



Mudanças climáticas globais


Giuliano Maselli Locosselli
locosselli@cena.usp.br



Passos da co-criação

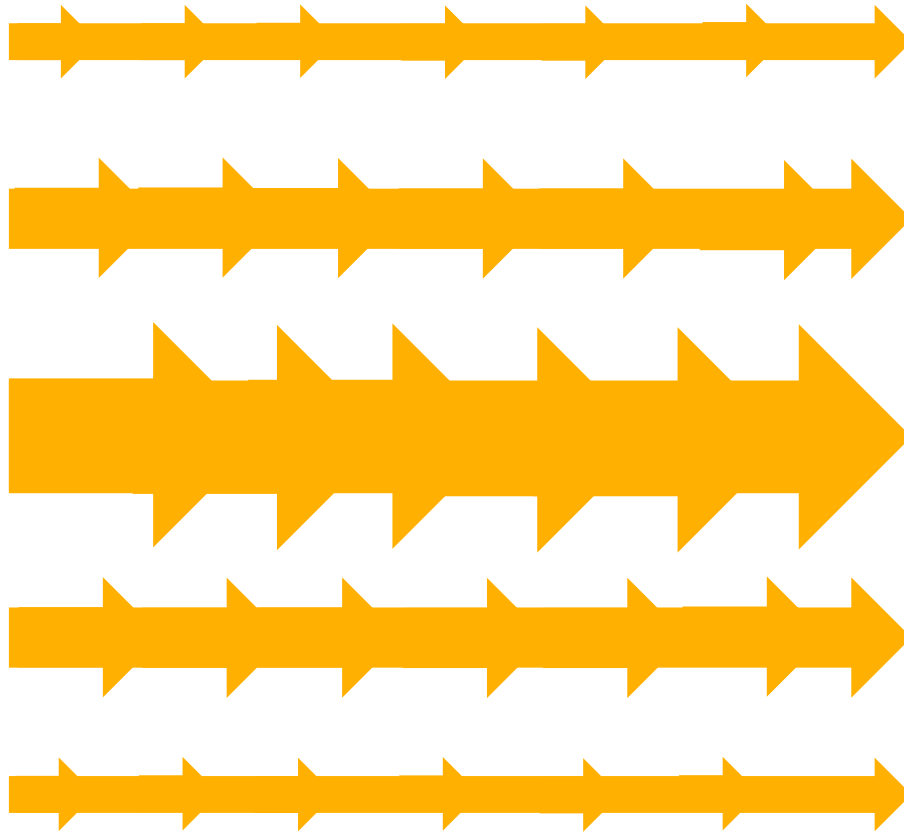
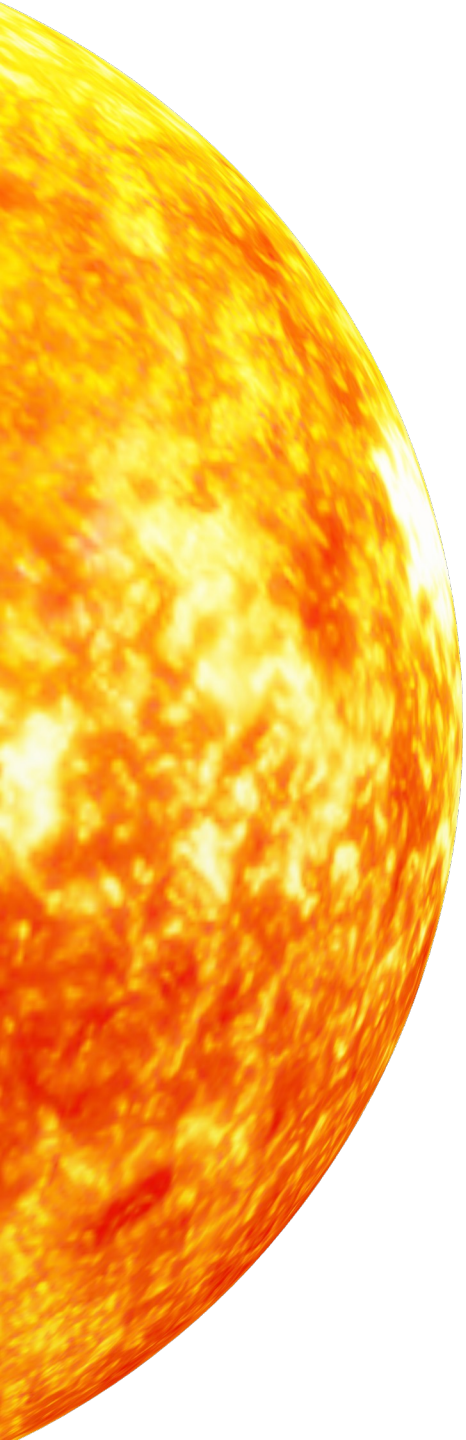
- Definir o desafio
- Identificar os problemas e oportunidades
- Conhecer questões associadas
- Definir as equipes
- Elaborar as propostas e os protótipos
- Testar as ideias
- Escrutinar as melhores ideias

Passos da co-criação

- Definir o desafio 
- Identificar os problemas e oportunidades
- Conhecer questões associadas
- Definir as equipes
- Elaborar as propostas e os protótipos
- Testar as ideias
- Escrutinar as melhores ideias

Radiação solar

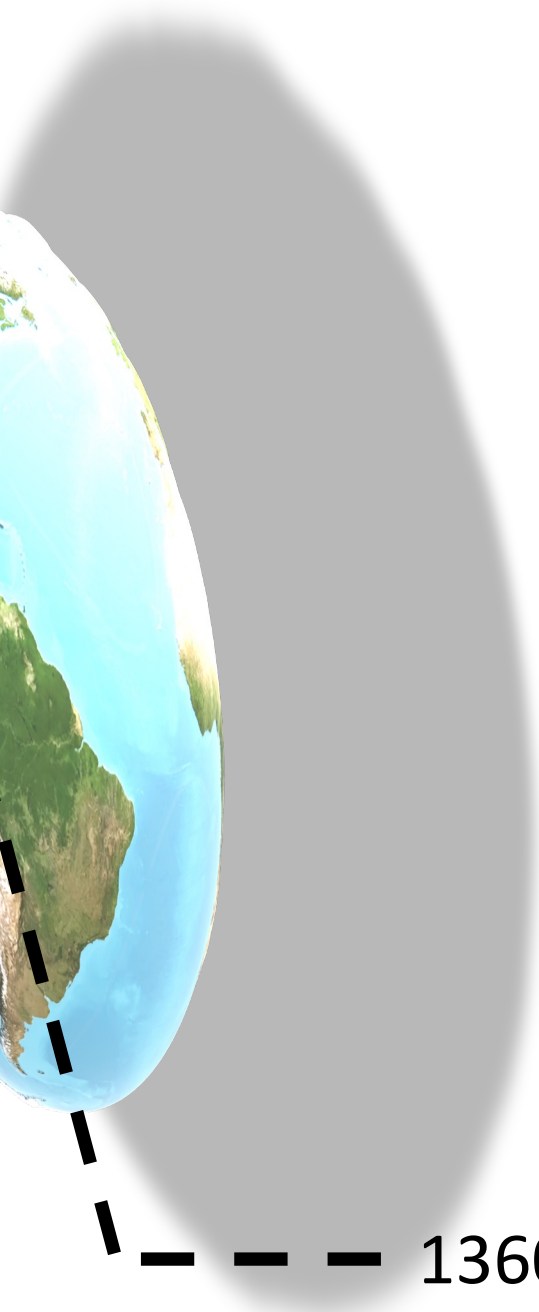
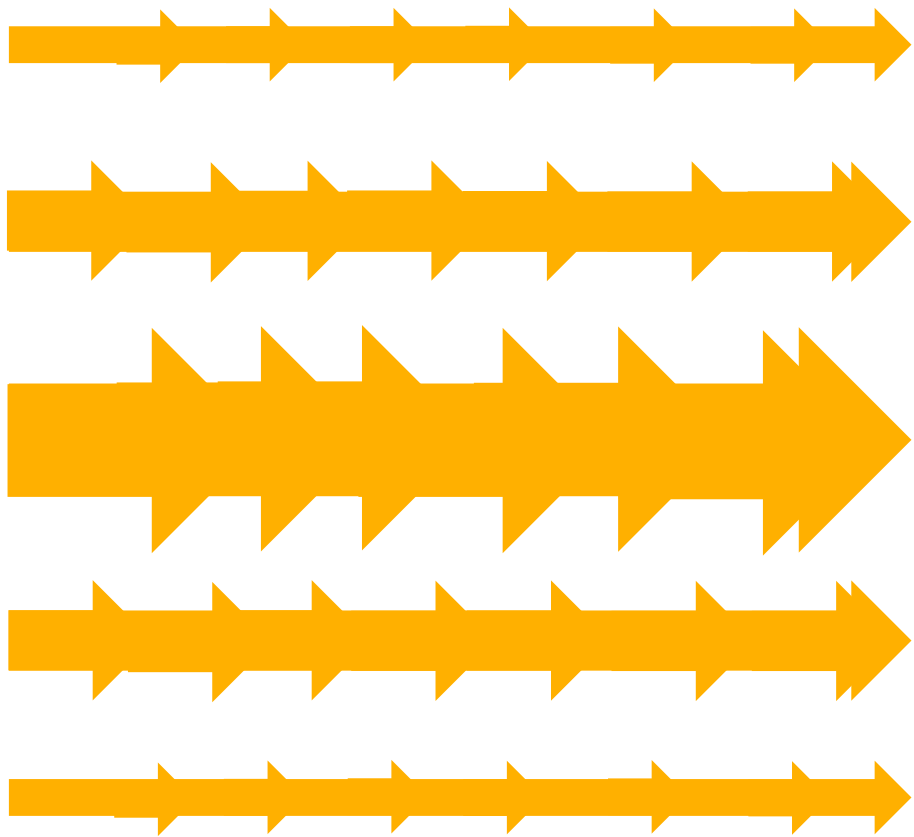
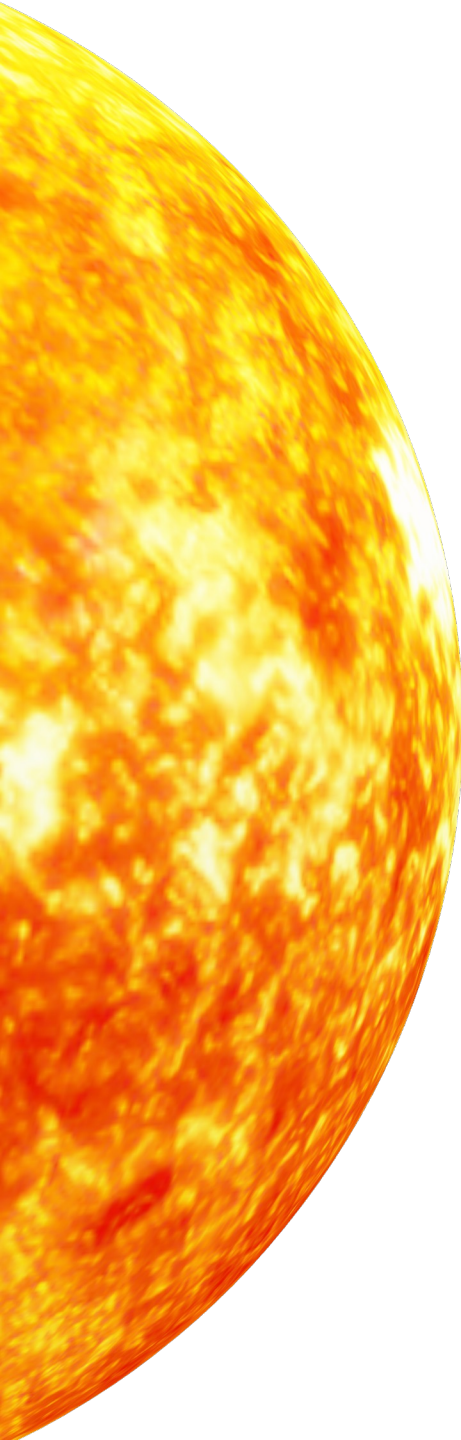
Energia: quantidade conservada que deve ser transferida para um corpo para realizar trabalho ou aquecer



150 milhões de km
(8 min. e 18 seg.)

Energia térmica: transferida por condução, convecção ou radiação

Radiação solar

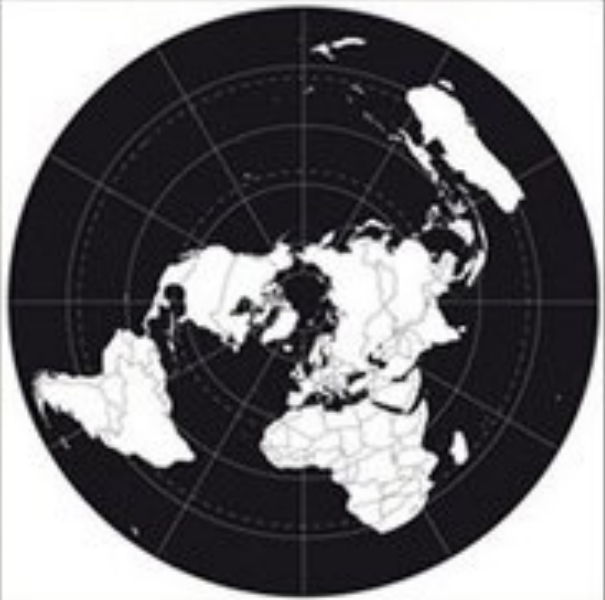


1360 W/m²

SÃO PAULO

CON

FLAT



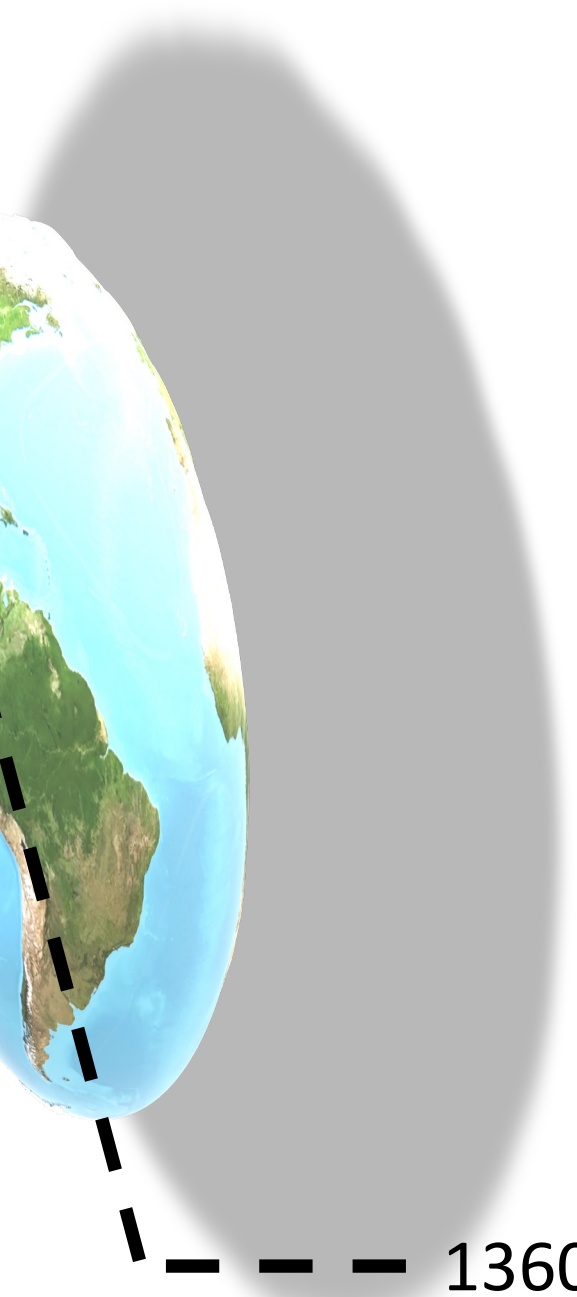
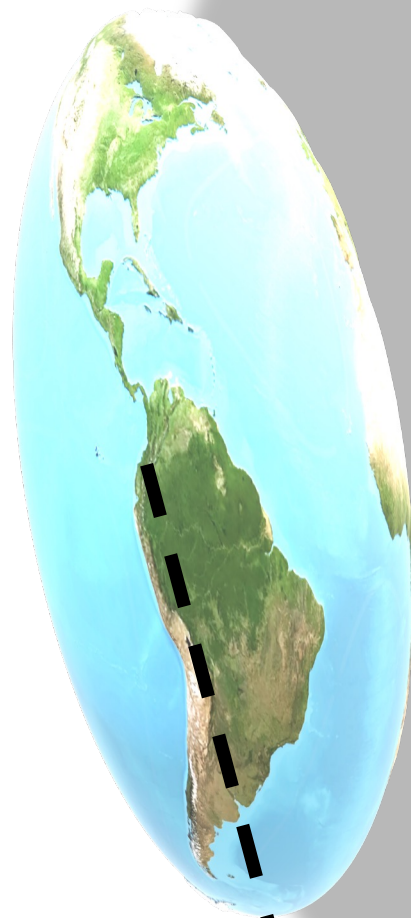
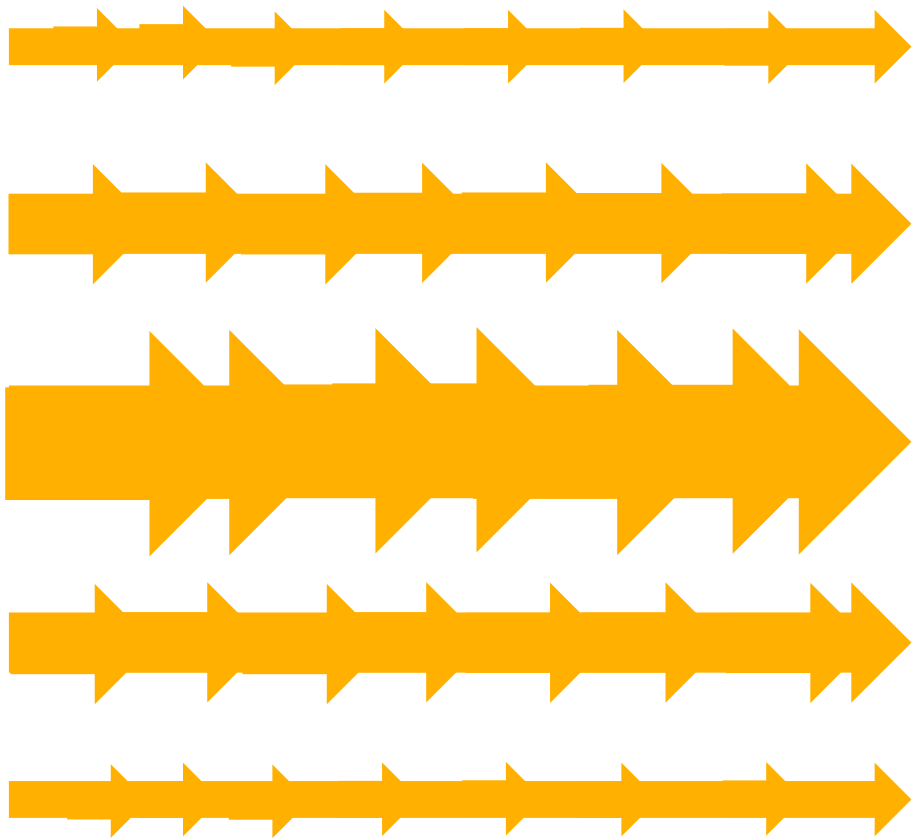
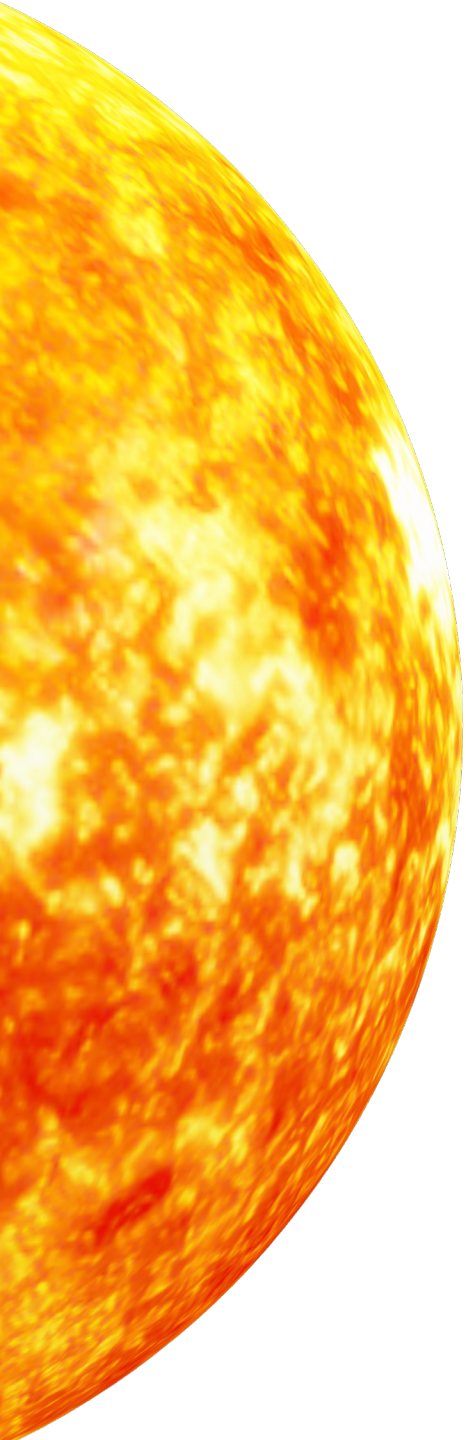
BRASIL 2019

