alta*). {2.2, 3.2, 3.3, 3.4, Figuras SPM.1, SPM.2}**

A.1.1  Mantos de gelo e geleiras em todo o mundo perderam massa (*confiança muito alta*). Entre 2006 e 2015, o Manto de Gelo da Groenlândia<sup>9</sup> perdeu massa polar a uma taxa média de  $278 \pm 11 \text{ Gt ano}^{-1}$  (equivalente a  $0,77 \pm 0,03 \text{ mm ano}^{-1}$  do aumento global do nível do mar)<sup>10</sup>, principalmente devido ao derretimento da superfície (*confiança alta*). Em 2006–2015, o Manto de Gelo da Antártida perdeu massa a uma taxa média de  $155 \pm 19 \text{ Gt ano}^{-1}$  ( $0,43 \pm 0,05 \text{ mm ano}^{-1}$ ), principalmente devido ao degelo rápido e retração das principais geleiras de escoamento que drenam o Manto de Gelo da Antártida Ocidental (*confiança muito alta*). Geleiras em todo o mundo, além da Groenlândia e Antártida, perderam massa a uma taxa de  $220 \pm 30 \text{ Gt ano}^{-1}$  (equivalente a  $0,61 \pm 0,08 \text{ mm ano}^{-1}$  do aumento do nível do mar) em 2006–2015. {3.3.1, 4.2.3, Apêndice 2.A, Figura SPM.1}

A.1.2  A extensão da cobertura de neve do Ártico em junho diminuiu  $13,4 \pm 5,4\%$  por década, de 1967 a 2018, uma perda de massa total de cerca de 2,5 milhões  $\text{km}^2$ , predominantemente devido ao aumento da temperatura do ar da superfície (*confiança alta*). Em quase todas as áreas de alta montanha, a profundidade, extensão e duração da cobertura de neve diminuíram nas últimas décadas, especialmente em altitudes mais baixas (*confiança alta*). {2.2.2, 3.4.1, Figura SPM.1}

A.1.3  A temperatura do *permafrost* aumentou a níveis recorde (dos anos 1980–presente) (*confiança muito alta*) incluindo o aumento recente de  $0,29^\circ\text{C} \pm 0,12^\circ\text{C}$  em média de 2007 a 2016 das regiões polares e de alta montanha globalmente. O *permafrost* ártico e boreal contém 1460–1600 Gt de carbono orgânico, quase duas vezes o carbono da atmosfera (*confiança média*). Há *evidência média com baixa concordância* sobre se as regiões de *permafrost* do norte estão atualmente liberando metano e  $\text{CO}_2$  líquido adicional devido ao degelo. O degelo do *permafrost* e a retração de geleiras diminuíram a estabilidade das encostas das montanhas (*confiança alta*). {2.2.4, 2.3.2, 3.4.1, 3.4.3, Figura SPM.1}

A.1.4  Entre 1979 e 2018, *muito provavelmente* a extensão do gelo do Ártico diminuiu em todos os meses do ano. As reduções de gelo no mar em setembro *muito provavelmente* estão em  $12,8 \pm 2,3\%$  por década. Essas mudanças de gelo no mar em setembro são *provavelmente* sem precedentes por pelo menos 1.000 anos. O gelo marinho do Ártico diminuiu, concomitantemente à transição para o gelo mais recente: entre 1979 e 2018, a proporção da área de gelo multianual com pelo menos cinco anos diminuiu em aproximadamente 90% (*confiança muito alta*). *Feedbacks* da perda de gelo marinho no verão e da cobertura de neve em terra na primavera contribuíram para o aquecimento aumentado no Ártico (*confiança alta*) onde a temperatura do ar na superfície *provavelmente* aumentou mais que o dobro da média global das duas últimas décadas. Alterações no gelo marinho do Ártico têm o potencial de influenciar o clima de latitude média (*confiança média*), mas há *confiança baixa* na detecção dessa influência para tipos de clima específicos. A extensão total da Antártida apresentou tendência não estatisticamente significativa (1979–2018) devido aos sinais regionais contrastantes e à grande variabilidade interanual (*confiança alta*). {3.2.1, 6.3.1, Quadro 3.1, Quadro 3.2, SPM A.1.2, Figuras SPM.1, SPM.2}

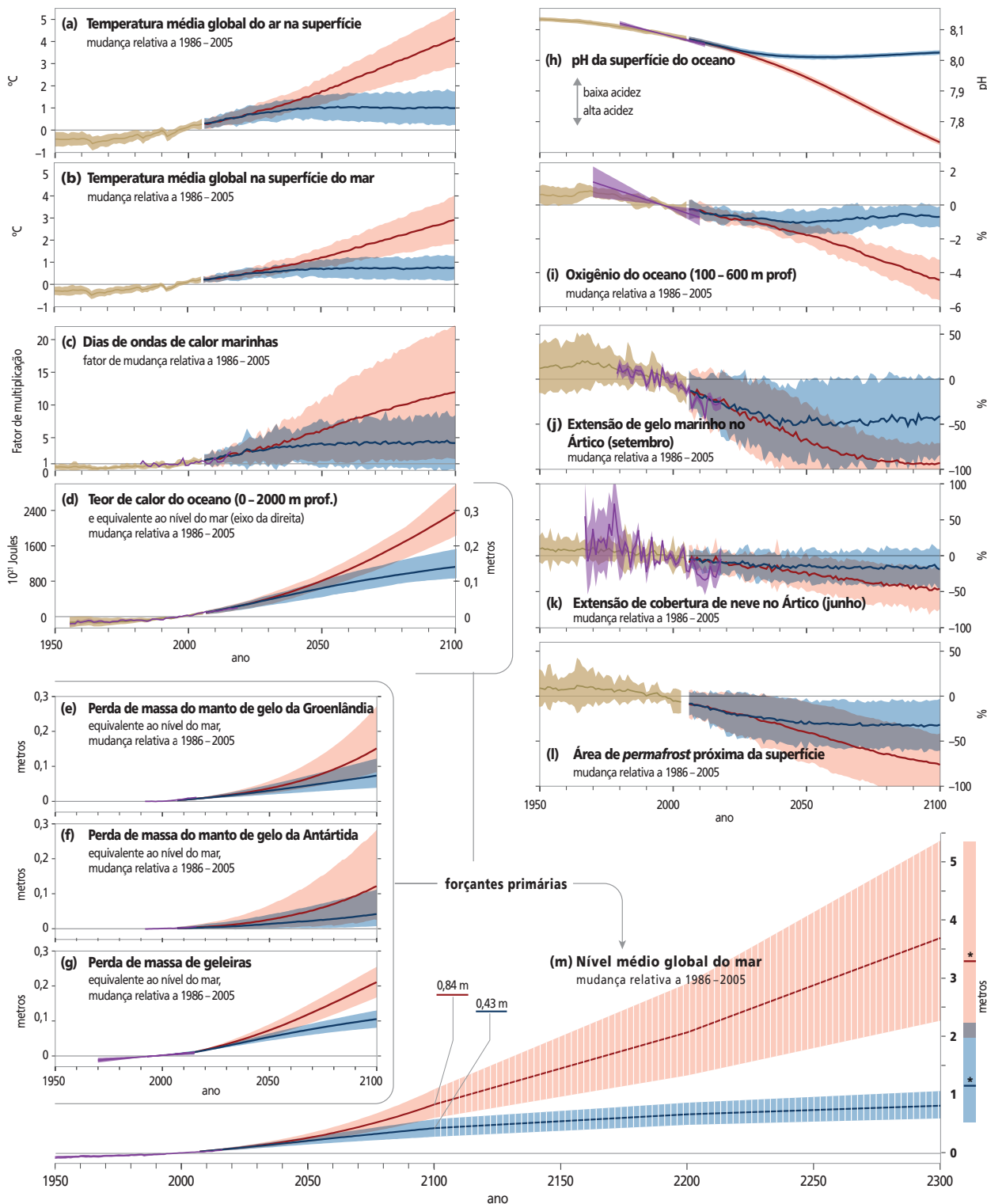
<sup>9</sup> Incluindo geleiras periféricas.

<sup>10</sup> 360 Gt de gelo corresponde a 1 mm do nível médio do mar global.

# Mudanças pretéritas e futuras no oceano e na criosfera

Mudanças históricas (observadas e modeladas) e projeções de acordo com RCP2.6 e RCP8.5 para indicadores-chave

■ Histórica (observada)   
 ■ Histórica (modelada)   
 ■ Projetada (RCP2.6)   
 ■ Projetada (RCP8.5)



**Figura SPM.1** | Mudanças históricas observadas e modeladas no oceano e na criosfera desde 1950<sup>11</sup>, e mudanças futuras projetadas em cenários de baixas (RCP2.6) e altas (RCP8.5) emissões de gases de efeito estufa. {Quadro SPM.1}

<sup>11</sup> Isso não quer dizer que as mudanças começaram em 1950. Alterações em algumas variáveis vêm ocorrendo desde o período pré-industrial.

**Figura SPM.1** (continuação): Mudanças são mostradas para: **(a)** Mudança global média da temperatura do ar na superfície com variação *provável*. {Quadro SPM.1, Quadro 1 do Capítulo Transversal em Capítulo 1} **Mudanças relacionadas ao oceano** com variações  *muito prováveis* para **(b)** Mudança global média da temperatura da superfície do mar {Quadro 5.1, 5.2.2}; **(c)** Fator de mudança em dias de ondas de calor marinhas na superfície do oceano {6.4.1}; **(d)** Mudança global do teor de calor do oceano (0–2000 m de profundidade). Um equivalente estérico aproximado do nível do mar é mostrado no eixo da direita por meio da multiplicação do teor de calor do oceano pelo coeficiente global médio de expansão térmica ( $E \approx 0,125$  m por  $10^{24}$  Joules)<sup>12</sup> para o aquecimento observado desde 1970 {Figura 5.1}; **(h)** pH global médio da superfície (em escala total). As tendências observacionais avaliadas são compiladas a partir de sites de séries temporais de mar aberto por mais de 15 anos {Quadro 5.1, Figura 5.6, 5.2.2}; e **(i)** Mudança global média de oxigênio no oceano (100–600 m de profundidade). As tendências observacionais avaliadas abrangem o período de 1970–2010, centradas em 1996 {Figura 5.8, 5.2.2}. **Mudanças no nível do mar** com variações *prováveis* para **(m)** Mudança global média do nível do mar. O sombreado hachurado reflete *pouca confiança* nas projeções do nível do mar além de 2100 e as barras até 2300 refletem o levantamento de especialistas sobre a variação possível de mudança do nível do mar {4.2.3, Figura 4.2}; e componentes de **(e,f)** perda de massa dos mantos de gelo da Groenlândia e Antártida {3.3.1}; e **(g)** perda de massa nas geleiras {Quadro 6 do Capítulo Transversal em Capítulo 2, Tabela 4.1}. Outras **mudanças relacionadas à criosfera** com variações  *muito prováveis* para **(j)** Mudança na extensão de gelo marinho Ártico em setembro<sup>13</sup> {3.2.1, 3.2.2 Figura 3.3}; **(k)** Mudança na cobertura de neve do Ártico em junho (áreas de ambiente terrestre ao norte de 60°N) {3.4.1, 3.4.2, Figura 3.10}; e **(l)** Mudança na área de *permafrost* próxima da superfície (de 3–4 m) no Hemisfério Norte {3.4.1, 3.4.2, Figura 3.10}. As avaliações das mudanças projetadas nos cenários intermediários RCP4.5 e RCP6.0 não estão disponíveis para todas as variáveis aqui consideradas, mas quando disponíveis podem ser encontradas no relatório subjacente. {Para RCP4.5 ver: 2.2.2, Quadro 6 do Capítulo Transversal em Capítulo 2, 3.2.2, 3.4.2, 4.2.3, para RCP6.0 ver Quadro 1 do Capítulo Transversal em Capítulo 1}

## Quadro SPM.1 | Uso dos Cenários de Mudança do Clima neste SROCC

As avaliações das mudanças futuras projetadas neste relatório são baseadas principalmente nos modelos de projeções climáticas do CMIP5<sup>14</sup> usando Trajetórias Representativas de Concentração (da sigla em inglês RCPs). As RCPs são cenários que incluem uma série temporal de emissões e concentrações do conjunto completo de gases de efeito estufa (GEE) e aerossóis e gases quimicamente ativos, bem como uso/ cobertura da terra. As RCPs fornecem apenas um conjunto de muitos cenários possíveis que levariam a diferentes níveis de aquecimento global. {Anexo I: Glossário}

Este relatório usa principalmente a RCP2.6 e a RCP8.5 em sua avaliação, refletindo a literatura disponível. A RCP2.6 representa um futuro com baixas emissões de gases de efeito estufa e alta mitigação, que nas simulações CMIP5 resulta na possibilidade de duas em três de limitar o aquecimento global abaixo de 2°C até 2100<sup>15</sup>. Em contraste, a RCP8.5 é um cenário de altas emissões de gases de efeito estufa e ausência de políticas de combate à mudança do clima, o que gera um crescimento contínuo e constante das concentrações de gases de efeito estufa. Na comparação com todas as RCPs, a RCP8.5 corresponde à trajetória com maiores emissões de gases de efeito estufa. Os capítulos subjacentes também fazem referência a outros cenários, inclusive RCP4.5 e RCP6.0 que têm níveis intermediários de emissões de gases de efeito estufa e resultam em níveis intermediários de aquecimento. {Anexo I: Glossário, Quadro 1 do Capítulo Transversal em Capítulo 1}

A Tabela SPM.1 fornece estimativas de aquecimento total desde o período pré-industrial de quatro RCPs distintas, para os intervalos de avaliação principais usados neste SROCC. O aquecimento do período 1850–1900 até 1986–2005 foi avaliado em 0,63°C (variação *provável* de 0,57°C a 0,69°C) usando observações da temperatura do ar próxima à superfície sobre os oceanos e sobre os ambientes terrestres.<sup>16</sup> Consistente com a abordagem do AR5, mudanças futuras modeladas na temperatura média global do ar na superfície em relação a 1986–2005 foram adicionadas a esse aquecimento observado. {Quadro 1 do Capítulo Transversal em Capítulo 1}

**Tabela SPM.1** | Mudança projetada da temperatura média global da superfície em relação a 1850–1900 para dois períodos sob quatro RCPs<sup>15</sup> {Quadro 1 do Capítulo Transversal em Capítulo 1}

Cenário	Curto-prazo: 2031–2050		Final do século: 2081–2100	
	Média (°C)	Variação <i>provável</i> (°C)	Média (°C)	Variação <i>provável</i> (°C)
RCP2.6	2	1,1 a 2,0	1,6	0,9 a 2,4
RCP4.5	1,7	1,3 a 2,2	2,5	1,7 a 3,3
RCP6.0	1,6	1,2 a 2,0	2,9	2,0 a 3,8
RCP8.5	2,0	1,5 a 2,4	4,3	3,2 a 5,4

<sup>12</sup> Este fator de escala (expansão global média do oceano à medida que o nível do mar sobe em metros por unidade de calor) varia em cerca de 10% entre os diferentes modelos e aumentará sistematicamente em cerca de 10% até 2100 sob a RCP8.5, forçando, devido ao aquecimento do oceano, um aumento do coeficiente médio de expansão térmica. {4.2.1, 4.2.2, 5.2.2}

<sup>13</sup> O gelo marinho da Antártida não é mostrado aqui devido à *baixa confiança* nas projeções futuras. {3.2.2}


<sup>14</sup> CMIP5 é a Fase 5 do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (*Coupled Model Intercomparison Project*) (Anexo I: Glossário).


<sup>15</sup> Uma trajetória com menores emissões (RCP1.9), que corresponderia a um nível menor de aquecimento projetado que a RCP2.6, não faz parte do CMIP5.


<sup>16</sup> Em alguns casos, este relatório avalia as mudanças relativas a 2006–2015. O aquecimento do período 1850–1900 até 2006–2015 foi avaliado em 0,87°C (variação *provável* de 0,75 a 0,99°C). {Quadro 1 do Capítulo Transversal em Capítulo 1}





**A.2 É praticamente certo que o oceano tem se aquecido globalmente e de forma constante desde 1970 e absorveu mais de 90% do excesso de calor no sistema climático (confiança alta). Desde 1993, a taxa de aquecimento do oceano mais que dobrou (provável). Ondas de calor marinhas muito provavelmente dobraram de frequência desde 1982 e estão aumentando em intensidade (confiança muito alta). Ao absorver mais CO<sub>2</sub>, o oceano passou por um aumento da acidificação da superfície (praticamente certo). Ocorreu perda de oxigênio da superfície até 1000 m (confiança média). {1.4, 3.2, 5.2, 6.4, 6.7, Figuras SPM.1, SPM.2}**

A.2.1  A tendência de aquecimento do oceano documentada no Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (AR5) continua. Desde 1993, a taxa de aquecimento do oceano, e, portanto, a absorção de calor, mais que dobrou (*provável*), indo de  $3,22 \pm 1,61 \text{ ZJ ano}^{-1}$  (0–700 m de profundidade) e  $0,97 \pm 0,64 \text{ ZJ ano}^{-1}$  (700–2000 m) entre 1969 e 1993, para  $6,28 \pm 0,48 \text{ ZJ ano}^{-1}$  (0–700 m) e  $3,86 \pm 2,09 \text{ ZJ ano}^{-1}$  (700–2000 m) entre 1993 e 2017<sup>17</sup>, e é atribuída à forçante antrópica (*muito provável*). {1.4.1, 5.2.2, Tabela 5.1, Figura SPM.1}

A.2.2  O Oceano Austral respondeu por 35–43% do ganho total de calor no oceano global nos primeiros 2000 m entre 1970 e 2017 (*confiança alta*). Essa porcentagem aumentou para 45–62% entre 2005 e 2017 (*confiança alta*). O oceano profundo abaixo de 2000 m vem se aquecendo desde 1992 (*provável*), especialmente no Oceano Antártico. {1.4, 3.2.1, 5.2.2, Tabela 5.1, Figura SPM.2}

A.2.3  Globalmente, os eventos marinhos relacionados ao calor têm aumentado; as ondas de calor marinhas<sup>18</sup>, definidas quando a temperatura diária da superfície do mar excede o percentil 99 local no período de 1982 a 2016, dobraram em frequência e tornaram-se mais duradouras, mais intensas e mais extensas (*muito provável*). É *muito provável* que entre 84–90% das ondas de calor marinhas que ocorreram entre 2006 e 2015 sejam atribuíveis ao aumento antrópico de temperatura. {Tabela 6.2, 6.4, Figuras SPM.1, SPM.2}

A.2.4  A estratificação da densidade<sup>19</sup> aumentou nos primeiros 200 m do oceano desde 1970 (*muito provável*). O aquecimento observado da superfície do oceano e a adição de água doce em alta latitude estão tornando a superfície do oceano menos densa em relação às suas partes mais profundas (*confiança alta*) e inibindo a mistura entre águas superficiais e profundas (*confiança alta*). A estratificação média dos primeiros 200 m aumentou em  $2,3 \pm 0,1\%$  (variação *muito provável*) da média de 1971–1990 para a média de 1998–2017. {5.2.2}


A.2.5  O oceano absorveu entre 20–30% (*muito provável*) do total de emissões antrópicas de CO<sub>2</sub> desde os anos 1980, o que causou uma acidificação do oceano adicional. O pH da superfície do mar aberto diminuiu *muito provavelmente* na faixa de 0,017–0,027 unidades de pH por década desde o final dos anos 1980<sup>20</sup>. A queda do pH na superfície do oceano *muito provavelmente* já emergiu da variabilidade natural dos valores prévios em mais de 95% da área de superfície do oceano. {3.2.1, 5.2.2, Quadro 5.1, Figuras SPM.1, SPM.2}


<sup>17</sup> ZJ significa zetajoule e é igual a  $10^{21}$  Joules. Para aquecer todo o oceano em 1°C são necessários 5500 ZJ; 144 ZJ aqueceriam os 100 m superficiais em cerca de 1°C.