solar



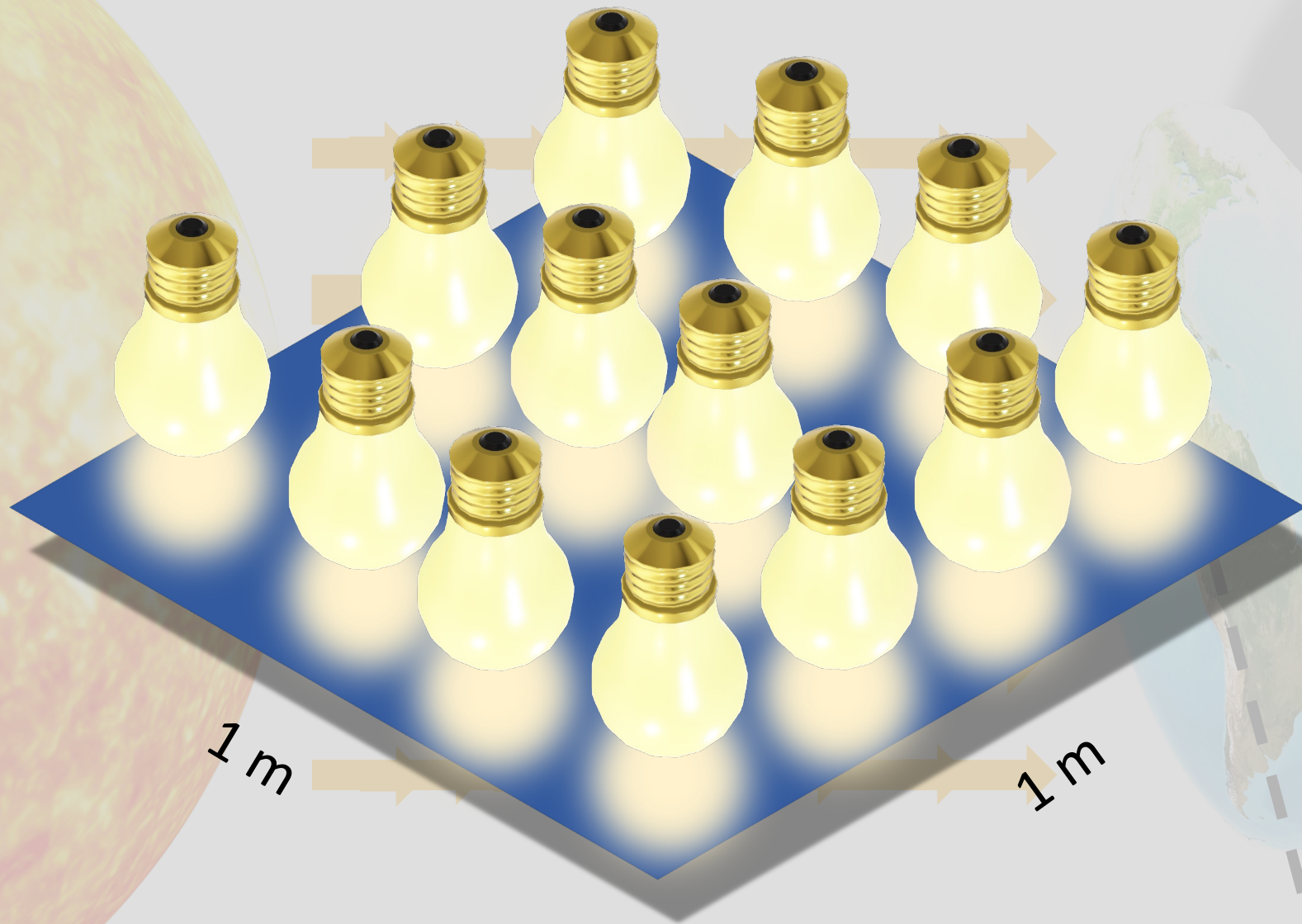
1360 W/m²

Radiação solar



----- 1360 W/m²

Radiação solar



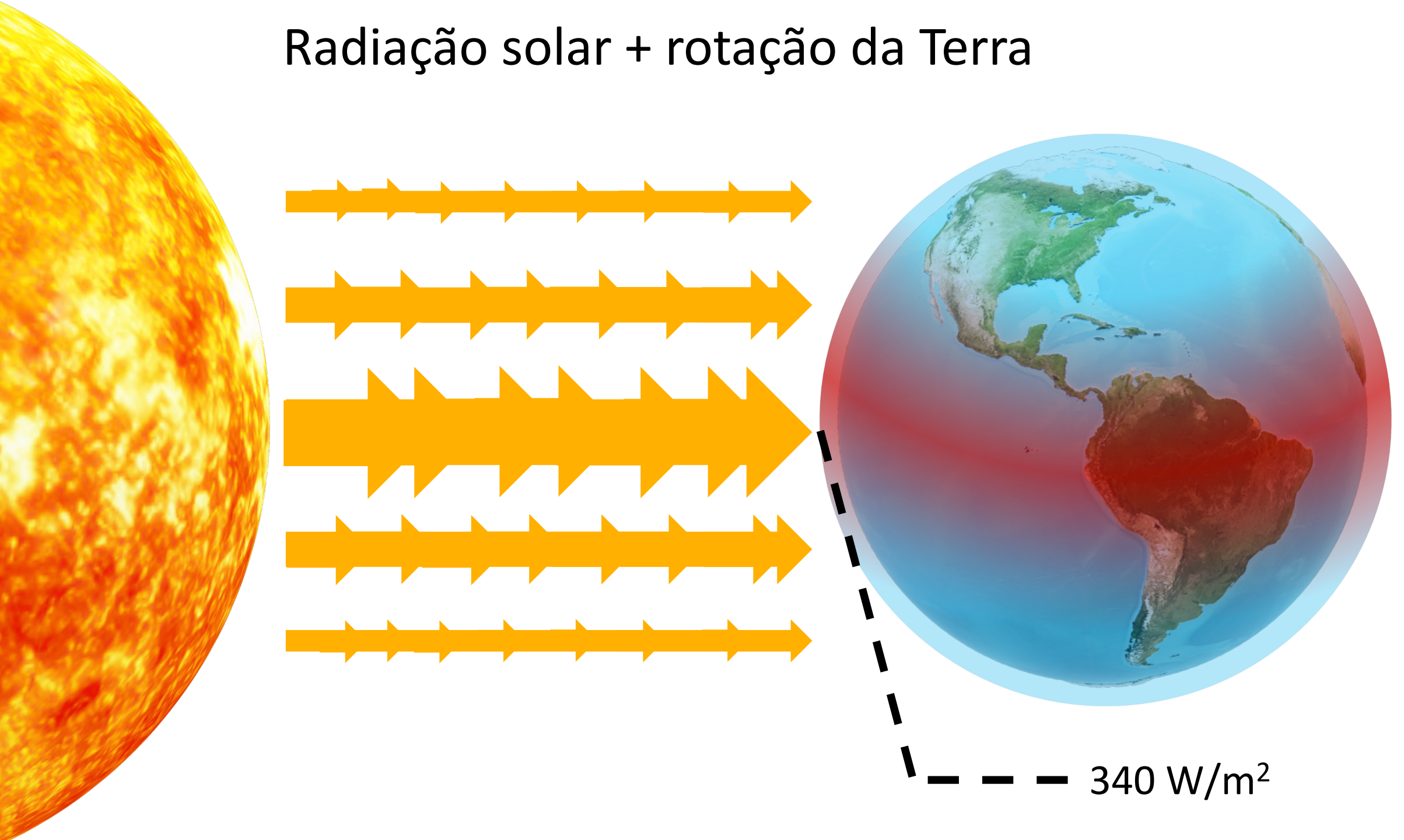
~ 13 lâmpadas de 100W

1 m

1 m

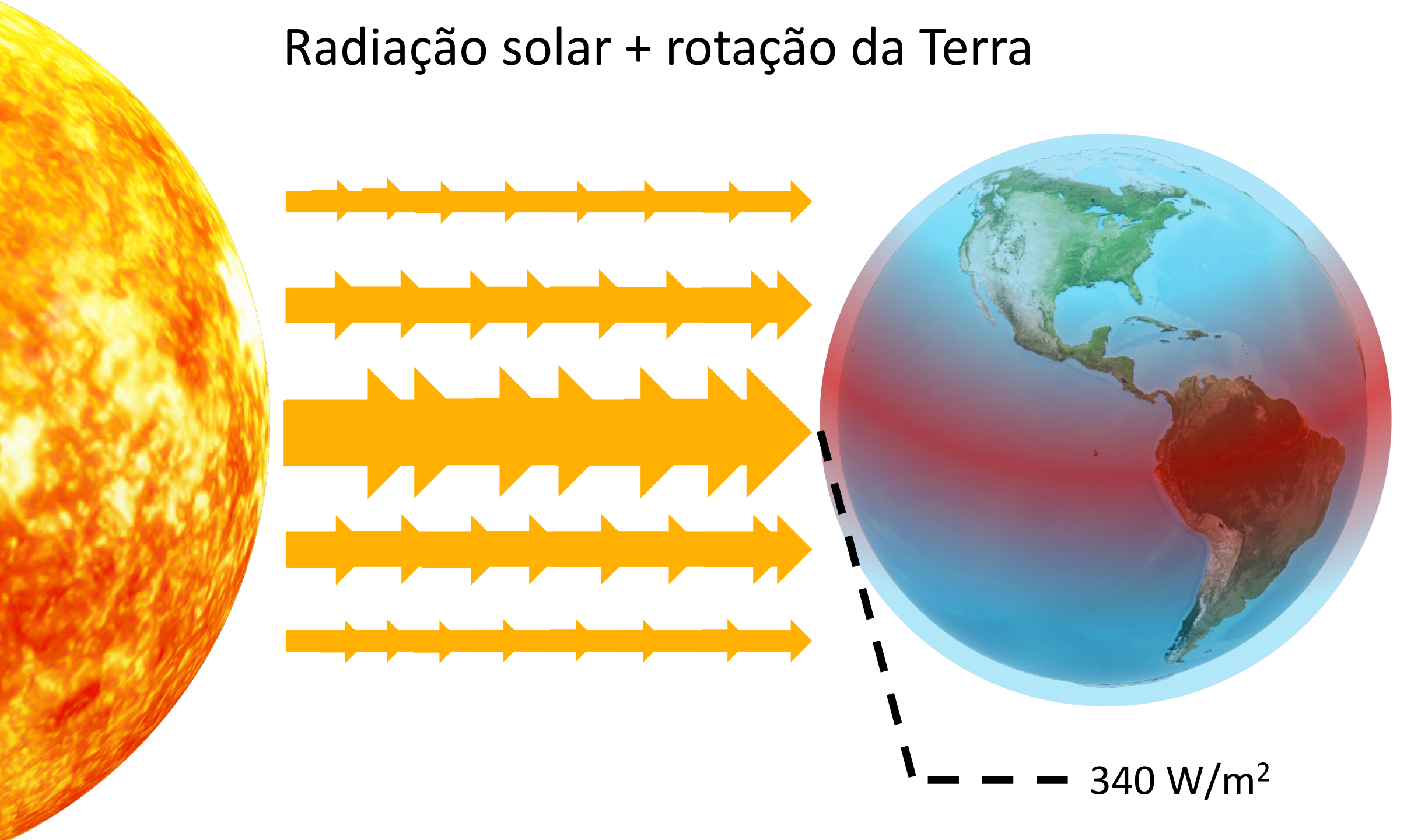
1360 W/m²

Radiação solar + rotação da Terra



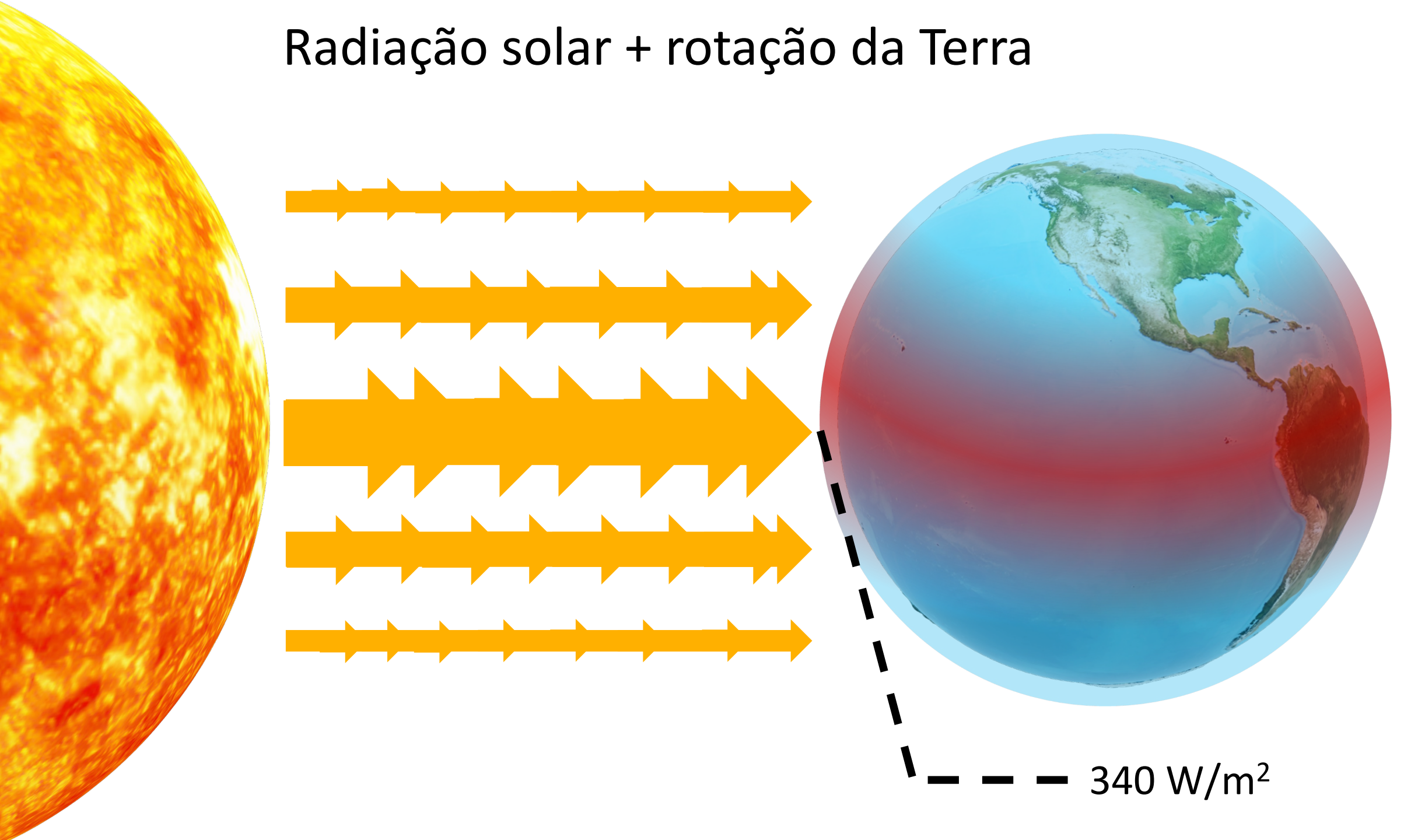
--- 340 W/m²

Radiação solar + rotação da Terra



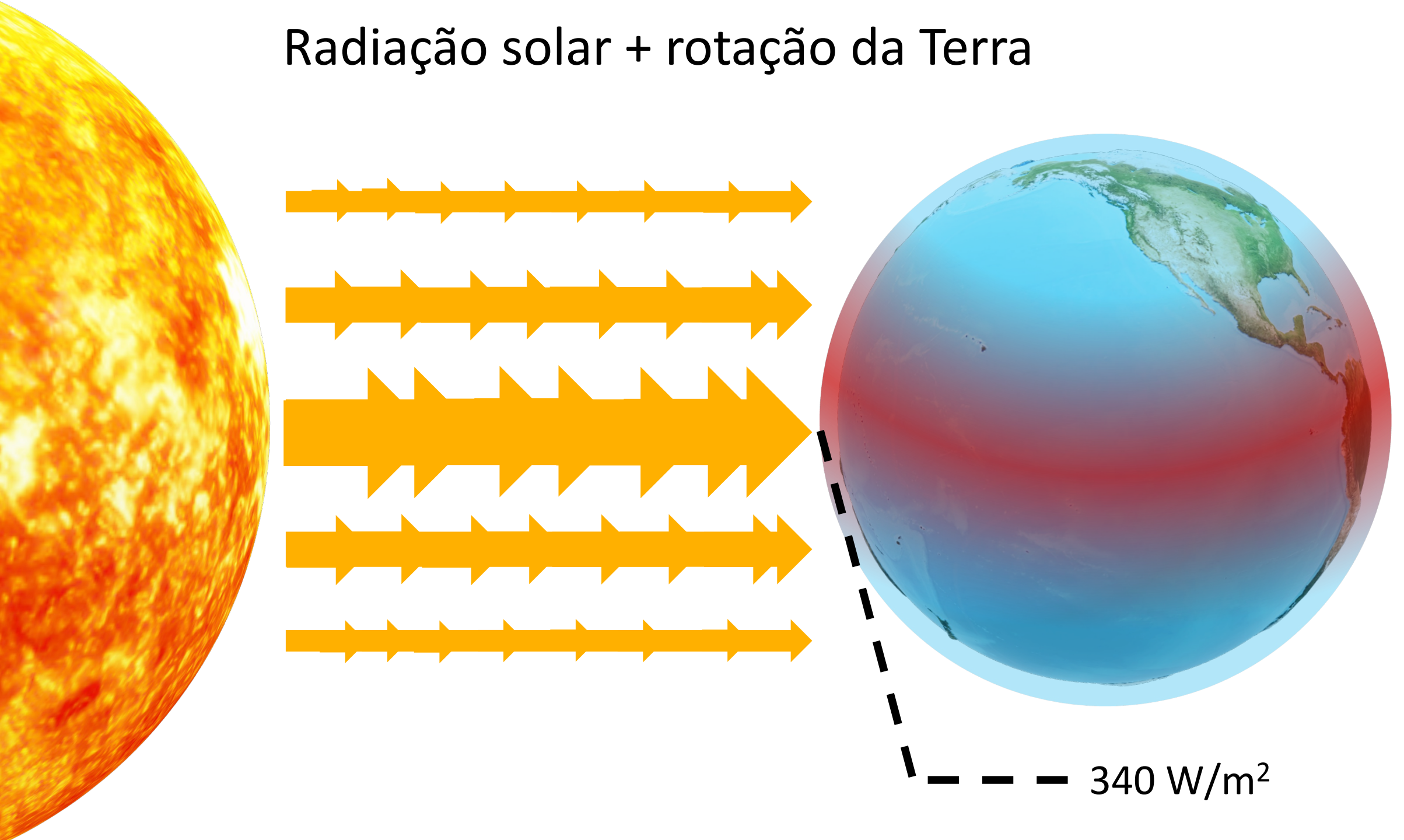
--- 340 W/m²

Radiação solar + rotação da Terra



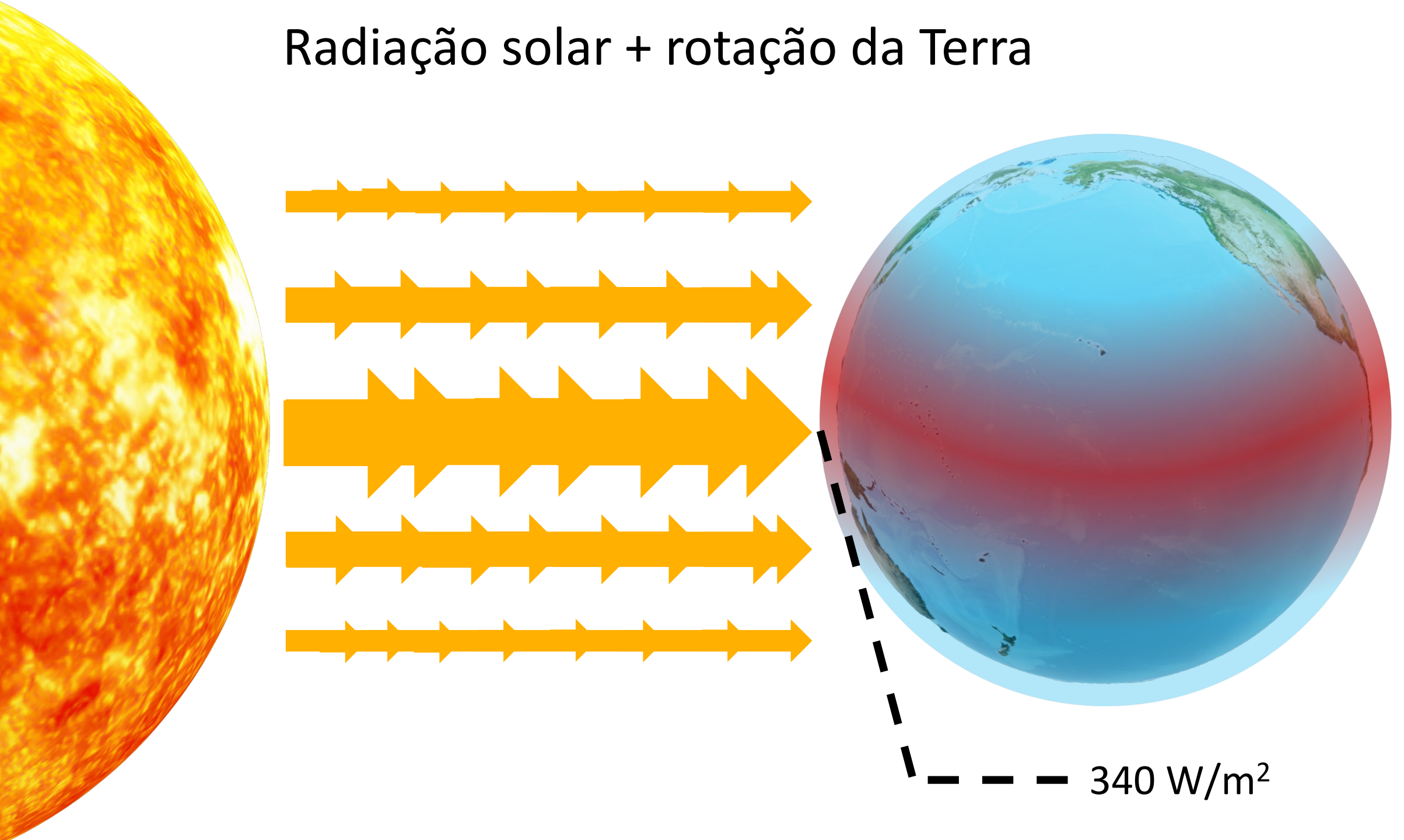
--- 340 W/m^2

Radiação solar + rotação da Terra



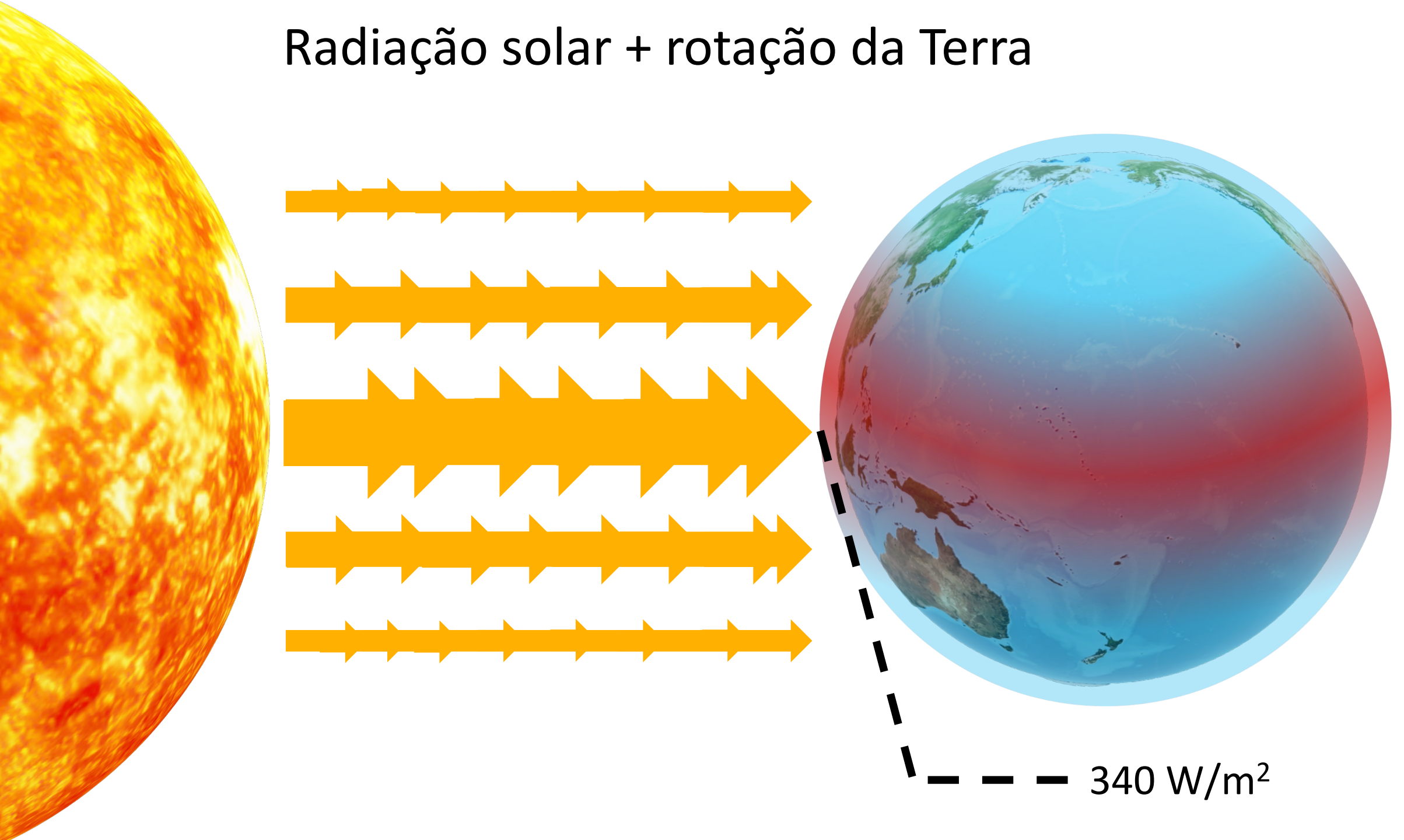
--- 340 W/m^2

Radiação solar + rotação da Terra



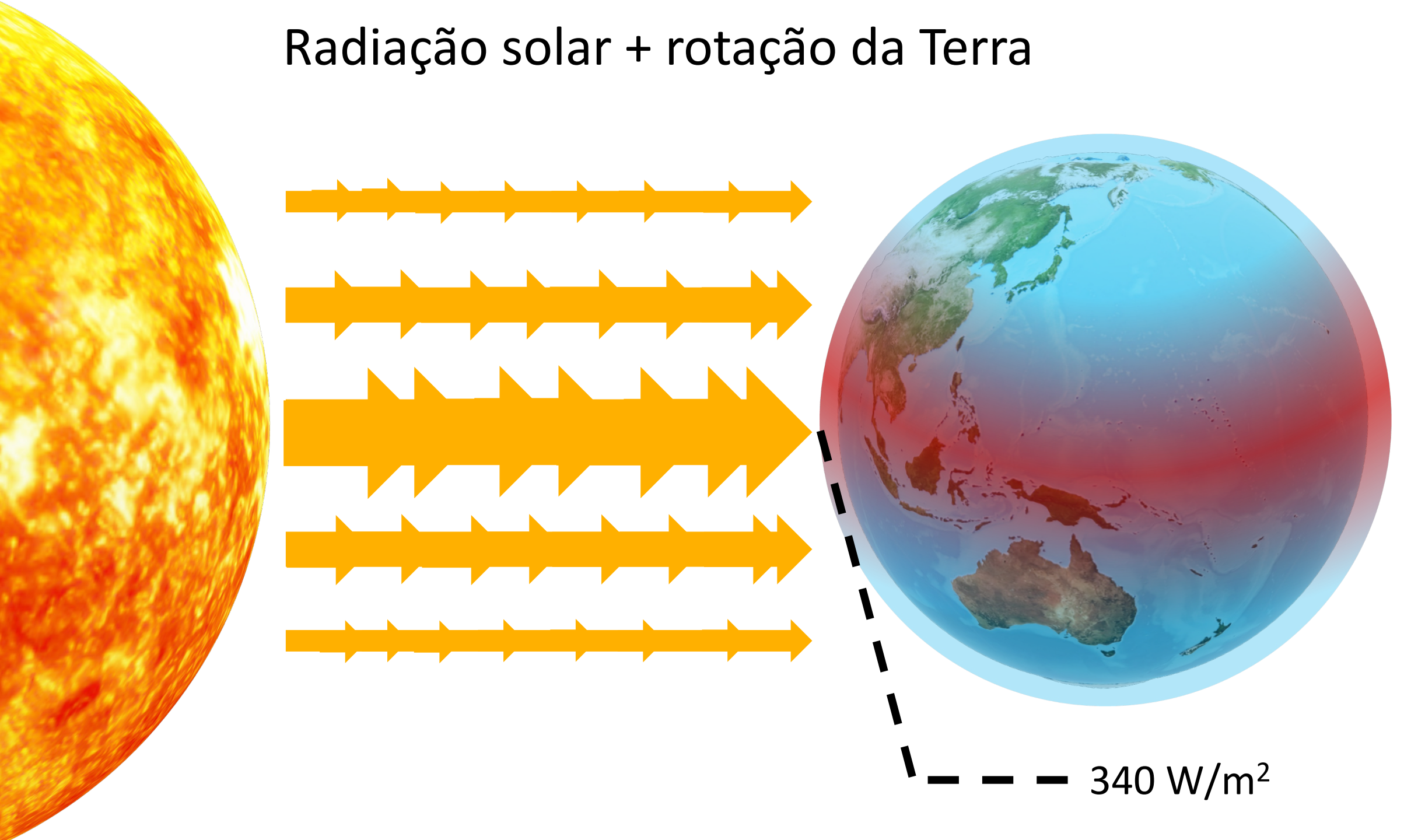
--- 340 W/m^2

Radiação solar + rotação da Terra



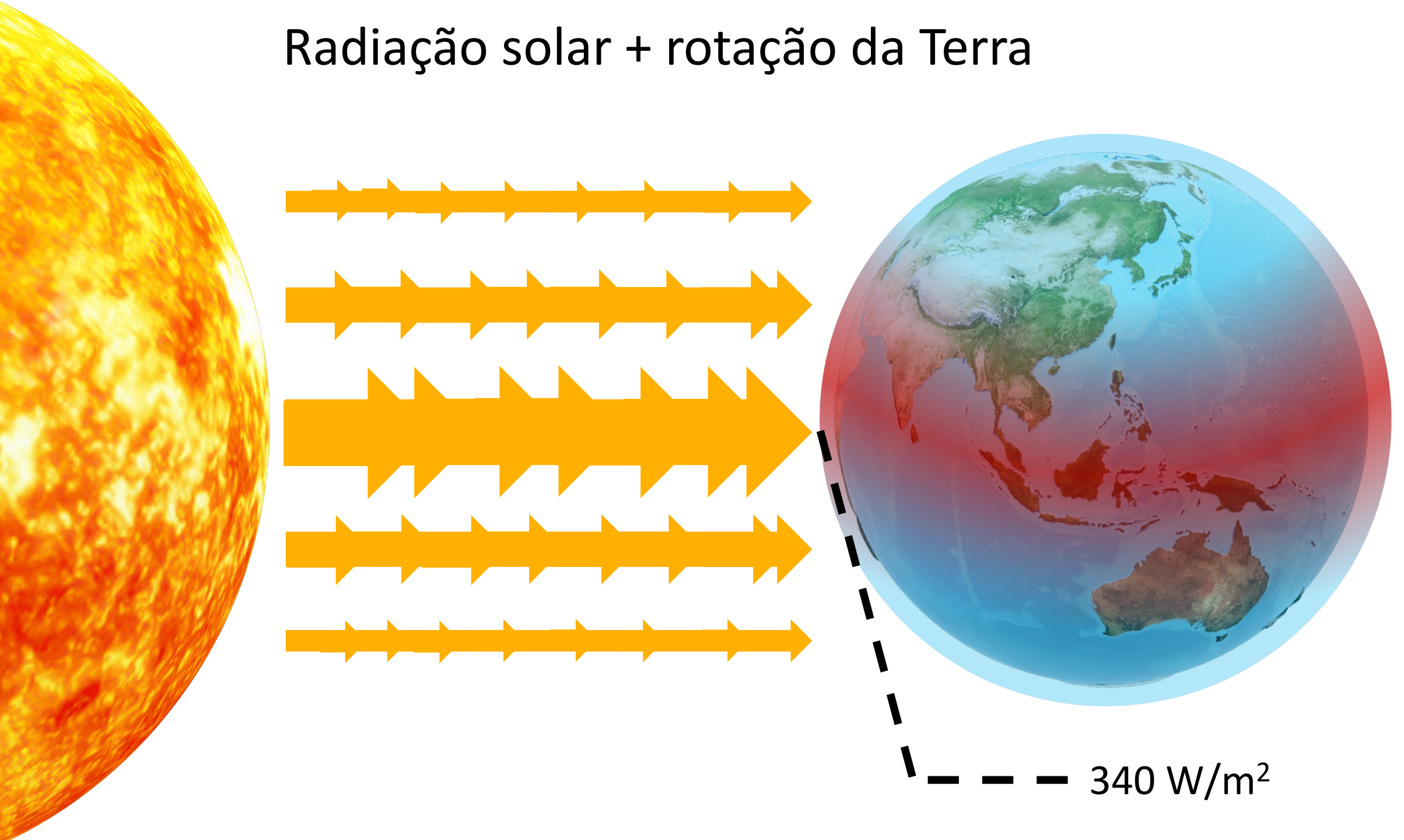
--- 340 W/m²

Radiação solar + rotação da Terra



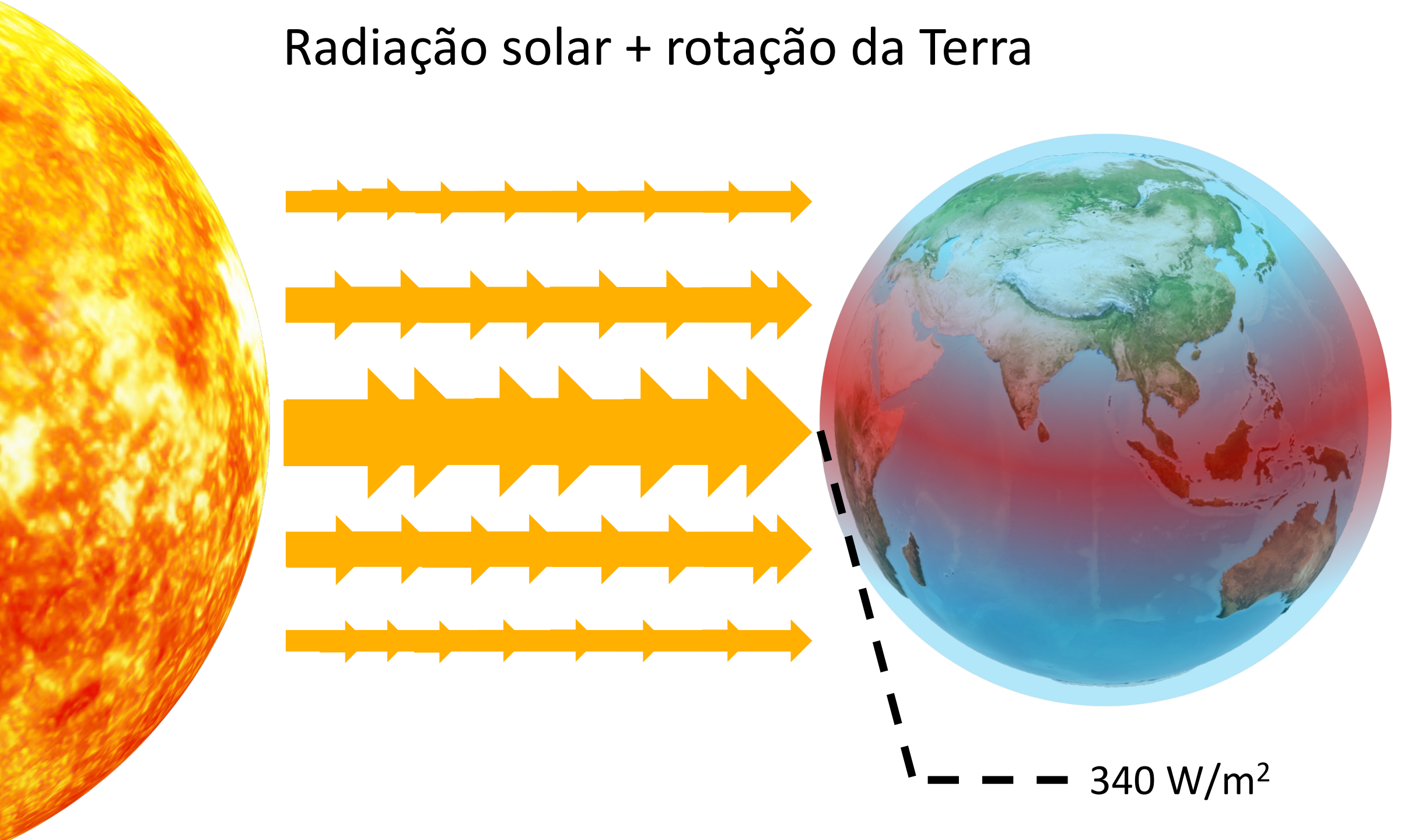
--- 340 W/m^2

Radiação solar + rotação da Terra



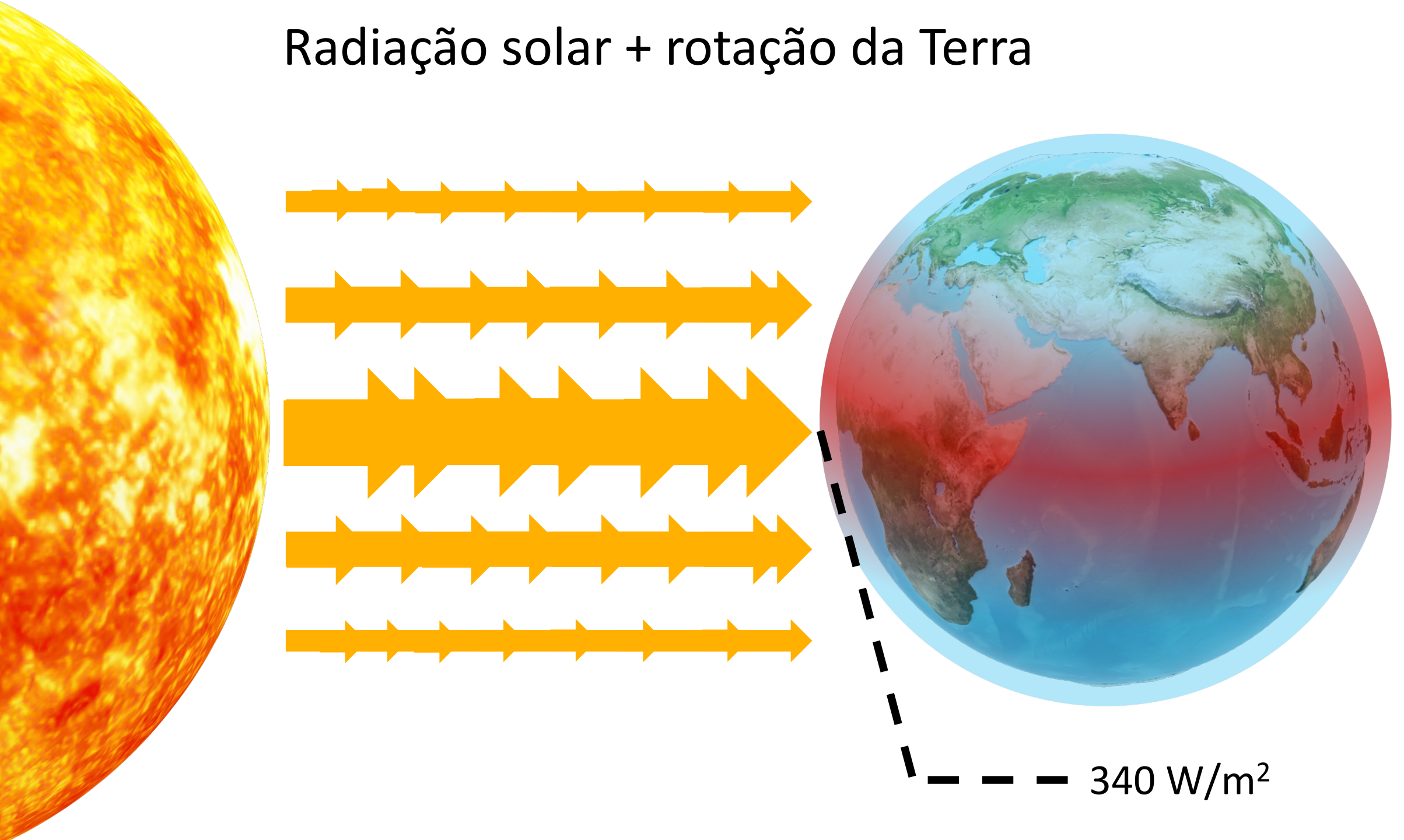
--- 340 W/m^2

Radiação solar + rotação da Terra



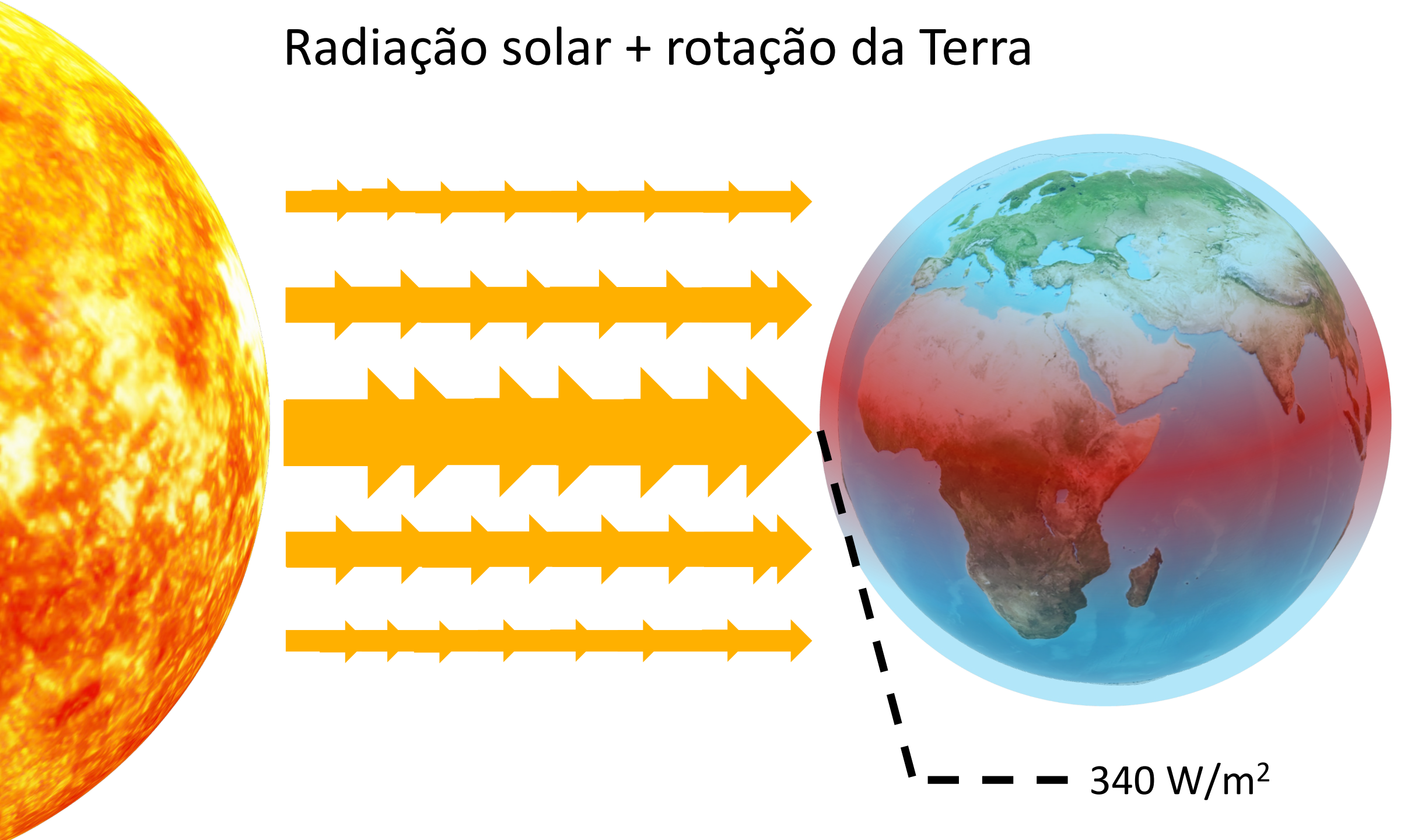
--- 340 W/m^2

Radiação solar + rotação da Terra



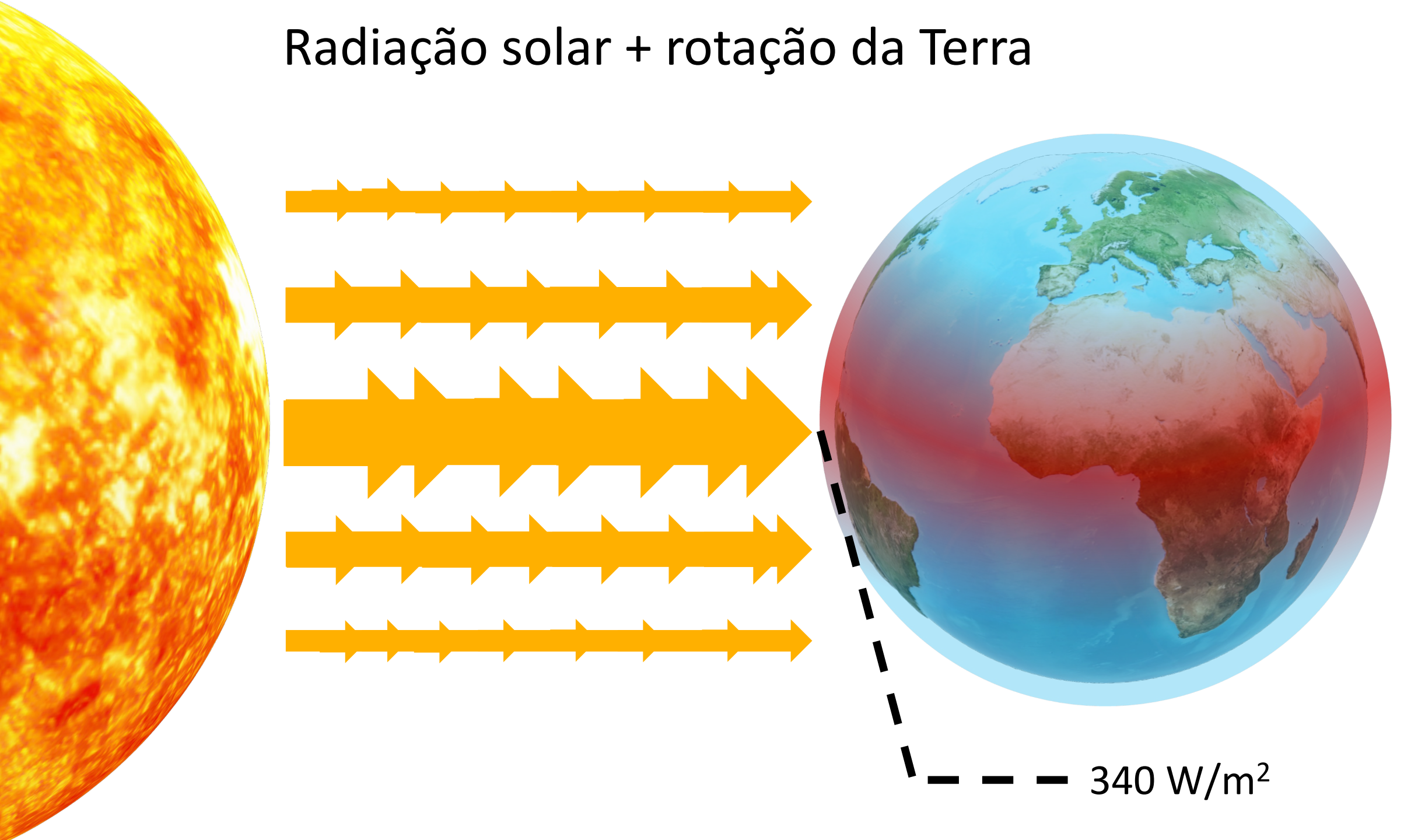
--- 340 W/m^2

Radiação solar + rotação da Terra



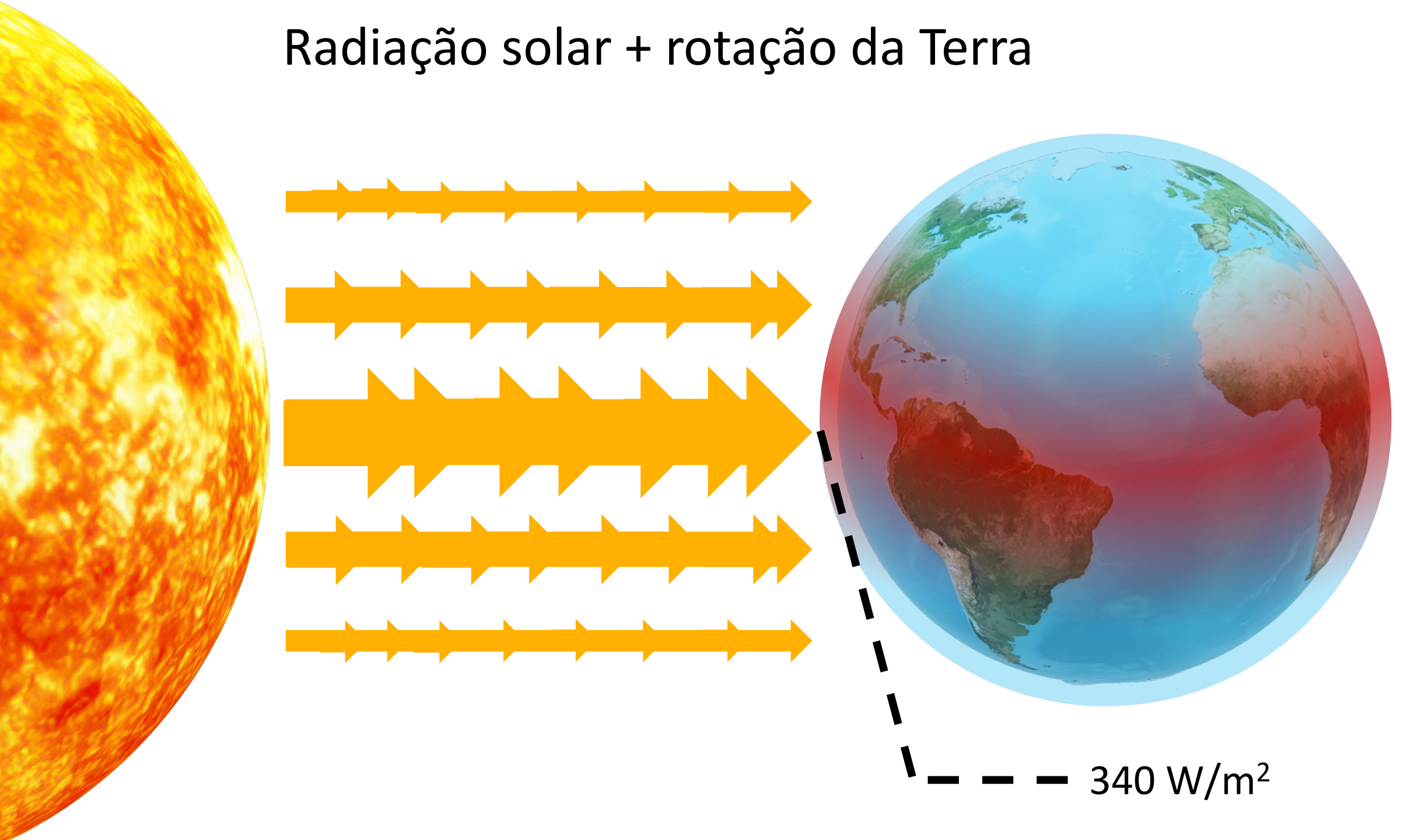
--- 340 W/m²

Radiação solar + rotação da Terra



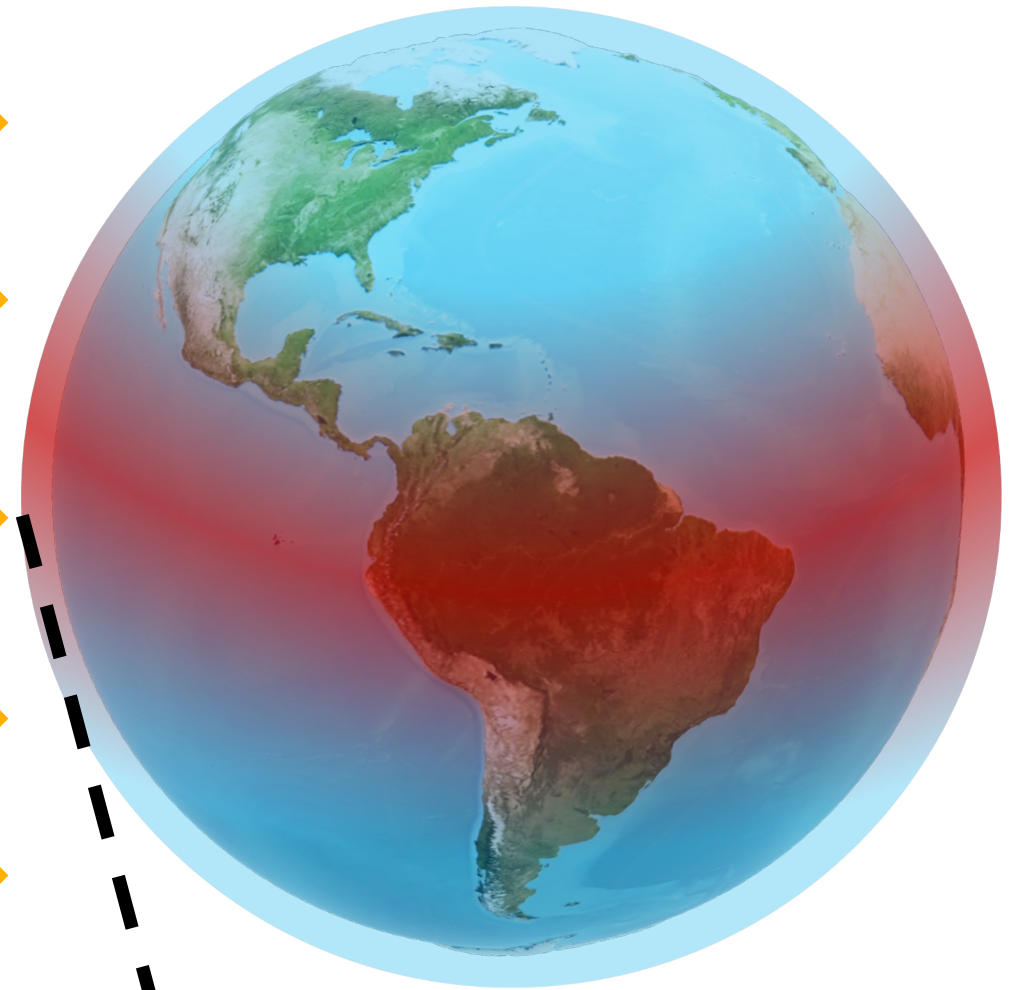
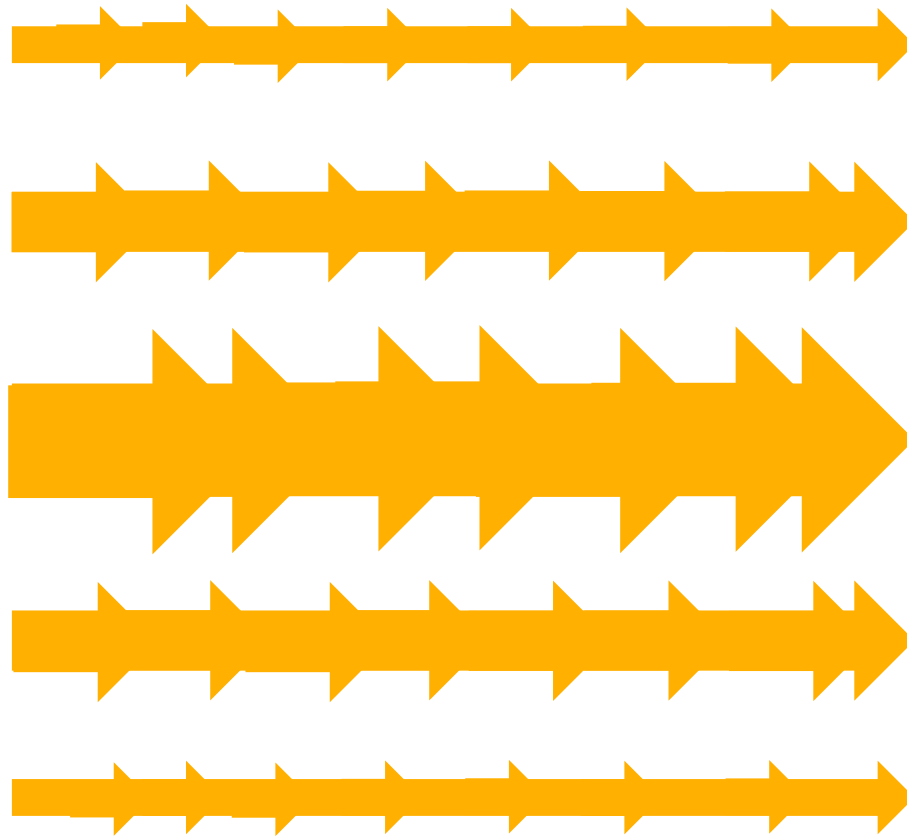
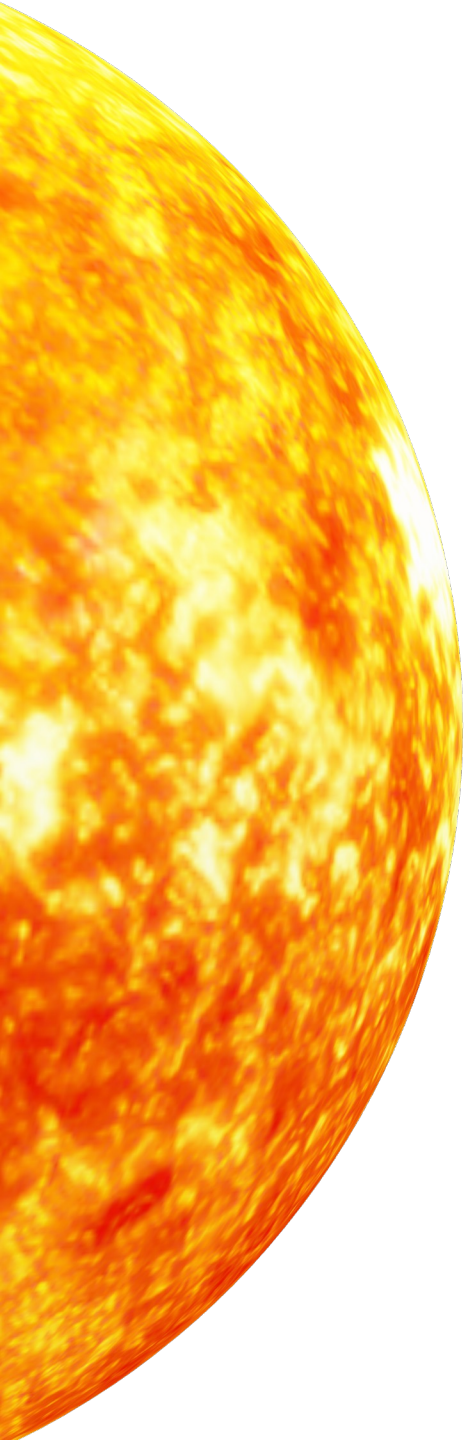
--- 340 W/m^2

Radiação solar + rotação da Terra



--- 340 W/m²

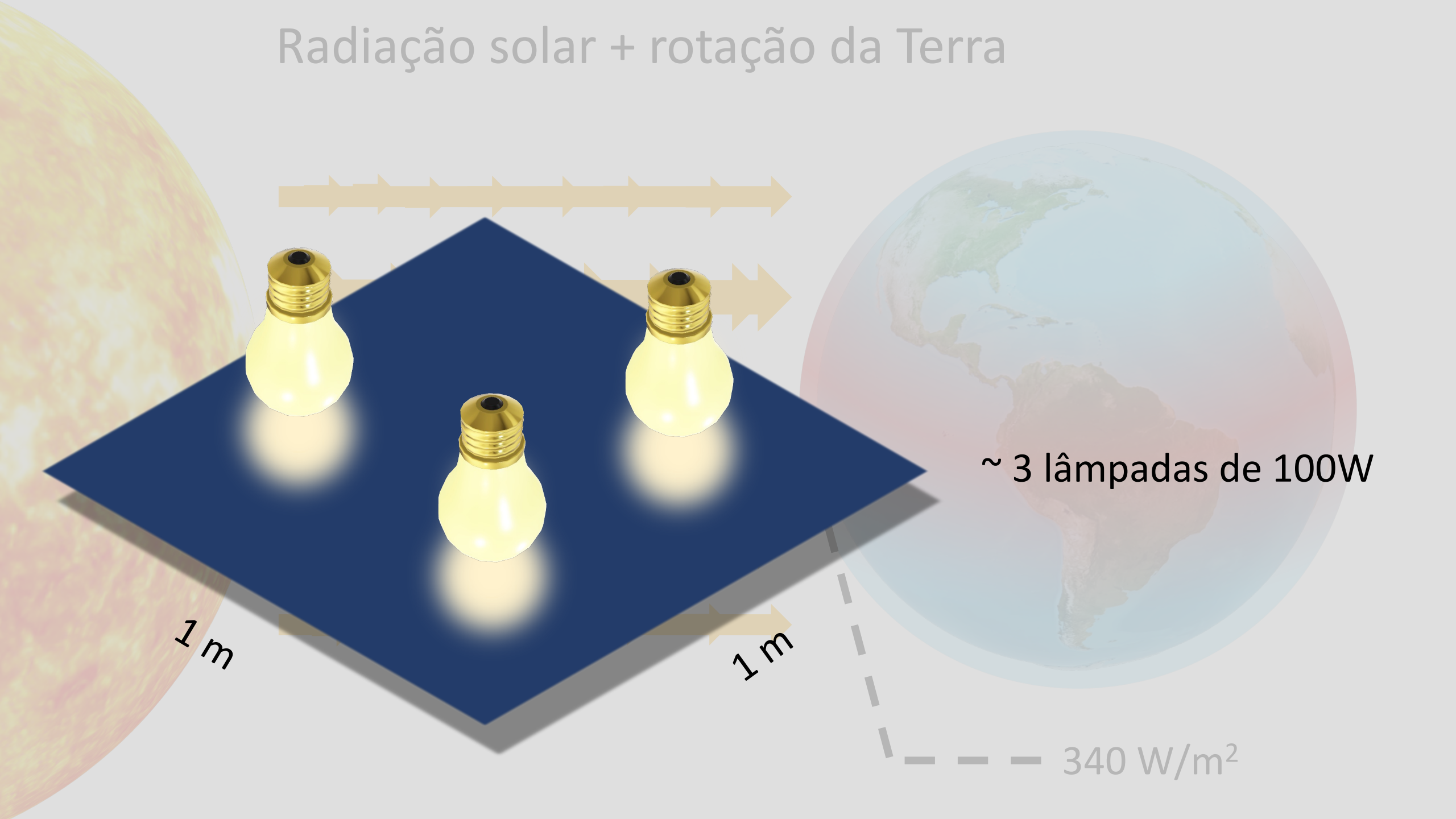
Radiação solar + rotação da Terra



--- 340 W/m²



Radiação solar + rotação da Terra



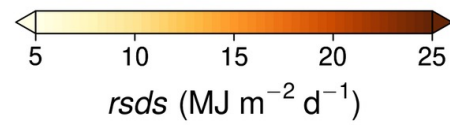
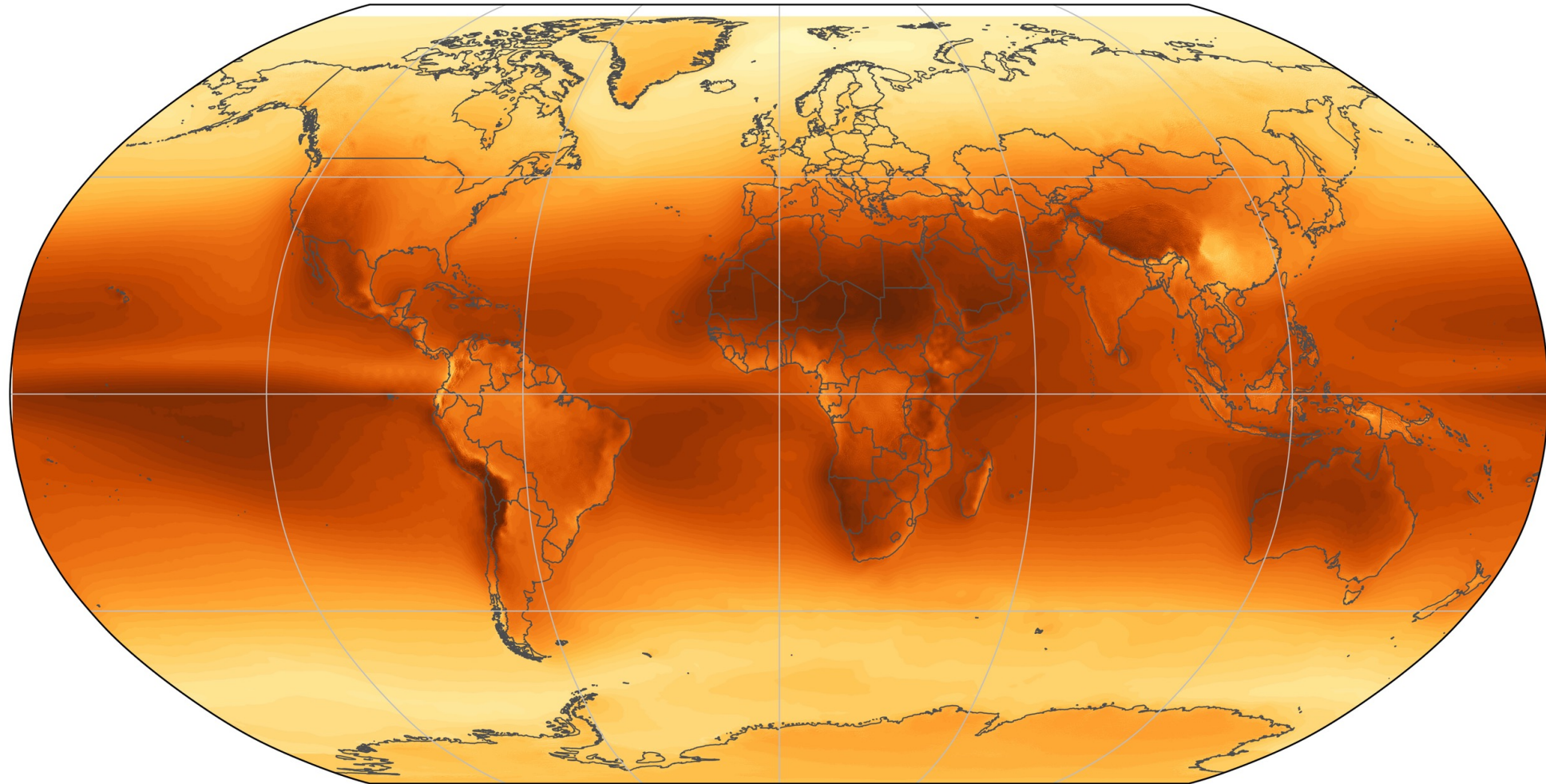
~ 3 lâmpadas de 100W

1 m

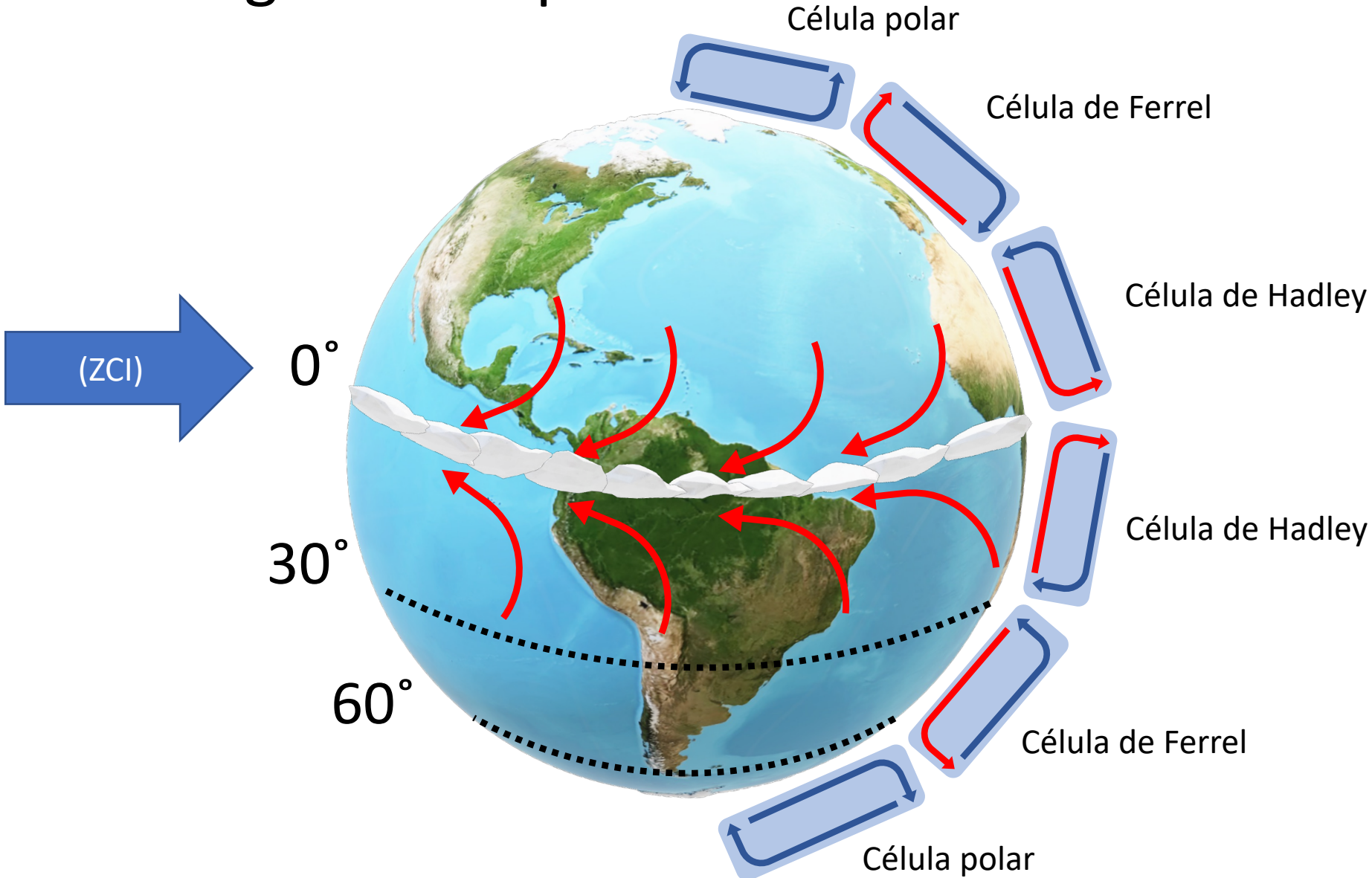
1 m

340 W/m²

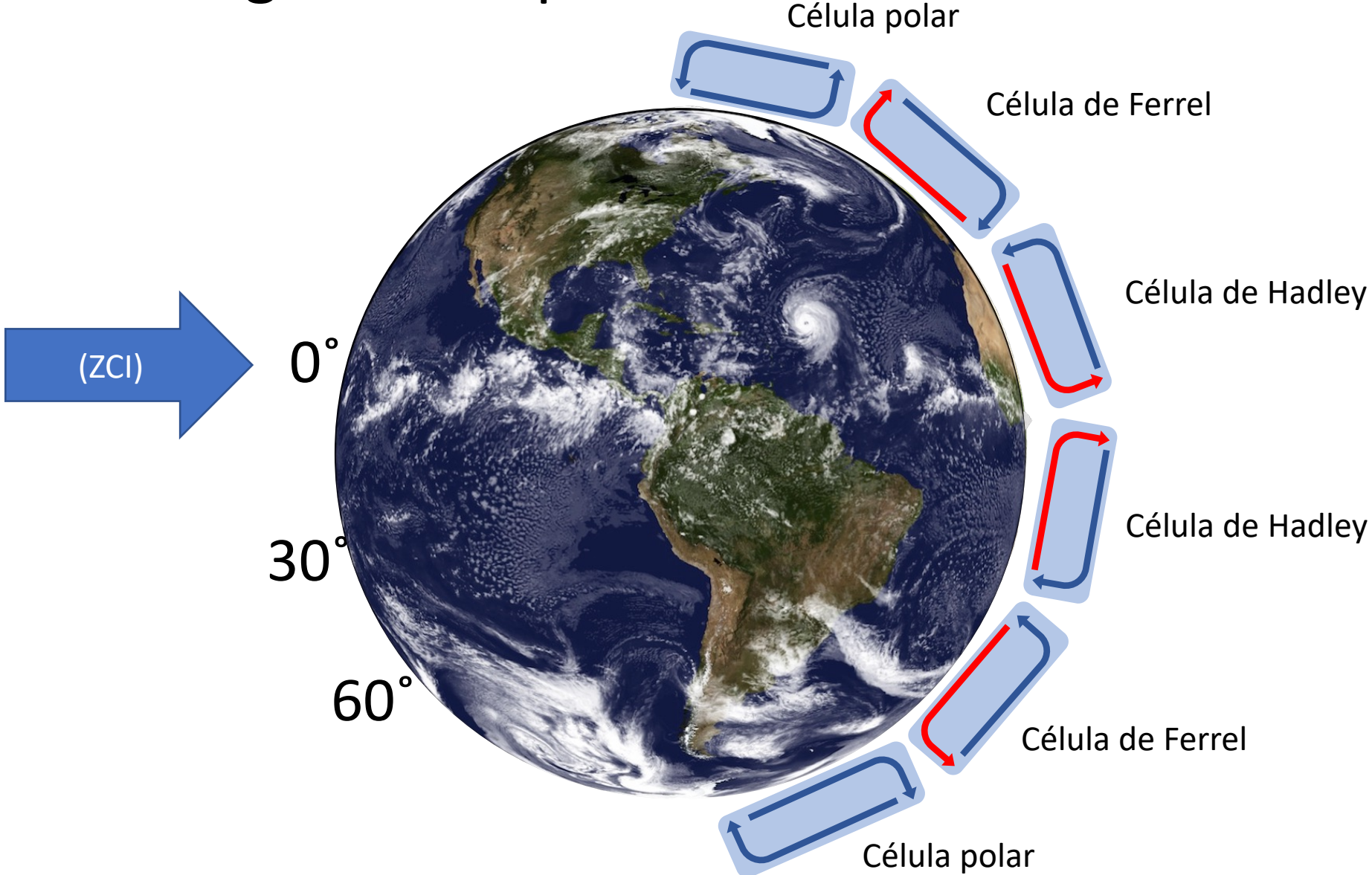
World map of surface downwelling solar radiation for the period 1981-2010 based on the CHELSA-BIOCLIM+ data set

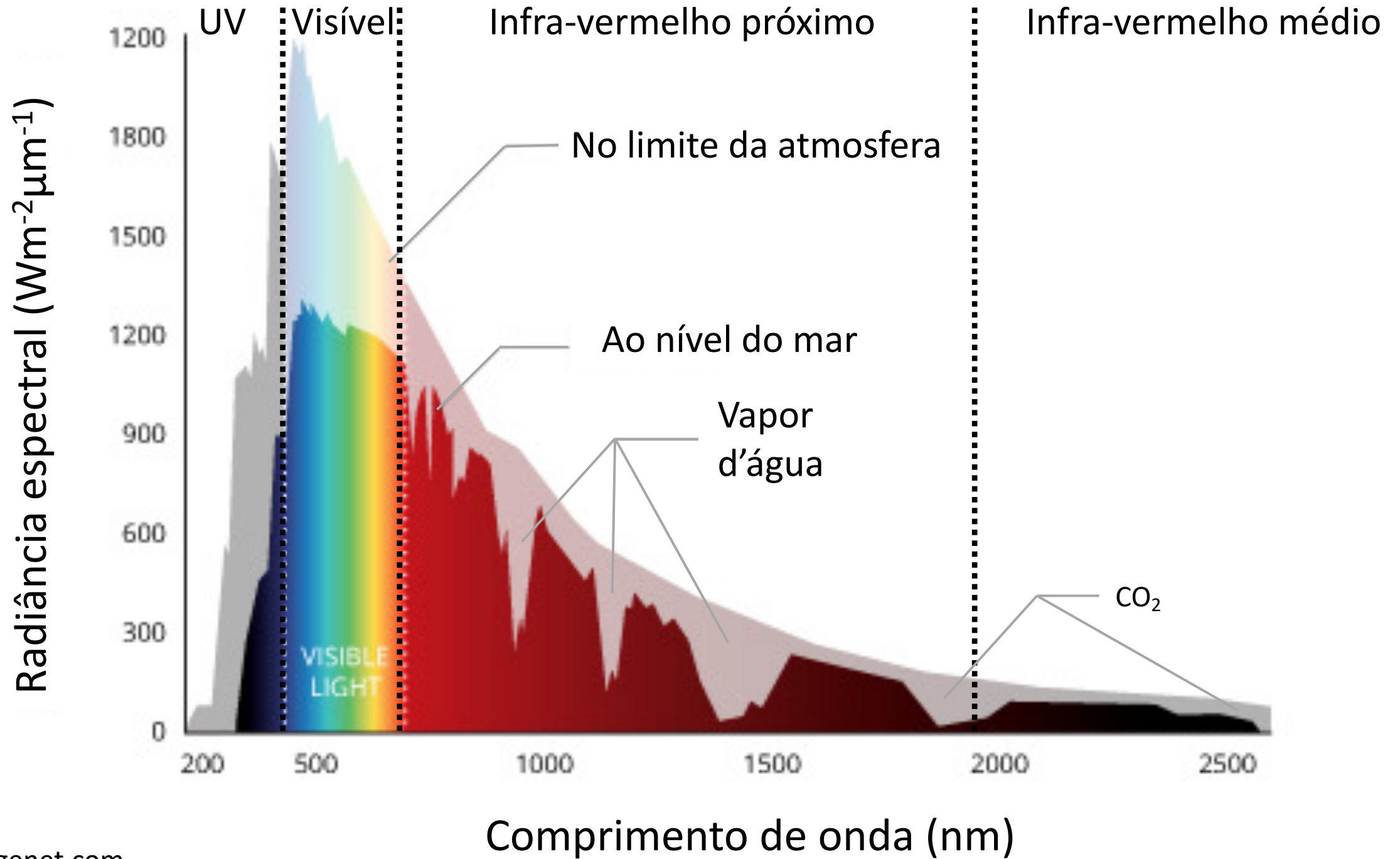


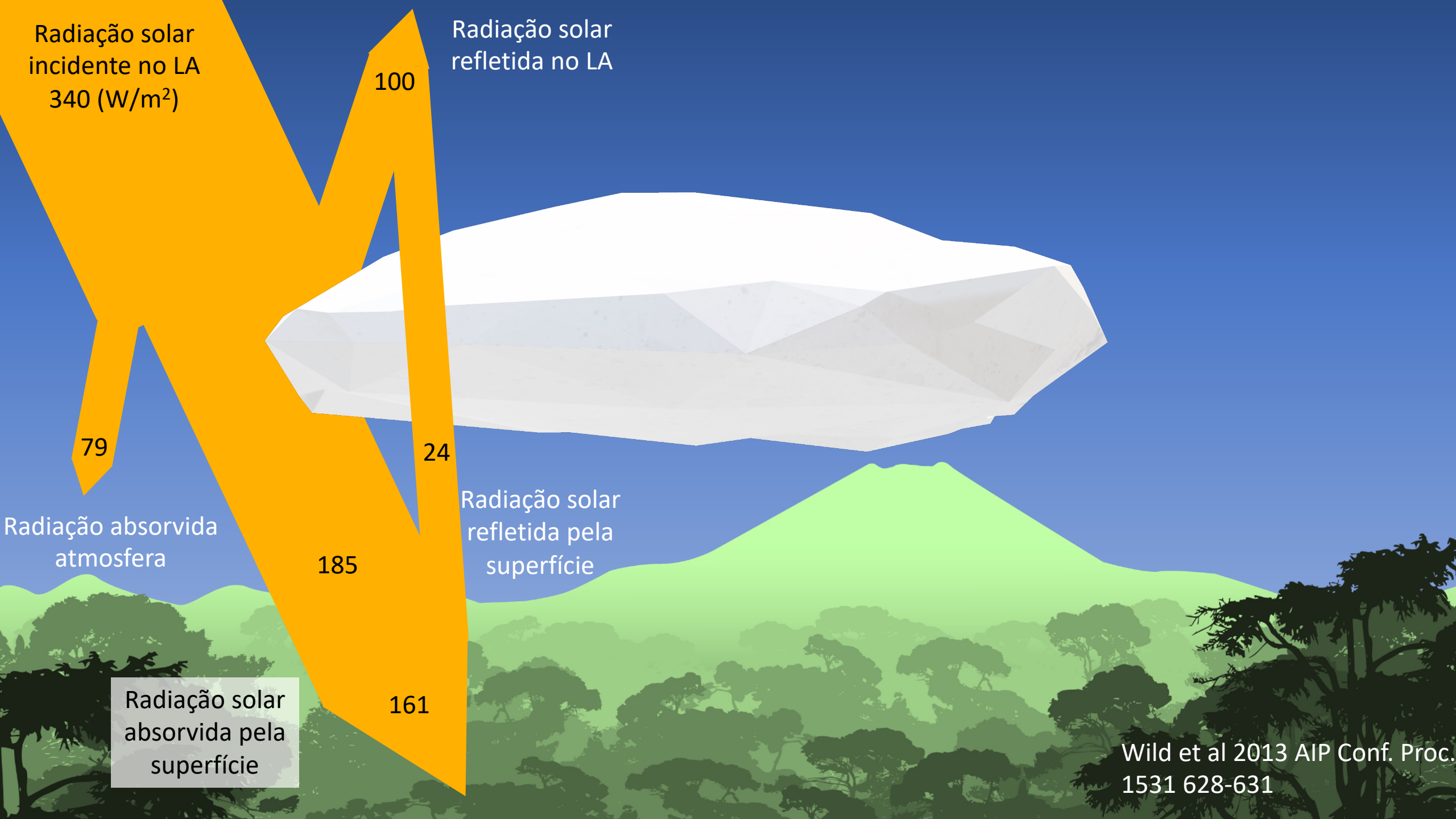
Zona de Converg. Intertropical



Zona de Converg. Intertropical







Radiação solar incidente no LA
340 (W/m²)