<sup>18</sup> Uma onda de calor marinha é um período de temperatura próxima à superfície extremamente quente que persiste de dias a meses e pode se estender por milhares de quilômetros (Anexo I: Glossário).


<sup>19</sup> Neste relatório, a estratificação de densidade é definida como o contraste de densidade entre as camadas mais rasas e mais profundas. A estratificação aumentada reduz a troca vertical de calor, salinidade, oxigênio, carbono e nutrientes.


<sup>20</sup> Baseado em registros locais de mais de 15 anos.


A.2.6  Conjuntos de dados do período 1970–2010 mostram que o mar aberto perdeu oxigênio em uma variação *muito provável* de 0,5–3,3% nos 1000 m mais superficiais, além de uma *provável* expansão do volume das zonas de mínimo oxigênio em 3–8% (*confiança média*). A perda de oxigênio deve-se, principalmente, ao aumento da estratificação do oceano, mudança na ventilação e na biogeoquímica (*confiança alta*). {5.2.2, Figuras SPM.1, SPM.2}


A.2.7  Observações, tanto *in situ* (2004–2017) quanto baseadas em reconstruções da temperatura da superfície do mar, indicam que a Circulação Meridional de Revolvimento do Atlântico (*Atlantic Meridional Overturning Circulation – AMOC*)<sup>21</sup> enfraqueceu em relação a 1850–1900 (*confiança média*). Os dados são insuficientes para quantificar a magnitude do enfraquecimento, ou para atribuí-lo adequadamente à forçante antrópica, devido à duração limitada do registro observacional. Embora a atribuição não seja possível, as simulações do modelo CMIP5 do período 1850–2015, em média, exibem uma AMOC enfraquecida quando conduzida pela forçante antrópica. {6.7}

### A.3 O nível médio global do mar (NMM) está aumentando, tendo acelerado nas décadas recentes devido ao aumento das taxas de perda de gelo dos mantos de gelo da Groenlândia e da Antártida (*confiança muito alta*), bem como à perda contínua de massa das geleiras e expansão térmica do oceano. Aumentos nos ventos e chuvas dos ciclones tropicais e aumentos nas ondas extremas, combinados com o aumento relativo do nível do mar, exacerbam os eventos extremos relacionados ao nível do mar e ameaças costeiras (*confiança alta*). {3.3, 4.2, 6.2, 6.3, 6.8, Figuras SPM.1, SPM.2, SPM.4, SPM.5}

A.3.1  O aumento do NMM total para 1902–2015 é de 0,16 m (variação *provável* 0,12–0,21 m). A taxa de aumento do NMM para 2006–2015 de 3,6 mm ano<sup>-1</sup> (3,1–4,1 mm ano<sup>-1</sup>, variação *muito provável*) foi sem precedentes ao longo do século passado (*confiança alta*), e cerca de 2,5 vezes a taxa para 1901–1990 de 1,4 mm ano<sup>-1</sup> (0,8–2,0 mm ano<sup>-1</sup>, variação *muito provável*). O somatório das contribuições do manto de gelo e geleira no período de 2006–2015 é a principal fonte de aumento do nível do mar (1,8 mm ano<sup>-1</sup>, variação *muito provável* de 1,7–1,9 mm ano<sup>-1</sup>), excedendo o efeito da expansão térmica da água do oceano (1,4 mm ano<sup>-1</sup>, variação *muito provável* 1,1–1,7 mm ano<sup>-1</sup>)<sup>22</sup> (*confiança muito alta*). A principal causa do aumento do nível médio do mar desde 1970 é a forçante antrópica (*confiança alta*). {4.2.1, 4.2.2, Figura SPM.1}

A.3.2  O aumento do nível do mar acelerou (*extremamente provável*) devido ao aumento combinado do degelo dos mantos de gelo da Groenlândia e da Antártida (*confiança muito alta*). A perda de massa do manto de gelo da Antártida triplicou no período 2007–2016 em relação a 1997–2006. Para a Groenlândia, a perda de massa dobrou no mesmo período (*provável, confiança média*). {3.3.1, Figuras SPM.1, SPM.2, SPM A.1.1}



A.3.3  A aceleração do fluxo e retração de gelo na Antártida, que tem o potencial causar o aumento do nível do mar em vários metros dentro de poucos séculos, é observada na Enseada do Mar de Amundsen da Antártida Ocidental e na Terra de Wilkes, Antártida Oriental (*confiança muito alta*). Essas mudanças podem ser o início da instabilidade irreversível<sup>23</sup> do manto de gelo. Essa incerteza relacionada ao início da instabilidade do manto de gelo decorre de observações limitadas, representação inadequada no modelo dos processos do manto de gelo e entendimento limitado das interações complexas entre a atmosfera, o oceano e o manto de gelo. {3.3.1, Quadro 8 do Capítulo Transversal em Capítulo 3, 4.2.3}

A.3.4  O aumento do nível do mar não é globalmente uniforme e varia regionalmente. As diferenças regionais, dentro de ± 30% do aumento global médio do nível do mar, resultam da perda de gelo terrestre e de variações no aquecimento e circulação do oceano. As diferenças em relação à média global podem ser maiores em áreas de rápido movimento vertical da terra, incluindo as atividades humanas locais (por exemplo, extração de águas subterrâneas). (*confiança alta*) {4.2.2, 5.2.2, 6.2.2, 6.3.1, 6.8.2, Figura SPM.2}




<sup>21</sup> A Circulação Meridional de Revolvimento do Atlântico (*Atlantic Meridional Overturning Circulation – AMOC*) é o principal sistema de correntes nos Oceanos Atlântico Sul e Norte (Anexo I: Glossário).

<sup>22</sup> A taxa de aumento do nível do mar total é maior que a soma das contribuições da criosfera e do oceano devido às incertezas na estimativa da mudança no armazenamento de água subterrânea.


<sup>23</sup> A escala de tempo de recuperação é de centenas a milhares de anos (Anexo I: Glossário).


- A.3.5  As alturas extremas das ondas, que contribuem para eventos extremos ao nível do mar, erosão costeira e inundações, aumentaram nos Oceanos Austral e Atlântico Norte em cerca de 1,0 cm ano<sup>-1</sup> e 0,8 cm ano<sup>-1</sup> ao longo do período 1985–2018 (*confiança média*). A perda de gelo marinho no Ártico também aumentou a altura das ondas ao longo do período 1992–2014 (*confiança média*). {4.2.2, 6.2, 6.3, 6.8, Quadro 6.1}
- A.3.6  A mudança do clima antrópica aumentou a precipitação observada (*confiança média*), os ventos (*confiança baixa*), e eventos extremos ao nível do mar (*confiança alta*) associados a alguns ciclones tropicais, que aumentaram a intensidade de múltiplos eventos extremos e impactos em cascata associados (*confiança alta*). A mudança do clima antrópica pode ter contribuído para uma migração em direção ao polo de ciclones tropicais de máxima intensidade a oeste do Pacífico Norte nas últimas décadas, relacionada à expansão tropical antrópica forçada (*confiança baixa*). Vêm surgindo evidências de um aumento na proporção global anual de ciclones tropicais de Categoria 4 ou 5 nas últimas décadas (*confiança baixa*). {6.2, Tabela 6.2, 6.3, 6.8, Quadro 6.1}


## Impactos Observados nos Ecossistemas


- A.4 As mudanças da criosfera e as mudanças hidrológicas associadas impactaram espécies e ecossistemas terrestres e de água doce nas regiões polares e de altas montanhas por meio do aparecimento de terras anteriormente cobertas por gelo, mudanças na cobertura de neve e degelo do *permafrost*. Essas mudanças contribuíram para mudar as atividades sazonais, a abundância e distribuição de espécies de plantas e animais de importância ecológica, cultural e econômica, os distúrbios ecológicos e o funcionamento do ecossistema. (*confiança alta*) {2.3.2, 2.3.3, 3.4.1, 3.4.3, Quadro 3.4, Figura SPM.2}**
- A.4.1  Ao longo do século passado, algumas espécies de plantas e animais aumentaram em abundância, mudaram sua amplitude de distribuição e se estabeleceram em novas áreas, à medida que as geleiras recuavam e a estação sem neve se estendia (*confiança alta*). Juntamente com o aquecimento, essas mudanças aumentaram localmente o número de espécies nas altas montanhas, à medida que as espécies de altitude mais baixa migraram para cima (*confiança muito alta*). Algumas espécies adaptadas ao frio ou dependentes de neve diminuíram em abundância, aumentando seu risco de extinção, notadamente nos cumes das montanhas (*confiança alta*). Nas regiões polares e de montanhas, muitas espécies alteraram as atividades sazonais, especialmente no final do inverno e na primavera (*confiança alta*). {2.3.3, Quadro 3.4}
- A.4.2  O aumento de incêndios florestais e o degelo abrupto do *permafrost*, bem como mudanças hidrológicas no Ártico e nas montanhas, alteraram a frequência e a intensidade de distúrbios do ecossistema (*confiança alta*). Isso trouxe impactos positivos e negativos sobre a vegetação e os animais selvagens, como renas e salmões (*confiança alta*). {2.3.3, 3.4.1, 3.4.3}
- A.4.3  Na tundra, as observações satelitais mostram um esverdeamento geral, frequentemente indicativo de aumento da produtividade das plantas (*confiança alta*). Algumas áreas de escurecimento na tundra e na floresta boreal são indicativas de que a produtividade diminuiu (*confiança alta*). Essas mudanças afetaram negativamente os serviços de fornecimento, de regulação, culturais e ecossistêmicos, bem como trouxeram alguns impactos positivos transitórios para os serviços de fornecimento, tanto nas altas montanhas (*confiança média*) como nas regiões polares (*confiança alta*). {2.3.1, 2.3.3, 3.4.1, 3.4.3, Anexo I: Glossário}

**A.5 Desde aproximadamente 1950, muitas espécies marinhas de vários grupos passaram por mudanças na amplitude geográfica e nas atividades sazonais em seus habitats, em resposta ao aquecimento do oceano, à mudança no gelo marinho e às alterações biogeoquímicas, como a perda de oxigênio (*confiança alta*). Isso resultou em mudanças na composição de espécies, abundância e produção de biomassa dos ecossistemas, do Equador aos Polos. Interações alteradas entre espécies causaram impactos em cascata na estrutura e funcionamento do ecossistema (*confiança média*). Em alguns ecossistemas marinhos, espécies são afetadas pelos efeitos da pesca e das mudanças do clima (*confiança média*). {3.2.3, 3.2.4, Quadro 3.4, 5.2.3, 5.3, 5.4.1, Figura SPM.2}**


A.5.1  As taxas de mudanças em direção ao polo de distribuições entre diferentes espécies marinhas desde os anos 1950 foram de  $52 \pm 33$  km por década e  $29 \pm 16$  km por década (variações *muito prováveis*) para organismos na zona epipelágica (primeiros 200 m da superfície do mar) e nos ecossistemas do assoalho do mar, respectivamente. A taxa e a direção das mudanças observadas nas distribuições são modeladas pela temperatura local, oxigênio e correntes oceânicas através dos gradientes latitudinais, longitudinais e de profundidade (*confiança alta*). As expansões da amplitude de espécies induzidas pelo aquecimento levaram a alteração da estrutura e do funcionamento do ecossistema, como no Atlântico Norte, Nordeste do Pacífico e Ártico (*confiança média*). {5.2.3, 5.3.2, 5.3.6, Quadro 3.4, Figura SPM.2}


A.5.2  Nas últimas décadas, a produção primária líquida do Ártico aumentou em águas sem gelo (*confiança alta*) e as florações de fitoplâncton na primavera estão ocorrendo mais cedo no ano em resposta à mudança do gelo marinho e à disponibilidade de nutrientes com consequências variáveis – espacialmente positivas e negativas para os ecossistemas marinhos (*confiança média*). Na Antártida, essas mudanças são espacialmente heterogêneas e têm sido associadas a rápida mudança ambiental local, incluindo a retração de geleiras e a mudança no gelo marinho (*confiança média*). Mudanças nas atividades sazonais, produção e distribuição de alguns organismos zooplancônicos do Ártico e uma mudança em direção ao sul na distribuição da população de krill antártico no Atlântico Sul estão associadas a mudanças ambientais relacionadas ao clima (*confiança média*). Nas regiões polares, mamíferos marinhos e aves marinhas associados ao gelo sofreram uma contração de habitat ligada a mudanças no gelo marinho (*confiança alta*) além de impactos no sucesso do forrageamento devido ao impacto do clima nas distribuições de suas presas (*confiança média*). Os efeitos em cascata de múltiplas forçantes relacionadas ao clima sobre o zooplâncton polar afetaram a estrutura e a função da cadeia alimentar, a biodiversidade, bem como a pesca (*confiança alta*). {3.2.3, 3.2.4, Quadro 3.4, 5.2.3, Figura SPM.2}


A.5.3  Os Sistemas de Correntes de Contorno Leste (*Eastern Boundary Upwelling Systems* – EBUS) estão entre os ecossistemas oceânicos mais produtivos. O aumento da acidificação do oceano e a perda de oxigênio estão afetando negativamente dois dos quatro principais sistemas de ressurgência: a Corrente da Califórnia e a Corrente de Humboldt (*confiança alta*). A acidificação dos oceanos e a diminuição do nível de oxigênio no sistema da Corrente da Califórnia alteraram a estrutura do ecossistema, com impactos negativos diretos na produção de biomassa e na composição das espécies (*confiança média*). {Quadro 5.3, Figura SPM.2}


A.5.4  O aquecimento do oceano a partir do século XX contribuiu para uma diminuição geral no potencial máximo de captura (*confiança média*), agravando os impactos da sobrepesca para alguns estoques de peixes (*confiança alta*). Em muitas regiões, a queda na abundância de peixes e crustáceos devido aos efeitos diretos e indiretos do aquecimento global e das mudanças biogeoquímicas já contribuiu para reduzir a pesca (*confiança alta*). Em algumas áreas, a mudança das condições do oceano contribuiu para a expansão do habitat apropriado ou o aumento na abundância de algumas espécies (*confiança alta*). Essas mudanças foram acompanhadas por mudanças na composição das espécies das capturas pesqueiras desde os anos 1970 em muitos ecossistemas. (*confiança média*). {3.2.3, 5.4.1, Figura SPM.2}

**A.6 Os ecossistemas costeiros são afetados pelo aquecimento do oceano, incluindo ondas de calor marinhas intensificadas, acidificação, perda de oxigênio, intrusão de salinidade e aumento do nível do mar, combinados com efeitos adversos das atividades humanas sobre o oceano e o ambiente terrestre (*confiança alta*). Já são observados impactos nas áreas de habitat e na biodiversidade, bem como no funcionamento e serviços ecossistêmicos (*confiança alta*). {4.3.2, 4.3.3, 5.3, 5.4.1, 6.4.2, Figura SPM.2}**

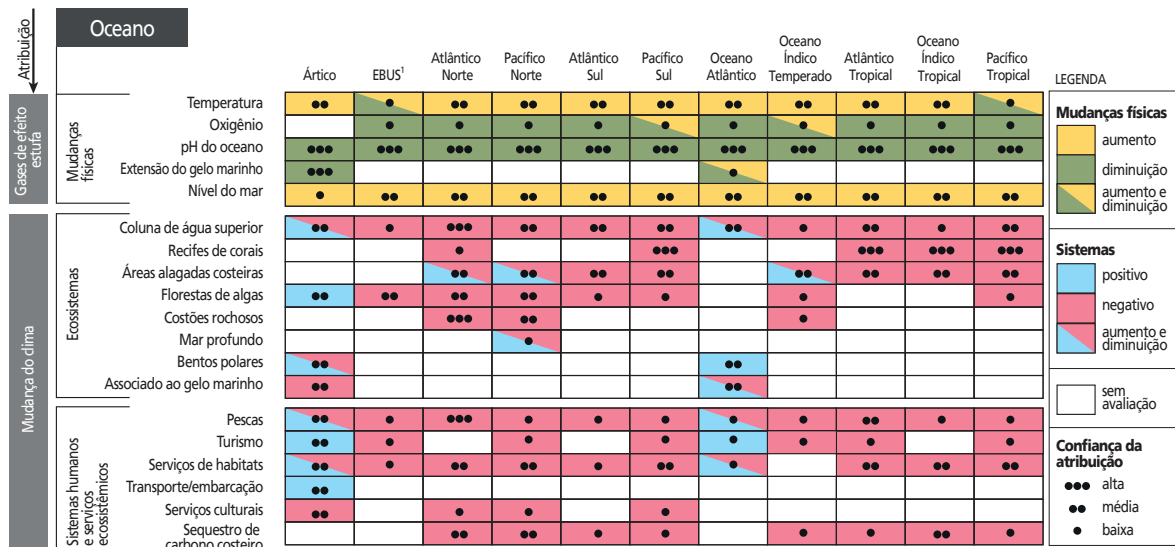
A.6.1  Ecossistemas costeiros vegetados protegem a costa de tempestades e erosão e ajudam a amortecer os impactos do aumento do nível do mar. Quase 50% das áreas alagadas costeiras foram perdidas nos últimos 100 anos, como resultado dos efeitos combinados das pressões humanas localizadas, aumento do nível do mar, aquecimento e eventos climáticos extremos (*confiança alta*). Ecossistemas costeiros vegetados são importantes reservas de carbono; sua perda é responsável pela liberação atual de 0,04–1,46 GtC ano<sup>-1</sup> (*confiança média*). Em resposta ao aquecimento, as variações na distribuição de pradarias de gramíneas marinhas e florestas de algas marinhas vêm se expandindo em altas latitudes e se contraindo em baixas latitudes desde o final dos anos 1970 (*confiança alta*), e em algumas áreas ocorrem perdas episódicas em sequência às ondas de calor (*confiança média*). A mortalidade em larga escala dos manguezais, relacionada ao aquecimento desde os anos 1960, foi parcialmente compensada por sua invasão em marismas subtropicais como resultado do aumento da temperatura, causando a perda de áreas abertas com plantas herbáceas que fornecem alimento e habitat para a fauna que delas depende (*confiança alta*). {4.3.3, 5.3.2, 5.3.6, 5.4.1, 5.5.1, Figura SPM.2}