Radiação solar refletida no LA

100

79

Radiação absorvida atmosfera

24

Radiação solar refletida pela superfície

185

Radiação solar absorvida pela superfície

161

Radiação solar
incidente no LA
340 (W/m^2)

Radiação solar
refletida no LA
100

100

Radiação absorvida
atmosfera
185

185

Radiação solar
refletida pela
superfície
24

24

Radiação solar
absorvida pela
superfície
161

161

Radiação solar
incidente no LA
340 (W/m²)

Radiação solar
refletida no LA

100

79

Radiação absorvida
atmosfera

24

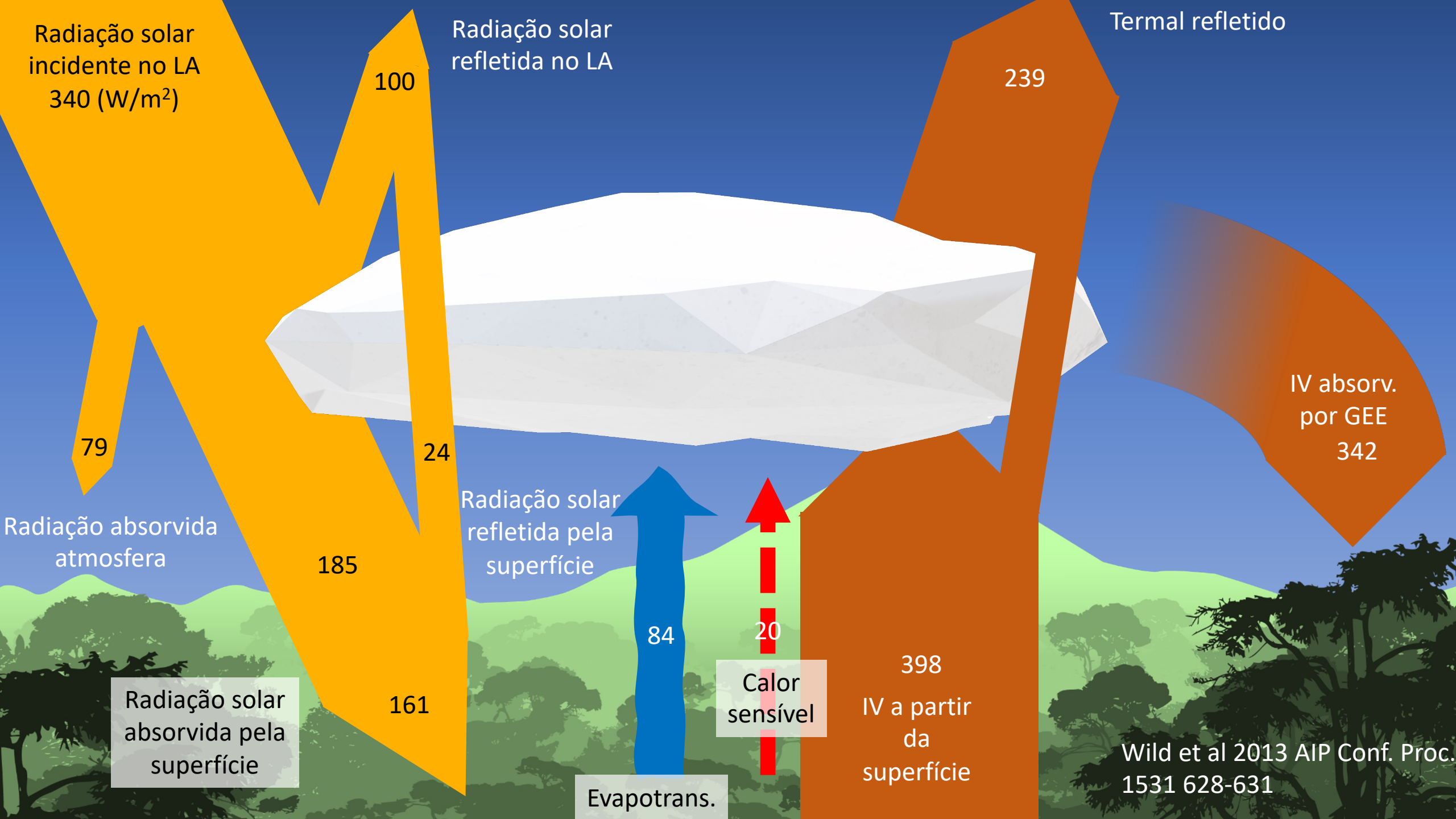
Radiação solar
refletida pela
superfície

185

Radiação solar
absorvida pela
superfície

161





Wild et al 2013 AIP Conf. Proc.
1531 628-631

Radiação solar incidente no LA
340 (W/m²)

Radiação solar refletida no LA
100

Termal refletido
239

Radiação líquida?

$$\begin{array}{rccccccc} \text{Incidente} & - & \text{Refletida na atmosfera} & - & \text{Refletida Superfície} & = & \\ 340 & & 100 & & 239 & & 1 \text{ W/m}^2 \end{array}$$

Rac
atmosfera

185

superfície

84

20

Calor
sensível

398

IV a partir
da
superfície

Radiação solar
absorvida pela
superfície

161

Evapotrans.

Radiação solar
incidente no LA
340 (W/m²)

100

Radiação solar
refletida no LA

239

Termal refletido

Para manter o balanço energético, praticamente tudo o que entra deve sair.
Ou o planeta se tornaria mais e mais quente.

30% em ondas curtas, albedo da Terra ($\alpha \sim I/R = 0.3$)

Asfalto	0.04
Oceano	0.06
Árvores decíduas	0.18
Deserto	0.40
Neve fresca	0.80

Radiação solar
absorvida pela
superfície

161

Calor
sensível

Termal a partir
da
superfície

Evapotrans.

Wild et al 2013 AIP Conf. Proc.
1531 628-631

Radiação solar incidente no LA
340 (W/m²)

Radiação solar refletida no LA
100

239



~ 15°C

(CO₂ = 0.03%)

Radiação solar refletida no LA
100

Radiação solar absorvida pela superfície
161

161

Evapotrans.

84

Calor sensível

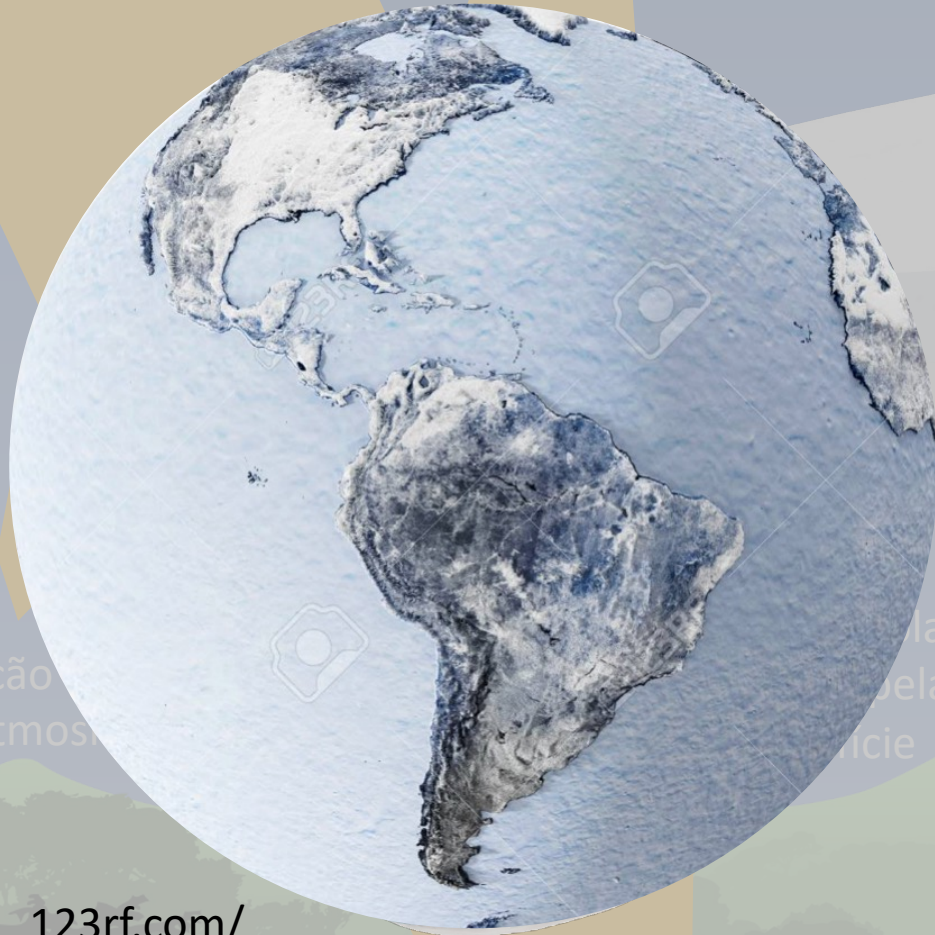
398
Termal a partir da superfície

GEE
342

Radiação solar incidente no LA
340 (W/m²)

Radiação solar refletida no LA
100

239



~ -18°C
(CO₂ = 0%)

Radiação atmosférica

Calor pela radiação

84

Calor sensível

398
Termal a partir da superfície

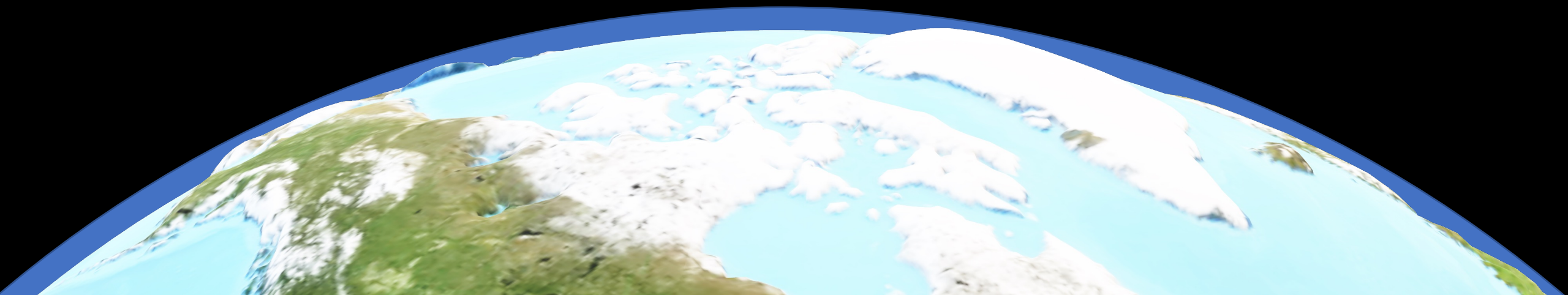
123rf.com/

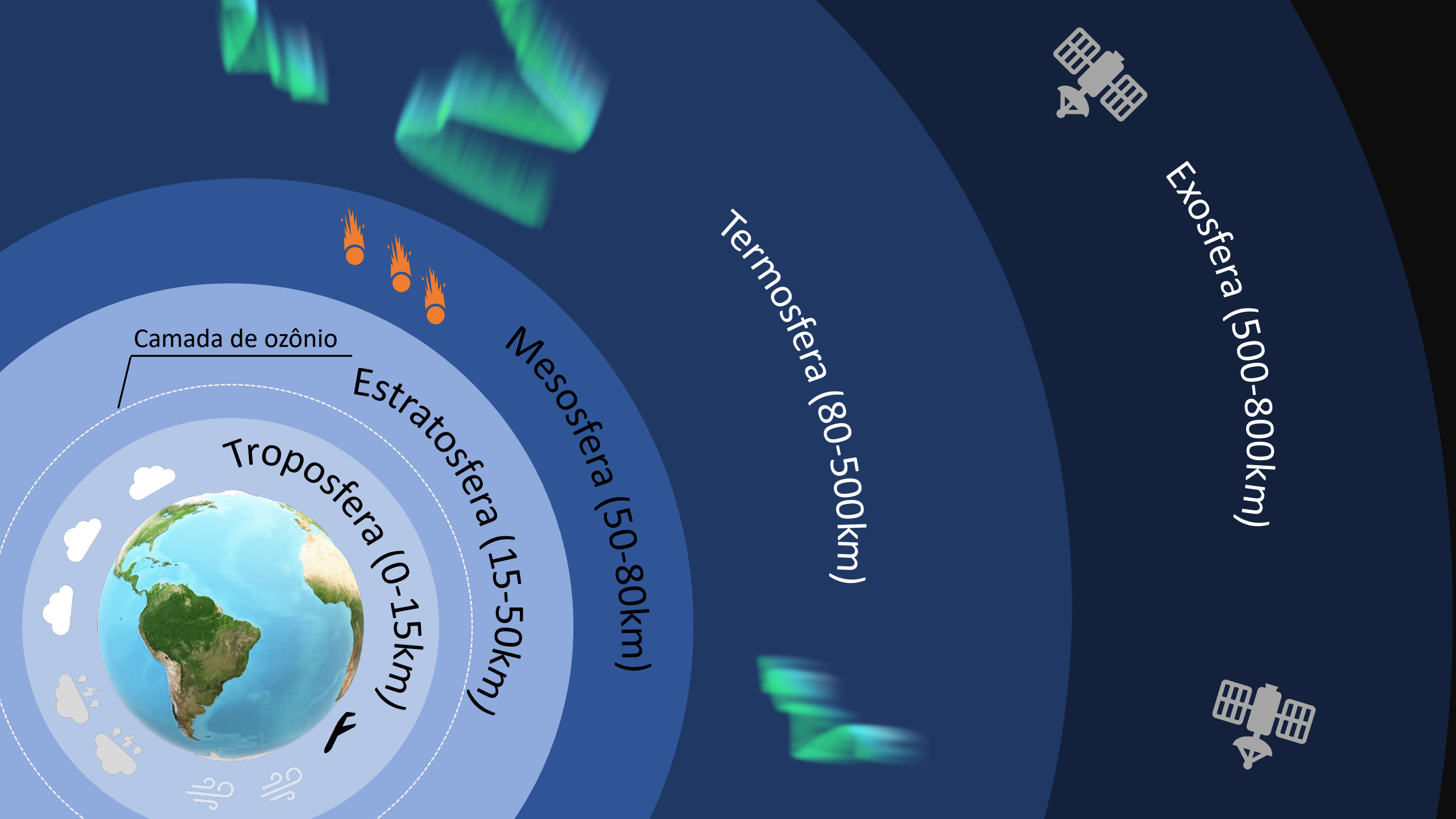
Radiação solar absorvida pela superfície
161

161

Evapotrans.







Camada de ozônio

Troposfera (0-15km)

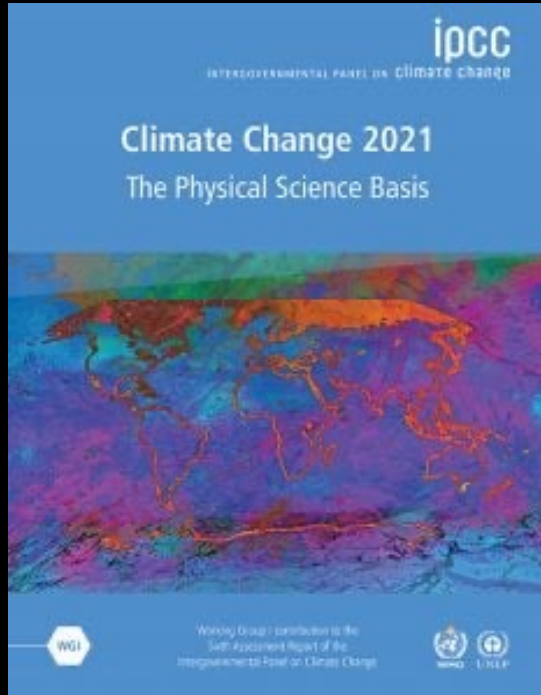
Estratosfera (15-50km)

Mesosfera (50-80km)

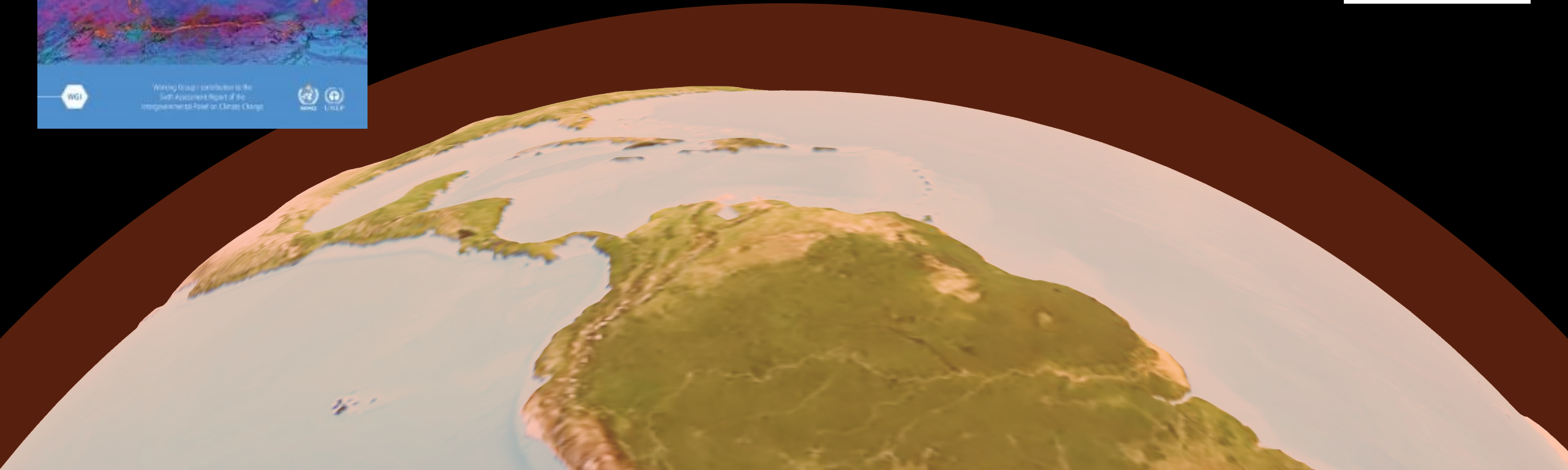
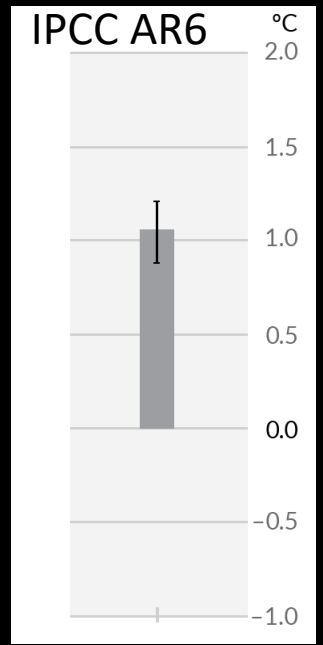
Termosfera (80-500km)

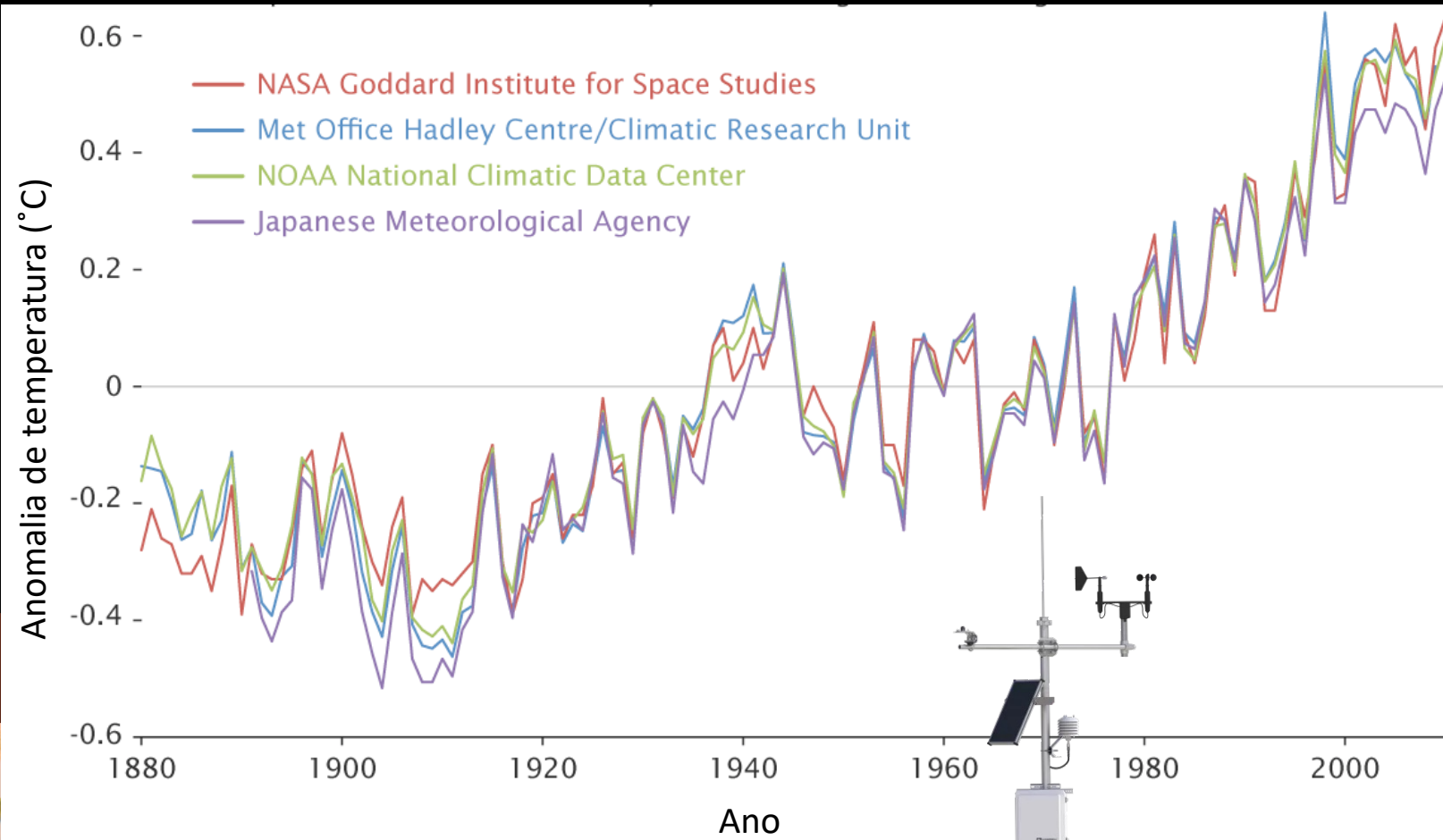
Exosfera (500-800km)

2010 - 2019 x 1850 - 1900



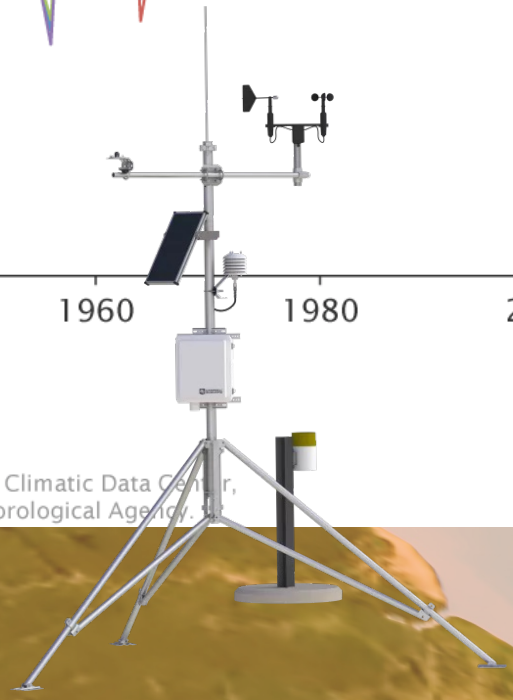
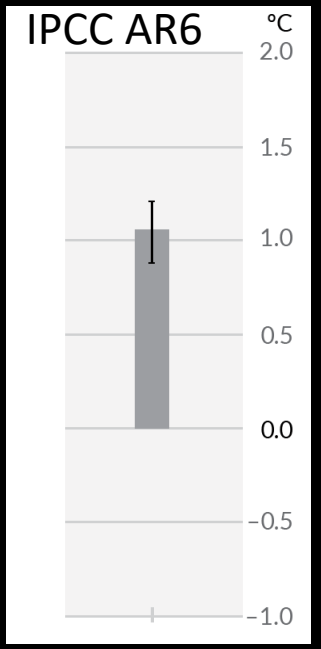
↑ 1.2°C

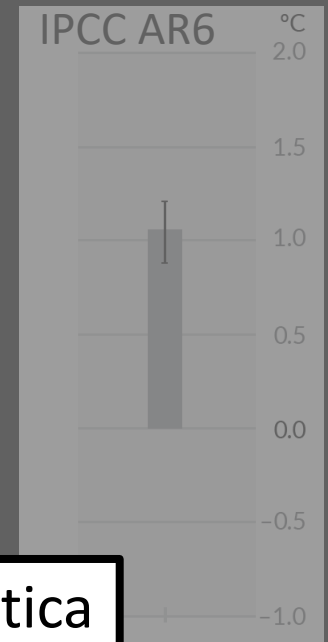




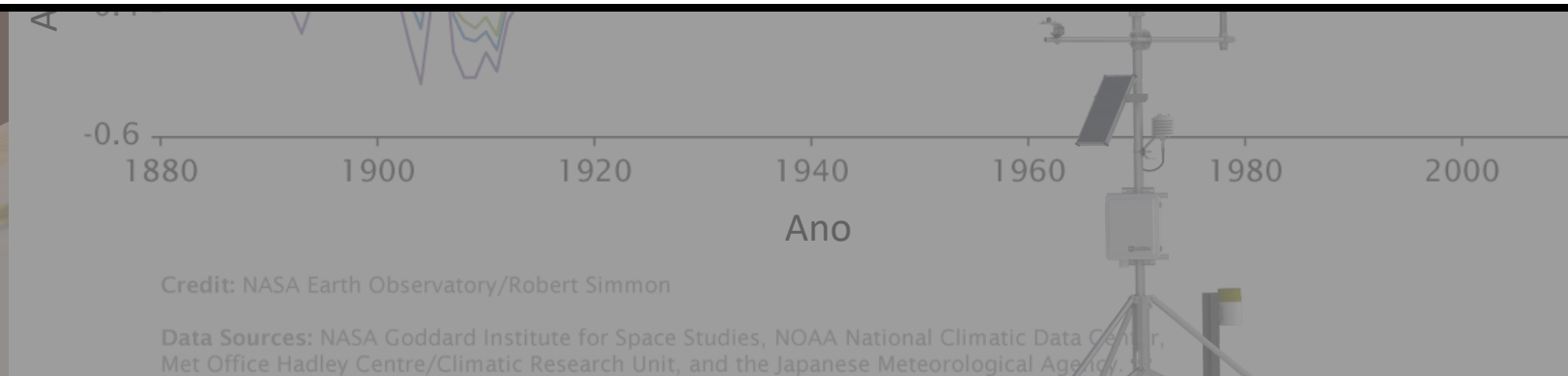
Credit: NASA Earth Observatory/Robert Simmon

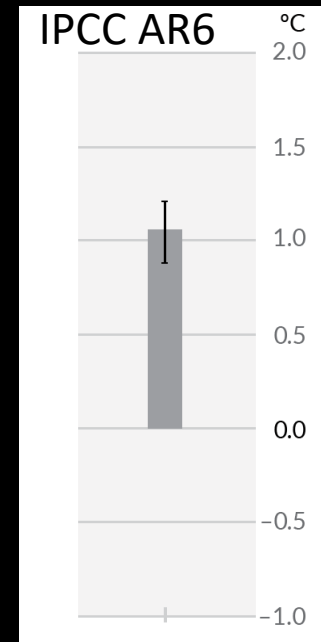
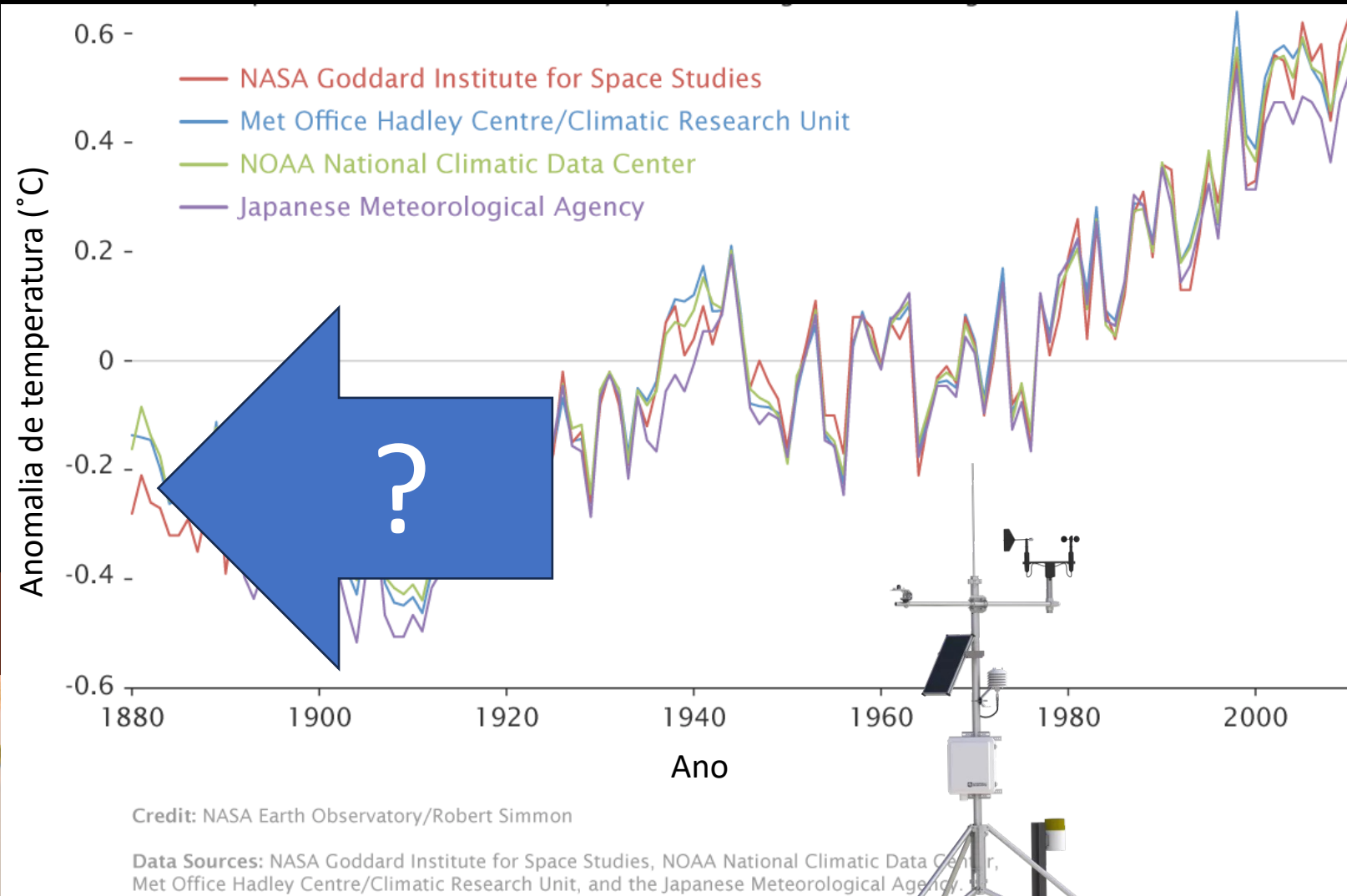
Data Sources: NASA Goddard Institute for Space Studies, NOAA National Climatic Data Center, Met Office Hadley Centre/Climatic Research Unit, and the Japanese Meteorological Agency.