A.6.2  O aumento da intrusão de água do mar nos estuários devido ao aumento do nível do mar levou à redistribuição a montante de espécies marinhas (*confiança média*) e causou uma redução de habitats adequados para as comunidades estuarinas (*confiança média*). O aumento da carga de nutrientes e matéria orgânica nos estuários desde os anos 1970, devido ao intenso desenvolvimento humano e às cargas fluviais, exacerbaram os efeitos estimulantes do aquecimento do oceano na respiração bacteriana, levando à expansão de áreas com pouco oxigênio (*confiança alta*). {5.3.1}

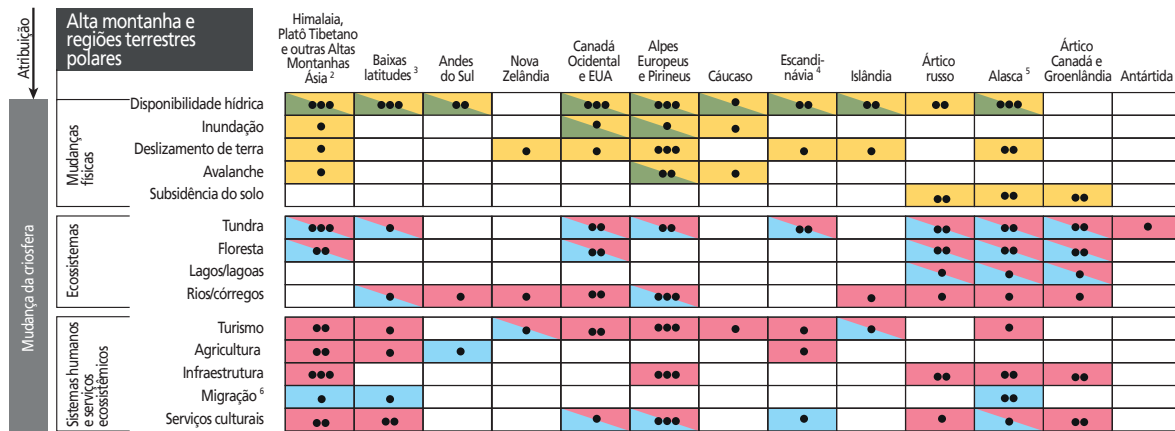
A.6.3  Os impactos do aumento do nível do mar nos ecossistemas costeiros incluem contração de habitat, mudança geográfica de espécies associadas e perda de biodiversidade e funcionalidade ecossistêmica. Os impactos são intensificados por distúrbios humanos diretos, e onde as barreiras antrópicas previnem a mudança em direção ao ambiente terrestre de áreas alagadas e manguezais (denominado estreitamento costeiro) (*confiança alta*). Dependendo da geomorfologia local e do suprimento de sedimentos, marismas e manguezais podem crescer verticalmente em taxas iguais ou superiores à elevação média atual do nível do mar (*confiança alta*). {4.3.2, 4.3.3, 5.3.2, 5.3.7, 5.4.1}

A.6.4  Recifes de coral de água quente e costões rochosos dominados por organismos sésseis e calcificantes (p. ex., produtores de conchas e esqueletos), como corais, cracas e mexilhões, são afetados atualmente pelas temperaturas extremas e pela acidificação do oceano (*confiança alta*). As ondas de calor marinhas já resultaram em eventos de branqueamento de corais em larga escala com frequência crescente, (*confiança muito alta*) causando, em todo o mundo, a degradação dos recifes desde 1997. Sua recuperação é lenta (mais de 15 anos), se ocorrer (*confiança alta*). Períodos prolongados de alta temperatura ambiental e desidratação dos organismos apresentam alto risco para os ecossistemas de costões rochosos (*confiança alta*). {SR.1.5; 5.3.4, 5.3.5, 6.4.2, Figura SPM.2}

# Impactos regionais observados a partir das mudanças no oceano e criosfera



<sup>1</sup> Sistema de Correntes de Contorno Leste (Corrente de Benguela, Corrente das Canárias, Corrente da Califórnia, e Corrente de Humbolt); {Quadro 5.3}



<sup>2</sup> incluindo Indocuche himalaia, Caracórum, Hengduan Shan e Tien Shan; <sup>3</sup> Andes tropicais, México, África Oriental e Indonésia; <sup>4</sup> incluindo Finlândia, Noruega e Suécia; <sup>5</sup> inclui áreas adjacentes em Território Yukon e Colúmbia Britânica e Canadá; <sup>6</sup> Migração refere-se a um aumento ou diminuição da migração líquida, não a um valor benéfico/adverso.


**Figura SPM.2** | Síntese das ameaças e impactos regionais observados no oceano<sup>24</sup> (tabela superior) e regiões de alta montanha e terrestres polares (tabela inferior) avaliadas no SROCC. Para cada região, são mostradas mudanças físicas, impactos nos ecossistemas chaves e impactos nos sistemas humanos e na função e serviços ecossistêmicos. Para mudanças físicas, amarelo/verde refere-se a um aumento/diminuição, respectivamente, na quantidade ou na frequência da variável medida. Para impactos nos ecossistemas, nos sistemas humanos e serviços ecossistêmicos azul ou vermelho representa se um impacto observado é positivo (benéfico) ou negativo (adverso), respectivamente, para um dado sistema ou serviço. As células designadas como "aumento e diminuição" indicam que, nessa região, são encontrados aumento e diminuição das mudanças físicas, mas não são necessariamente iguais; o mesmo vale para células que mostram impactos atribuíveis como "positivo e negativo". Para regiões oceânicas, o nível de confiança refere-se à confiança em atribuir as mudanças observadas aos gases de efeito estufa forçando mudanças físicas e mudança do clima para os ecossistemas, sistemas humanos e serviços ecossistêmicos. Para as regiões terrestres polares e de alta montanha, mostra-se o nível de confiança em atribuir as mudanças físicas e impactos, pelo menos em parte, a uma mudança na criosfera. Sem avaliação significa: não aplicável, não avaliado em escala regional ou a evidência é insuficiente para avaliação. As mudanças físicas no oceano são definidas como: Mudança de temperatura na camada de 0–700 m do oceano, exceto no Oceano Antártico (0–2000 m) e Oceano Ártico (camada mista mais superficial e maiores aportes de afluentes); Oxigênio na camada de 0–1200 m ou camada mínima de oxigênio; pH do oceano como pH da superfície (queda no pH corresponde ao aumento da acidificação do oceano). Ecossistemas no oceano: Coral refere-se a recifes de coral de água quente e corais de água fria. A categoria "coluna de água superior" refere-se à zona epipelágica para todas as regiões oceânicas, exceto as Regiões Polares, onde foram incluídos os impactos em alguns organismos pelágicos em águas abertas mais profundas que os 200 m mais superficiais. Áreas alagadas costeiras incluem marismas, manguezais e pradarias de gramíneas marinhas. Florestas de algas são habitats de um grupo específico de macroalgas. Costões rochosos são habitats costeiros dominados por organismos calcificantes e sésseis, como mexilhões e cracas. Por mar profundo entende-se os ecossistemas do assoalho marinho que estão entre 3000 e 6000 m de profundidade. Gelo marinho associado inclui ecossistemas dentro, sobre e abaixo do gelo marinho. Serviços de habitat referem-se a estruturas e serviços de apoio (p.ex., habitat, biodiversidade, produção primária). Sequestro de carbono costeiro refere-se à captura e armazenamento de carbono pelos ecossistemas costeiros, denominado carbono azul. Ecossistemas em ambiente terrestre: Tundra refere-se a tundra e prados alpinos e inclui ecossistemas antárticos terrestres. Migração refere-se a um aumento ou diminuição da migração líquida, e não ao valor benéfico/adverso. Impactos no turismo referem-se às condições operacionais para o setor de turismo. Serviços culturais incluem identidade cultural, senso de lar e valores espirituais, intrínsecos e estéticos, bem como contribuições da arqueologia das geleiras. A informação subjacente é fornecida para regiões terrestres nas Tabelas SM2.6, SM2.7, SM2.8, SM3.8, SM3.9, e SM3.10, e para regiões de oceanos nas Tabelas SM5.10, SM5.11, SM3.8, SM3.9, e SM3.10. {2.3.1, 2.3.2, 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5, 2.3.6, 2.3.7, Figura 2.1, 3.2.1, 3.2.3, 3.2.4, 3.3.3, 3.4.1, 3.4.3, 3.5.2, Quadro 3.4, 4.2.2, 5.2.2, 5.2.3, 5.3.3, 5.4, 5.6, Figura 5.24, Quadro 5.3}


<sup>24</sup> Mares marginais não são avaliados individualmente como regiões oceânicas neste relatório.





## Impactos Observados nas Pessoas e nos Serviços Ecológicos


**A.7 Desde meados do século XX, o encolhimento da criosfera no Ártico e nas áreas de alta montanha levou a impactos predominantemente negativos na segurança alimentar, recursos hídricos, qualidade da água, meios de subsistência, saúde e bem-estar, infraestrutura, transporte, turismo e recreação, bem como na cultura das sociedades humanas, particularmente para os povos indígenas (*confiança alta*). Os custos e benefícios foram distribuídos de maneira desigual entre populações e regiões. Os esforços de adaptação se beneficiaram da inclusão do conhecimento indígena e do conhecimento local (*confiança alta*). {1.1, 1.5, 1.6.2, 2.3, 2.4, 3.4, 3.5, Figura SPM.2}**


A.7.1  A segurança alimentar e hídrica foi afetada negativamente pelas mudanças na cobertura de neve, no gelo de lagos e rios e no *permafrost* em muitas regiões do Ártico (*confiança alta*). Essas mudanças interromperam o acesso a e a disponibilidade de alimentos nas áreas de pastoreio, caça, pesca e coleta, prejudicando os meios de subsistência e a identidade cultural de residentes do Ártico, incluindo populações indígenas (*confiança alta*). A retração das geleiras e as mudanças na cobertura de neve contribuíram para o declínio localizado da produção agrícola em algumas regiões de alta montanha, incluindo Indocuche himalaio e Andes tropicais (*confiança média*). {2.3.1, 2.3.7, Quadro 2.4, 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3, 3.5.2, Figura SPM.2}





A.7.2  No Ártico, os impactos negativos da mudança da criosfera na saúde humana incluem aumento do risco de doenças veiculadas por alimentos e pela água, desnutrição, lesões e desafios relacionados à saúde mental, especialmente entre os povos indígenas (*confiança alta*). Em algumas áreas de alta montanha, a qualidade da água foi afetada por contaminantes, principalmente mercúrio, liberados pelo derretimento das geleiras e pelo degelo do *permafrost* (*confiança média*). Os esforços de adaptação relacionados à saúde no Ártico variam da escala local à internacional, e os sucessos têm sido sustentados pelo conhecimento indígena (*confiança alta*). {1.8, Quadro 4 do Capítulo Transversal em Capítulo 1, 2.3.1, 3.4.3}

A.7.3  Os residentes do Ártico, especialmente os povos indígenas, ajustaram o tempo das atividades para responder às mudanças na sazonalidade e na segurança das condições de viagem por terra, gelo e neve. Municípios e indústria estão começando a lidar com falhas de infraestrutura associadas a inundações e degelo do *permafrost* e algumas comunidades costeiras planejaram se realocar (*confiança alta*). Financiamento, habilidades, capacidade e apoio institucional limitados para se envolverem significativamente nos processos de planejamento desafiam a adaptação (*confiança alta*). {3.5.2, 3.5.4, Quadro 9 do Capítulo Transversal}





A.7.4  O transporte marítimo no Ártico no verão (inclusive para turismo) aumentou nas últimas duas décadas, concomitante à redução do gelo marinho (*confiança alta*). Isso tem implicações para o comércio global e as economias vinculadas aos corredores marítimos tradicionais e apresenta riscos aos ecossistemas marinhos do Ártico e às comunidades costeiras (*confiança alta*), como de espécies invasoras e poluição local. {3.2.1, 3.2.4, 3.5.4, 5.4.2, Figura SPM.2}





A.7.5  Nas últimas décadas, aumentou a exposição de pessoas e infraestrutura às ameaças naturais devido ao crescimento da população, ao turismo e ao desenvolvimento socioeconômico (*confiança alta*). Alguns desastres foram associados a mudanças na criosfera, por exemplo, nos Andes, região de alta montanha da Ásia, Cáucaso e dos Alpes europeus (*confiança média*). {2.3.2, Figura SPM.2}

A.7.6  Mudanças na neve e nas geleiras alteraram a quantidade e a sazonalidade dos escoamentos e recursos hídricos nas bacias hidrográficas dominadas pela neve e alimentadas por geleiras (*confiança muito alta*). As instalações hidrelétricas sofreram mudanças na sazonalidade e tanto aumentos como diminuições na entrada de água de áreas de alta montanha, por exemplo, na Europa Central, Islândia, leste dos EUA/Canadá e Andes tropicais (*confiança média*). No entanto, há apenas *evidência limitada* dos impactos resultantes nas operações e produção de energia. {SPM B.1.4, 2.3.1}





A.7.7     Aspectos estéticos e culturais da alta montanha foram afetados negativamente pelo declínio das geleiras e da cobertura de neve (p. ex., no Himalaia, na África Oriental, nos Andes tropicais) (*confiança média*). Turismo e recreação, incluindo esqui e turismo de geleira, caminhadas e montanhismo, também foram impactados negativamente em muitas regiões montanhosas (*confiança média*). Em alguns lugares, a neve artificial reduziu os impactos negativos no turismo de esqui (*confiança média*). {2.3.5, 2.3.6, Figura SPM.2}

**A.8 Mudanças no oceano impactaram ecossistemas marinhos e serviços ecossistêmicos com resultados diversos a depender da região, desafiando sua governança (*confiança alta*). Impactos positivos e negativos afetam a segurança alimentar por meio da pesca (*confiança média*), de culturas locais e meios de subsistência (*confiança média*), além de turismo e recreação (*confiança média*). Os impactos nos serviços ecossistêmicos têm consequências negativas para a saúde e o bem-estar (*confiança média*), e para os povos indígenas e comunidades locais dependentes da pesca (*confiança alta*). {1.1, 1.5, 3.2.1, 5.4.1, 5.4.2, Figura SPM.2}**


A.8.1     As mudanças na distribuição espacial e na abundância de alguns estoques de peixes e moluscos induzidas pelo aquecimento tiveram impactos positivos e negativos nas capturas, benefícios econômicos, meios de subsistência e cultura local (*confiança alta*). Há consequências negativas para os povos indígenas e comunidades locais que dependem da pesca (*confiança alta*). As mudanças na distribuição e abundância das espécies desafiaram a governança internacional e nacional do oceano e da pesca, incluindo o Ártico, Atlântico Norte e Pacífico, em termos de regulamentação da pesca para garantir a integridade do ecossistema e o compartilhamento de recursos entre as entidades pesqueiras (*confiança alta*). {3.2.4, 3.5.3, 5.4.2, 5.5.2, Figura SPM.2}

A.8.2     Florações nocivas de algas exibem expansão da amplitude e aumento da frequência nas áreas costeiras desde os anos 1980 em resposta a forçantes climáticas e não climáticas, como o aumento do escoamento de nutrientes fluviais (*confiança alta*). As tendências observadas na proliferação nociva de algas são atribuídas em parte aos efeitos do aquecimento do oceano, ondas de calor marinhas, perda de oxigênio, eutrofização e poluição (*confiança alta*). Florações nocivas de algas tiveram impactos negativos na segurança alimentar, turismo, economia local e saúde humana (*confiança alta*). As comunidades humanas mais vulneráveis a essas ameaças biológicas são aquelas em áreas sem programas de monitoramento sustentados e sistemas dedicados de alerta precoce para as proliferações nocivas de algas. (*confiança média*). {Quadro 5.4, 5.4.2, 6.4.2}

**A.9 As comunidades costeiras estão expostas a várias ameaças relacionadas ao clima, incluindo ciclones tropicais, níveis extremos do mar e inundações, ondas de calor marinhas, perda de gelo marinho e degelo do *permafrost* (*confiança alta*). Uma diversidade de respostas foi implementada em todo o mundo, principalmente após eventos extremos, mas também em antecipação ao futuro aumento do nível do mar, p. ex., no caso de grandes infraestruturas. {3.2.4, 3.4.3, 4.3.2, 4.3.3, 4.3.4, 4.4.2, 5.4.2, 6.2, 6.4.2, 6.8, Quadro 6.1, Quadro 9 do Capítulo Transversal, Figura SPM.5}**

A.9.1     A atribuição dos atuais impactos costeiros sobre as pessoas ao aumento do nível do mar ainda é difícil na maioria dos locais, uma vez que os impactos foram intensificados por forçantes não climáticas induzidas pelo homem, como subsidência da terra (p. ex., extração de água subterrânea), poluição, degradação do habitat, mineração de recifes e areia (*confiança alta*). {4.3.2, 4.3.3}





- A.9.2  A proteção costeira por meio de estruturas rígidas, como diques, paredões e quebra-mares, é comum em muitas cidades costeiras e deltas. Abordagens híbridas e baseadas em ecossistemas que combinem ecossistemas e infraestrutura construída estão se tornando mais populares em todo o mundo. O avanço da costa, que se refere à criação de novos ambientes terrestres por meio da construção em direção ao mar (p. ex., aterro), tem uma longa história na maioria das áreas onde há populações costeiras densas e falta de terra. A retirada da costa, que se refere à remoção da ocupação humana em áreas costeiras, também é observada, mas geralmente é restrita a pequenas comunidades humanas ou ocorre para criar um habitat costeiro de área alagada. A efetividade das respostas ao aumento do nível do mar é avaliada na Figura SPM.5. {3.5.3, 4.3.3, 4.4.2, 6.3.3, 6.9.1, Quadro 9 do Capítulo Transversal}