Anomalia: é a diferença entre o valor de uma determinada variável climática (temperatura e precipitação) e média histórica desta variável (em geral 30 anos ou mais).

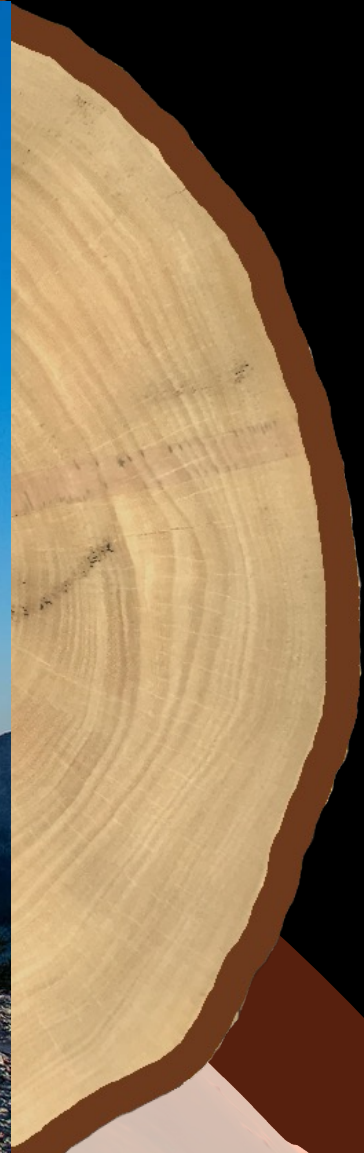






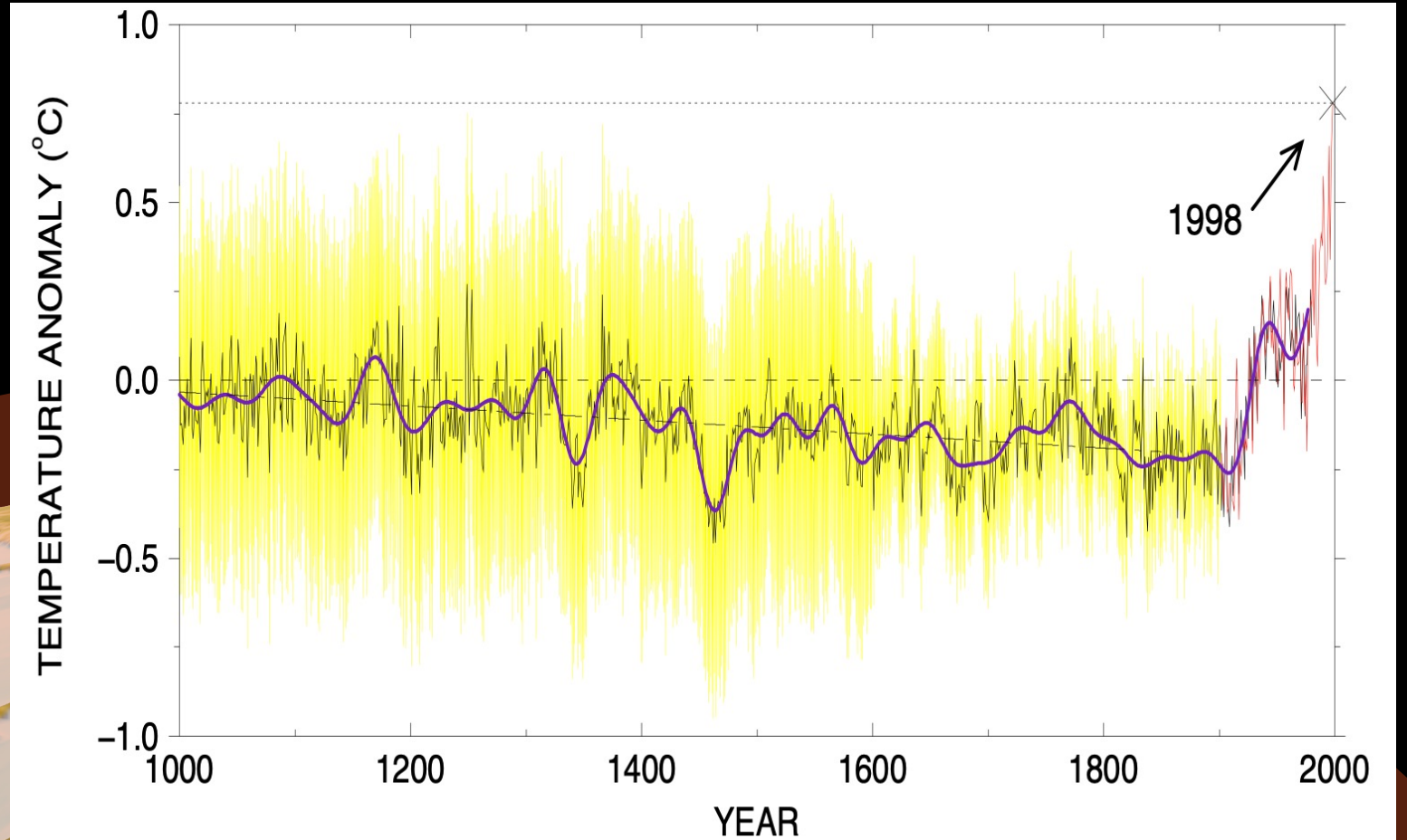


britannica.com

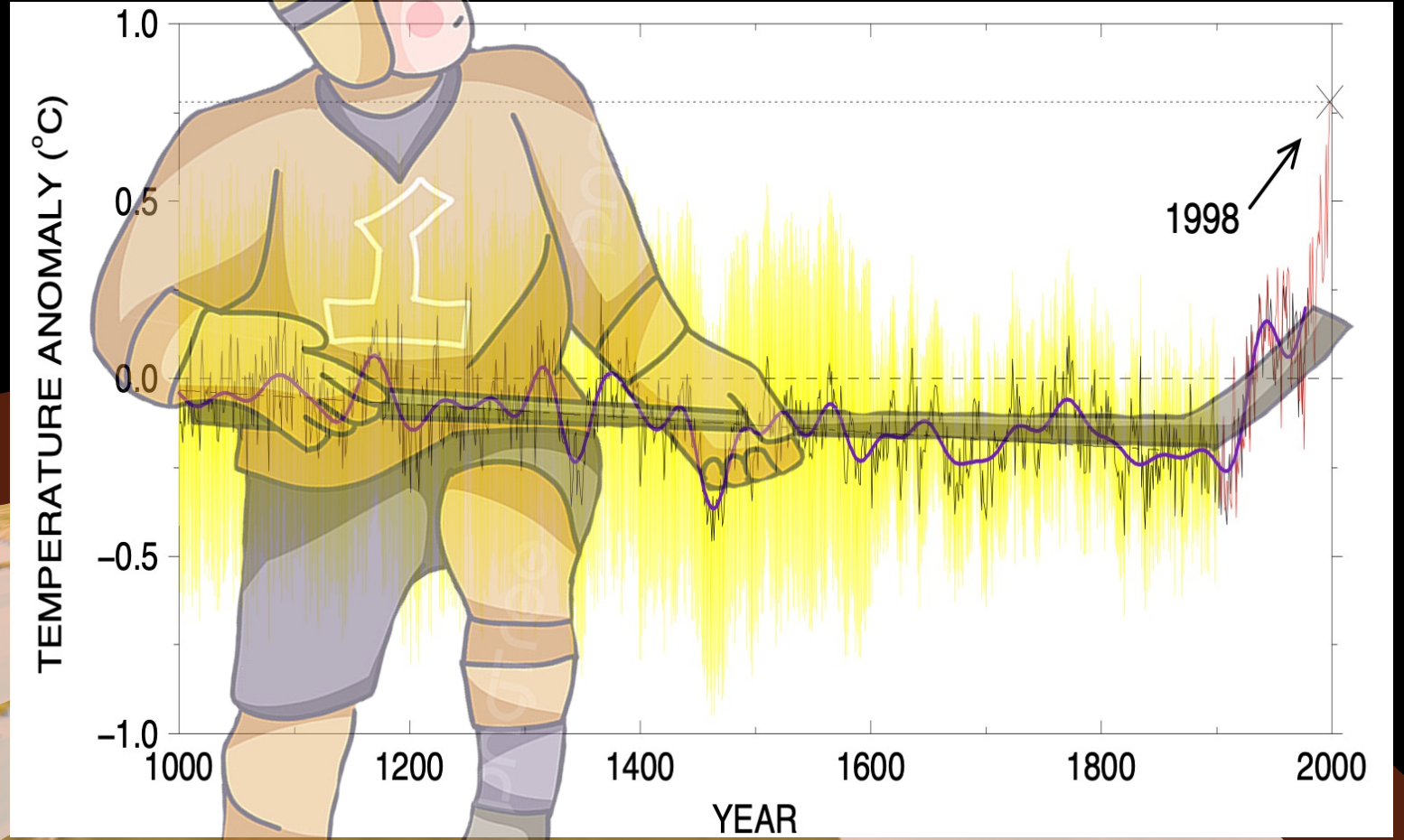


ann et al 1999

SERIES	LOC	y_0	TYPE
ITRDB (PC #1)	N. Amer	1000	T. Ring width
ITRDB (PC #2)	N. Amer	1000	T. Ring width
ITRDB (PC #3)	N. Amer	1000	T. Ring width
Fennoscandia	68N 23E	500	T. Ring density
Polar Urals	67N 65E	914	T. Ring density
Tasmania	43S 148E	900	T. Ring width
N. Patagonia	38S 68W	869	T. Ring width
Morocco	33N 5W	984	T. Ring width
France	44N 7E	988	T. Ring width
Greenland stacked core	77N 60W	553	ice core $\delta^{18}\text{O}$
Quelccaya (2)	14S 71W	488	ice core $\delta^{18}\text{O}$
Quelccaya (2)	14S 71W	488	ice accum.



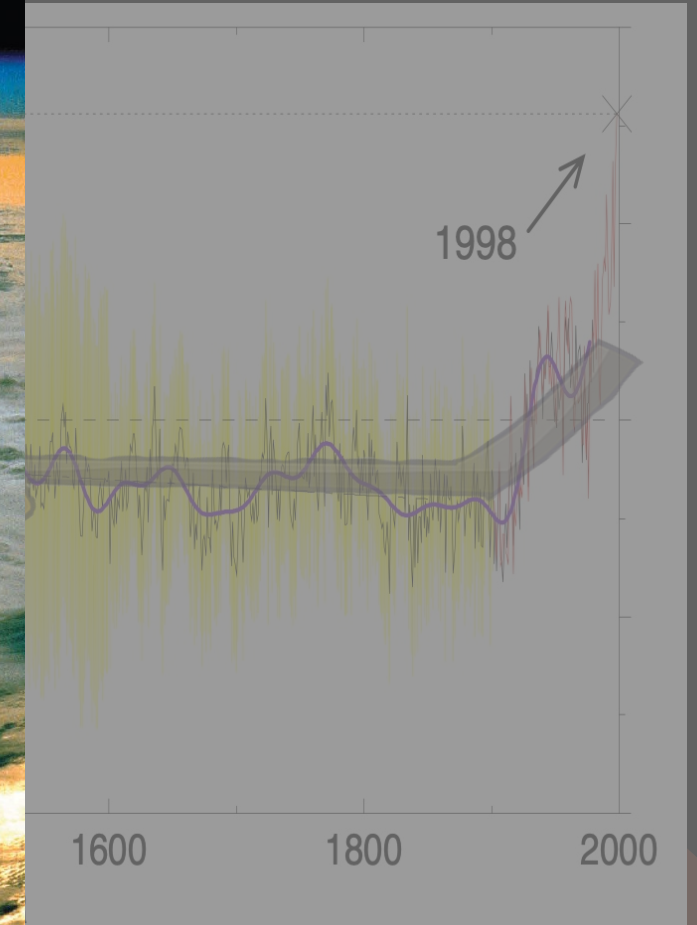
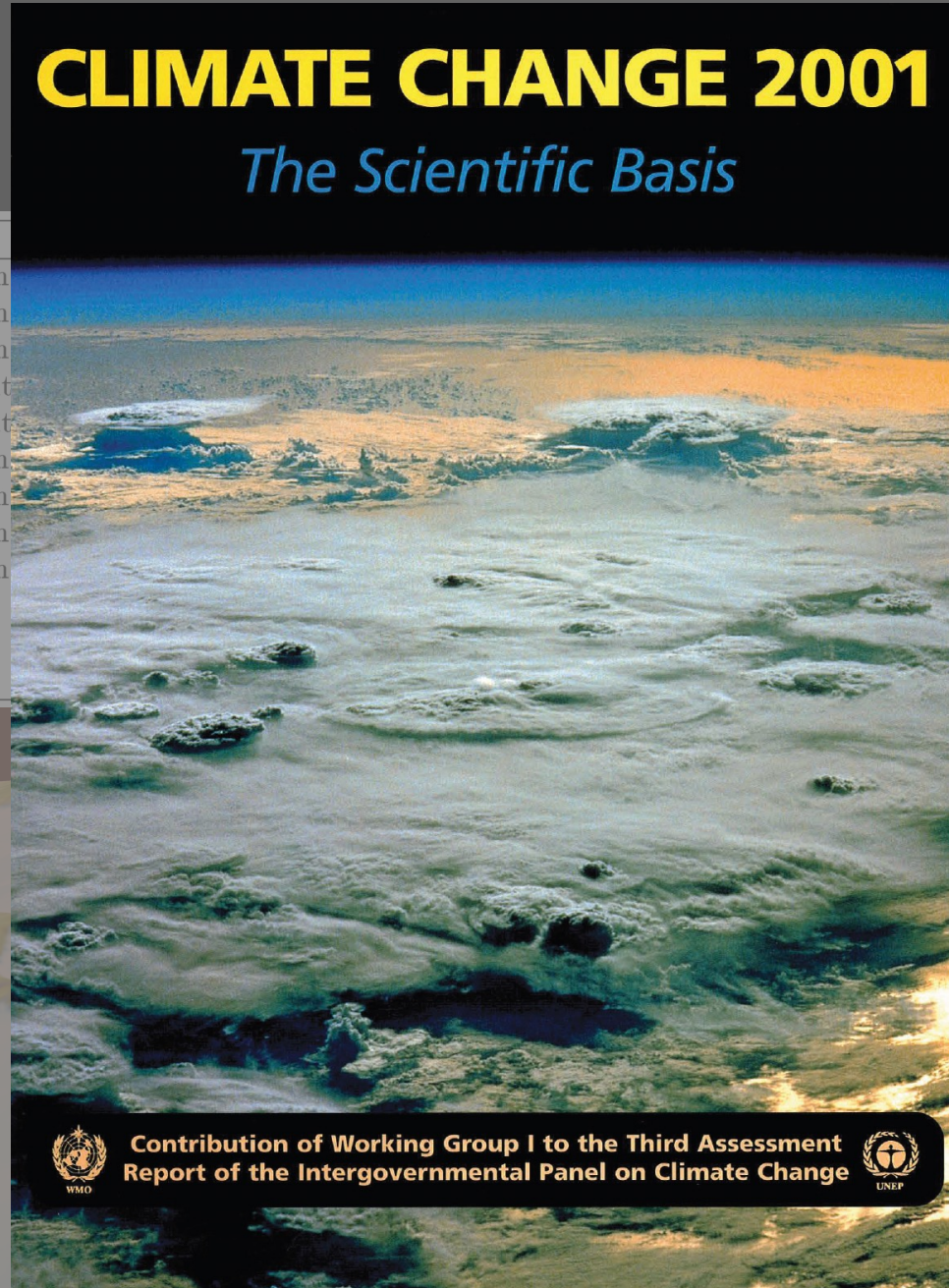
SERIES	LOC	y_0	TYPE
ITRDB (PC #1)	N. Amer	1000	T. Ring width
ITRDB (PC #2)	N. Amer	1000	T. Ring width
ITRDB (PC #3)	N. Amer	1000	T. Ring width
Fennoscandia	68N 23E	500	T. Ring density
Polar Urals	67N 65E	914	T. Ring density
Tasmania	43S 148E	900	T. Ring width
N. Patagonia	38S 68W	869	T. Ring width
Morocco	33N 5W	984	T. Ring width
France	44N 7E	988	T. Ring width
Greenland stacked core	77N 60W	553	ice core $\delta^{18}\text{O}$
Quelccaya (2)	14S 71W	488	ice core $\delta^{18}\text{O}$
Quelccaya (2)	14S 71W	488	ice accum.



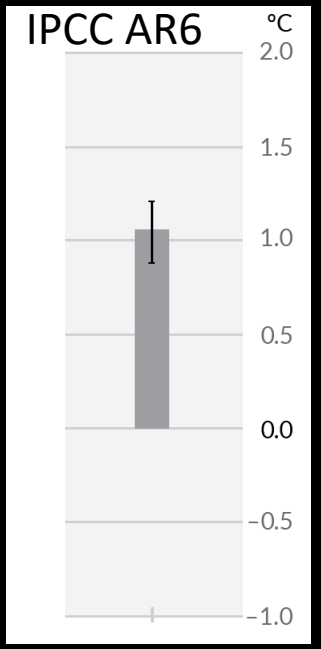
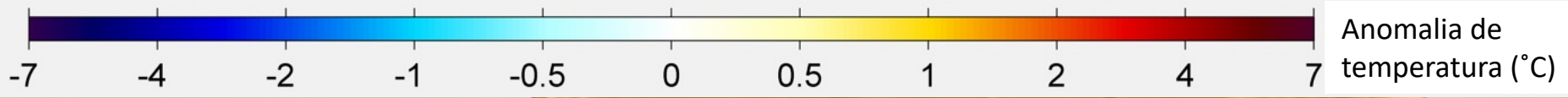
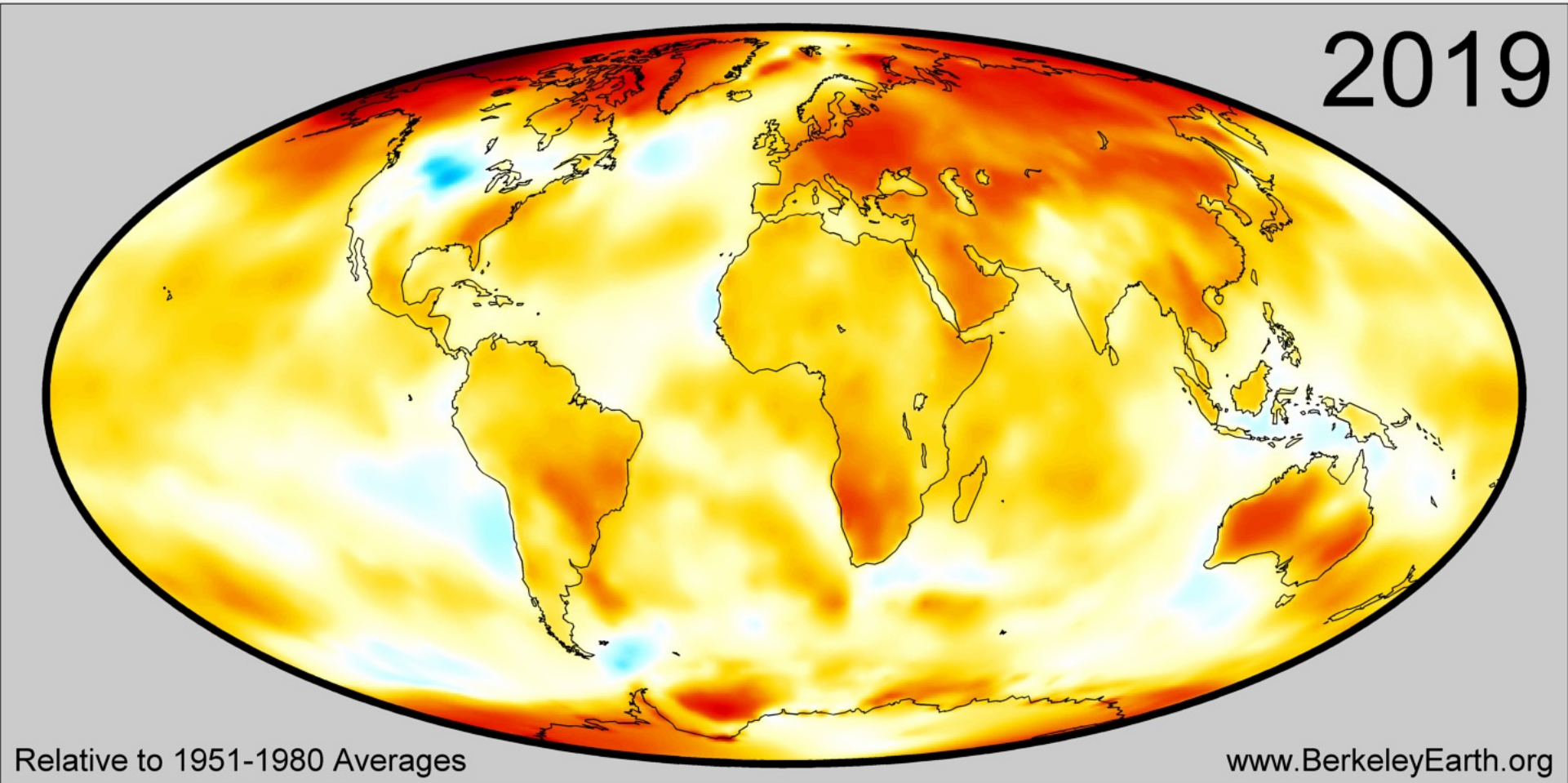
CLIMATE CHANGE 2001

The Scientific Basis

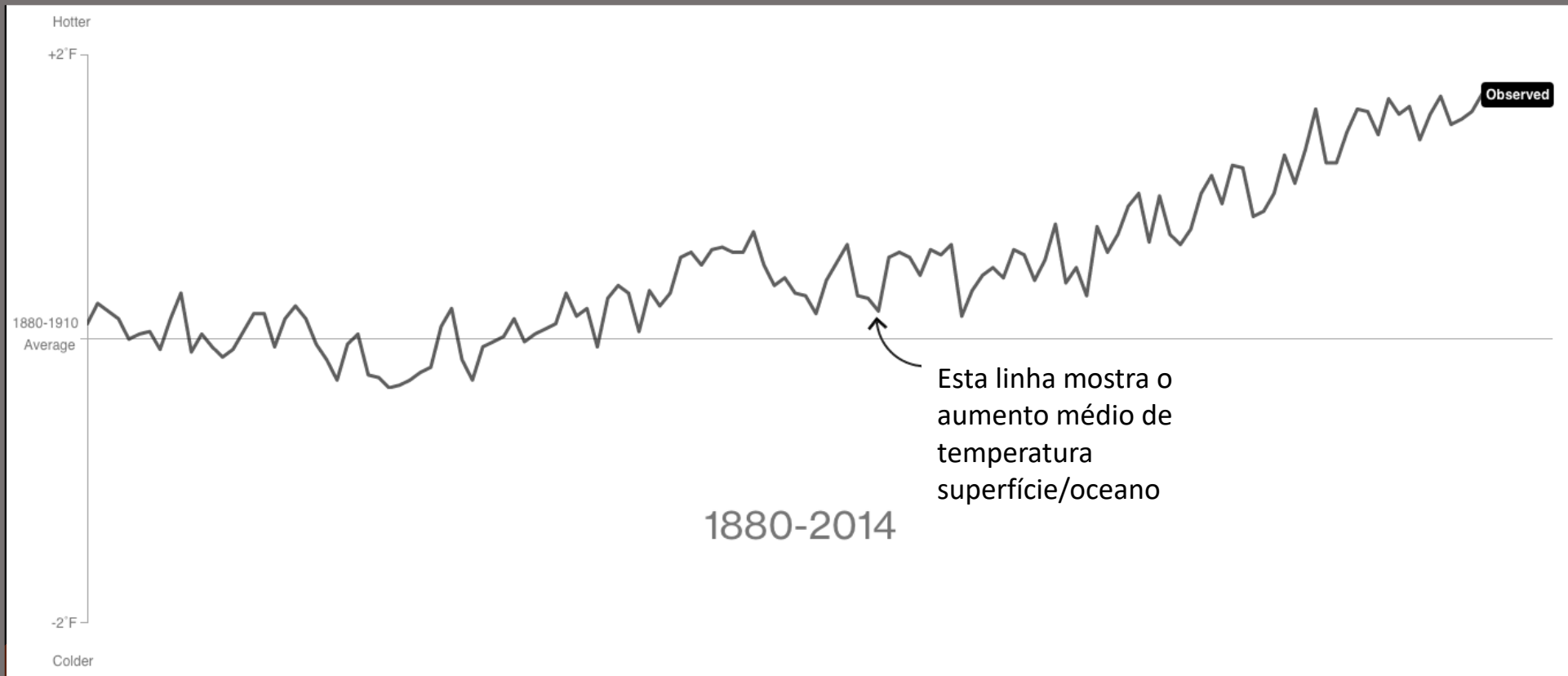
SERIES	LOC	y_0	TYPE
ITRDB (PC #1)	N. Amer	1000	T. Ring width
ITRDB (PC #2)	N. Amer	1000	T. Ring width
ITRDB (PC #3)	N. Amer	1000	T. Ring width
Fennoscandia	68N 23E	500	T. Ring densit
Polar Urals	67N 65E	914	T. Ring densit
Tasmania	43S 148E	900	T. Ring width
N. Patagonia	38S 68W	869	T. Ring width
Morocco	33N 5W	984	T. Ring width
France	44N 7E	988	T. Ring width
Greenland stacked core	77N 60W	553	ice core $\delta^{18}\text{O}$
Quelccaya (2)	14S 71W	488	ice core $\delta^{18}\text{O}$
Quelccaya (2)	14S 71W	488	ice accum.



Mann et al 1999

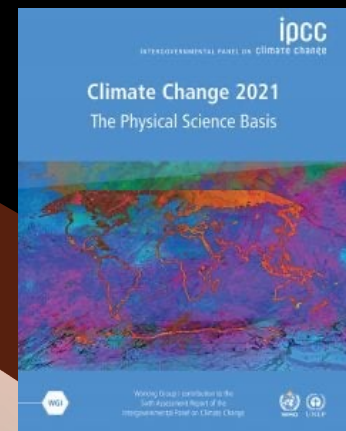
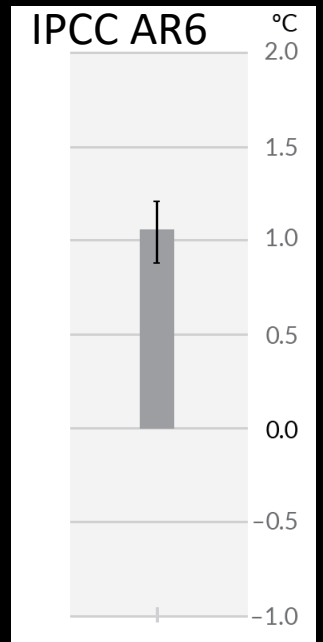


Observação



Esta linha mostra o aumento médio de temperatura superfície/oceano

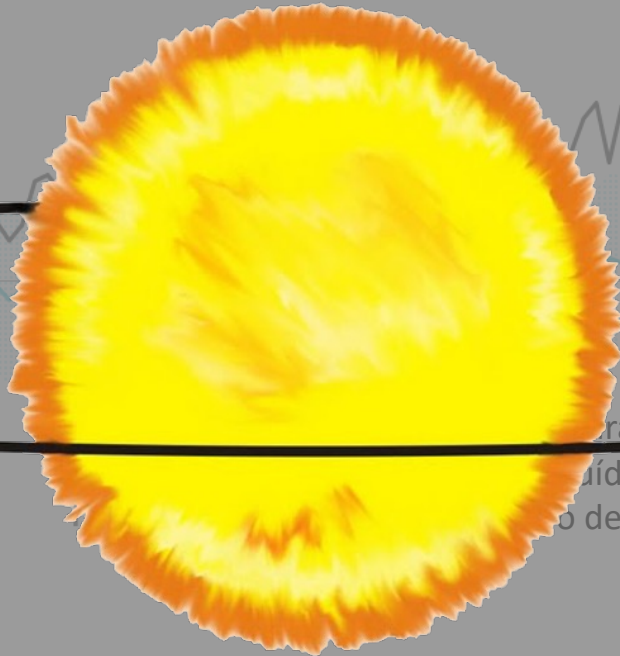
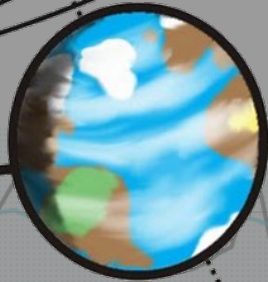
bloomberg.com



Mudanças na órbita terrestre

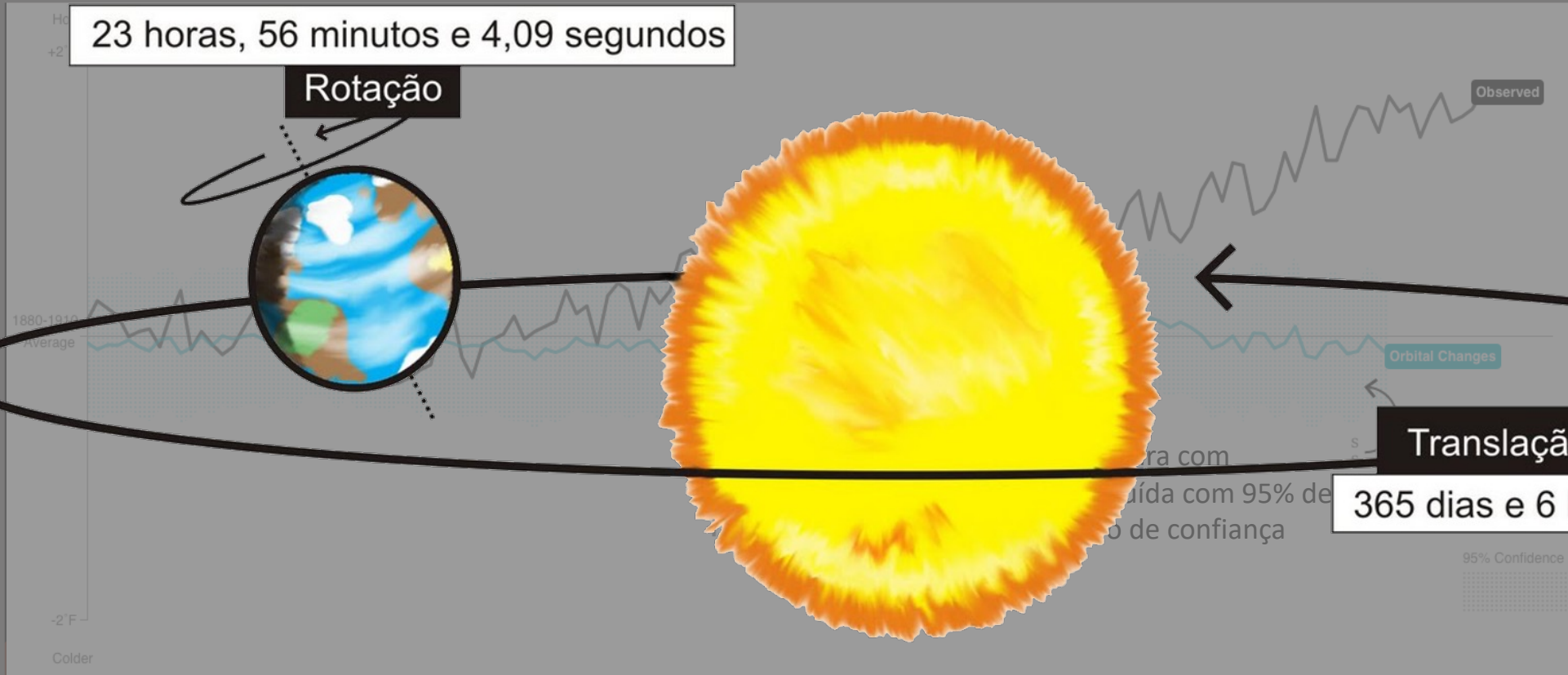
23 horas, 56 minutos e 4,09 segundos

Rotação

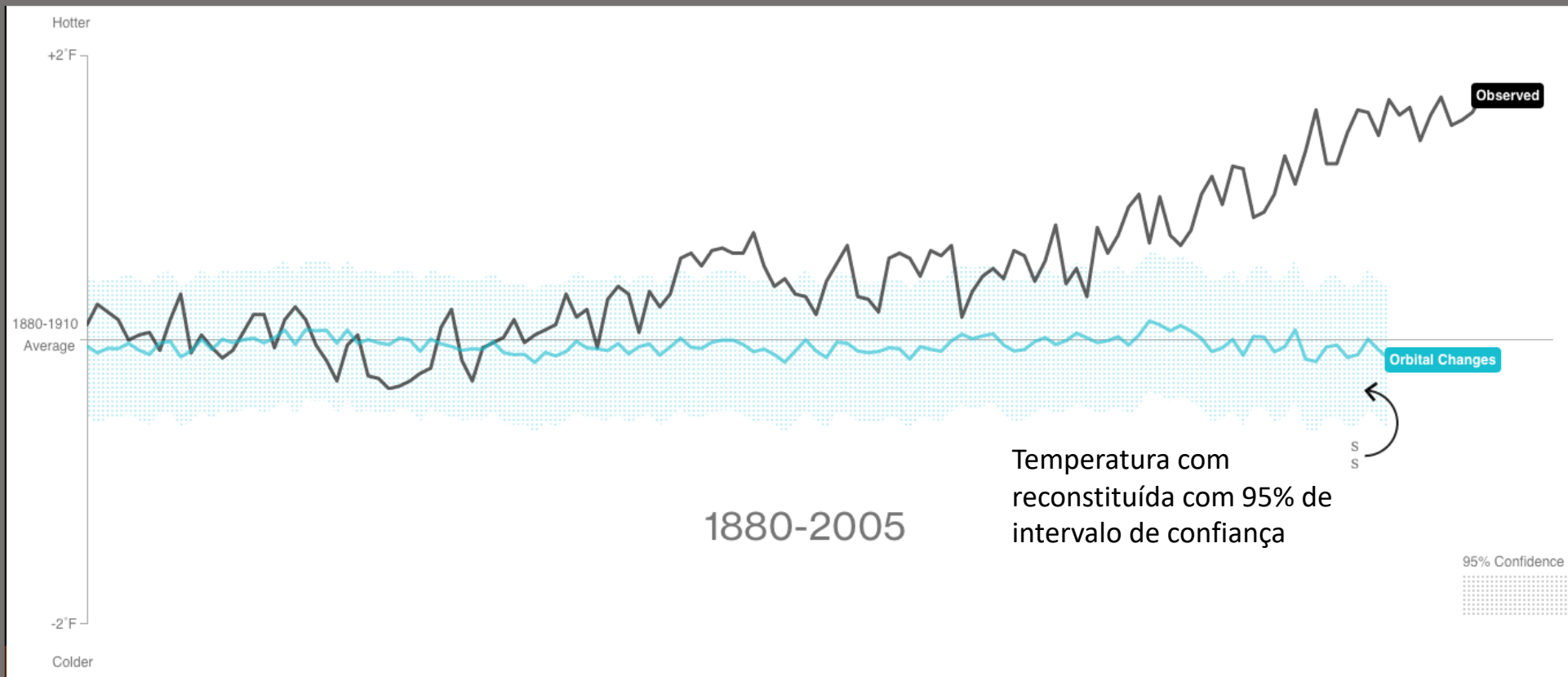


Translação

365 dias e 6 horas



Mudanças na órbita terrestre



Pinatubo 1991



Milhões de toneladas de cinzas e $\text{SO}_2 \xrightarrow{\text{☀}} \text{H}_2\text{SO}_4^*$