## B. Riscos e Mudanças Projetadas

Mudanças físicas projetadas<sup>25</sup>






- B.1 Projeta-se a continuidade da perda de massa de geleiras em escala global, do degelo do *permafrost* e da diminuição da cobertura de neve e da extensão do gelo marinho do Ártico no curto prazo (2031 – 2050) devido ao aumento da temperatura do ar da superfície (*confiança alta*), com consequências inevitáveis para o escoamento de rios e ameaças locais (*confiança alta*). Projeta-se que os mantos de gelo da Groenlândia e da Antártida percam massa a uma taxa crescente através e além do século XXI (*confiança alta*). Projeta-se que as taxas e magnitudes dessas mudanças da criosfera aumentem ainda mais na segunda metade do século XXI, em um cenário de alta emissão de gases de efeito estufa (*confiança alta*). Para reduzir outras mudanças após 2050, projeta-se uma forte redução nas emissões de gases de efeito estufa nas próximas décadas (*confiança alta*). {2.2, 2.3, Quadro 6 do Capítulo Transversal em Capítulo 2, 3.3, 3.4, Figura SPM.1, SPM Quadro SPM.1}**

- B.1.1  Projeta-se reduções de massa das geleiras entre 2015 e 2100 (exceto mantos de gelo) variando desde  $18 \pm 7\%$  (variação *provável*) para a RCP2.6 até  $36 \pm 11\%$  (variação *provável*) para a RCP8.5, correspondendo a uma contribuição ao nível do mar equivalente a  $94 \pm 25$  mm (variação *provável*) para a RCP2.6, e  $200 \pm 44$  mm (variação *provável*) para a RCP8.5 (*confiança média*). Regiões com geleiras menores em sua maioria (por exemplo, Europa Central, Cáucaso, Norte da Ásia, Escandinávia, Andes tropicais, México, leste da África e Indonésia), devem perder mais de 80% de sua atual massa de gelo até 2100 no cenário RCP8.5 (*confiança média*), e projeta-se que muitas geleiras desapareçam, independente das emissões futuras (*confiança muito alta*). {Capítulo Transversal Quadro 6 no Capítulo 2, Figura SPM.1}

- B.1.2  Em 2100, a contribuição projetada do Manto de Gelo da Groenlândia para o aumento do NMM é 0,07 m (0,04 – 0,12 m, variação *provável*) na RCP2.6, e 0,15 m (0,08 – 0,27 m, variação *provável*) na RCP8.5. Em 2100, a contribuição projetada do Manto de Gelo da Antártida é de 0,04 m (0,01 – 0,11 m, variação *provável*) na RCP2.6, e 0,12 m (0,03 – 0,28 m, variação *provável*) na RCP8.5. Atualmente, o Manto de Gelo da Groenlândia contribui mais para o aumento do nível do mar que o Manto de Gelo da Antártida (*confiança alta*), mas a Antártida pode se tornar a maior contribuinte até o final do século XXI, como consequência de uma rápida retração (*confiança baixa*). Depois de 2100, a divergência crescente entre as contribuições relativas de Groenlândia e Antártida ao aumento do NMM na RCP8.5 tem consequências importantes para o ritmo do aumento relativo do nível do mar no Hemisfério Norte. {3.3.1, 4.2.3, 4.2.5, 4.3.3, Quadro 8 do Capítulo Transversal em Capítulo 3, Figura SPM.1}

- B.1.3  Projeta-se que a cobertura de neve no Ártico durante o outono e a primavera diminua de 5–10% em relação a 1986–2005, no curto prazo (2031–2050), seguida por nenhuma perda adicional na RCP2.6, mas um adicional de perda de 15–25% até o fim do século na RCP8.5 (*confiança alta*). Em áreas de alta montanha, projetam-se reduções *prováveis* de 10–40% até 2031–2050 na profundidade média da neve do inverno, a menores altitudes, em comparação com 1986–2005, independentemente do cenário de emissões (*confiança alta*). Para o período 2081–2100, projeta-se a diminuição *provável* de 10–40% para a RCP2.6 e de 50–90% para a RCP8.5. {2.2.2, 3.3.2, 3.4.2, Figura SPM.1}


<sup>25</sup> Este relatório usa primariamente as RCP2.6 e RCP8.5 pelas seguintes razões: estes cenários representam majoritariamente a variação avaliada para os tópicos abordados neste relatório; representam amplamente o que é abordado na literatura avaliada com base no CMIP5; e eles permitem uma narrativa consistente sobre as mudanças projetadas. As RCP4.5 e RCP6.0 não estão disponíveis para todos os tópicos abordados neste relatório. {Quadro SPM.1}


- B.1.4  Projeta-se o degelo generalizado do *permafrost* para este século (*confiança muito alta*) e além. Até 2100, a área de *permafrost* próxima da superfície (de 3–4 m) projetada mostra uma diminuição de  $24 \pm 16\%$  (*variação provável*) para a RCP2.6, e  $69 \pm 20\%$  (*variação provável*) para a RCP8.5. O cenário RCP8.5 leva à liberação cumulativa de dezenas a centenas de bilhões de toneladas (GtC) de carbono *permafrost* como CO<sub>2</sub><sup>26</sup> e metano para a atmosfera até 2100 com potencial para exacerbar a mudança do clima (*confiança média*). Cenários de menores emissões atenuam a resposta das emissões de carbono da região do *permafrost* (*confiança alta*). O metano contribui com uma pequena fração da liberação total de carbono adicional, porém é significativa devido ao seu maior potencial de aquecimento. Projeta-se um aumento do crescimento de plantas para repor em parte o carbono do solo, mas não corresponderá às liberações de carbono à longo prazo (*confiança média*). {2.2.4, 3.4.2, 3.4.3, Figura SPM.1, Quadro 5 do Capítulo Transversal em Capítulo 1}
- B.1.5  Em muitas áreas de alta montanha, projeta-se que a retração das geleiras e o degelo do *permafrost* diminuirão ainda mais a estabilidade das encostas, e o número e a área de lagos das geleiras continuarão a aumentar (*confiança alta*). Projeta-se que inundações causadas pelos rompimentos de lagos das geleiras ou precipitação de chuva sobre a neve, deslizamentos de terra e avalanches de neve também ocorram em novos locais ou em estações diferentes (*confiança alta*). {2.3.2}
- B.1.6  Projeta-se que o escoamento de rio em bacias de alta de montanha alimentadas por geleiras ou dominadas por neve mude, independentemente do cenário de emissões (*confiança muito alta*), com aumentos no escoamento médio no inverno (*confiança alta*) e em picos antecipados na primavera (*confiança muito alta*). Em todos os cenários de emissões, projeta-se que o escoamento médio anual e de verão das geleiras atinja o pico no final do século XXI, ou antes (*confiança alta*), p. ex., em torno da metade do século na região de Alta Montanha da Ásia, seguido por um declínio no escoamento da geleira. Em regiões com pouca cobertura de geleira (p. ex., Andes tropicais, Alpes europeus), a maioria das geleiras já passou desse pico (*confiança alta*). Declínios projetados no escoamento das geleiras até 2100 (RCP8.5) podem reduzir o escoamento da bacia em 10% ou mais em pelo menos um mês da estação de derretimento em diversas bacias hidrográficas grandes, especialmente na região de Alta Montanha da Ásia durante a estação seca (*confiança baixa*). {2.3.1}
- B.1.7  Projeta-se que a perda de gelo marinho do Ártico continue até meados do século, com diferenças a partir de então dependendo da magnitude do aquecimento global: para o aquecimento global estabilizado em 1,5°C, a probabilidade anual de um setembro sem gelo marinho no final do século é de aproximadamente 1%, que sobe para 10–35% para o aquecimento global estabilizado em 2°C (*confiança alta*). Há *confiança baixa* nas projeções para o gelo marinho da Antártida. {3.2.2, Figura SPM.1}
- B.2 Ao longo do século XXI, projeta-se que o oceano faça a transição para condições sem precedentes com aumento de temperatura (*praticamente certo*), maior estratificação do oceano superior (*muito provável*), mais acidificação (*praticamente certo*), declínio do oxigênio (*confiança média*), e alterações na produção primária líquida (*confiança baixa*). Projeta-se que as ondas de calor marinhas (*confiança muito alta*) e eventos extremos do *El Niño* e da *La Niña* (*confiança média*) sejam mais frequentes. Projeta-se que a Circulação Meridional de Revolvimento do Atlântico (*Atlantic Meridional Overturning Circulation – AMOC*) enfraqueça (*muito provável*). As taxas e magnitudes dessas mudanças serão menores em cenários com baixas emissões de gases de efeito estufa (*muito provável*). {3.2, 5.2, 6.4, 6.5, 6.7, Quadro 5.1, Figuras SPM.1, SPM.3}**
- B.2.1  O oceano continuará a aquecer ao longo do século XXI (*praticamente certo*). Até 2100, projeta-se que os primeiros 2000 m do oceano absorvam 5–7 vezes mais calor na RCP8.5 (ou 2–4 vezes mais na RCP2.6) que a absorção de calor acumulada observada desde 1970 (*muito provável*). Projeta-se que a estratificação da densidade média anual<sup>19</sup> dos 200 m superiores, medida entre 60°S e 60°N, deve aumentar em 12–30% para a RCP8.5 e em 1–9% para a RCP2.6, para o período 2081–2100 em relação a 1986–2005 (*muito provável*), inibindo fluxos verticais de nutrientes, carbono e oxigênio. {5.2.2, Figura SPM.1}


<sup>26</sup> Para contextualizar, o total anual de emissões antrópicas de CO<sub>2</sub> foi  $10,8 \pm 0,8 \text{ GtC ano}^{-1}$  ( $39,6 \pm 2,9 \text{ GtCO}_2 \text{ ano}^{-1}$ ) em média no período 2008–2017. O total anual de emissões antrópicas de metano foi  $0,35 \pm 0,01 \text{ GtCH}_4 \text{ ano}^{-1}$ , em média no período 2003–2012. {5.5.1}


- B.2.2  Até 2081–2100 na RCP8.5, projeta-se que o teor de oxigênio no oceano (*confiança média*), o teor de nitrato na superfície do oceano (*confiança média*), a produção primária líquida (*confiança baixa*) e a exportação de carbono (*confiança média*) declinem globalmente em variações  *muito prováveis*  de 3–4%, 9–14%, 4–11% e 9–16% respectivamente, em relação a 2006–2015. Na RCP2.6, as mudanças projetadas globalmente até 2081–2100 são menores se comparadas à RCP8.5 para perda de oxigênio (*muito provável*), disponibilidade de nutrientes (*tanto provável quanto improvável*) e produção primária líquida (*confiança alta*). {5.2.2, Quadro 5.1, Figuras SPM.1, SPM.3}
- B.2.3  É *praticamente certo* que a absorção contínua de carbono pelo oceano em 2100 exacerbe sua acidificação. Projeta-se que o pH da superfície de mar aberto diminua em torno de 0,3 unidades de pH até 2081–2100, em relação a 2006–2015, na RCP8.5 (*praticamente certo*). Para a RCP8.5, há riscos elevados para espécies calcificantes de aragonita devido à diminuição do limiar de estabilidade da aragonita durante o ano nos Oceanos Polar e Subpolar até 2081–2100 (*muito provável*). Para a RCP2.6, essas condições serão evitadas neste século (*muito provável*), mas projeta-se que alguns ecossistemas de corrente de contorno leste (EBUS) permaneçam vulneráveis (*confiança alta*). {3.2.3, 5.2.2, Quadro 5.1, Quadro 5.3, Figura SPM.1}
- B.2.4  Condições climáticas, inéditas desde o período pré-industrial, estão se desenvolvendo no oceano, elevando os riscos para os ecossistemas de mar aberto. A acidificação da superfície e o aquecimento emergiram no período histórico (*muito provável*). Projeta-se que a perda de oxigênio entre 100 e 600 m de profundidade emergja em 59–80% da área do oceano até 2031–2050 na RCP8.5 (*muito provável*). O tempo de emergência projetado para cinco forçantes principais da mudança do ecossistema marinho (aquecimento e acidificação da superfície, perda de oxigênio, teor de nitrato e mudança na produção primária líquida) é anterior a 2100 para mais de 60% da área do oceano na RCP8.5 e mais de 30% na RCP2.6 (*muito provável*). {Anexo I: Glossário, Quadro 5.1, Quadro 5.1 Figura 1}
- B.2.5  Projeta-se que ondas de calor marinhas aumentem ainda mais em frequência, duração, extensão espacial e intensidade (temperatura máxima) (*confiança muito alta*). Modelos climáticos projetam aumentos na frequência das ondas de calor marinhas até 2081–2100, em relação a 1850–1900, em aproximadamente 50 vezes na RCP8.5 e 20 vezes na RCP2.6 (*confiança média*). Projeta-se os maiores aumentos de frequência para o Ártico e os oceanos tropicais (*confiança média*). Projeta-se que a intensidade das ondas de calor marinhas aumente em cerca de 10 vezes na RCP8.5 até 2081–2100, em relação a 1850–1900 (*confiança média*). {6.4, Figura SPM.1}
- B.2.6  Projeta-se que eventos extremos de *El Niño* e *La Niña* provavelmente aumentem em frequência no século XXI e *provavelmente* intensifiquem os perigos já existentes, com respostas mais secas ou mais úmidas em diversas regiões do mundo. Projeta-se que eventos extremos do *El Niño* ocorram duas vezes mais nas trajetórias RCP2.6 e RCP8.5 no século XXI, se comparados ao século XX (*confiança média*). As projeções indicam que eventos extremos como o Dipolo do Oceano Índico também aumentem em frequência (*confiança baixa*). {6.5, Figuras 6.5, 6.6}
- B.2.7  Projeta-se que AMOC enfraqueça no século XXI em todas as RCPs (*muito provável*), embora um colapso seja *muito improvável* (*confiança média*). Com base nas projeções do CMIP5, até 2300, um colapso da AMOC é *quase tão provável quanto improvável* para cenários com altas emissões e *muito improvável* para aqueles com emissões mais baixas (*confiança média*). Projeta-se que qualquer enfraquecimento substancial da AMOC cause uma diminuição da produtividade marinha no Atlântico Norte (*confiança média*), mais tempestades no Norte da Europa (*confiança média*), menos chuvas sahelianas de verão (*confiança alta*) e chuvas de verão na Ásia Setentrional (*confiança média*), um número reduzido de ciclones tropicais no Atlântico (*confiança média*), e um aumento do nível do mar regional ao longo da costa nordeste da América do Norte (*confiança média*). Tais mudanças viriam se somar ao indicativo de aquecimento global. {6.7, Figuras 6.8–6.10}



**B.3 O nível do mar continua a aumentar em uma taxa crescente. Projeta-se que eventos extremos do nível do mar que são historicamente raros (tendo acontecido uma vez por século no passado recente) ocorram frequentemente (pelo menos uma vez por ano) em muitos locais até 2050 em todos os cenários RCP, especialmente nas regiões tropicais (*confiança alta*). A frequência crescente dos níveis altos de água pode ter impactos severos em muitos locais, dependendo da exposição (*confiança alta*). Projeta-se que o aumento do nível do mar continue além de 2100 em todos os cenários RCP. Para um cenário de altas emissões (RCP8.5), as projeções do aumento global do nível do mar até 2100 são maiores que no AR5 devido a uma maior contribuição do Manto de Gelo da Antártida (*confiança média*). Nos próximos séculos, projeta-se que na RCP8.5 o aumento do nível do mar exceda diversos centímetros por ano, resultando em um aumento de vários metros (*confiança média*), enquanto para a RCP2.6 projeta-se que o aumento do nível do mar fique limitado a aproximadamente 1 m em 2300 (*confiança baixa*). Níveis extremos do mar e ameaças costeiras serão agravados pelos aumentos projetados na intensidade dos ciclones tropicais e precipitação (*confiança alta*). Mudanças projetadas em ondas e marés variam localmente, no sentido de intensificar ou aliviar essas ameaças (*confiança média*). {Quadro 5 do Capítulo Transversal em Capítulo 1, Quadro 8 do Capítulo Transversal em Capítulo 3, 4.1, 4.2, 5.2.2, 6.3.1, Figuras SPM.1, SPM.4, SPM.5}**

B.3.1  Projeta-se que o aumento do Nível Médio Global do Mar (NMM) na RCP2.6 seja 0,39 m (*variação provável* entre 0,26–0,53 m) para o período 2081–2100, e 0,43 m (*variação provável* de 0,29–0,59 m) em 2100 em relação a 1986–2005. Para a RCP8.5, o aumento correspondente do NMM seria 0,71 m (*variação provável* de 0,51–0,92 m) para 2081–2100 e 0,84 m (*variação provável* de 0,61–1,10 m) em 2100. As projeções médias de aumento do nível do mar são 0,1 m mais elevadas comparadas ao AR5 na RCP8.5 em 2100, e a *variação provável* estende-se para além de 1 m em 2100 devido a uma perda de gelo projetada maior no Manto de Gelo da Antártida (*confiança média*). A incerteza no final do século é determinada principalmente pelos mantos de gelo, especialmente na Antártida. {4.2.3, Figuras SPM.1, SPM.5}

B.3.2  As projeções do nível do mar mostram diferenças regionais em torno do NMM. Processos não conduzidos por mudança do clima recente, como subsidência local causada por processos naturais e atividades humanas, são importantes para as mudanças relativas do nível do mar na costa (*confiança alta*). Embora se projete que a importância relativa da elevação do nível do mar causada pelo clima aumente com o tempo, processos locais precisam ser considerados para projeções e impactos do nível do mar (*confiança alta*). {SPM A.3.4, 4.2.1, 4.2.2, Figura SPM.5}


B.3.3  Projeta-se que a taxa de aumento médio global do nível do mar atinja 15mm ano<sup>-1</sup> (10–20 mm ano<sup>-1</sup>, *variação provável*) na RCP8.5 em 2100, e que ultrapasse diversos centímetros por ano no século XXII. No cenário RCP2.6, projeta-se que a taxa alcance 4mm ano<sup>-1</sup> (2–6 mm ano<sup>-1</sup>, *variação provável*) em 2100. Estudos de modelos indicam um aumento de vários metros no nível do mar até 2300 (2,3–5,4 m para a RCP8.5 e 0,6–1,07 m para a RCP2.6) (*confiança baixa*), indicando a importância das emissões reduzidas para limitar o aumento do nível do mar. Os processos que controlam o momento da perda futura de plataformas de gelo e a extensão das instabilidades do manto de gelo poderiam aumentar a contribuição da Antártida para o aumento do nível do mar a valores substancialmente maiores do que a *variação provável* no século e em escalas de tempo mais longas (*confiança baixa*). Considerando as consequências que um colapso de partes do Manto de Gelo da Antártida acarretaria ao aumento do nível do mar, esse alto risco de impacto merece atenção. {Quadro 5 do Capítulo Transversal em Capítulo 1, Quadro 8 do Capítulo Transversal em Capítulo 3, 4.1, 4.2.3}