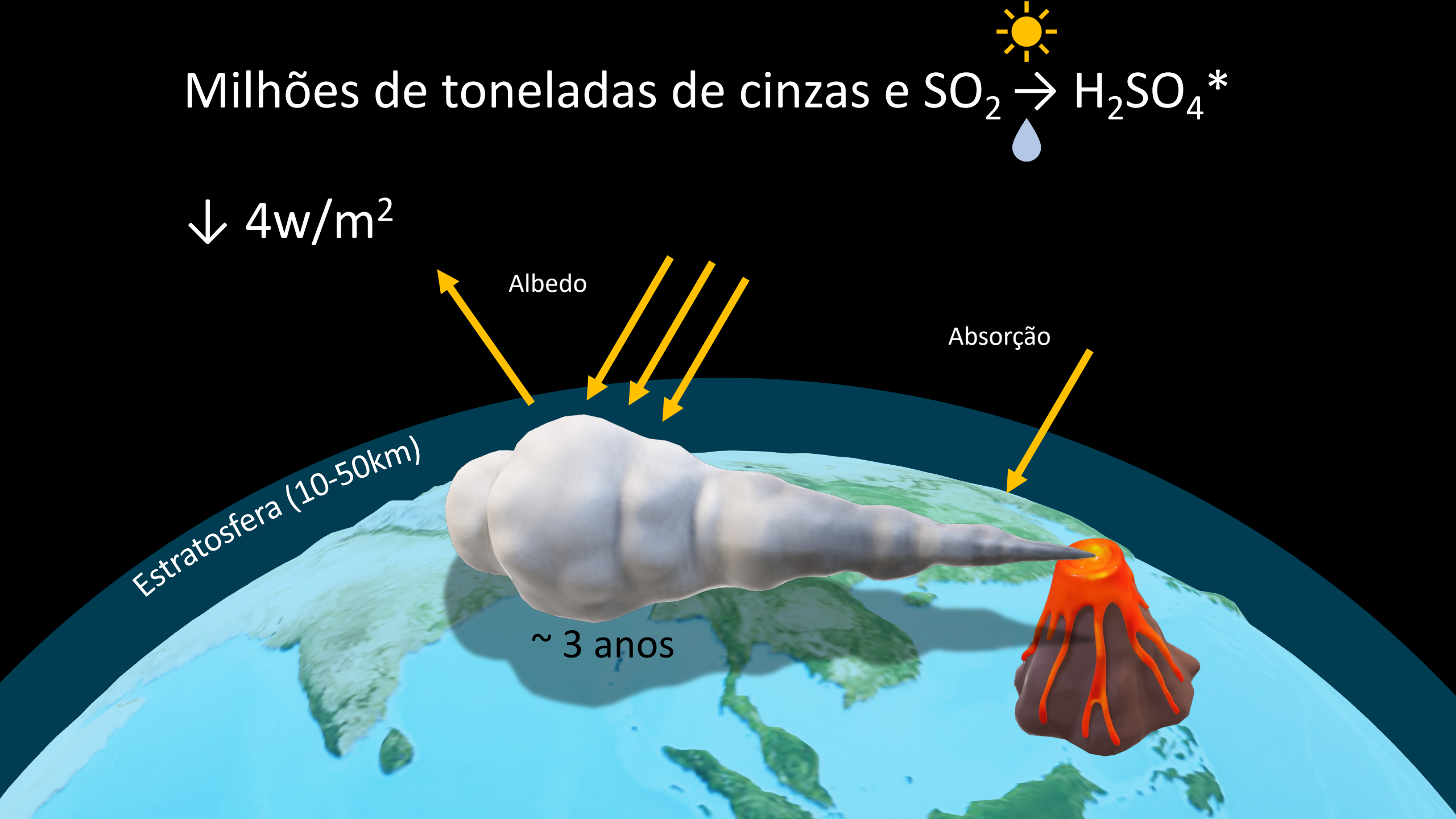
↓ $4\text{w}/\text{m}^2$

Albedo

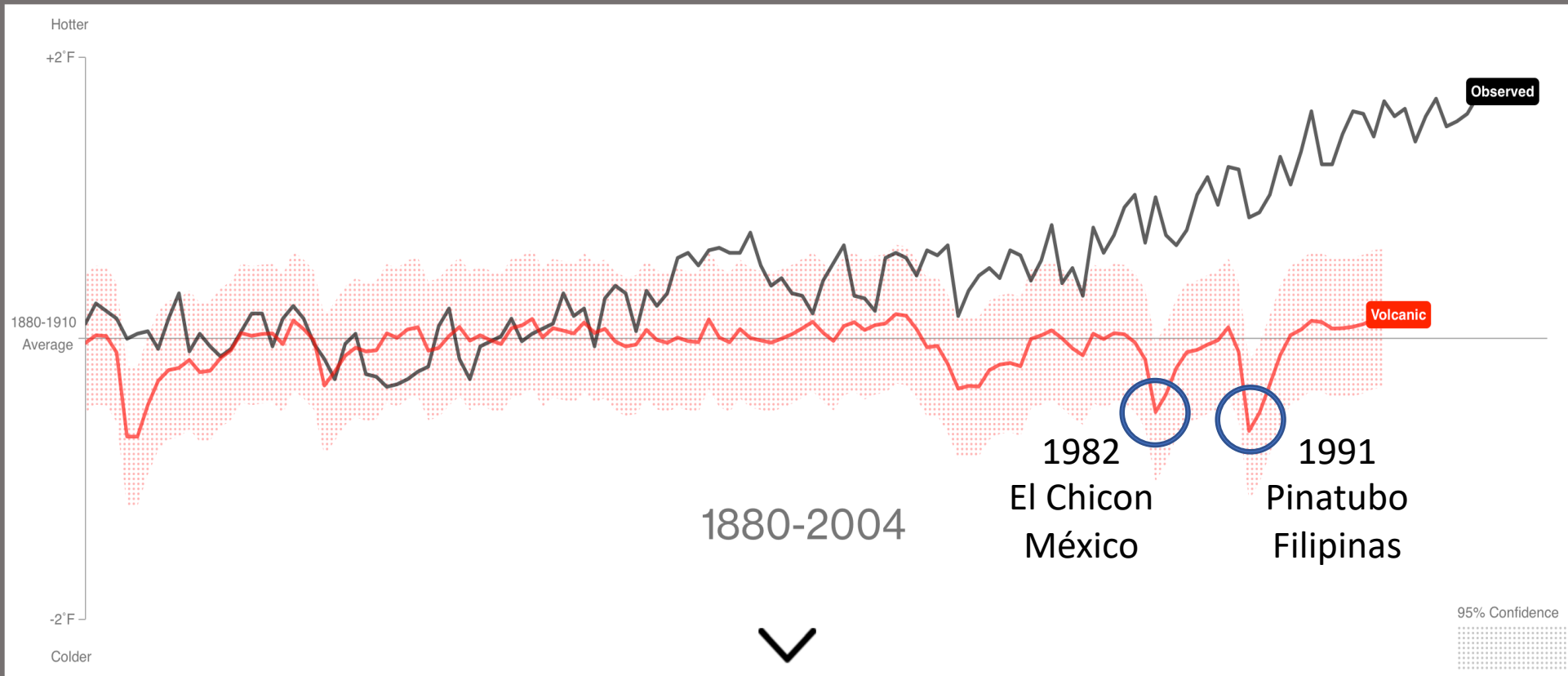
Absorção

Estratosfera (10-50km)

~ 3 anos



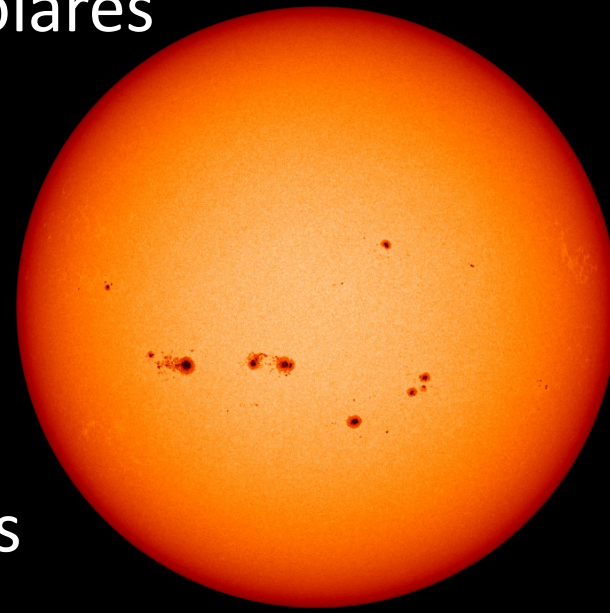
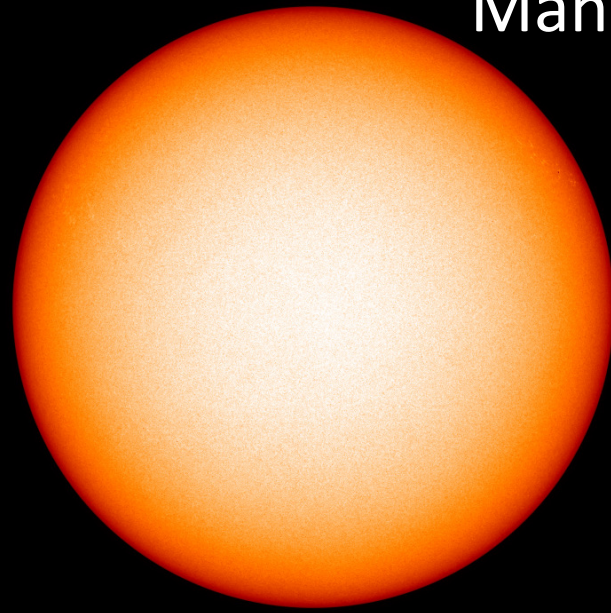
Atividade vulcânica



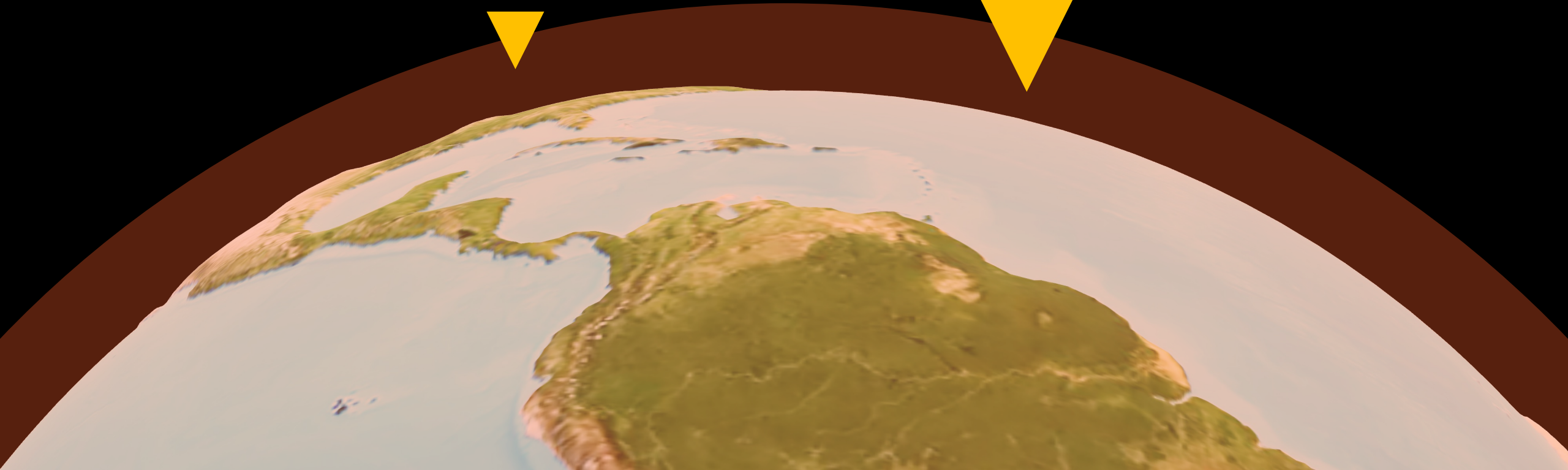
Mínimo

Manchas solares

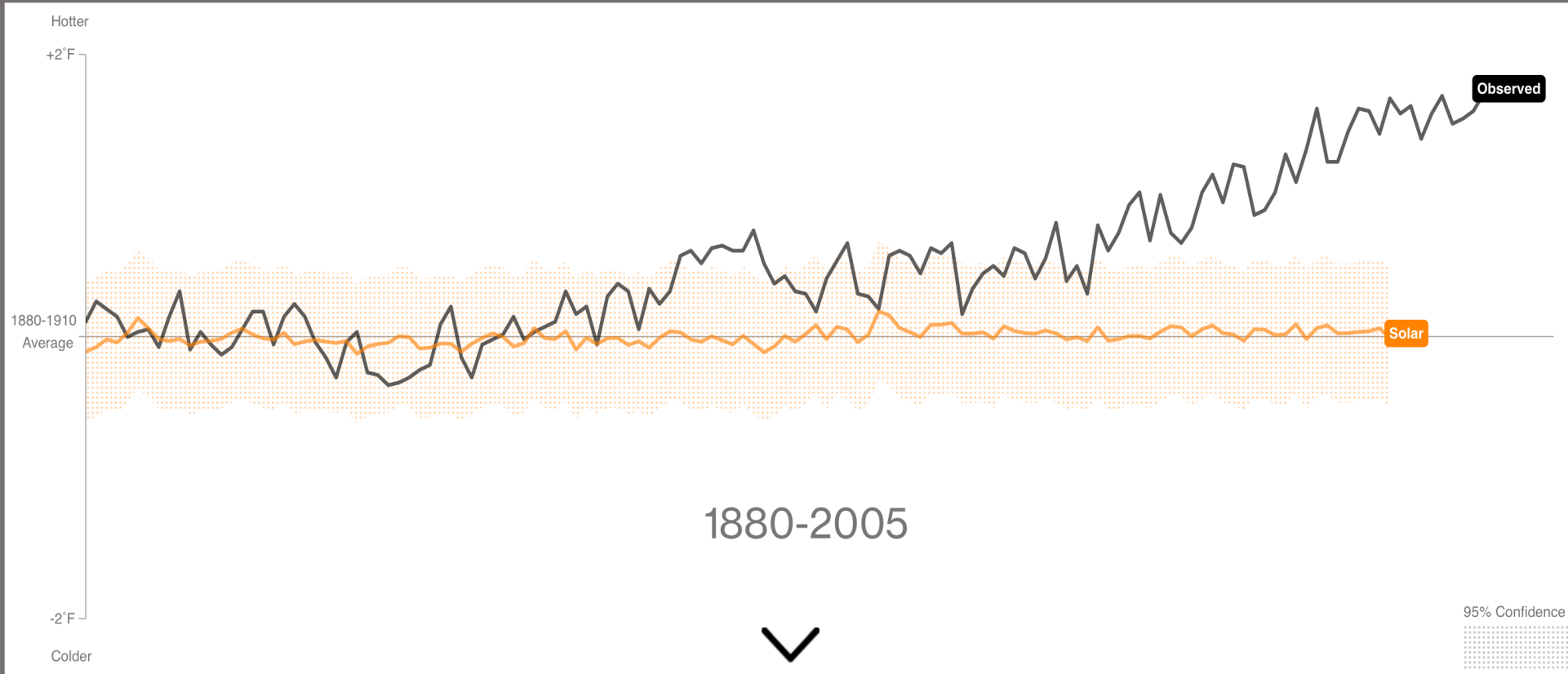
Máximo



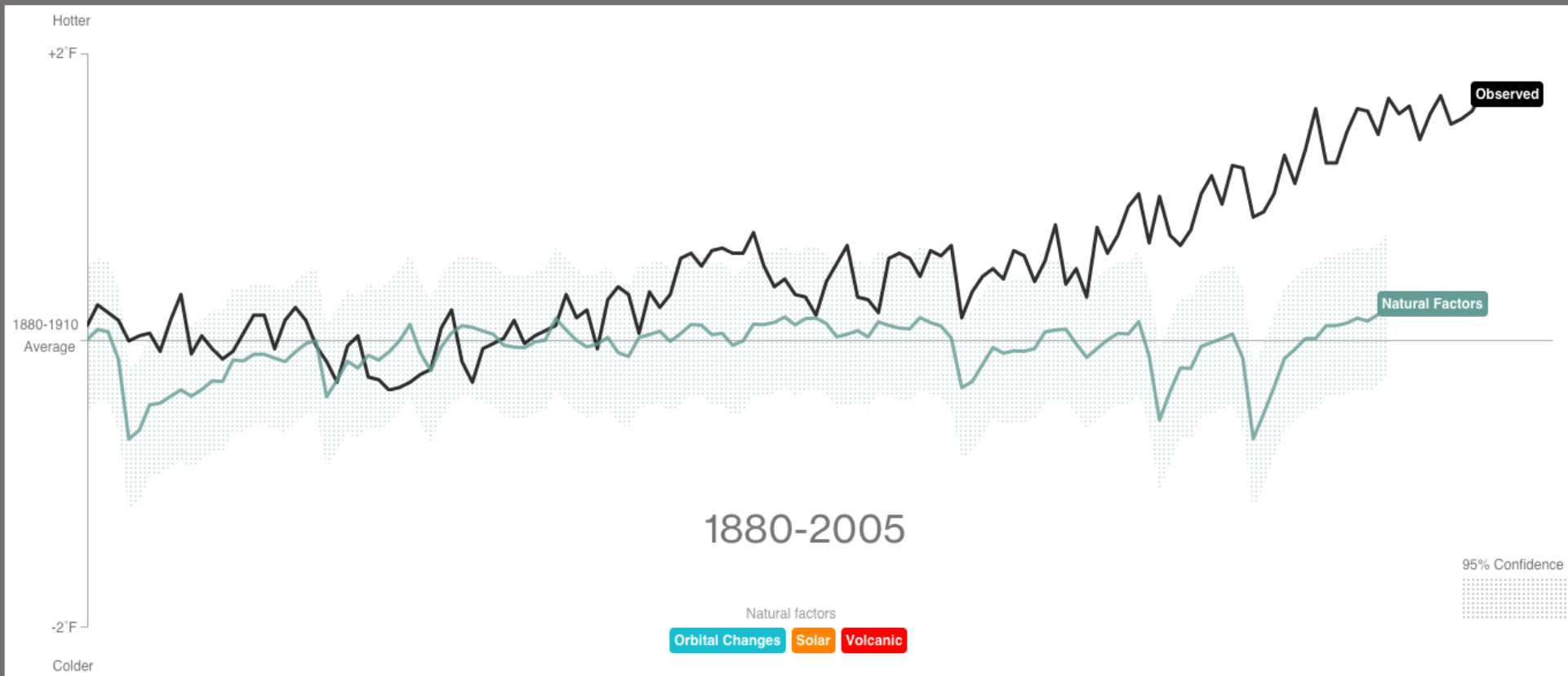
11 anos



Atividade solar



Fatores naturais: órbita + vulcanismo + solar

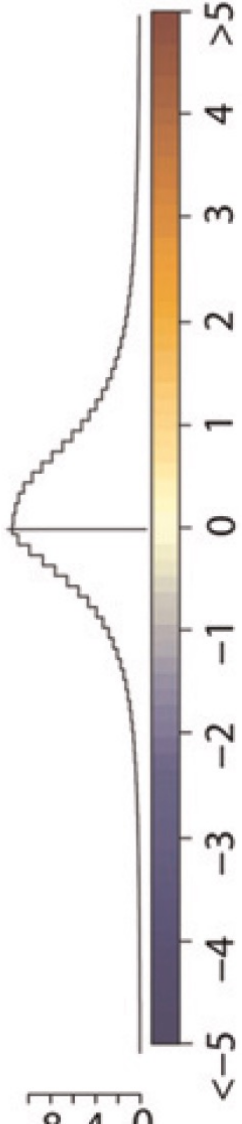


bloomberg.com

A

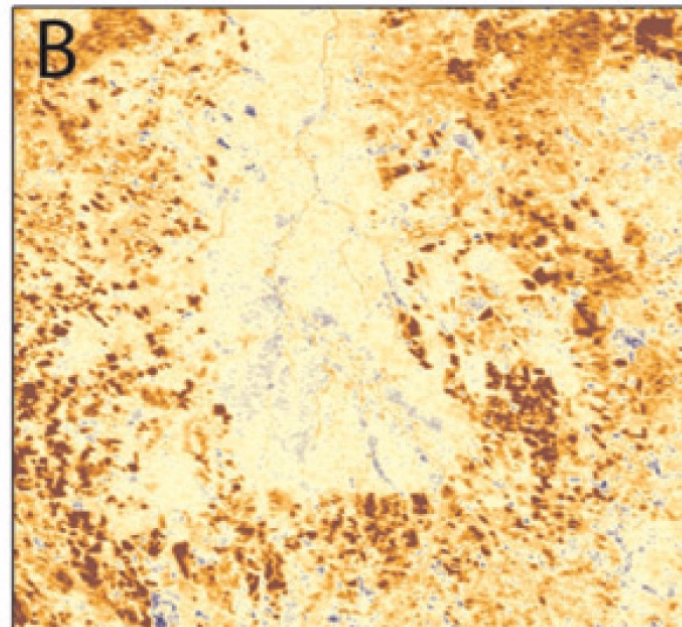
pixels x10⁵

Mudança no albedo em 9 anos (%)

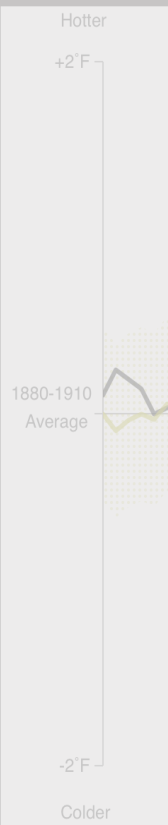
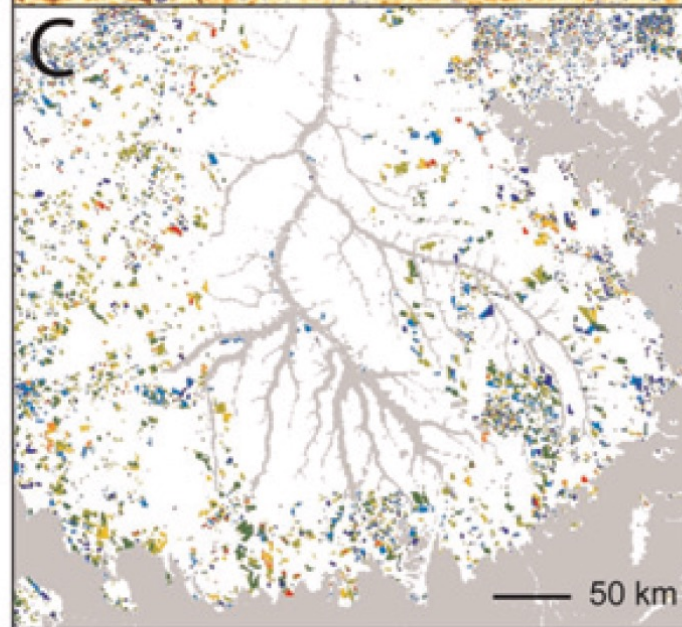


Arco do desmatamento

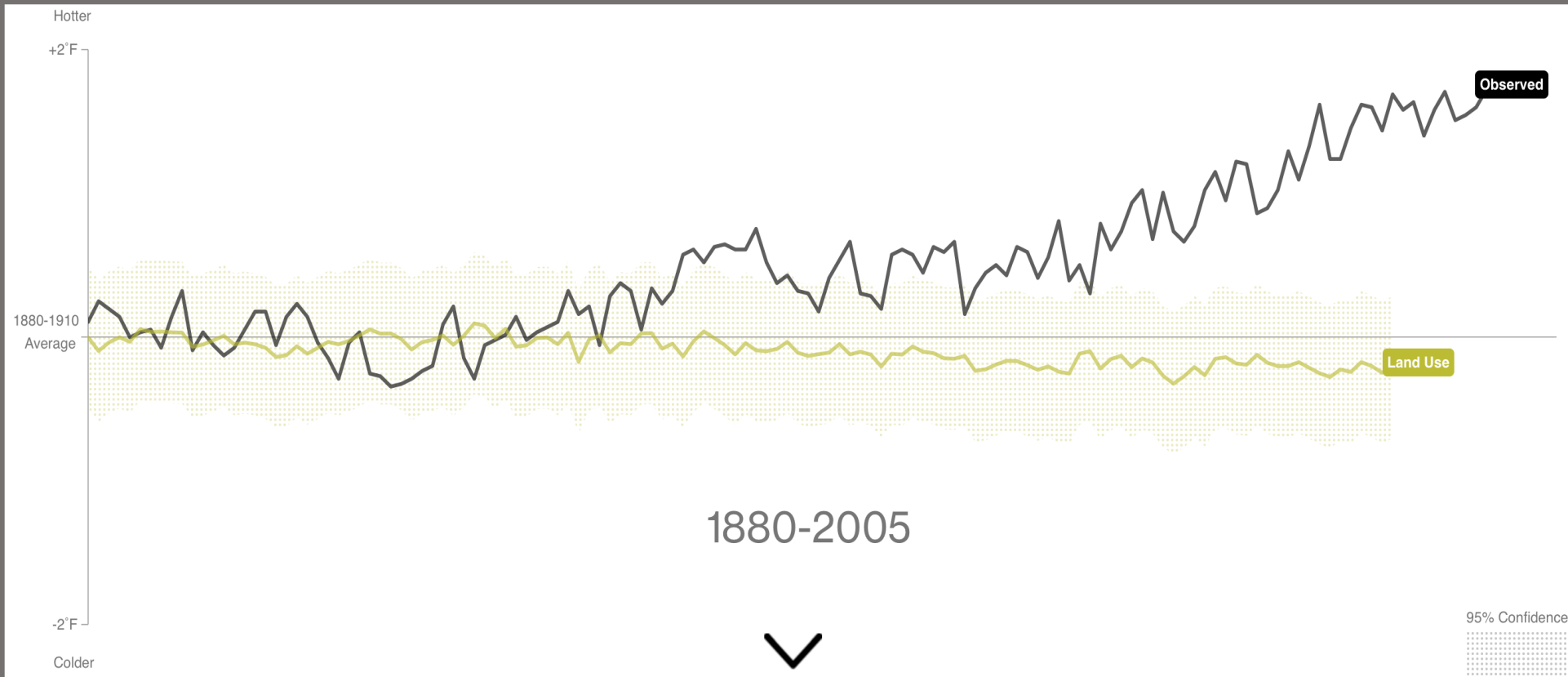
B



C

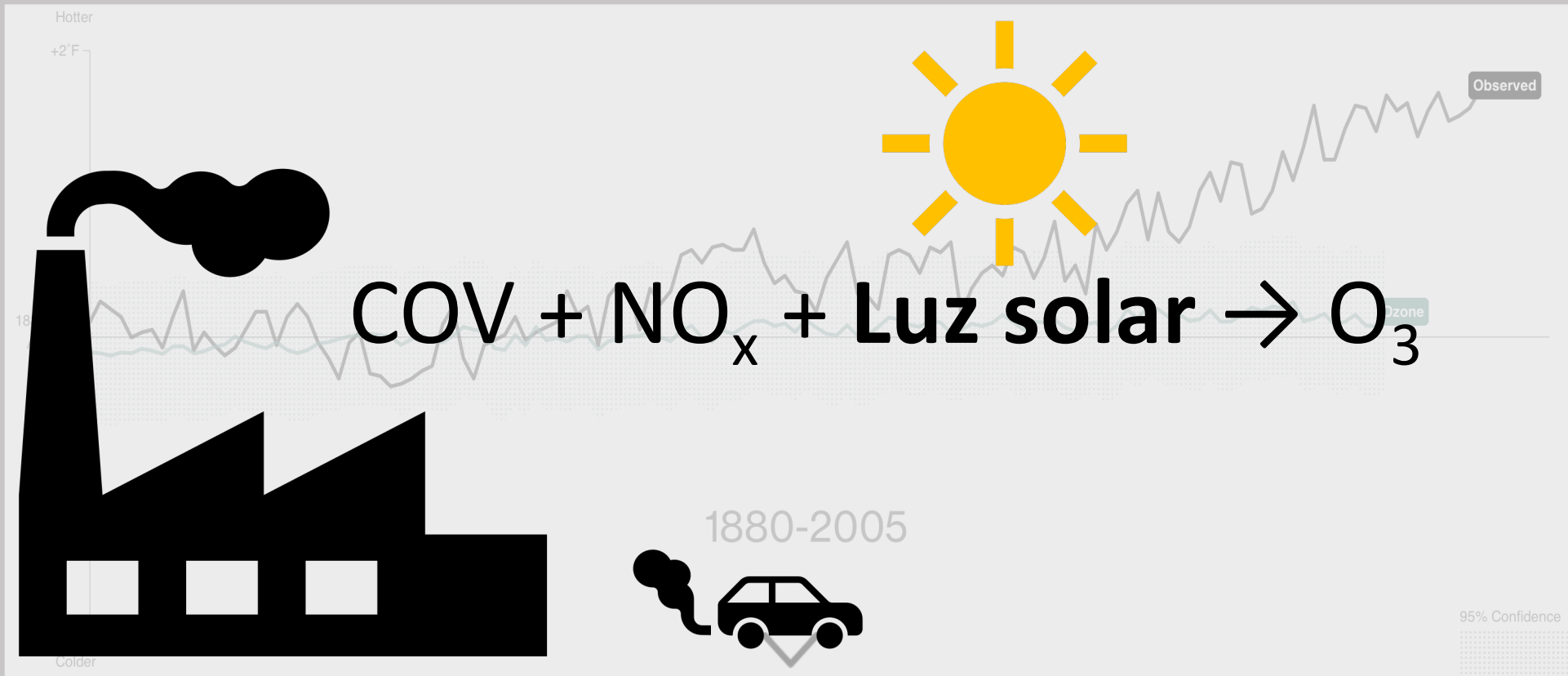


Uso do solo

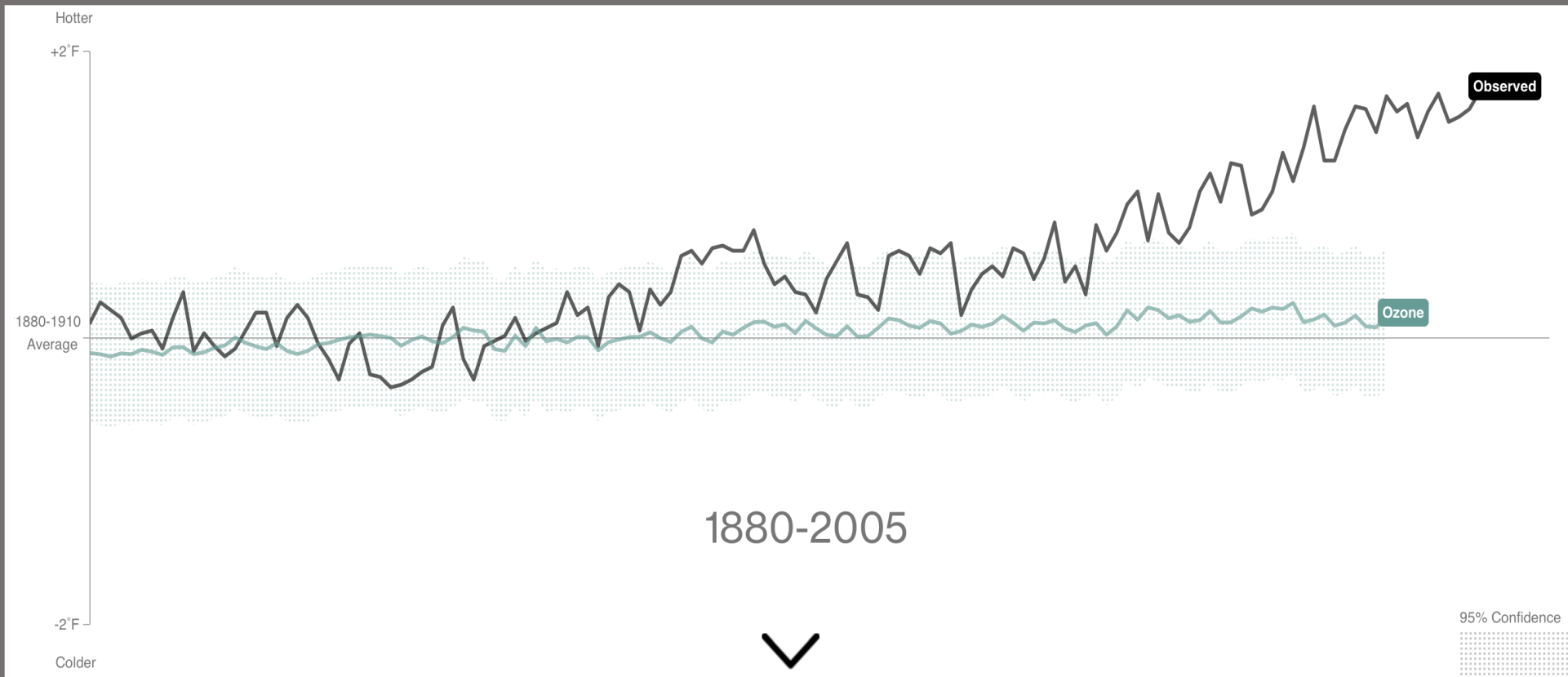


Poluente secundário

Ozônio



Ozônio



1880-2005



95% Confidence

Aerosóis

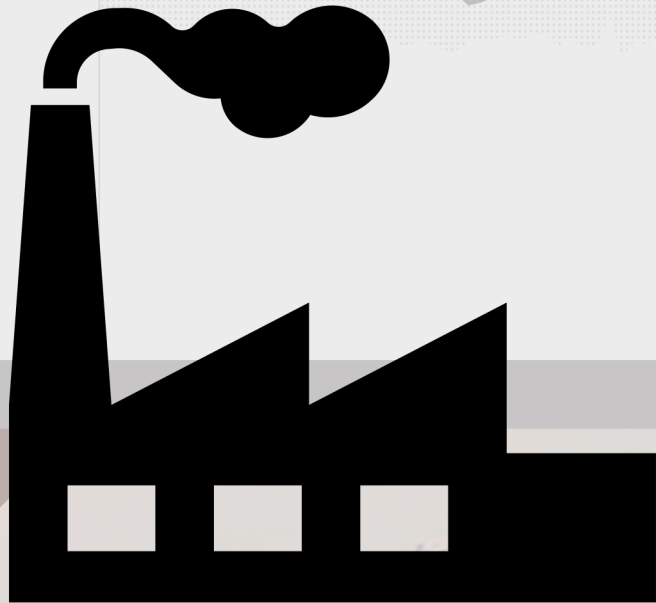
Hotter
Cooler
Carbono negro (forçante +)

Carbono orgânico (forçante -)

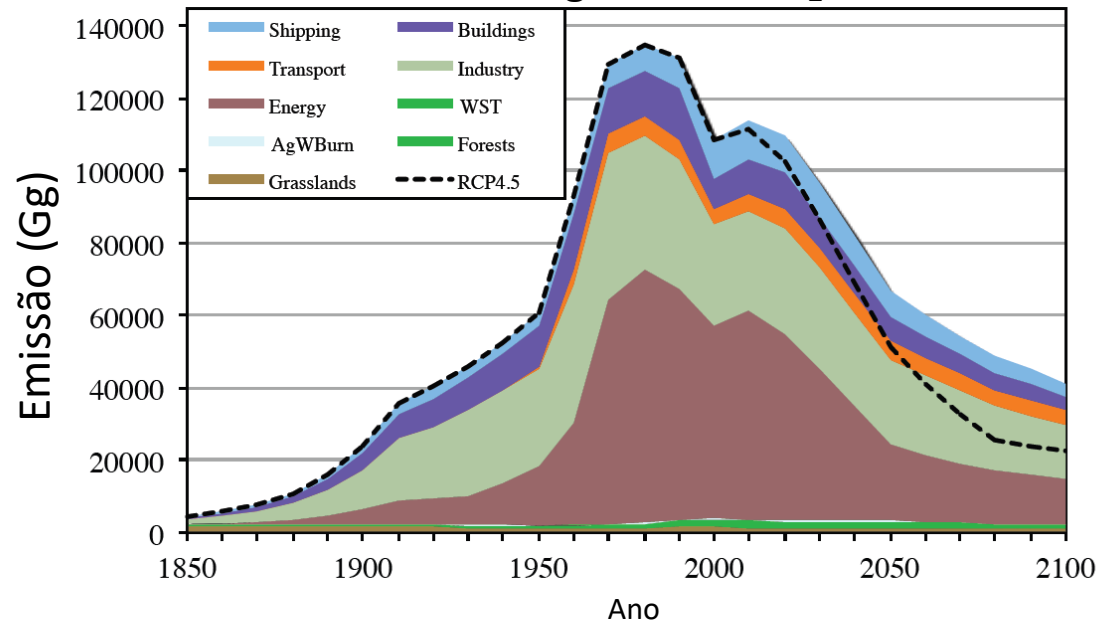
Dióxido de enxofre (forçante -)

1880-1910
Average

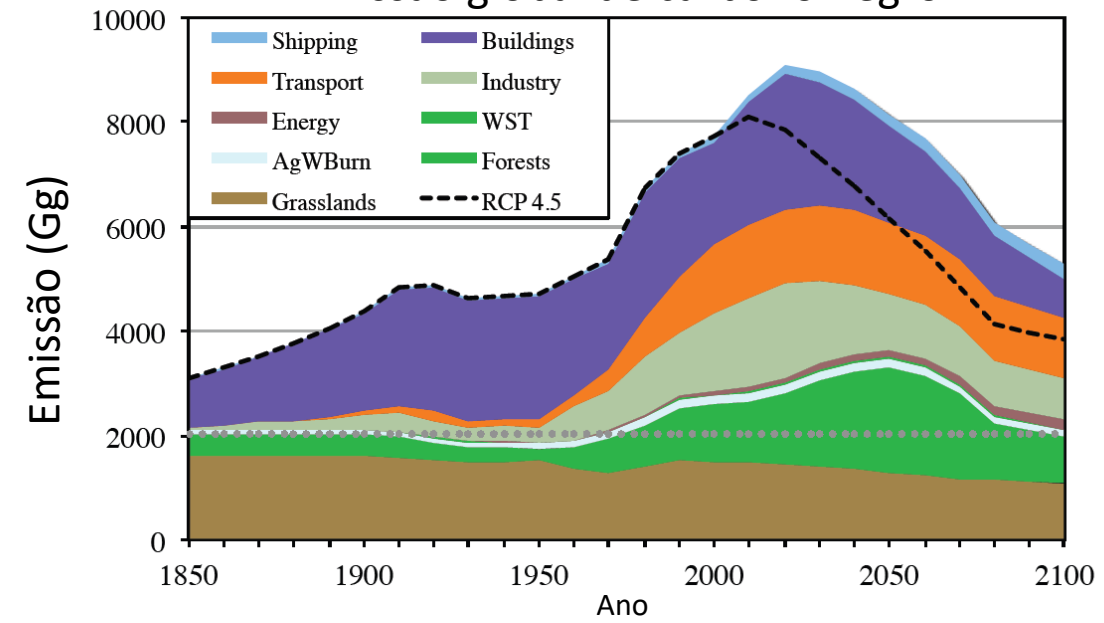
1880-2005



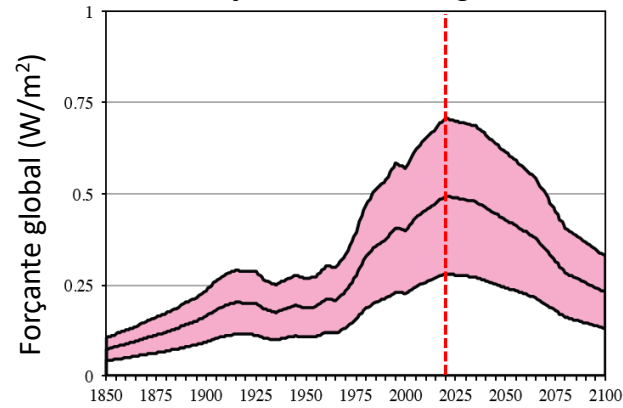
Emissão global de SO₂



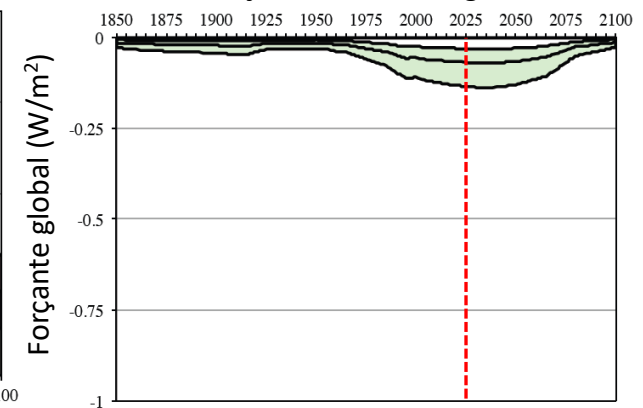
Emissão global de carbono negro



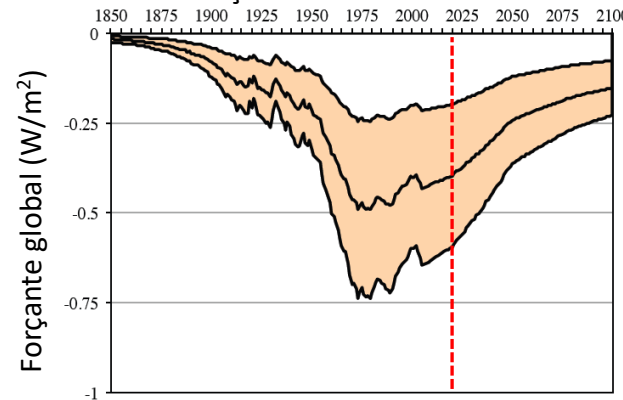
Forçante carbono negro



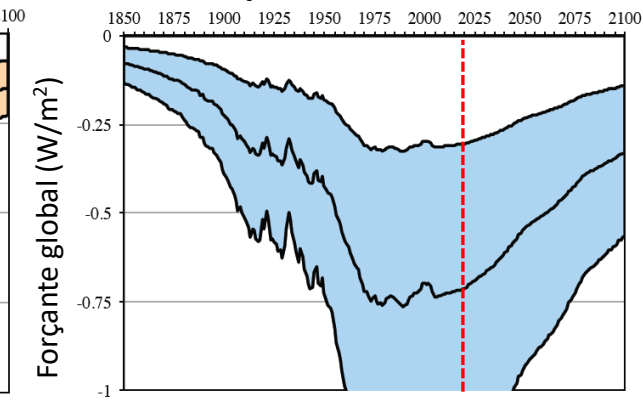
Forçante carbono orgânico



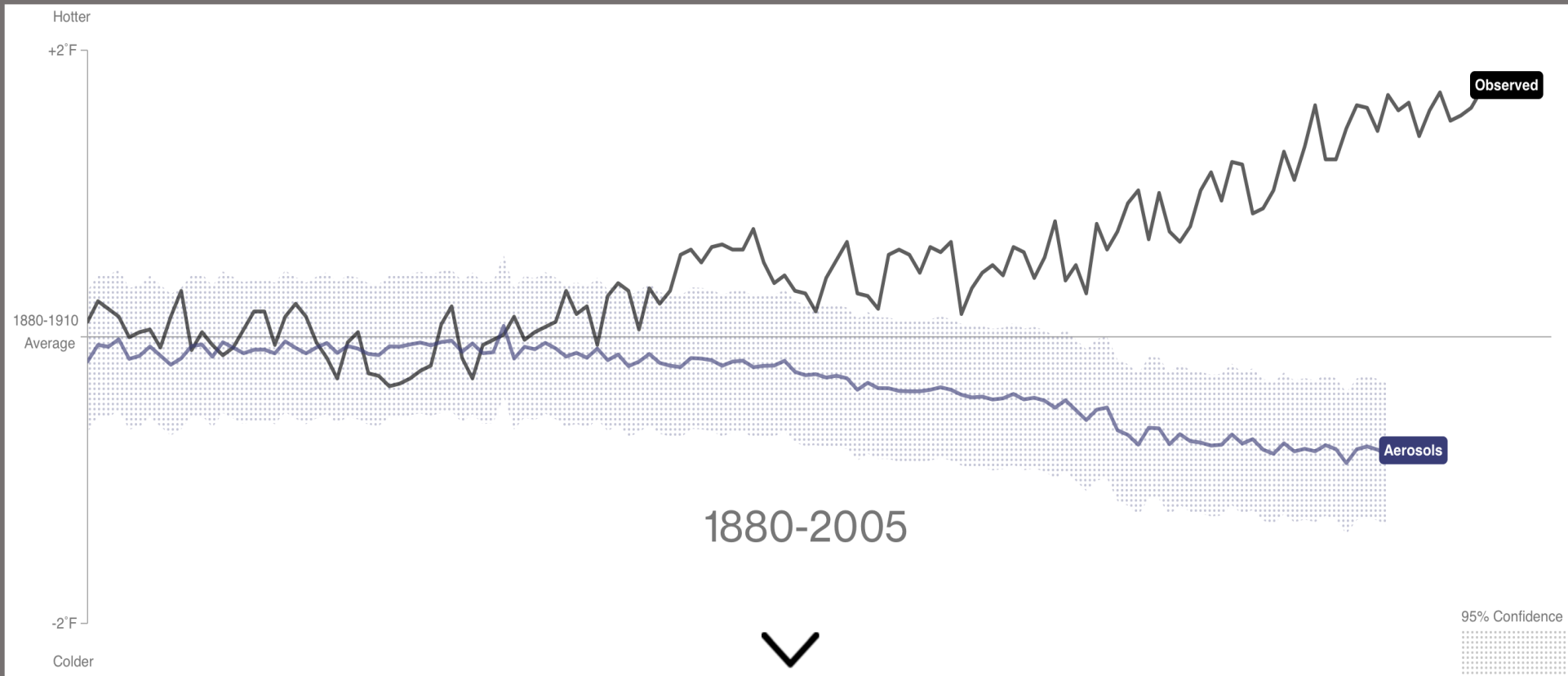
Forçante dióxido de enxofre



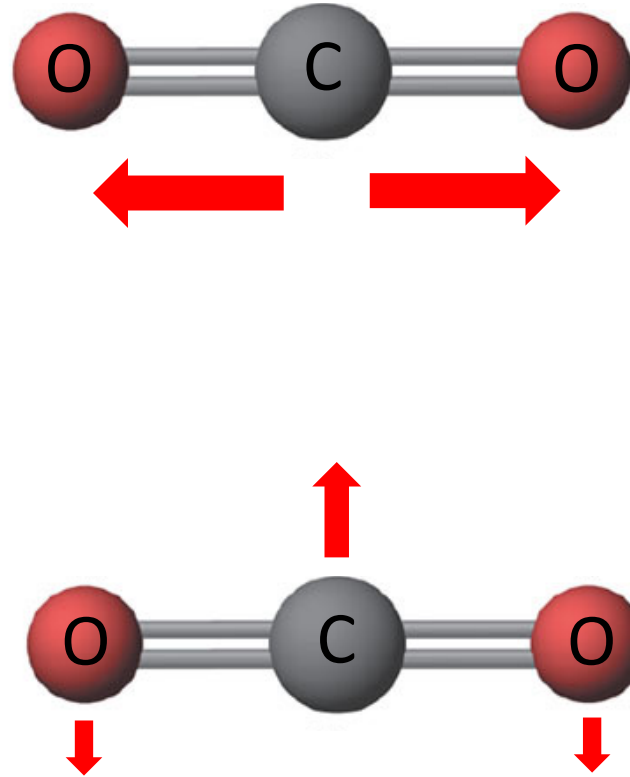
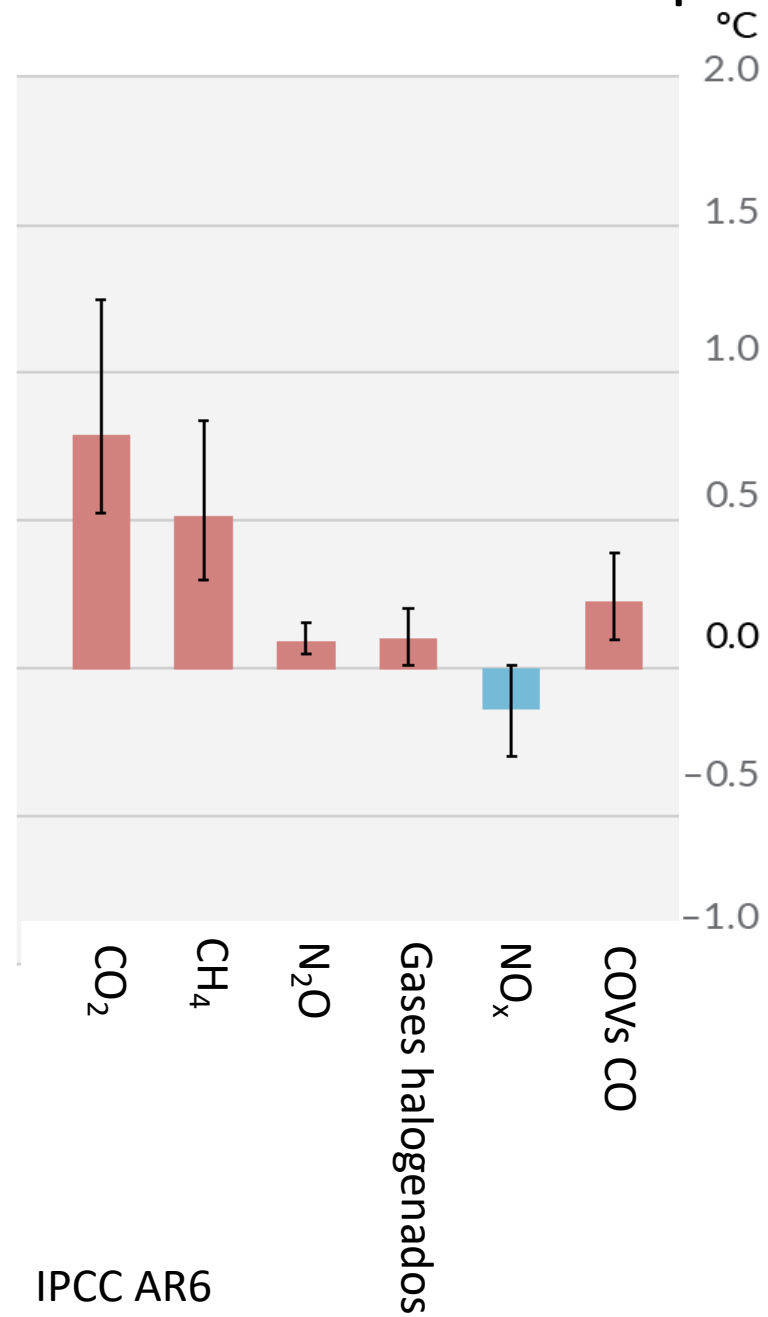
Forçante indireta - nuvens



Aerosóis



Átomos e moléculas que absorvem radiação de onda longa (infra-vermelho) = GEE



As ligações de moléculas como o CO₂ vibram naturalmente numa frequência que corresponde ao do infra-vermelho.

A energia do infra-vermelho faz as moléculas vibrarem, absorvendo temporariamente a energia, que é então emitida novamente.

A capacidade de absorver e emitir a energia em infra-vermelho faz o CO₂ um gás eficiente do efeito estufa

Paralelo com uma casa de vegetação

Radiação de onda curta

Convecção

Rad. onda longa

A radiação de onda curta passa pelo vidro (GEE);

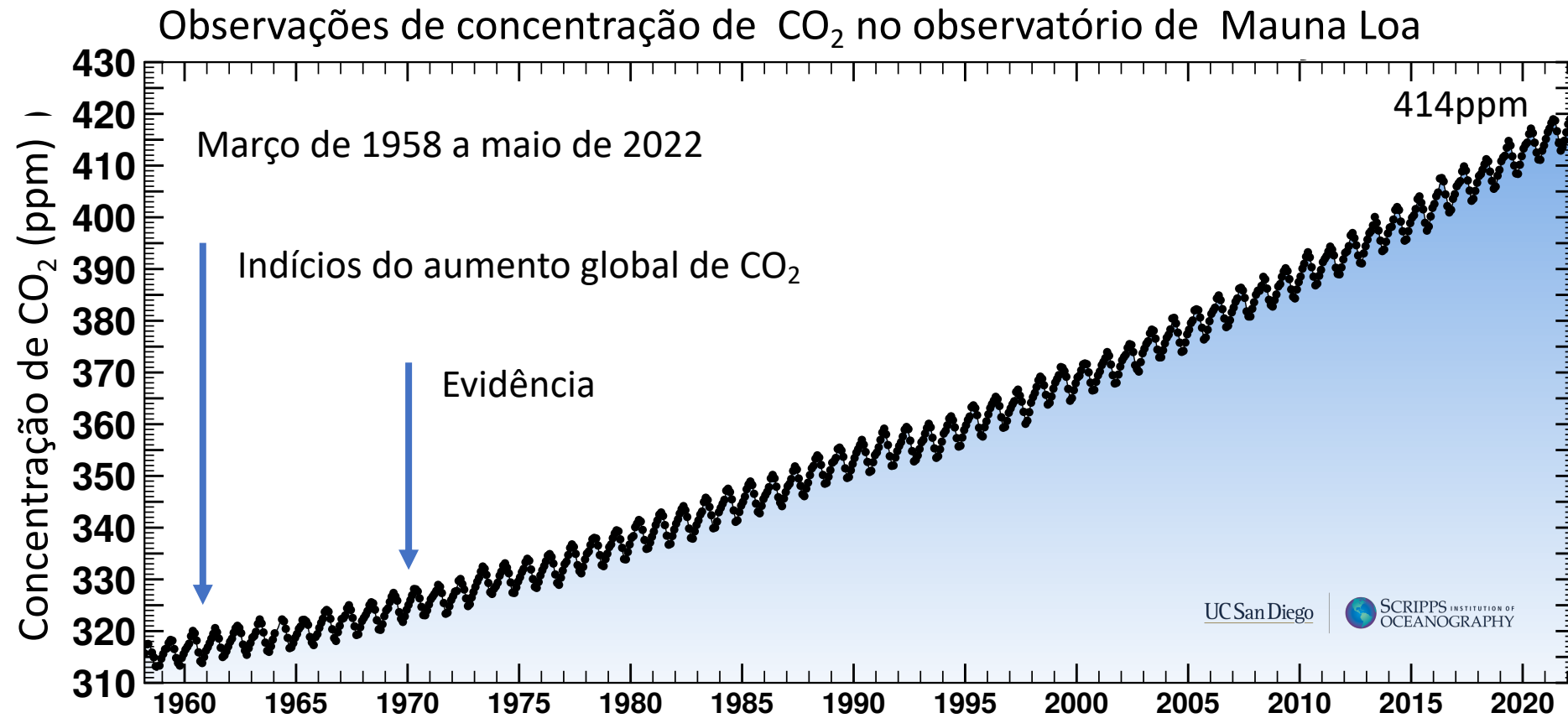
As ondas curtas aquecem a superfície que emite radiação de ondas longas;

A radiação de onda longa não consegue sair do vidro que é opaco à esta radiação

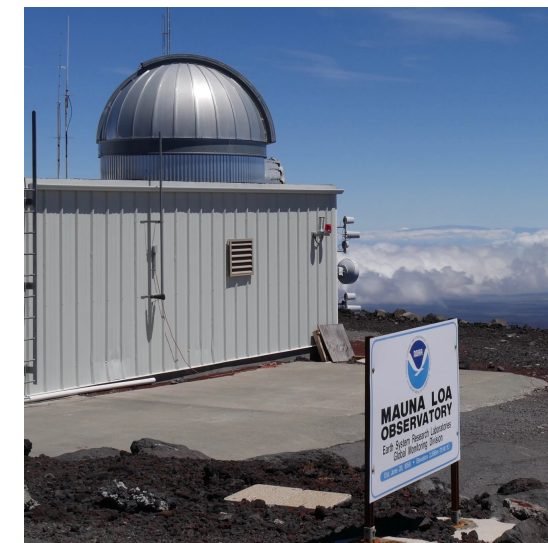
Resultado = aquecimento

OBS: A convecção acontece livremente na atmosfera.

Curva de Keeling



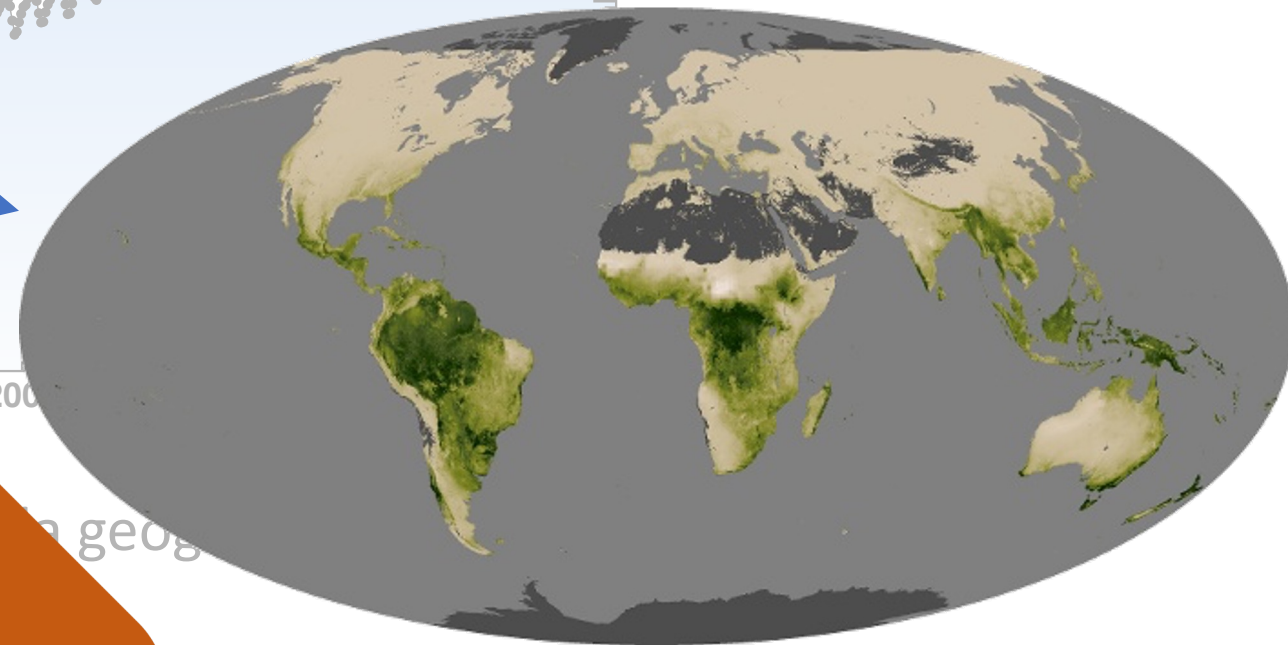
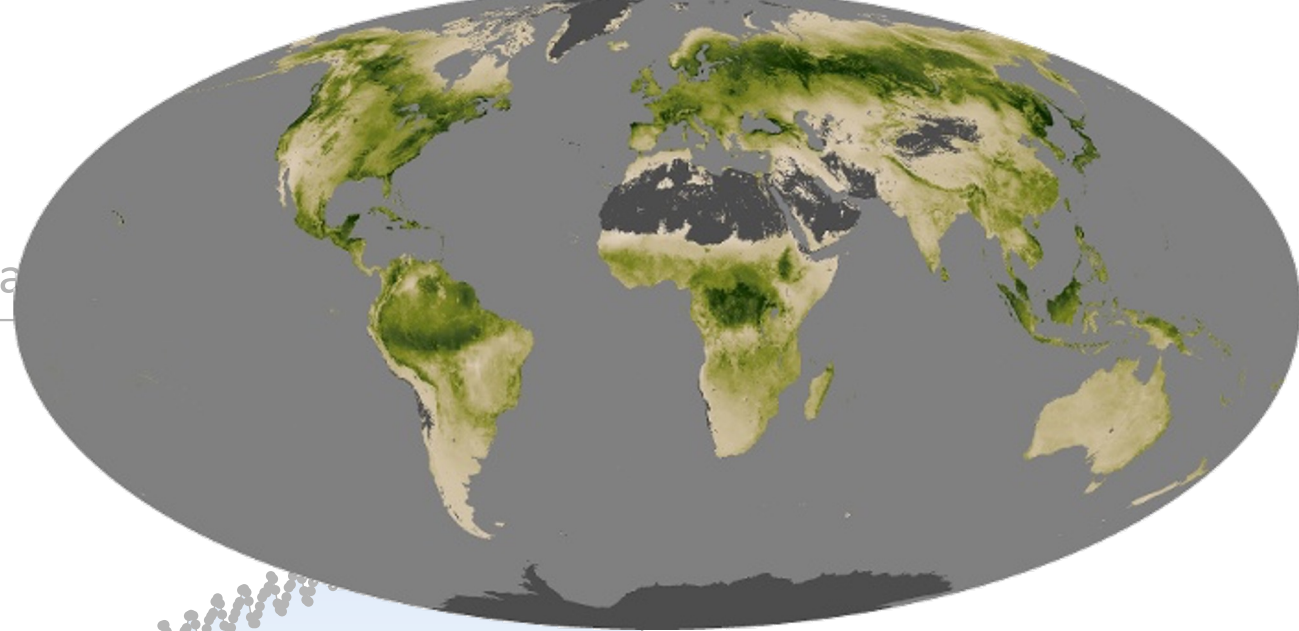
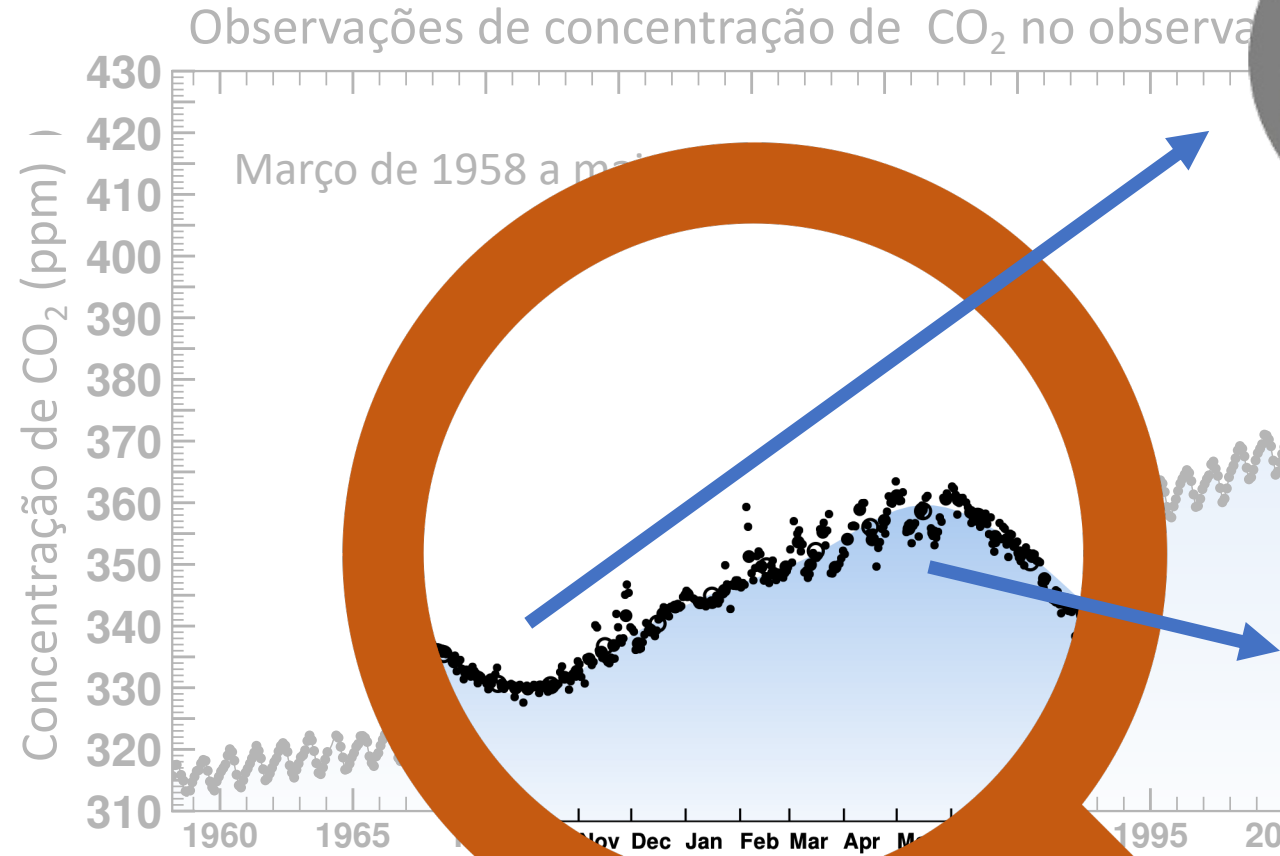
Dr Charles David Keeling



- Mauna Loa foi escolhida por estar isolada geograficamente e ter pouca vegetação.