B.3.4  O aumento do nível médio global do mar causará o aumento da frequência de eventos extremos do nível do mar na maioria dos locais. Projeta-se que os níveis do mar locais que ocorriam historicamente uma vez ao século (eventos históricos centenários) ocorram pelo menos anualmente na maioria dos locais até 2100 em todos os cenários RCP (*confiança alta*). Projeta-se que muitas megacidades em baixa altitude e pequenas ilhas (incluindo SIDS) experimentem eventos históricos centenários pelo menos anualmente até 2050, nas RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5. O ano em que o evento histórico centenário tornar-se um evento anual nas latitudes médias ocorrerá mais cedo na RCP8.5, depois na RCP4.5 e por último na RCP2.6. A frequência crescente de níveis da água alta pode ter impactos severos em muitos locais, dependendo do nível de exposição (*confiança alta*). {4.2.3, 6.3, Figuras SPM.4, SPM.5}


- B.3.5  Projeta-se que alturas significativas de ondas (a altura média do vale à crista do terço mais alto das ondas) aumentem em todo o Oceano Antártico e o Pacífico oriental tropical (*confiança alta*) e no Mar Báltico (*confiança média*) e diminuam sobre o Atlântico Norte e Mar Mediterrâneo na RCP8.5 (*confiança alta*). Projeta-se que amplitudes e padrões das marés costeiras mudem devido ao aumento do nível do mar e às medidas de adaptação costeira (*muito provável*). As mudanças projetadas nas ondas, decorrentes de mudanças nos padrões climáticos e mudanças nas marés, devido ao aumento do nível do mar, podem aumentar ou melhorar localmente as ameaças costeiras (*confiança média*). {6.3.1, 5.2.2}
- B.3.6  Projeta-se que a intensidade média dos ciclones tropicais, a proporção de ciclones tropicais de categorias 4 e 5 e as taxas de precipitação médias associadas aumentem com a elevação de 2°C na temperatura global acima de qualquer período da linha de base (*confiança média*). O aumento dos níveis médios do mar contribuirá para níveis do mar extremos mais altos associados aos ciclones tropicais (*confiança muito alta*). As ameaças costeiras serão exacerbadas por um aumento na intensidade média, na magnitude da tempestade e nas taxas de precipitação dos ciclones tropicais. Projetam-se maiores aumentos na RCP8.5 que na RCP2.6, a partir de meados do século até 2100 (*confiança média*). Há *confiança baixa* nas mudanças da frequência futura dos ciclones tropicais em escala global. {6.3.1}

## Riscos Projetados para os Ecossistemas

### B.4 Futuras mudanças da criosfera terrestre continuarão alterando os ecossistemas terrestres e de água doce nas regiões polares e de alta montanha, com as maiores mudanças nas distribuições das espécies, resultando em mudanças na estrutura e no funcionamento do ecossistema e eventual perda de biodiversidade única globalmente (*confiança média*). Projeta-se que incêndios florestais aumentem significativamente no restante deste século sobre a maioria das regiões boreal e da tundra e também em algumas regiões montanhosas (*confiança média*). {2.3.3, Quadro 3.4, 3.4.3}


- B.4.1  Nas regiões de alta montanha, migração adicional de espécies de altitude mais baixa para pontos mais altos, contrações de amplitude e aumento da mortalidade levarão ao declínio populacional de muitas espécies alpinas, especialmente as espécies dependentes de geleiras ou neve (*confiança alta*), com perda local e global eventual de espécies (*confiança média*). A persistência de espécies alpinas e a manutenção de serviços ecossistêmicos dependem de medidas apropriadas de conservação e adaptação (*confiança alta*). {2.3.3}


- B.4.2  No ambiente terrestre do Ártico, projeta-se uma perda de biodiversidade única globalmente à medida que refúgios limitados para algumas espécies do Alto Ártico são incompetentes para espécies mais temperadas (*confiança média*). Projeta-se que arbustos lenhosos e árvores se expandam para cobrir 24–52% da tundra do Ártico até 2050 (*confiança média*). Projeta-se que a floresta boreal se expanda em sua fronteira norte, enquanto diminui na fronteira sul, onde é substituída por bosques/áreas arbustivas de menor biomassa (*confiança média*). {3.4.3, Quadro 3.4}


- B.4.3  O degelo do *permafrost* e a redução da neve afetarão a hidrologia e os incêndios florestais do Ártico e das montanhas, com impactos na vegetação e nos animais selvagens (*confiança média*). Cerca de 20% do *permafrost* terrestre no Ártico é vulnerável ao degelo abrupto e à subsidência do solo, que, projeta-se, aumentará a área dos pequenos lagos em mais de 50% até 2100 para a RCP8.5 (*confiança média*). Mesmo que se projete a intensificação do ciclo regional de água em geral, incluindo aumento da precipitação, evapotranspiração e vazão do rio no Oceano Ártico, reduções na neve e no *permafrost* podem levar ao ressecamento do solo, com consequências para a produtividade e distúrbios do ecossistema (*confiança média*). Prevê-se que incêndios florestais aumentem no restante deste século sobre a maioria das regiões boreal e da tundra, e também em algumas regiões montanhosas, enquanto as interações entre o clima e a mudança da vegetação influenciarão a intensidade e a frequência de incêndios futuros (*confiança média*). {2.3.3, 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3, SPM B.1}




**B.5** Projeta-se uma redução na biomassa global das comunidades de animais marinhos, em sua produção e potencial de captura da pesca, e uma mudança na composição das espécies ao longo do século XXI nos ecossistemas oceânicos da superfície para o assoalho marinho profundo em todos os cenários de emissão (*confiança média*). Projeta-se que a taxa e a magnitude do declínio sejam mais altas nos trópicos (*confiança alta*), enquanto os impactos permanecem diversos nas regiões polares (*confiança média*) e aumentem para cenários de altas emissões. Acidificação oceânica (*confiança média*), perda de oxigênio (*confiança média*) e redução na extensão de gelo marinho (*confiança média*), bem como atividades humanas não climáticas (*confiança média*) têm o potencial de exacerbar esses impactos ecossistêmicos causados pelo aquecimento {3.2.3, 3.3.3, 5.2.2, 5.2.3, 5.2.4, 5.4.1, Figura SPM.3}

**B.5.1**  O aquecimento do oceano e as mudanças projetadas na produção primária líquida alteram a biomassa, a produção e a estrutura comunitária dos ecossistemas marinhos. Projeta-se que a biomassa em escala global de animais marinhos na cadeia alimentar diminua em  $15,0 \pm 5,9\%$  (variação  *muito provável*) e em 20,5–24,1% o potencial máximo de captura da pesca até o final do século XXI em relação a 1986–2005 na RCP8.5 (*confiança média*). Projeta-se que essas mudanças sejam  *muito prováveis* de três a quatro vezes maiores na RCP8.5 que na RCP2.6. {3.2.3, 3.3.3, 5.2.2, 5.2.3, 5.4.1, Figura SPM.3}

**B.5.2**  Com estratificação aumentada, projeta-se que o suprimento reduzido de nutrientes cause o declínio da produção primária líquida dos oceanos tropicais em 7–16% (variação  *muito provável*) para a RCP8.5 em 2081–2100 (*confiança média*). Nas regiões tropicais, projeta-se que a produção e a biomassa de animais marinhos diminuam mais que a média global em todos os cenários de emissões no século XXI (*confiança alta*). Projeta-se que as mudanças no aquecimento e no gelo marinho aumentem a produção primária líquida marinha no Ártico (*confiança média*) e ao redor da Antártida (*confiança baixa*), modificada pela mudança no suprimento de nutrientes devido a mudanças na ressurgência e estratificação. Globalmente, projeta-se que o fluxo de afundamento de matéria orgânica proveniente da camada superior do oceano diminua, associado em grande parte, a mudanças na produção primária líquida (*confiança alta*). Como resultado, projeta-se que 95% ou mais da área do assoalho marinho profundo (3000–6000 m de profundidade) e dos ecossistemas de corais de água fria experimentem declínios na biomassa bentônica na RCP8.5 (*confiança média*). {3.2.3, 5.2.2, 5.2.4, Figura SPM.1}

**B.5.3**  Projeta-se que o aquecimento, a acidificação do oceano, a redução na extensão sazonal de gelo marinho e sua perda contínua por vários anos impactem os ecossistemas marinhos polares por meio de efeitos diretos e indiretos sobre habitats, populações e sua viabilidade (*confiança média*). Projeta-se que a amplitude geográfica das espécies marinhas do Ártico, incluindo mamíferos marinhos, aves e peixes se contraia, enquanto a amplitude de algumas comunidades subárticas de peixes aumente, aumentando ainda mais a pressão sobre as espécies do alto Ártico (*confiança média*). No Oceano Antártico, projeta-se que o habitat do krill antártico, uma das principais presas para pinguins, focas e baleias, contraia-se em direção ao sul tanto na RCP2.6 quanto na RCP8.5 (*confiança média*). {3.2.2, 3.2.3, 5.2.3}

**B.5.4**  Projeta-se que o aquecimento do oceano, a perda de oxigênio, a acidificação e uma diminuição do fluxo de carbono orgânico da superfície para o fundo do oceano prejudiquem os corais de água fria, formadores de habitats que apoiam alta biodiversidade, em parte por meio da diminuição da calcificação, do aumento da dissolução de esqueletos e da bioerosão (*confiança média*). A vulnerabilidade e os riscos são mais altos onde e quando as condições tanto de temperatura quanto de oxigênio atingem valores fora dos limites de tolerância das espécies (*confiança média*). {Quadro 5.2, Figura SPM.3}

## Mudanças, impactos e riscos projetados para os ecossistemas oceânicos como resultado da mudança do clima

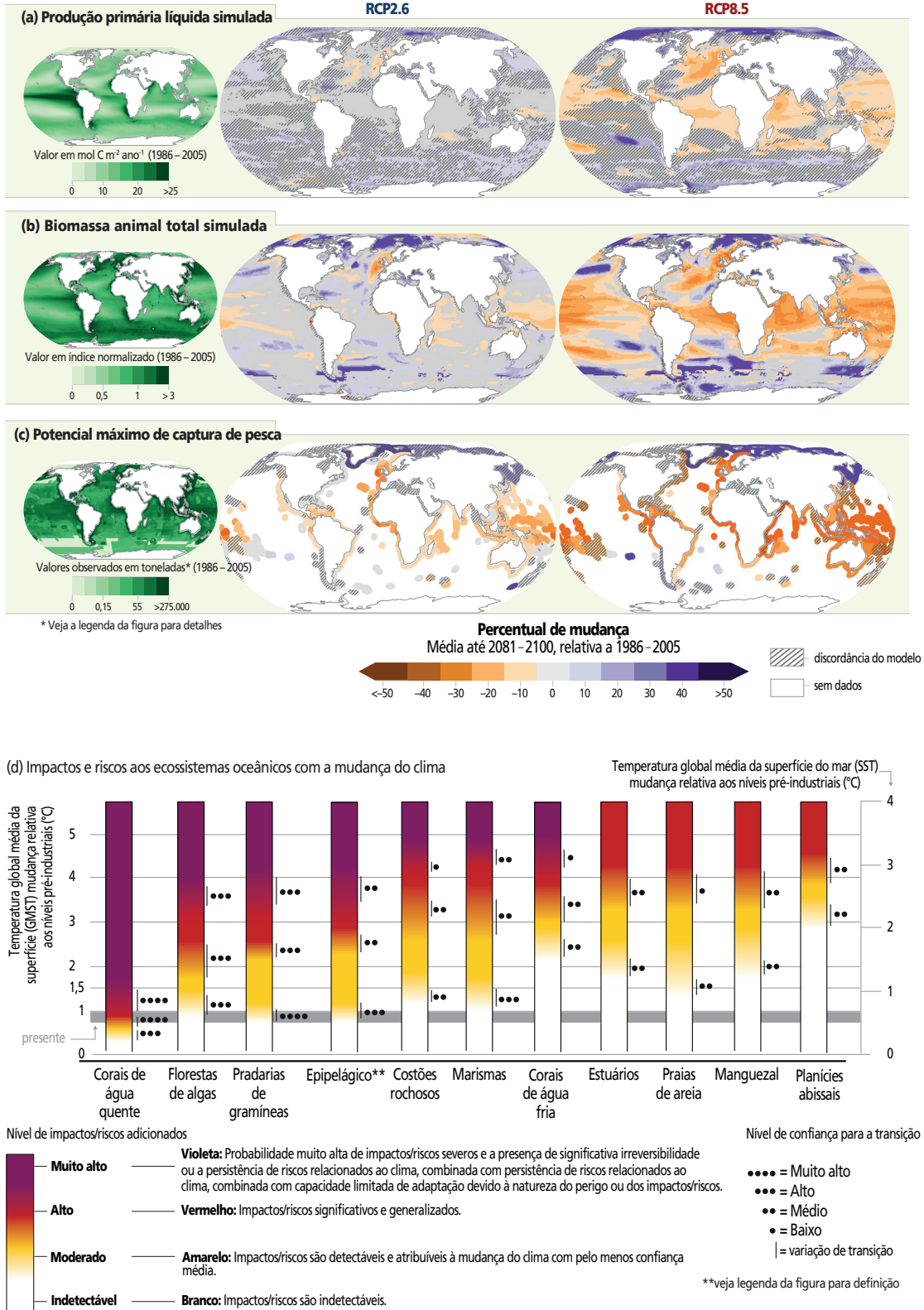




Figura SPM.3 | Mudanças, impactos e riscos projetados para regiões e ecossistemas oceânicos.

**Figura SPM.3** (continuação): **(a)** produção primária líquida integrada na profundidade (PPL de CMIP5<sup>27</sup>), **(b)** biomassa animal total (profundidade integrada, incluindo peixes e invertebrados do modelo FISHMIP<sup>28</sup>), **(c)** potencial máximo de captura da pesca e **(d)** impactos e riscos para ecossistemas costeiros e mar aberto. Os três painéis à esquerda representam os valores médios simulados (a,b) e observados (c) para o passado recente (1986–2005), os painéis no centro e à direita representam mudanças projetadas (%) até 2081–2100 em relação ao passado recente em cenários de baixas (RCP2.6) e altas (RCP8.5) emissões de gases de efeito estufa (Quadro SPM.1), respectivamente. A biomassa animal total no passado recente (b, painel à esquerda) representa a biomassa animal total projetada por cada pixel espacial em relação à média global. (c) \*Captura média de pesca observada no passado recente (com base em dados do banco de dados global de pescas do *Sea Around Us*); as mudanças projetadas no potencial máximo de captura de pesca sobre as plataformas continentais se baseiam na saída média de dois modelos de pesca e ecossistema marinhos. Para indicar as áreas de inconsistência do modelo, as áreas sombreadas representam regiões onde os modelos discordam na direção da mudança por mais de: (a) e (b) 3 de 10 projeções do modelo, e (c) uma de dois modelos. Embora sem sombreadamento, a mudança projetada nas regiões do Ártico e da Antártida em (b) biomassa animal total e (c) potencial de captura de pesca apresentam *confiança baixa* devido às incertezas associadas com a modelagem de múltiplas forçantes de interação e respostas do ecossistema. As projeções apresentadas em (b) e (c) são forçadas por mudanças nas condições físicas e biogeoquímicas do oceano, p. ex., temperatura, nível de oxigênio e produção primária líquida projetadas a partir de modelos do Sistema Terrestre do CMIP5. \*\*O epipelágico refere-se à parte mais superficial do oceano com profundidade < 200 m a partir da superfície, onde há luz solar suficiente para permitir a fotossíntese. (d) Avaliação de riscos para ecossistemas costeiros e de mar aberto baseada nos impactos climáticos observados e projetados na estrutura, funcionamento e biodiversidade do ecossistema. Impactos e riscos são mostrados em relação às mudanças na Temperatura Global Média da Superfície (GMST) em relação ao nível pré-industrial. Como as avaliações de riscos e impactos são baseadas na Temperatura Global Média da Superfície do Mar (SST), são mostrados os níveis correspondentes de SST<sup>29</sup>. A avaliação das transições de riscos está descrita no Capítulo 5 Seções 5.2, 5.3, 5.2.5 e 5.3.7 e Materiais Suplementares SM5.3, Tabela SM5.6, Tabela SM5.8 e outras partes do relatório adjacente. A figura indica os riscos avaliados em níveis de aquecimento aproximados e aumento das ameaças relacionadas ao clima no oceano: aquecimento do oceano, acidificação, desoxigenação, estratificação da densidade aumentada, mudanças nos fluxos de carbono, aumento do nível do mar frequência e/ou intensidade aumentada de eventos extremos. A avaliação considera a capacidade adaptativa natural dos ecossistemas, sua exposição e vulnerabilidade. Os níveis de impacto e risco não consideram estratégias de redução de risco, como intervenções humanas ou mudanças futuras nas forçantes não climáticas. Os riscos para os ecossistemas foram avaliados considerando aspectos biológicos, biogeoquímicos, geomorfológicos e físicos. Os riscos mais altos associados aos efeitos compostos de ameaças climáticas incluem a perda de habitat e biodiversidade, mudanças na composição e na amplitude de distribuição das espécies e impactos/riscos na estrutura e funcionamento do ecossistema, incluindo mudanças na biomassa e densidade de animais/plantas, produtividade, fluxos de carbono e transporte de sedimentos. Como parte da avaliação, a literatura foi compilada e os dados extraídos para uma tabela resumida. Realizou-se um processo de elicitación por especialistas em várias rodadas, com avaliação independente da análise dos limites (de risco), seguida de uma discussão final para o consenso. Mais informações sobre métodos e literatura subjacente podem ser encontradas no Capítulo 5, Seções 5.2 e 5.3 e Material Suplementar. {3.2.3, 3.2.4, 5.2, 5.3, 5.2.5, 5.3.7, SM5.6, SM5.8, Figura 5.16, Quadro 1 do Capítulo Transverso em Capítulo 1 Tabela CCB1}

**B.6 Projeta-se que os riscos de impactos severos sobre a biodiversidade, estrutura e função dos ecossistemas costeiros serão mais altos para temperaturas elevadas em cenários de altas emissões se comparados aos de baixas emissões no século XXI e além. As respostas projetadas do ecossistema incluem perdas de habitat e diversidade de espécies e degradação das funções do ecossistema. A capacidade dos organismos e ecossistemas de se ajustarem e se adaptarem é maior em cenários de emissões mais baixas (*confiança alta*). Para ecossistemas sensíveis, como pradarias de gramíneas marinhas e florestas de algas, projetam-se riscos altos se o aquecimento global exceder 2°C acima da temperatura pré-industrial, combinados a outras ameaças relacionadas ao clima (*confiança alta*). Os corais de água quente já estão em risco alto e projeta-se a transição para um risco muito alto, mesmo que o aquecimento global seja limitado a 1,5°C (*confiança muito alta*). {4.3.3, 5.3, 5.5, Figura SPM.3}**

**B.6.1**  Projeta-se que todos os ecossistemas costeiros avaliados enfrentem um nível de risco crescente, de moderado a alto, na RCP2.6, e de alto a muito alto na RCP8.5 até 2100. Projeta-se que os ecossistemas entremarés de costões rochosos estejam em risco muito alto até 2100 na RCP8.5 (*confiança média*) devido à exposição ao aquecimento, especialmente durante as ondas de calor marinhas, bem como à acidificação, ao aumento do nível do mar, à perda de biodiversidade e espécies calcificantes (*confiança alta*). A acidificação do oceano desafia esses ecossistemas e limita ainda mais a adequação de seu habitat (*confiança média*) ao inibir a recuperação devido à redução de calcificação e aumento da bioerosão. Projeta-se que o declínio das florestas de algas continue nas regiões temperadas devido ao aquecimento, particularmente com a intensificação projetada das ondas de calor marinhas, com risco alto de extinções locais na RCP8.5 (*confiança média*). {5.3, 5.3.5, 5.3.6, 5.3.7, 6.4.2, Figura SPM.3}

**B.6.2**  Pradarias de gramíneas marinhas e marismas, bem como os estoques de carbono associados, estão em risco moderado com o aquecimento global de 1,5°C, porém o risco aumenta com o aquecimento adicional (*confiança média*). Globalmente, projeta-se que 20–90% das áreas alagadas costeiras atuais sejam perdidas até 2100, dependendo do aumento projetado do nível do


<sup>27</sup> A produção primária líquida é estimada a partir do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados Fase 5 (CMIP5).


<sup>28</sup> Biomassa animal total é obtida a partir do Projeto de Intercomparação de Modelos de Pesca e Ecossistemas Marinhos (FISHMIP).

<sup>29</sup> A conversão entre GMST e SST baseia-se em um fator de escala de 1,44, derivado de mudanças em um conjunto de simulações na RCP8.5; esse fator de escala tem uma incerteza de aproximadamente 4% devido a diferenças entre os cenários RCP2.6 e RCP8.5. {Tabela SPM.1}




mar, das diferenças regionais e dos tipos de áreas alagadas, especialmente onde o crescimento vertical já é limitado pela oferta reduzida de sedimentos e a migração em direção à terra é restringida por topografia íngreme ou modificação humana das orlas (confiança alta). {4.3.3, 5.3.2, Figura SPM.3, SPM A.6.1}


B.6.3  Projeta-se que o aquecimento do oceano, o aumento do nível do mar e as mudanças das marés expandam a salinização e a hipóxia nos estuários (*confiança alta*), com riscos altos para alguma biota, levando à migração, sobrevivência reduzida e extinção local em cenários de alta emissão (*confiança média*). Projeta-se que esses impactos sejam mais evidenciados em estuários rasos e eutróficos mais vulneráveis, com baixa variação das marés em regiões temperadas e de alta latitude (*confiança média*). {5.2.2, 5.3.1, Figura SPM.3}


B.6.4  Projeta-se que quase todos os recifes de coral de água quente sofram perdas significativas de área e extinções locais, mesmo que o aquecimento global seja limitado a 1,5°C (*confiança alta*). Projeta-se que a composição de espécies e a diversidade das comunidades remanescentes de recifes sejam diferentes das atuais (*confiança muito alta*). {5.3.4, 5.4.1, Figura SPM.3}

## Riscos Projetados para Pessoas e Serviços Ecossistêmicos


**B.7 Projeta-se que futuras mudanças da criosfera sobre ambientes terrestres afetem os recursos hídricos e seus usos, como hidrelétricas (*confiança alta*) e a agricultura irrigada dentro e a jusante das áreas de alta montanha (*confiança média*), bem como os meios de subsistência no Ártico (*confiança média*). Projeta-se que mudanças nas inundações, avalanches, deslizamentos de terra e desestabilização do solo aumentem o risco para infraestrutura e ativos culturais, turísticos e recreativos (*confiança média*). {2.3, 2.3.1, 3.4.3}**


B.7.1  Espera-se que os riscos de desastre para os assentamentos humanos e as opções de subsistência em áreas de alta montanha e no Ártico aumentem (*confiança média*), devido a mudanças futuras em ameaças como inundações, incêndios, deslizamentos de terra, avalanches, condições não confiáveis de gelo e neve e maior exposição de pessoas e infraestrutura (*confiança alta*). As atuais abordagens de redução de risco são projetadas para serem menos eficazes à medida que as ameaças mudam sua característica (*confiança média*). Estratégias significativas de redução de risco e adaptação ajudam a evitar os impactos aumentados das inundações das montanhas e das ameaças de deslizamentos de terra, já que a exposição e a vulnerabilidade estão aumentando em muitas regiões montanhosas durante este século (*confiança média*) {2.3.2, 3.4.3, 3.5.2}


B.7.2  Projeta-se que a subsidência da terra superficial induzida pelo degelo do *permafrost* tenha impacto sobre a infraestrutura de comunicação e transporte urbana e rural no Ártico e nas áreas de alta montanha (*confiança média*). Projeta-se que o degelo do *permafrost* deve se intensificar em meados do século nas regiões onde a maioria da infraestrutura do Ártico está localizada. A renovação e o redesenho da infraestrutura têm o potencial de reduzir pela metade os custos decorrentes do degelo do *permafrost* e dos impactos relacionados à mudança do clima até 2100 (*confiança média*). {2.3.4, 3.4.1, 3.4.3}


B.7.3  Projeta-se que os ativos turísticos, recreativos e culturais em alta montanha sejam afetados negativamente pelas futuras mudanças na criosfera (*confiança alta*). Projeta-se que as tecnologias atuais de produção de neve artificial sejam menos efetivas na redução dos riscos para o turismo de esqui em um clima mais quente na maior parte da Europa, América do Norte e Japão, em particular a partir do aquecimento global de 2°C (*confiança alta*). {2.3.5, 2.3.6}

**B.8 Projeta-se que futuras mudanças na distribuição de peixes e diminuições em sua abundância e captura potencial pesqueira devido à mudança do clima afetem a renda, a subsistência e a segurança alimentar de comunidades dependentes de recursos marinhos (*confiança média*). A degradação e a perda em longo prazo dos ecossistemas marinhos comprometem o papel do oceano em valores intrínsecos, culturais e recreativos importantes para a identidade e o bem-estar humanos (*confiança média*). {3.2.4, 3.4.3, 5.4.1, 5.4.2, 6.4}**


B.8.1  Projeta-se que as mudanças geográficas e as reduções globais da biomassa de animais marinhos e do potencial pesqueiro serão mais evidenciadas na RCP8.5 em relação à RCP2.6, elevando o risco para a renda e meios de subsistência das comunidades humanas dependentes, particularmente em áreas economicamente vulneráveis (*confiança média*). A redistribuição projetada de recursos e abundância aumenta o risco de conflitos entre pescas, autoridades ou comunidades (*confiança média*). Os desafios à governança da pesca são generalizados na RCP8.5, com *hotspots* regionais, como o Oceano Ártico e o Oceano Pacífico tropical (*confiança média*). {3.5.2, 5.4.1, 5.4.2, 5.5.2, 5.5.3, 6.4.2, Figura SPM.3}




B.8.2  Projeta-se que a diminuição dos recifes de coral de água quente comprometa enormemente os serviços que prestam à sociedade, como fornecimento de alimentos (*confiança alta*), proteção da costa (*confiança alta*) e turismo (*confiança média*). Projeta-se que aumentos nos riscos para a segurança de frutos do mar (*confiança média*) associados à diminuição de sua disponibilidade aumentem o risco à saúde nutricional em algumas comunidades altamente dependentes de frutos do mar (*confiança média*), como as do Ártico, da África Ocidental e Pequenos Estados Insulares em Desenvolvimento. Tais impactos compõem quaisquer riscos de outras mudanças nas dietas e sistemas alimentares causados por mudanças sociais, econômicas e do clima sobre a terra (*confiança média*). {3.4.3, 5.4.2, 6.4.2}



B.8.3  O aquecimento global compromete a segurança dos frutos do mar (*confiança média*) por meio da exposição humana à bioacumulação elevada de poluentes orgânicos persistentes e mercúrio em plantas e animais marinhos (*confiança média*), aumentando a prevalência de patógenos do gênero *Vibrio* transmitidos pela água (*confiança média*) e a probabilidade elevada de proliferação de algas nocivas (*confiança média*). Projeta-se que esses riscos sejam particularmente grandes para comunidades humanas com alto consumo de frutos do mar, incluindo comunidades indígenas costeiras (*confiança média*), e para setores econômicos como pesca, aquicultura e turismo (*confiança alta*). {3.4.3, 5.4.2, Quadro 5.3}

B.8.4  Os impactos da mudança do clima nos ecossistemas marinhos e em seus serviços colocam em risco as principais dimensões culturais de vidas e meios de subsistência (*confiança média*), inclusive por meio de mudanças na distribuição ou abundância das espécies coletadas e de acesso reduzido às áreas de pesca ou caça. Isso inclui potencialmente a perda rápida e irreversível de cultura, conhecimento local e de conhecimento indígena, além de impactos negativos nas dietas tradicionais e na segurança alimentar, aspectos estéticos e atividades recreativas marinhas (*confiança média*). {3.4.3, 3.5.3, 5.4.2}

**B.9 Projeta-se que o aumento do nível médio e extremo do mar, juntamente com o aquecimento e a acidificação do oceano, exacerbem os riscos para as comunidades humanas em áreas costeiras de baixa elevação (*confiança alta*). Nas comunidades humanas no Ártico sem elevação rápida da terra e nas ilhas urbanas de atol, projeta-se que os riscos sejam de moderados a altos mesmo em um cenário de baixas emissões (RCP2.6) (*confiança média*), incluindo o atingimento dos limites de adaptação (*confiança alta*). Em um cenário de altas emissões (RCP8.5), projeta-se que regiões de deltas e cidades costeiras ricas em recursos experimentem níveis de risco de moderado a alto após 2050 sob a adaptação atual (*confiança média*). Espera-se que uma adaptação ambiciosa, incluindo governança transformativa, reduza o risco (*confiança alta*), porém com benefícios contexto-específicos. {4.3.3, 4.3.4, SM4.3, 6.9.2, Quadro 9 do Capítulo Transversal, Figura SPM.5}**

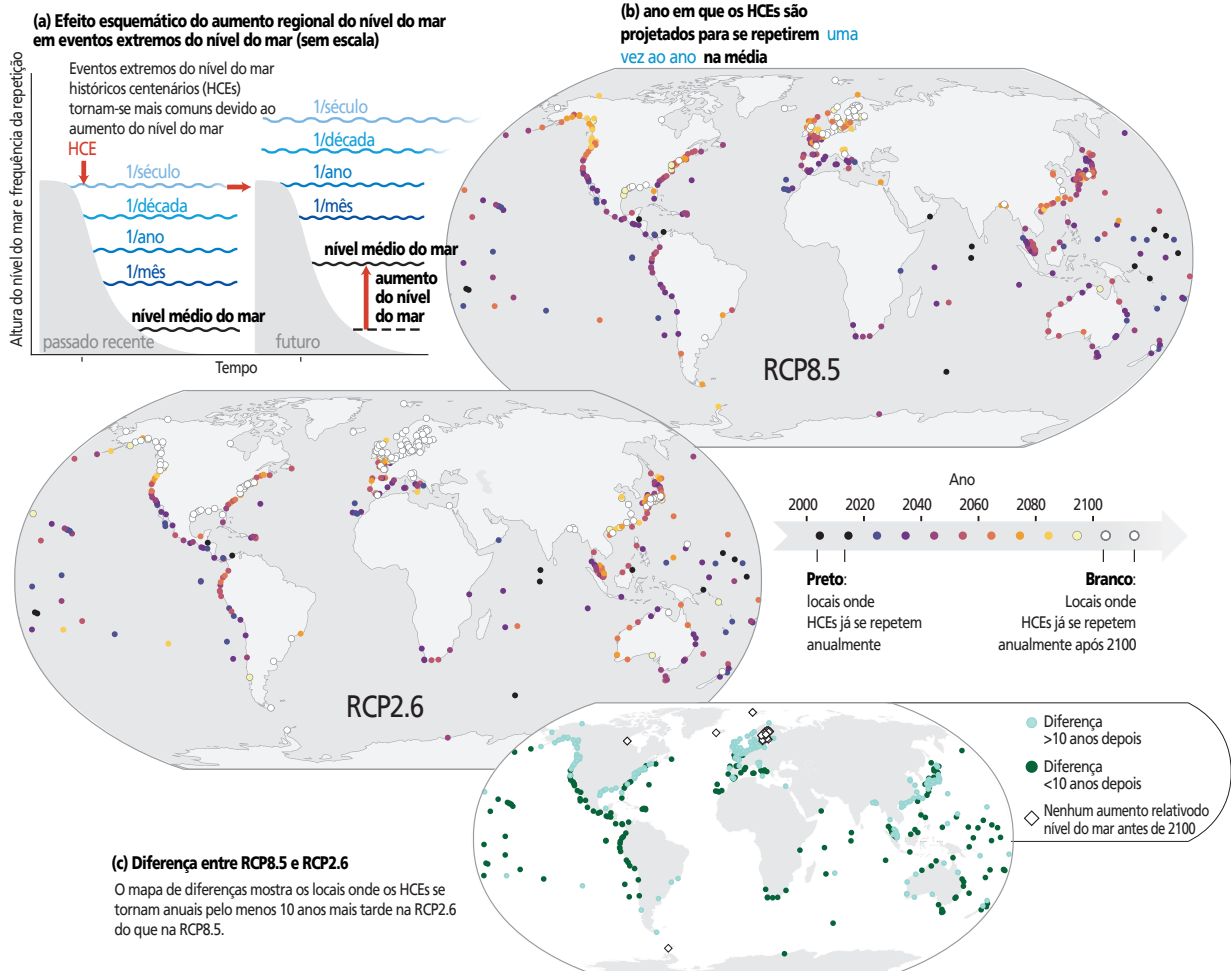
B.9.1  Na ausência de esforços de adaptação mais ambiciosos comparados aos atuais, e com as tendências atuais de exposição e vulnerabilidade crescentes das comunidades costeiras, projeta-se que riscos como erosão e perda de terra, inundação, salinização e impactos em cascata devido à elevação média do nível do mar e eventos extremos tenham um aumento significativo ao longo deste século em todos os cenários de emissão de gases de efeito estufa (*confiança muito alta*). Sob as mesmas premissas, projeta-se que os danos anuais de inundação costeira aumentem em 2–3 ordens de magnitude até 2100, comparados aos danos atuais (*confiança alta*). {4.3.3, 4.3.4, Quadro 6.1, 6.8, SM.4.3, Figuras SPM.4, SPM.5}

B.9.2    Riscos altos a muito altos são abordados para comunidades vulneráveis em ambientes de recifes de corais, ilhas urbanas de atol e locais de baixa elevação do Ártico a partir do aumento do nível do mar, bem antes do final deste século, no caso de cenários de altas emissões. Isso implica que limites de adaptação serão atingidos, que são pontos nos quais os objetivos de um agente (ou necessidades do sistema) não podem ser protegidos de riscos intoleráveis por meio de ações adaptativas (*confiança alta*). Atingir os limites de adaptação (p. ex., biofísico, geográfico, financeiro, técnico, social, político e institucional) depende do cenário das emissões e da tolerância ao risco contexto-específica e projeta-se que eles se expandam para mais áreas além de 2100, devido ao comprometimento da elevação do nível do mar no longo prazo. É *provável* que algumas nações insulares se tornem inabitáveis devido à mudança da criosfera e do oceano relacionada ao clima (*confiança média*), porém os limiares de habitabilidade permanecem extremamente difíceis de se avaliar {4.3.4, 4.4.2, 4.4.3, 5.5.2, Quadro 9 do Capítulo Transversal, SM.4.3, SPM C.1, Glossário, Figura SPM.5}.

B.9.3   Globalmente, uma taxa mais lenta de mudança na criosfera e no oceano relacionada ao clima oferece maiores oportunidades de adaptação (*confiança alta*). Embora exista *confiança alta* de que uma adaptação ambiciosa, incluindo a governança para mudanças transformativas, tenha o potencial de reduzir riscos em muitos locais, esses benefícios podem variar. Na escala global, a proteção costeira pode reduzir o risco de inundação de 2–3 ordens de magnitude durante o século XXI, porém isso depende de investimentos da ordem de dezenas a várias centenas de bilhões de dólares por ano (*confiança alta*). Esses investimentos são geralmente custo-eficiente para áreas urbanas densamente povoadas, muito embora tais investimentos possam representar maiores custos anuais relativos ao PIB para áreas rurais e mais pobres e estado insulares pequenos (*alta confiança*). Mesmo com grandes esforços de adaptação, projeta-se que ocorram riscos residuais e perdas associadas (*confiança média*), porém os limites contexto-específicos para adaptação e riscos residuais permanecem difíceis de se avaliar. {4.1.3, 4.2.2.4, 4.3.1, 4.3.2, 4.3.4., 4.4.3, 6.9.1, 6.9.2, Quadros 1 e 2 do Capítulo Transversal em Capítulo 1, SM.4.3, Figura SPM.5}

## Eventos extremos do nível do mar

Devido ao aumento do nível global médio do mar (NMM) projetado, proteja-se que os níveis do mar locais que ocorrem historicamente uma vez por século (eventos históricos centenários, HCEs) se tornem pelo menos eventos anuais na maioria dos locais durante o século XXI. A altura de um dHCE varia muito e, dependendo do nível de exposição, já pode causar impactos severos. Os impactos podem continuar a aumentar com a elevação da frequência dos HCEs.





**Figura SPM.4 |** O efeito do aumento regional do nível do mar em eventos extremos do nível do mar em locais costeiros. **(a)** Ilustração esquemática de eventos extremos no nível do mar e sua recorrência média no passado recente (1986–2005) e no futuro. Como consequência do aumento médio do nível do mar, projeta-se que os níveis do mar local que ocorrem historicamente uma vez por século (eventos históricos centenários, HCEs da sigla em inglês) se repitam com mais frequência no futuro. **(b)** O ano em que os HCEs são esperados a se repetirem uma vez por ano, em média, de acordo com RCP8.5 e RCP2.6, nos 439 locais costeiros individuais em que o registro observacional é suficiente. A ausência de um círculo indica uma incapacidade de realizar uma avaliação devido à falta de dados, mas não indica ausência de exposição e risco. Quanto mais escuro o círculo, mais cedo essa transição é esperada. A variação *provável* é de  $\pm 10$  anos para locais onde essa transição é esperada antes de 2100. Círculos brancos (33% dos locais na RCP2.6 e 10% na RCP8.5) indicam que os HCEs não são esperados a se repetirem uma vez por ano antes de 2100. **(c)** Uma indicação dos locais em que essa transição de HCEs para eventos anuais é projetada para ocorrer mais de 10 anos depois, na RCP2.6, em comparação à RCP8.5. Como os cenários levam a pequenas diferenças até 2050 em muitos locais, os resultados não são mostrados aqui para RCP4.5, mas estão disponíveis no Capítulo 4. (4.2.3, Figura 4.10, Figura 4.12)


## C. Implementando respostas para a mudança no Oceano e na Criosfera


### Desafios

**C.1 Os impactos das mudanças relacionadas ao clima no oceano e na criosfera desafiam cada vez mais os esforços atuais de governança para desenvolver e implementar respostas de adaptação da escala local para a global e, em alguns casos, levando-as aos seus limites. Populações com as mais altas exposição e vulnerabilidade são geralmente aqueles com menor capacidade de resposta (*confiança alta*). {1.5, 1.7, Quadros 2 e 3 do Capítulo Transversal em Capítulo 1, 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3, 2.4, 3.2.4, 3.4.3, 3.5.2, 3.5.3, 4.1, 4.3.3, 4.4.3, 5.5.2, 5.5.3, 6.9}**

C.1.1  As escalas temporais dos impactos da mudança do clima no oceano e na criosfera e suas consequências sociais operam em horizontes temporais que são mais longos do que os dos arranjos de governança (p. ex., ciclos de planejamento, ciclos de tomada de decisão pública e corporativa e instrumentos financeiros). Tais diferenças temporais desafiam a capacidade das sociedades de se prepararem e responderem adequadamente a mudanças no longo prazo, incluindo mudanças na frequência e intensidade de eventos extremos (*confiança alta*). Os exemplos incluem mudanças nos deslizamentos de terra e inundações em regiões de alta montanha e riscos para espécies e ecossistemas importantes no Ártico, bem como para nações e ilhas de baixa elevação, pequenas nações insulares, outras regiões costeiras e para ecossistemas de recifes de coral. {2.3.2, 3.5.2, 3.5.4, 4.4.3, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5.1, 5.5.2, 5.5.3, 6.9}


C.1.2  Os arranjos de governança (p. ex., áreas marinhas protegidas, planejamento especial marinho e sistemas de gestão da água) são, em muitos contextos, fragmentados demais entre fronteiras administrativas e setores para fornecerem respostas integradas aos riscos crescentes e em cascata das mudanças relacionadas ao clima no oceano ou na criosfera (*confiança alta*). A capacidade dos sistemas de governança nas regiões polares e oceânicas de reagir aos impactos da mudança do clima se fortaleceu recentemente, mas esse desenvolvimento não é suficientemente rápido ou robusto para atender adequadamente à escala dos riscos projetados crescentes (*confiança alta*). Nas regiões de altas montanhas e costeiras e pequenas ilhas, também há dificuldades em coordenar as respostas de adaptação climática, devido às muitas interações de forçantes de risco climáticos e não climáticos (como inacessibilidade, tendências demográficas e de assentamentos, ou subsidência da terra causada por atividades locais) em escalas, setores e esferas políticas (*confiança alta*). {2.3.1, 3.5.3, 4.4.3, 5.4.2, 5.5.2, 5.5.3, Quadro 5.6, 6.9, Quadro 3 do Capítulo Transversal em Capítulo 1}


C.1.3  Há uma ampla gama de barreiras e limites identificados para adaptação à mudança do clima nos ecossistemas (*confiança alta*). Limitações incluem o espaço que os ecossistemas requerem, forçantes não climáticas e impactos humanos que precisam ser abordados como parte da resposta de adaptação, a redução da capacidade adaptativa dos ecossistemas devido à mudança do clima e as taxas mais lentas de recuperação do ecossistema em relação à recorrência de impactos climáticos, disponibilidade de tecnologia, apoio financeiro e de conhecimento e acordos de governança existentes (*confiança média*). {3.5.4, 5.5.2}


C.1.4  Existem, entre outras, barreiras financeiras, tecnológicas, e institucionais para implementar respostas aos impactos negativos atuais e projetados de mudanças relacionadas ao clima no oceano e na Criosfera, que impedem construção de resiliência e medidas de redução de risco (*confiança alta*). Se tais barreiras reduzem a efetividade da adaptação ou correspondem a limites de adaptação depende de circunstâncias contexto-específicas, a taxa e a escala das mudanças climáticas e da capacidade das sociedades de transformar sua capacidade adaptativa em respostas efetivas de adaptação. A capacidade adaptativa continua a diferir entre e dentro das comunidades e sociedades (*confiança alta*). Povos com as mais altas exposição e vulnerabilidade a ameaças atuais e futuras decorrentes das mudanças no oceano e na criosfera também são frequentemente os com menor capacidade adaptativa, particularmente em ilhas e costas de baixa elevação, regiões árticas e de altas montanhas com desafios de desenvolvimento (*confiança alta*). {2.3.1, 2.3.2, 2.3.7, Quadro 2.4, 3.5.2, 4.3.4, 4.4.2, 4.4.3, 5.5.2, 6.9, Quadros 2 e 3 do Capítulo Transversal em Capítulo 1, Quadro 9 do Capítulo Transversal}


## Fortalecendo Opções de Resposta


**C.2 Os serviços e opções de longo alcance fornecidos pelos ecossistemas relacionados ao oceano e à criosfera podem ser apoiados por proteção, restauração, gestão preventiva do uso de recursos renováveis baseada em ecossistemas e redução da poluição e outros estressores (*confiança alta*). A gestão integrada da água (*confiança média*) e a adaptação baseada no ecossistema (*confiança alta*) abordam os riscos climáticos locais mais baixos e oferecem múltiplos benefícios sociais. No entanto, existem restrições ecológicas, financeiras, institucionais e de governança para tais ações (*confiança alta*) e, em muitos contextos, a adaptação baseada em ecossistema só será efetiva nos níveis mais baixos de aquecimento (*confiança alta*). {2.3.1, 2.3.3, 3.2.4, 3.5.2, 3.5.4, 4.4.2, 5.2.2, 5.4.2, 5.5.1, 5.5.2, Figura SPM.5}**

C.2.1  Redes de áreas protegidas ajudam a manter os serviços ecossistêmicos, incluindo a captação e armazenamento de carbono, e permitem opções futuras de adaptação baseadas em ecossistema pela facilitação dos movimentos altitudinais e em direção ao polo de espécies, populações e ecossistemas que ocorrem em resposta ao aquecimento e ao aumento do nível do mar (*confiança média*). Barreiras geográficas, degradação de ecossistema, fragmentação de habitats e barreiras à cooperação regional limitam o potencial dessas redes a apoiarem futuras mudanças de amplitude de espécies nas regiões marinha, de alta montanha e terrestre polar (*confiança alta*). {2.3.3, 3.2.3, 3.3.2, 3.5.4, 5.5.2, Quadro 3.4}





C.2.2  A restauração de habitats terrestres e marinhos e ferramentas de gestão de ecossistema, como a realocação assistida de espécies e aquacultura de corais, podem ser efetivas localmente para o aprimoramento da adaptação baseada em ecossistema (*confiança alta*). Tais ações são mais bem-sucedidas quando apoiadas pela comunidade, baseadas em ciência ao mesmo tempo em que usam o conhecimento local e o conhecimento indígena, têm apoio no longo prazo, que inclui a redução ou remoção de estressores não climáticos, e nos níveis mais baixos de aquecimento (*confiança alta*). Por exemplo, as opções de restauração de recifes de coral podem ser inefetivas se o aquecimento global exceder 1,5°C, porque os corais já estão em risco alto (*confiança muito alta*) nos níveis atuais de aquecimento. {2.3.3, 4.4.2, 5.3.7, 5.5.1, 5.5.2, Quadro 5.5, Figura SPM.3}

C.2.3  Reforçar abordagens preventivas, como a reconstrução da pesca superexplorada ou esgotada, e a capacidade de resposta das estratégias de gestão de pesca existentes reduzem os impactos negativos da mudança do clima na pesca, com benefícios para as economias regionais e meios de subsistência (*confiança média*). A gestão de pesca que avalia e atualiza regularmente as medidas ao longo do tempo, informada por avaliações das tendências futuras do ecossistema, reduz os riscos para a pesca (*confiança média*), mas tem capacidade limitada para lidar com as mudanças do ecossistema. {3.2.4, 3.5.2, 5.4.2, 5.5.2, 5.5.3, Figura SPM.5}





C.2.4  A restauração de ecossistemas costeiros vegetados, como manguezais, marismas de maré e pradarias de gramíneas marinhas (ecossistemas costeiros de “carbono azul”), poderia proporcionar a mitigação da mudança do clima por meio do aumento da absorção e armazenamento de carbono de cerca de 0,5% anualmente das emissões globais atuais (*confiança média*). Melhores proteção e gestão podem reduzir as emissões de carbono desses ecossistemas. Juntas, essas ações também têm vários outros benefícios, como fornecendo proteção contra tempestade, melhorando a qualidade da água e beneficiando a biodiversidade e a pesca (*confiança alta*). Melhorar a quantificação do armazenamento de carbono e dos fluxos de gases de efeito estufa desses ecossistemas costeiros reduzirá as incertezas atuais acerca da medição, relato e verificação (*confiança alta*). {Quadro 4.3, 5.4, 5.5.1, 5.5.2, Anexo I: Glossário}





C.2.5  A energia renovável do oceano pode apoiar a mitigação da mudança do clima e pode compreender a extração de energia de ventos *offshore*, marés, ondas, gradiente termal e de salinidade, e biocombustíveis de algas. Espera-se que a demanda emergente por fontes alternativas de energia gere oportunidades econômicas para o setor de energia renovável do oceano (*confiança alta*), embora seu potencial também possa ser afetado pela mudança do clima (*confiança baixa*). {5.4.2, 5.5.1, Figura 5.23}











- C.2.6     Abordagens integradas de gestão de água em várias escalas podem ser efetivas em lidar com impactos e aproveitar oportunidades de mudanças na criosfera em áreas de alta montanha. Essas abordagens também auxiliam a gestão de recursos hídricos por meio do desenvolvimento e otimização do armazenamento multipropósito e da liberação de água dos reservatórios (*confiança média*), levando em consideração os impactos potencialmente negativos para os ecossistemas e comunidades. A diversificação das atividades turísticas ao longo do ano favorece a adaptação em economias de alta montanha (*confiança média*). {2.3.1, 2.3.5}

**C.3 As comunidades costeiras enfrentam escolhas desafiadoras na elaboração de respostas contexto-específicas e integradas para o aumento do nível do mar que equilibrem custos, benefícios e potenciais efeito negativos das opções disponíveis e que possam ser ajustadas ao longo do tempo (*confiança alta*). Todos os tipos de opções, incluindo proteção, acomodação, adaptação baseada em ecossistema, avanço e recuo costeiro, sempre que possível, podem desempenhar papéis importantes nessas respostas integradas (*confiança alta*). {4.4.2, 4.4.3, 4.4.4, 6.9.1, Quadro 9 do Capítulo Transversal, Figura SPM.5}**

- C.3.1     Quanto maior o aumento dos níveis do mar, mais desafiadora é a proteção costeira, principalmente devido a barreiras econômicas, financeiras e sociais, mais do que a limites técnicos (*confiança alta*). Nas próximas décadas, a redução de forçantes locais de exposição e vulnerabilidade, como urbanização costeira e subsidência induzida pelo homem, serão respostas efetivas (*confiança alta*). Onde o espaço é limitado e o valor dos ativos expostos é alto (p. ex., nas cidades), é *provável* que a construção de estruturas rígidas de proteção (p. ex., diques) seja uma opção de resposta custo-eficiente durante o século XXI, levando em consideração as especificidades do contexto (*confiança alta*), porém as áreas com recursos limitados podem não ser capazes de arcar com esses investimentos. Onde houver espaço disponível, a adaptação baseada no ecossistema pode reduzir o risco costeiro e oferecer vários outros benefícios, como armazenamento de carbono, melhoria da qualidade da água, conservação da biodiversidade e apoio à subsistência (*confiança média*). {4.3.2, 4.4.2, Quadro 4.1, Quadro 9 do Capítulo Transversal, Figura SPM.5}

- C.3.2     Algumas medidas de acomodação na costa, como sistemas de alerta precoce e construções à prova de inundações, geralmente são de baixo e altamente custo-eficiente nos níveis do mar atuais (*confiança alta*). De acordo com o aumento projetado do nível do mar e o aumento das ameaças costeiras, algumas dessas medidas se tornam menos efetivas, a menos que combinadas com outras medidas (*confiança alta*). Todos os tipos de opções, incluindo proteção, acomodação, adaptação baseada no ecossistema, avanço costeiro e realocação planejada, se locais alternativos estiverem disponíveis, podem desempenhar papéis importantes nessas respostas integradas (*confiança alta*). Onde a comunidade afetada é pequena, ou após um desastre, vale a pena considerar a redução do risco por realocações costeiras planejadas, se houver localidades alternativas seguras disponíveis. Essa realocação planejada pode ser social, cultural, financeira e politicamente limitada (*confiança muito alta*). {4.4.2, Quadro 4.1, Quadro 9 do Capítulo Transversal, SPM B.3}

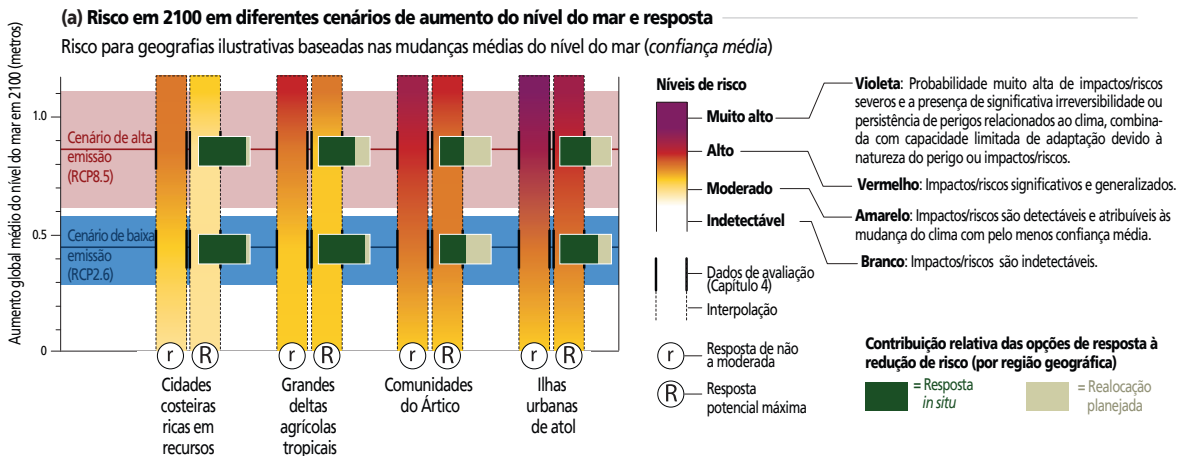
- C.3.3     As respostas ao aumento do nível do mar e à redução de risco associado apresentam à sociedade desafios profundos de governança, resultantes da incerteza sobre a magnitude e a taxa de aumento do nível do mar futuro, causando frustrantes potenciais efeitos negativos entre as metas da sociedade (p. ex., segurança, conservação, desenvolvimento econômico, e equidade intra e intergeracional), recursos limitados e interesses e valores conflitantes entre as diversas partes interessadas (*confiança alta*). Esses desafios podem ser superados usando combinações localmente apropriadas de análise de decisão, planejamento do uso da terra, participação pública, diversos sistemas de conhecimento e abordagens de resolução de conflitos que são ajustadas ao longo do tempo conforme as circunstâncias mudem (*confiança alta*). {Quadro 5 do Capítulo Transversal em Capítulo 1, 4.4.3, 4.4.4, 6.9}

- C.3.4     Apesar das grandes incertezas sobre a magnitude e a taxa do aumento do nível do mar 2050, muitas decisões costeiras com um horizonte de tempo que vai de décadas a mais de um século estão sendo tomadas agora (p. ex., infraestrutura crítica, obras de proteção costeira, planejamento das cidades) e podem ser melhoradas levando em

consideração o aumento relativo do nível do mar, favorecendo respostas flexíveis (ou seja, aquelas que podem ser adaptadas ao longo do tempo) apoiadas pelos sistemas de monitoramento de sinais de alerta precoce, ajustando periodicamente as decisões (ou seja, tomada de decisão adaptativa), usando abordagens robustas de tomada de decisão, avaliação de especialistas, construção de cenários e múltiplos sistemas de conhecimento (confiança alta). A variação do aumento do nível do mar que precisa ser considerada para o planejamento e a implementação de respostas costeiras depende da tolerância ao risco das partes interessadas. As partes interessadas com maior tolerância ao risco (p. ex., aqueles que planejam investimentos que podem ser muito facilmente adaptados a condições imprevistas) geralmente preferem usar a variação provável das projeções, enquanto as partes interessadas com uma menor tolerância ao risco (p. ex., aqueles que decidem sobre infraestrutura crítica) também consideram nível médio global e local do mar acima do limite superior da variação provável (globalmente 1,1 m na RCP8.5 até 2100) e de métodos caracterizados por menor confiança, como aqueles resultantes da elicitación por especialistas. {1.8.1, 1.9.2, 4.2.3, 4.4.4, Figura 4.2, Quadro 5 do Capítulo Transversal em Capítulo 1, Figura SPM.5, SPM B.3}

### Risco de aumento do nível do mar e respostas

O termo resposta é usado aqui ao invés de adaptação porque algumas respostas, como recuo, podem ou não ser consideradas como adaptação.



Nesta avaliação, o termo resposta refere-se a respostas *in-situ* ao aumento do nível do mar (construção de estruturas rígidas de proteção, restauração de ecossistemas degradados, limitação de subsidência) e realocação planejada. A realocação planejada nesta avaliação refere-se ao recuo ou reassentamento gerenciado proativo apenas na escala local e de acordo com as especificidades de um contexto particular (p. ex., em ilhas urbanas de atol: dentro da ilha, em uma ilha vizinha ou em ilhas artificialmente elevadas). O deslocamento forçado e a migração internacional não são considerados nesta avaliação.

As geografias ilustrativas são baseadas em um número limitado de estudos de caso bem abordados pela literatura revisada por pares. A percepção do risco dependerá das especificidades do contexto.

Os cenários de aumento do nível do mar RCP4.5 e RCP6.0 não foram considerados nesta avaliação de risco, porque a literatura subjacente a essa avaliação está disponível apenas para RCP2.6 e RCP8.5.

### (b) Benefícios das respostas ao aumento do nível do mar e à mitigação

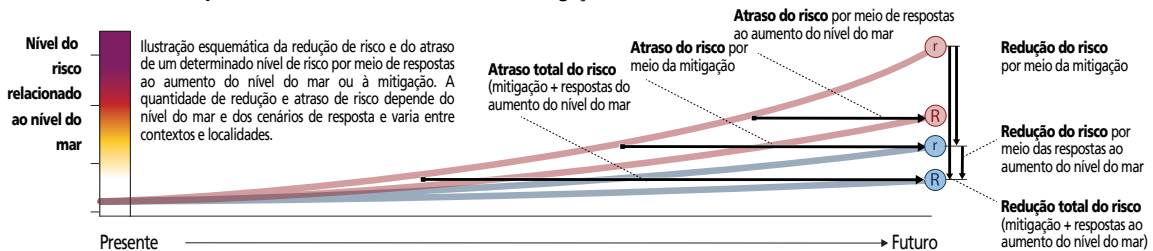


Figura SPM.5 | a, b



(c) Respostas ao aumento do nível médio e extremo do mar

A Tabela ilustra respostas e suas características. Ela não é exaustiva. A aplicabilidade de uma resposta depende da geografia e do contexto.

Níveis de confiança (avaliado para efetividade): ●●●● = Muito alto ●●● = Alto ●● = Médio ● = Baixo

Respostas	Potencial de efetividade em termos de redução dos riscos do aumento do nível do mar (SLR) (limites técnico/biofísico)	Vantagens (além da redução de risco)	Co-benefícios	Desvantagens	Eficiência econômica	Desafios de governança	
<b>Proteção dura</b>	Até múltiplos metros do SLR (4.4.2.2.4) ●●●	Níveis previsíveis da segurança (4.4.2.2.4)	Diques multifuncionais, como para recreação, ou outros usos da terra (4.4.2.2.5)	Destruição de habitat através de compressão costeira, inundação e erosão em baixa velocidade, aprisionamento, consequência desastrosa em caso de falha na defesa (4.3.2.4, 4.4.2.2.5)	Alta, se o valor de ativos por trás da proteção for alto, como encontrado em muitas áreas urbanas costeiras e densamente populadas (4.4.2.2.7)	Frequentemente inacessível para áreas mais pobres. Conflitos entre objetivos (p.ex., conservação, segurança e turismo), conflitos sobre a distribuição de orçamentos públicos, falta de finanças (4.3.3.2, 4.4.2.2.6)	
<b>Proteção baseada em sedimento</b>	Efetiva, mas depende da disponibilidade de sedimentos (4.4.2.2.4) ●●●	Alta flexibilidade (4.4.2.2.4)	Preservação das praias para recreação/turismo (4.4.2.2.5)	Destruição de habitat onde o sedimento é originado (4.4.2.2.5)	Alta se a receita do turismo for alta (4.4.2.2.7)	Conflitos sobre a distribuição de orçamentos públicos (4.4.2.2.6)	
<b>Adaptação baseada em ecossistema</b>	<b>Conservação de coral</b>	Oportunidade para o envolvimento da comunidade, (4.4.2.3.1)	Ganho de habitat, biodiversidade, sequestro de carbono, renda do turismo, aumento da produtividade pesqueira, melhoria de qualidade da água. Fornecimento de alimentos, medicamentos, combustível, madeira e benefícios culturais (4.4.2.3.5)	A efetividade no longo prazo depende dos cenários de emissão e do aquecimento e acidificação do oceano (4.3.3.5.2, 4.4.2.3.2)	Evidência limitada sobre as relações custo-benefício; Depende da densidade populacional e da disponibilidade de terra (4.4.2.3.7)	É difícil obter permissões para implementação. Falta cumprimento. Falta de políticas de conservação. Opções de AbE dispensadas devido ao interesse econômico de curto prazo, disponibilidade de terra (4.4.2.3.6)	
	<b>Restauração de coral</b>						
	<b>Conservação de área alagada (Marismas, Manguezais)</b>						
	<b>Restauração de área alagada (Marismas, Manguezais)</b>						
<b>Avanço costeiro</b>	Até muitos metros de aumento do nível do mar (4.4.2.2.4) ●●●	Níveis previsíveis de segurança (4.4.2.2.4)	Gera terra e receitas de venda de terra que podem ser usadas para financiar adaptação (4.4.2.4.5)	Salinização das águas subterrâneas, aumento da erosão e perda de ecossistemas e habitats costeiros (4.4.2.4.5)	Muito alta se os preços da terra forem altos, como encontrado em muitas costas urbanas (4.4.2.4.7)	Muitas vezes inacessível para áreas mais pobres. Conflitos sociais no que diz respeito ao acesso e distribuição de novas terras (4.4.2.4.6)	
<b>Acomodação costeira (Construções à prova de inundação, sistemas de alerta precoce para eventos de inundação, etc.)</b>	Muito eficaz para pequenos SLR (4.4.2.5.4) ●●●	Tecnologia madura; sedimentos depositados durante as inundações podem aumentar a elevação (4.4.2.5.5)	Mantém a conectividade de paisagens (4.4.2.5.5)	Não previne inundação/impactos (4.4.2.5.5)	Muito alta para sistemas de alerta precoce e escala de construção (4.4.2.5.7)	Os sistemas de alerta precoce requerem acordos institucionais efetivos (4.4.2.6.6)	
<b>Recuo</b>	<b>Realocação planejada</b>	Efetiva se localidades alternativas seguras estiverem disponíveis (4.4.2.6.4) ●●●	Os riscos do nível do mar na origem podem ser eliminados (4.4.2.6.4)	Acesso a melhores serviços (saúde, educação, moradia), oportunidades de emprego e crescimento econômico (4.4.2.6.5)	Perda de coesão social, identidade cultural e bem-estar. Serviços deprimidos (saúde, educação, moradia), oportunidades de emprego e crescimento econômico (4.4.2.6.5)	Evidência limitada (4.4.2.6.7)	Reconciliação dos interesses divergentes decorrentes da realocação de pessoas do ponto de origem ao destino (4.4.2.6.6)
	<b>Deslocamento forçado</b>	Aborda apenas o risco imediato no local de origem	Não se aplica	Não se aplica	Varia de perda de vidas a perda de meios de subsistência e de soberania (4.4.2.6.5)	Não se aplica	Levanta questões humanitárias complexas sobre meios de subsistência, direitos humanos e equidade (4.4.2.6.6)

(d) Escolhendo e permitindo respostas ao aumento do nível do mar




Figura SPM.5 | c, d


**Figura SPM.5** | Risco de aumento do nível do mar e respostas. O termo resposta é usado ao invés de adaptação porque algumas respostas, como recuo, podem ser ou não consideradas como adaptação. **(a)** mostra o risco combinado de inundação costeira, erosão e salinização para geografias ilustrativas em 2100, devido à mudança dos níveis médio e extremo do mar na RCP2.6 e RCP8.5 e em dois cenários de resposta. Os riscos nas RCPs 4.5 e 6.0 não foram avaliados devido à falta de literatura para as geografias avaliadas. A avaliação não leva em conta alterações no nível extremo do mar além daquelas diretamente induzidas pelo aumento médio do nível do mar; os níveis de risco podem aumentar caso outras mudanças nos níveis extremos do mar sejam consideradas (p. ex., devido a mudanças na intensidade de ciclones). O Painel a) considera um cenário socioeconômico com densidade populacional costeira relativamente estável ao longo do século. {SM4.3.2} Os riscos para as geografias ilustrativas foram avaliados com base nas mudanças relativas do nível do mar projetadas para um conjunto de exemplos específicos: a Cidade de Nova Iorque, Xangai e Roterdã para cidades costeiras ricas em recursos, cobrindo uma ampla variação de experiências de resposta; Tarawa do Sul, Fongafale e Male' para ilhas urbanas de atol; Mekong e Ganges-Brahmaputra-Meghna para grandes deltas agrícolas tropicais; e Bykovskiy, Shishmaref, Kivalina, Tuktoyaktuk e Shingle Point para comunidades do Ártico localizadas em regiões remotas do ajuste isostático glacial rápido. {4.2, 4.3.4, SM4.2} A avaliação distingue entre dois cenários de resposta contrastantes. "Nenhuma à resposta moderada" descreve os esforços a partir de hoje (ou seja, nenhuma ação significativa adicional ou novos tipos de ações). "Resposta potencial máxima" representa uma combinação de respostas implementadas em toda a sua extensão e, portanto, esforços adicionais significativos em comparação aos dias atuais, assumindo barreiras financeiras, sociais e políticas mínimas. A avaliação foi realizada para cada cenário de resposta e de aumento do nível do mar, conforme indicado pelas cores mais quentes na figura; os níveis de risco intermediários estão interpolados. {4.3.3} Os critérios de avaliação incluem exposição e vulnerabilidade (densidade de ativos, nível de degradação dos ecossistemas-tampão terrestres e marinhos), ameaças costeiras (inundação, erosão do litoral, salinização), respostas in situ (obras de defesa costeira rígida, restauração de ecossistema ou criação de novas áreas-tampão naturais e gerenciamento de subsidência) e realocação planejada. Realocação planejada refere-se à retirada ou reassentamento gerenciado, conforme descrito no Capítulo 4, ou seja, medidas proativas e em escala local para reduzir o risco por meio da realocação de pessoas, ativos e infraestrutura. O deslocamento forçado não é considerado nesta avaliação. O Painel **(a)** também destaca as contribuições relativas das respostas in situ e da realocação planejada para a redução total dos riscos. **(b)** ilustra esquematicamente a redução de risco (setas verticais) e o atraso de risco (setas horizontais) por meio da mitigação ou das respostas ao aumento do nível do mar. **(c)** resume e avalia as respostas ao aumento do nível do mar em termos de efetividade, custos, co-benefícios, desvantagens, eficiência econômica e desafios associados à governança. {4.4.2} **(d)** apresenta etapas genéricas de uma abordagem de tomada de decisão adaptativa, bem como as principais condições facilitadoras para respostas ao aumento do nível do mar. {4.4.4, 4.4.5}

## Condições Facilitadoras

**C.4 Facilitar o desenvolvimento sustentável e resiliente depende criticamente de reduções urgentes e ambiciosas das emissões, juntamente com ações de adaptação sustentadas coordenadas e cada vez mais ambiciosas (confiança muito alta). Os principais facilitadores para implementar respostas efetivas às mudanças relacionadas ao clima no oceano e na criosfera incluem a intensificação da cooperação e coordenação entre as autoridades governamentais através de escalas espaciais e horizontes de planejamento. Educação e conscientização climática, monitoramento e previsão, uso de todas as fontes de conhecimento disponíveis, compartilhamento de dados, informações e conhecimentos, financiamento, abordagem da vulnerabilidade social e da equidade e apoio institucional também são essenciais. Esses investimentos permitem capacitação, aprendizado social e participação em adaptações contexto-específicas, bem como a negociação de potenciais efeitos negativos e a realização de co-benefícios na redução de riscos de curto prazo e na construção de resiliência e sustentabilidade de longo prazo (confiança alta). Este relatório reflete o estado da ciência para o oceano e a criosfera para níveis baixos de aquecimento global (1,5°C), como também avaliado em relatórios anteriores do IPCC e do IPBES. {1.1, 1.5, 1.8.3, 2.3.1, 2.3.2, 2.4, Figura 2.7, 2.5, 3.5.2, 3.5.4, 4.4, 5.2.2, Quadro 5.3, 5.4.2, 5.5.2, 6.4.3, 6.5.3, 6.8, 6.9, Quadro 9 do Capítulo Transversal, Figura SPM.5}**

**C.4.1**  À luz das mudanças observadas e projetadas no oceano e na criosfera, muitas nações enfrentarão desafios para se adaptar, mesmo com mitigação ambiciosa (*confiança muito alta*). Em um cenário de altas emissões, projeta-se que muitas comunidades dependentes do oceano e da criosfera enfrentem limites de adaptação (p. ex., biofísico, geográfico, financeiro, técnico, social, político e institucional) durante a segunda metade do século XXI. As trajetórias de baixa emissão, por comparação, limitam os riscos das mudanças no oceano e na criosfera neste século e além e possibilitam respostas mais efetivas (*confiança alta*), além de criar co-benefícios. Mudança econômica e institucional transformativa profunda permitirão Trajetórias de Desenvolvimento Resiliente ao Clima no contexto do oceano e da criosfera (*confiança alta*). {1.1, 1.4–1.7, Quadros 1–3 do Capítulo Transversal em Capítulo 1, 2.3.1, 2.4, Quadro 3.2, Figura 3.4, Quadro 7 do Capítulo Transversal em Capítulo 3, 3.4.3, 4.2.2, 4.2.3, 4.3.4, 4.4.2, 4.4.3, 4.4.6, 5.4.2, 5.5.3, 6.9.2, Quadro 9 do Capítulo Transversal, Figura SPM.5}

- C.4.2  A intensificação da cooperação e coordenação entre autoridades governamentais através das esferas, jurisdições, setores, domínios de política e horizontes de planejamento pode permitir respostas efetivas para as mudanças no oceano e na criosfera e no aumento do nível do mar (*confiança alta*). A cooperação regional, incluindo tratados e convenções, pode apoiar ações de adaptação; no entanto, a medida em que responder a impactos e perdas resultantes de mudanças no oceano e na criosfera é facilitado por quadros de política regional é atualmente limitada (*confiança alta*). Acordos institucionais que criam elos fortes em múltiplas esferas com comunidades locais e indígenas beneficiam a adaptação (*confiança alta*). A coordenação e a complementaridade entre políticas regionais transfronteiriças e nacionais podem apoiar os esforços para enfrentar os riscos à segurança e gestão de recursos, como água e pesca (*confiança média*). {2.3.1, 2.3.2, 2.4, Quadro 2.4, 2.5, 3.5.2, 3.5.3, 3.5.4, 4.4.4, 4.4.5, Tabela 4.9, 5.5.2, 6.9.2}
- C.4.3  A experiência até o momento – por exemplo, na resposta ao aumento do nível do mar, aos riscos relacionados à água em algumas altas montanhas e aos riscos da mudança do clima no Ártico – também revela a influência facilitadora que possibilita a adoção de uma perspectiva no longo prazo ao tomar decisões de curto prazo, com responsabilização expressa pela incerteza dos riscos contexto-específicos para além de 2050 (*confiança alta*) e o desenvolvimento de capacidades de governança para lidar com riscos complexos (*confiança média*). {2.3.1, 3.5.4, 4.4.4, 4.4.5, Tabela 4.9, 5.5.2, 6.9, Figura SPM.5}
- C.4.4  Investimentos em educação e capacitação em vários níveis e esferas facilitam a aprendizagem social e a capacidade de longo prazo de respostas específicas ao contexto, a fim de reduzir riscos e aumentar a resiliência (*confiança alta*). As atividades específicas incluem a utilização de vários sistemas de conhecimento e informações climáticas regionais na tomada de decisões e o envolvimento de comunidades locais, povos indígenas e partes interessadas relevantes em arranjos adaptativos de governança e estruturas de planejamento (*confiança média*). A promoção da conscientização climática e a utilização de sistemas de conhecimento locais, indígenas e científicos possibilitam a conscientização pública, a compreensão e o aprendizado social sobre o risco específico da localidade e o potencial de resposta (*confiança alta*). Esses investimentos podem se desenvolver e, em muitos casos, transformar as instituições existentes e permitir acordos de governança embasados, interativos e adaptáveis (*confiança alta*). {1.8.3, 2.3.2, Figura 2.7, Quadro 2.4, 2.4, 3.5.2, 3.5.4, 4.4.4, 4.4.5, Tabela 4.9, 5.5.2, 6.9}
- C.4.5  O monitoramento e a previsão contexto-específicos das mudanças no oceano e na criosfera embasam o planejamento e a implementação da adaptação, e facilitam decisões robustas sobre os potenciais efeitos negativos entre ganhos de curto e longo prazo (*confiança média*). O monitoramento de longo prazo sustentado, o compartilhamento de dados, informações e conhecimentos e previsões aprimoradas contexto-específicas, incluindo sistemas de alerta precoce para prever mais eventos extremos de *El Niño/La Niña*, ciclones tropicais e ondas de calor marinhas, ajudam a gerenciar impactos negativos das mudanças nos oceanos, como perdas na pesca e impactos adversos na saúde humana, segurança alimentar, agricultura, recifes de coral, aquacultura, incêndios, turismo, conservação, seca e inundações (*confiança alta*). {2.4, 2.5, 3.5.2, 4.4.4, 5.5.2, 6.3.1, 6.3.3, 6.4.3, 6.5.3, 6.9}
- C.4.6  A priorização de medidas para abordar a vulnerabilidade e a equidade social respaldam os esforços para promover a resiliência climática justa e equitativa e o desenvolvimento sustentável (*confiança alta*), e pode ser auxiliada pela criação de ambientes comunitários seguros para participação pública significativa, deliberação e resolução de conflitos (*confiança média*). {Quadro 2.4, 4.4.4, 4.4.5, Tabela 4.9, Figura SPM.5}

- C.4.7  Esta avaliação do oceano e da criosfera em um clima em mudança revela os benefícios da mitigação ambiciosa e da adaptação efetiva para o desenvolvimento sustentável e, inversamente, os custos e riscos crescentes de uma ação atrasada. O potencial para traçar as Trajetórias de Desenvolvimento Resilientes ao Clima varia dentro das e entre as regiões oceânicas, de altas montanhas e terras polares. A concretização desse potencial depende de mudanças transformativas. Isso destaca a urgência de priorização de ações oportunas, ambiciosas, coordenadas e duradouras (*confiança muito alta*). {1.1, 1.8, Quadro 1 do Capítulo Transversal em Capítulo 1, 2.3, 2.4, 3.5, 4.2.1, 4.2.2, 4.3.4, 4.4, Tabela 4.9, 5.5, 6.9, Quadro 9 do Capítulo Transversal, Figura SPM.5}