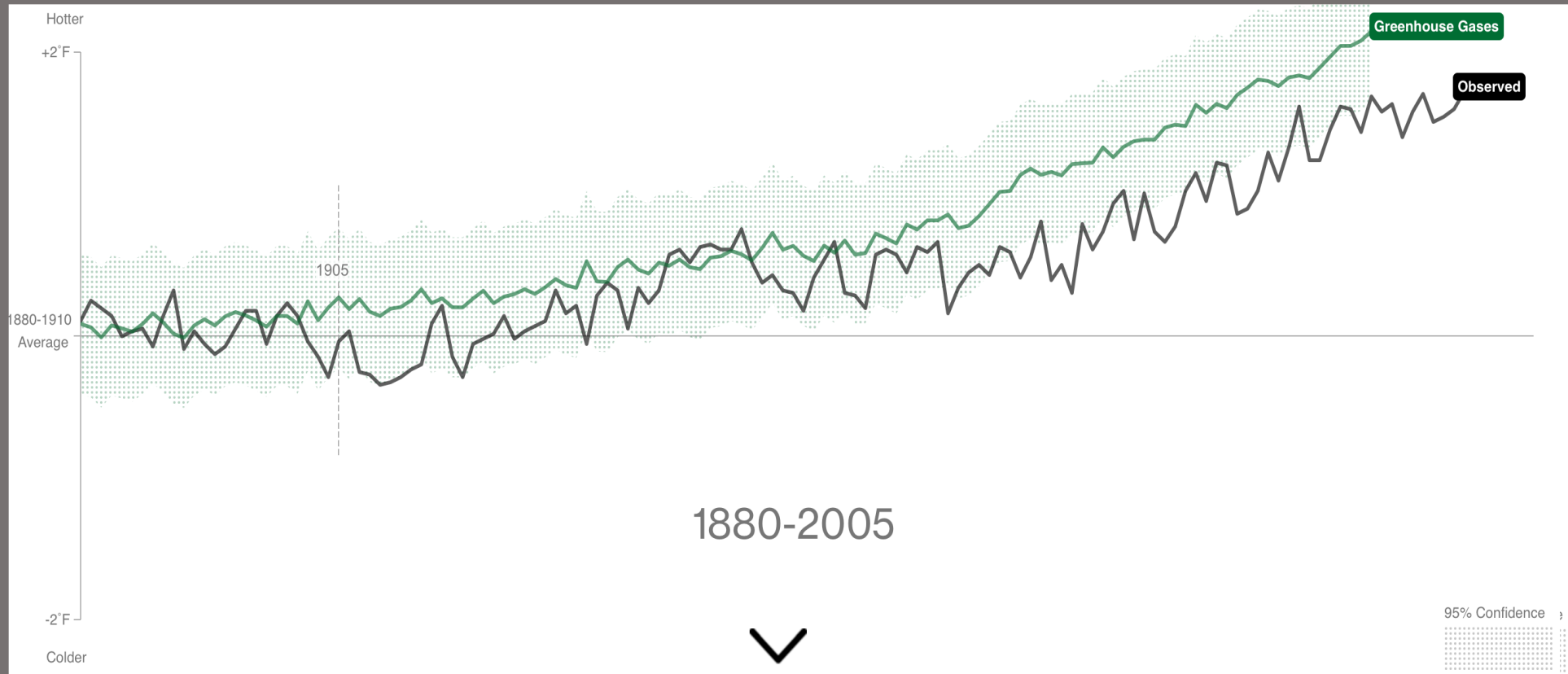
Curva de Keeling

Sazonalidade nas concentrações de CO₂



- Mauna Loa foi escolhida por estar em uma geografia com pouca vegetação.

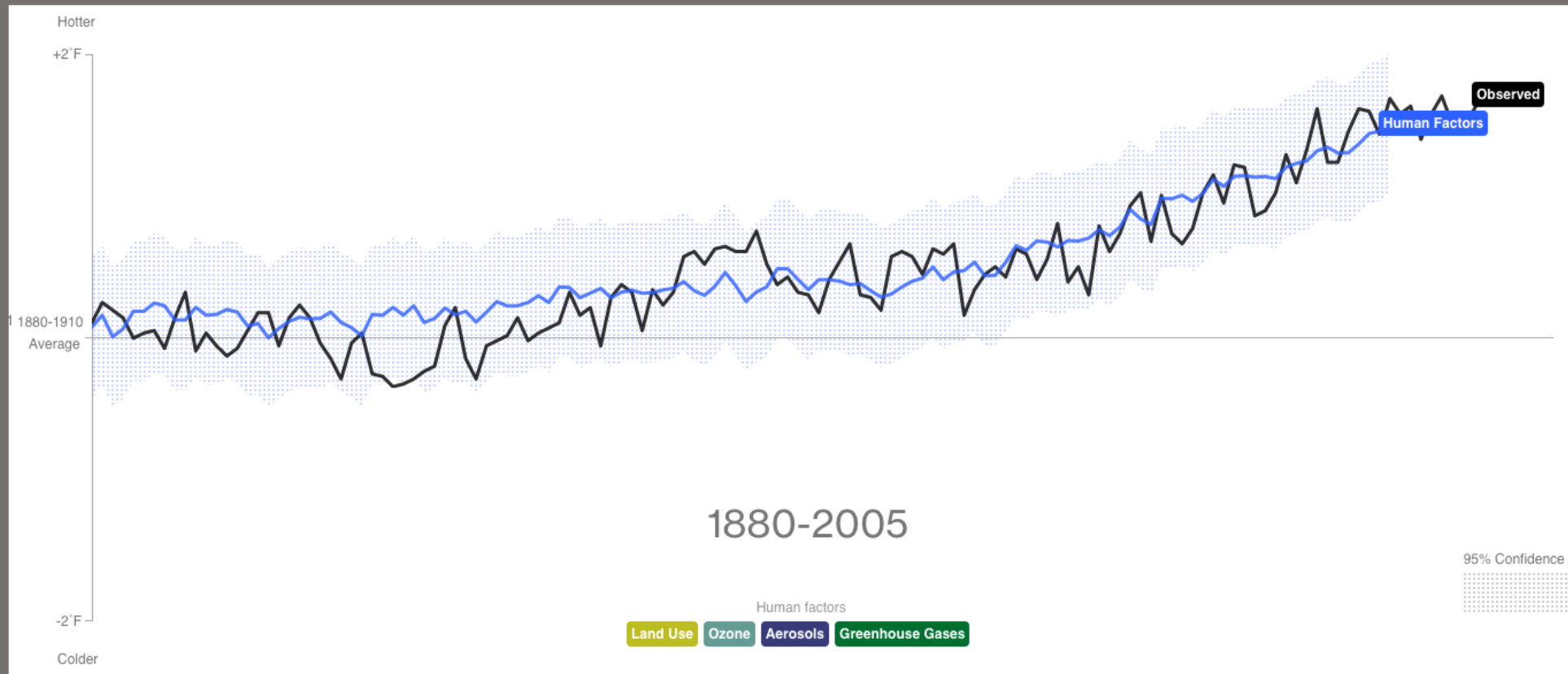
Gases do efeito estufa



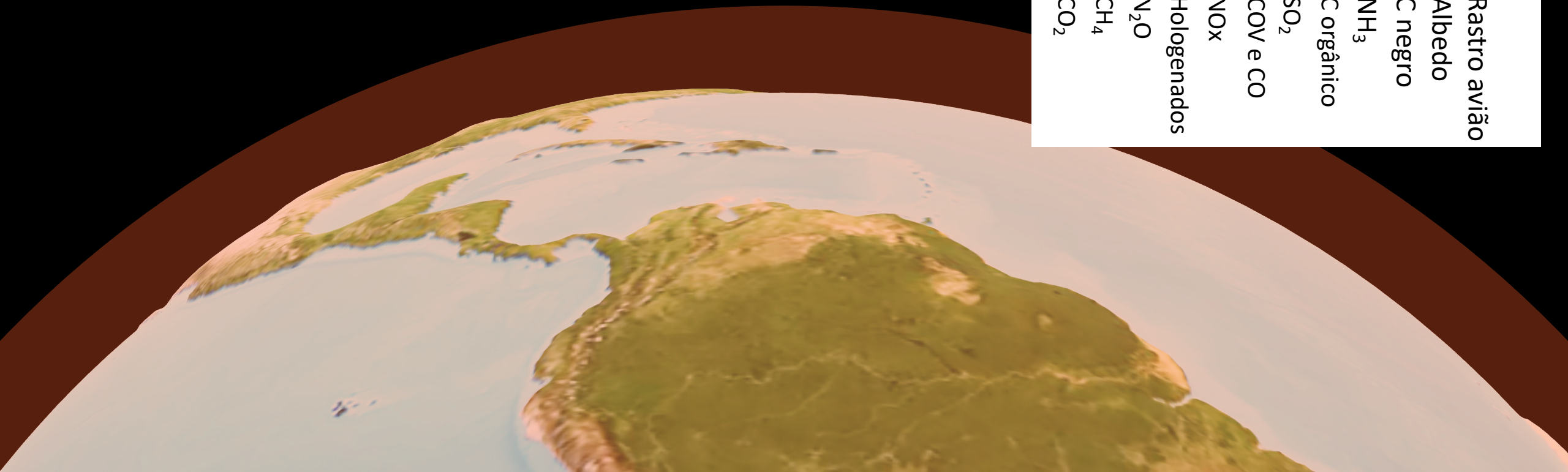
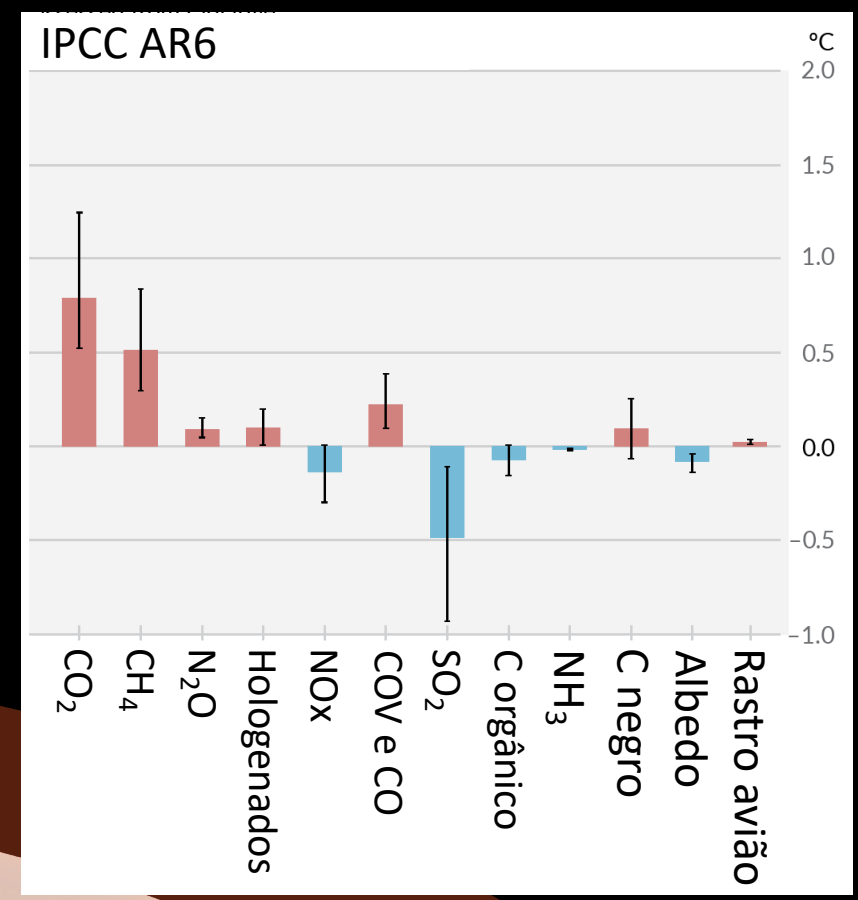
1880-2005



Fatores humanos: uso do solo + ozônio + aerossóis + gases do efeito estufa

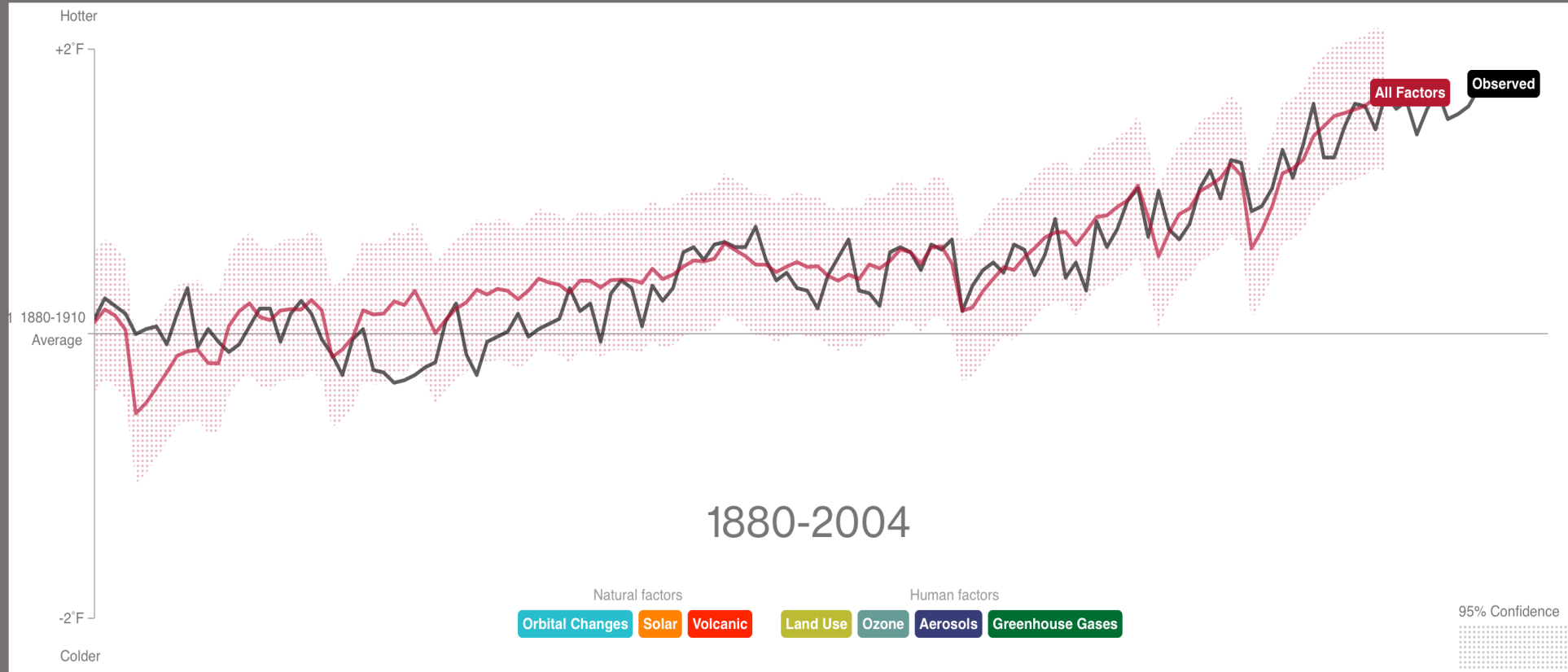


2010 - 2019  1.2°C

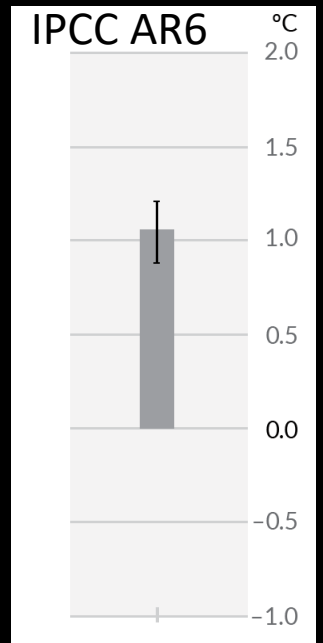


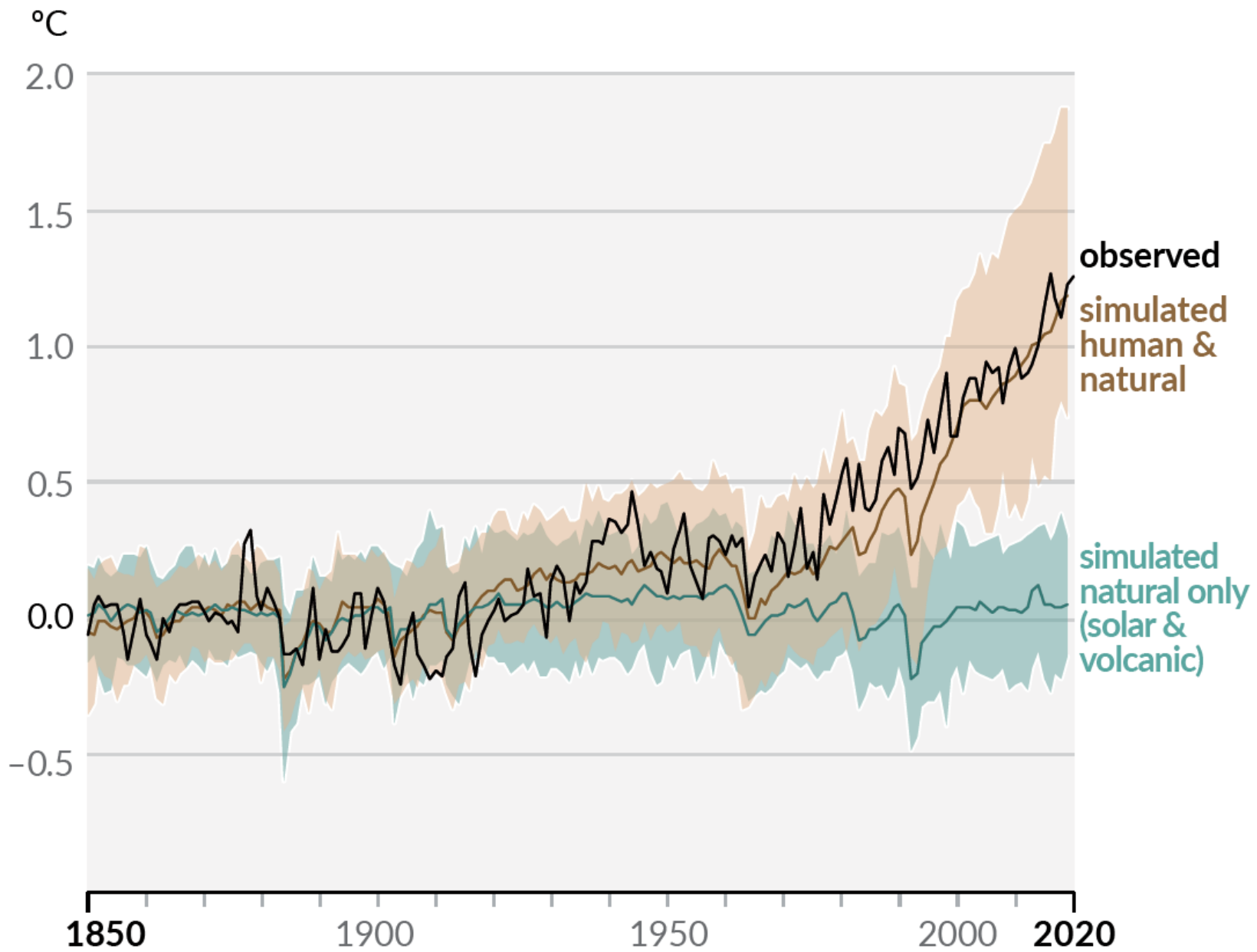
2010 - 2019 x 1850 - 1900

Fatores naturais + humanos



bloomberg.com





Respostas do clima a desequilíbrios energéticos

-Clima “estável” está associado a um balanço de energia no sistema:

Radiação solar incidente = radiação emitida pelo planeta



Respostas do clima a desequilíbrios energéticos

-Clima “estável” está associado a um balanço de energia no sistema:

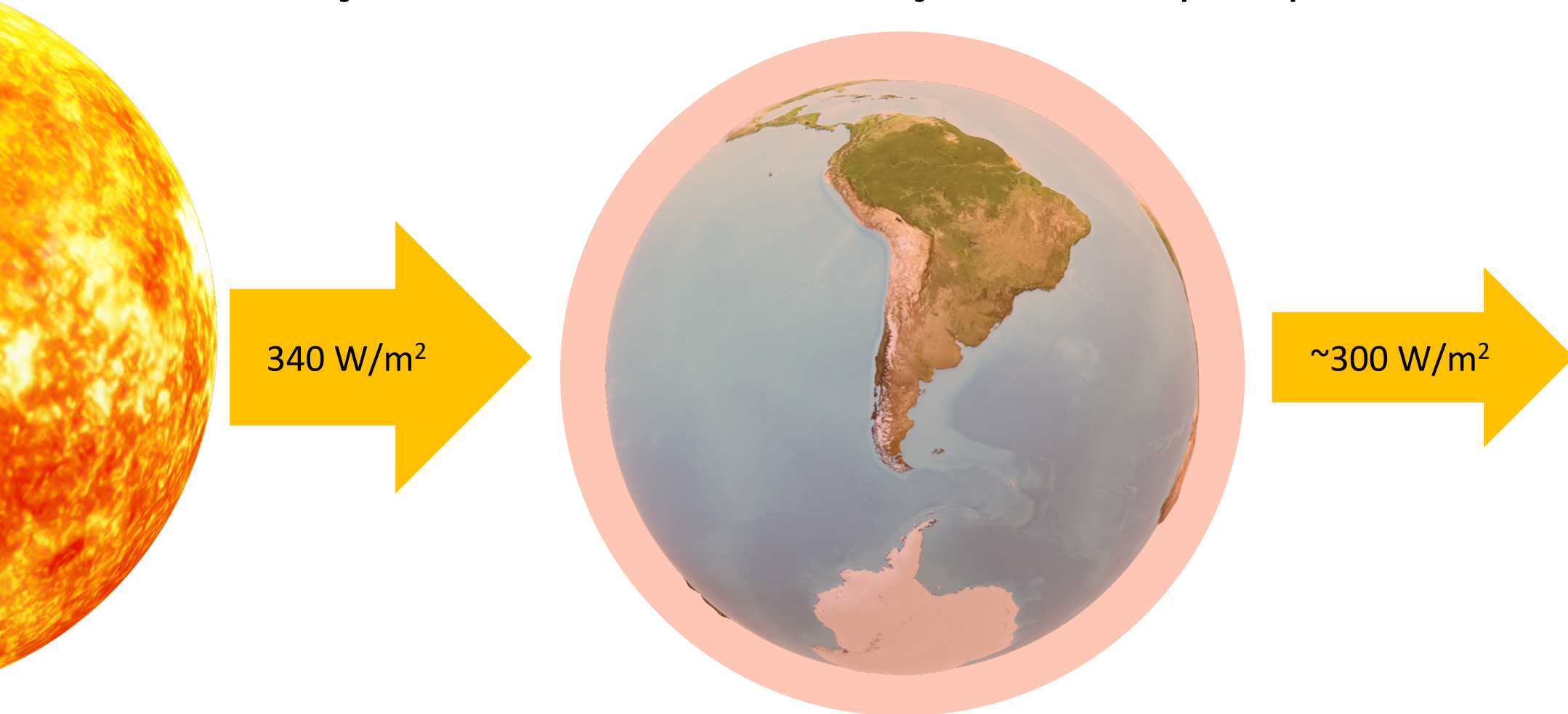
Radiação solar incidente = radiação emitida pelo planeta



Respostas do clima a desequilíbrios energéticos

-Clima “estável” está associado a um balanço de energia no sistema:

Radiação solar incidente = radiação emitida pelo planeta



Respostas do clima a desequilíbrios energéticos

-Clima “estável” está associado a um balanço de energia no sistema:

Radiação solar incidente = radiação emitida pelo planeta

-Perturbação: aumento na concentração de GEE.

- Reduzem a eficiência da Terra em emitir a radiação de volta para o espaço.
- Desequilíbrio entre radiação solar incidente e radiação refletida/emitada pelo planeta.
- Aquecimento da atmosfera e superfície.



Respostas do clima a desequilíbrios energéticos

-Clima “estável” está associado a um balanço de energia no sistema:

Radiação solar incidente = radiação emitida pelo planeta

-Perturbação: aumento na concentração de GEE.

- A terra continuará a aquecer se: Incidente > Refletida/Emitida.
- Novo equilíbrio assim que a perturbação cessar.



Inércia no sistema



Emissão zero

Respostas do clima a desequilíbrios energéticos

-Clima “estável” está associado a um balanço de energia no sistema:

Radiação solar incidente = radiação emitida pelo planeta

Novo equilíbrio será imediato?

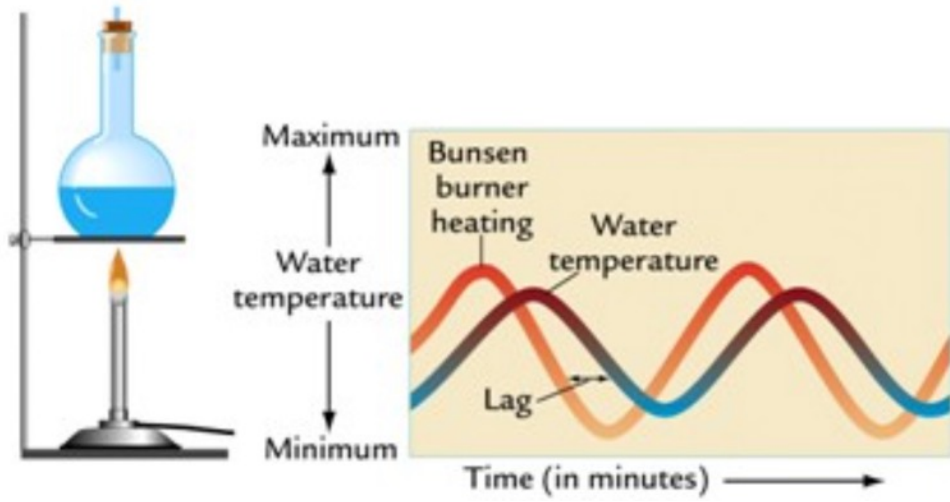
-Pert

• A

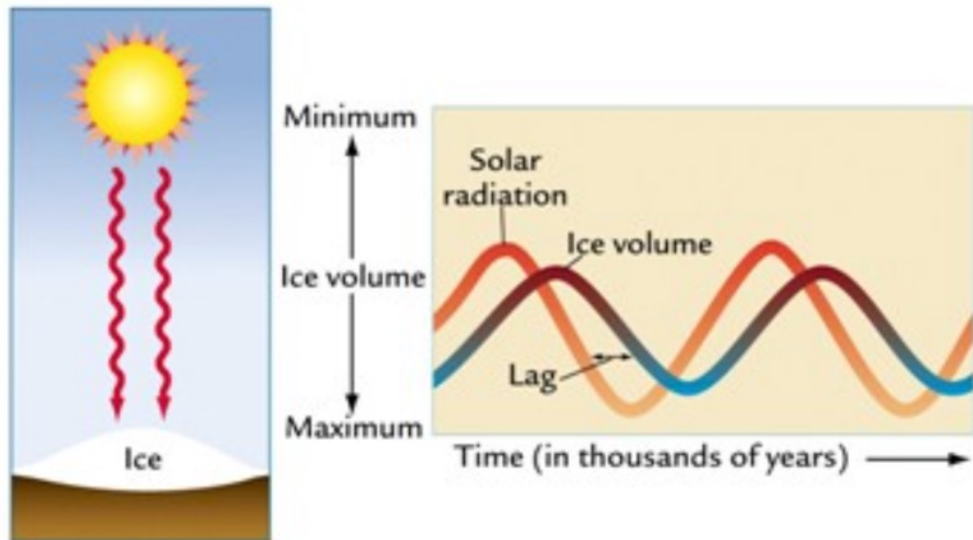
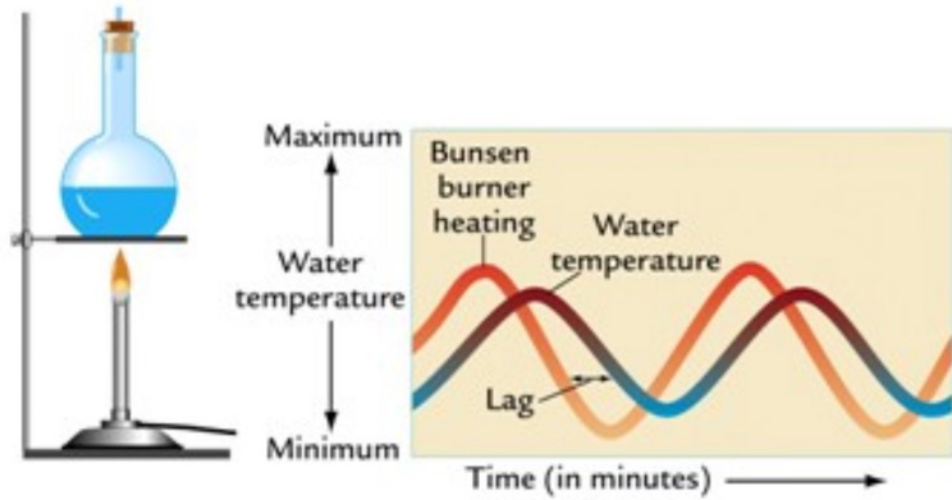
Refletida/Emitida.

• Novo equilíbrio assim que a perturbação cessar.

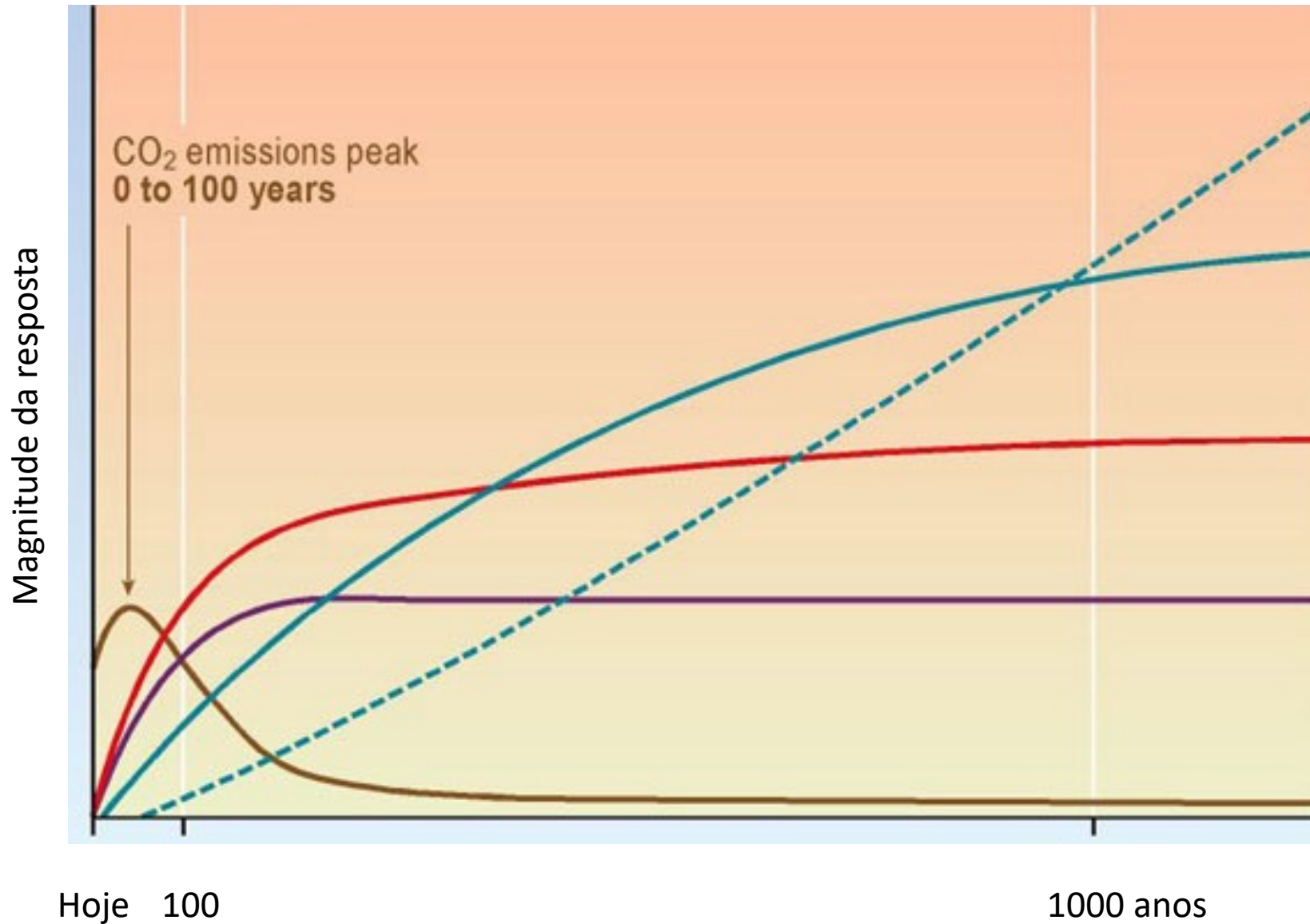
Inércia no sistema



Inércia no sistema



Inércia no sistema



Aumento do volume dos oceanos por derretimento de gelo: alguns milênios.

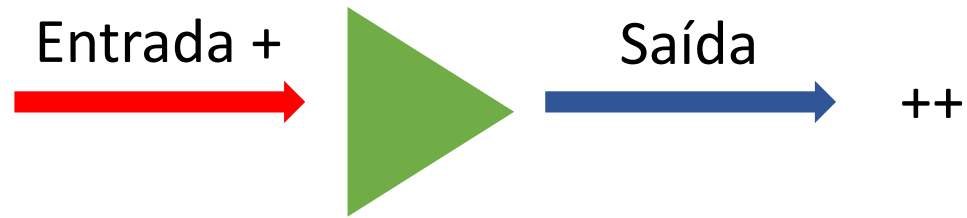
Aumento do volume dos oceanos por expansão térmica: séculos-milênio.

Estabilização da temperatura alguns séculos.

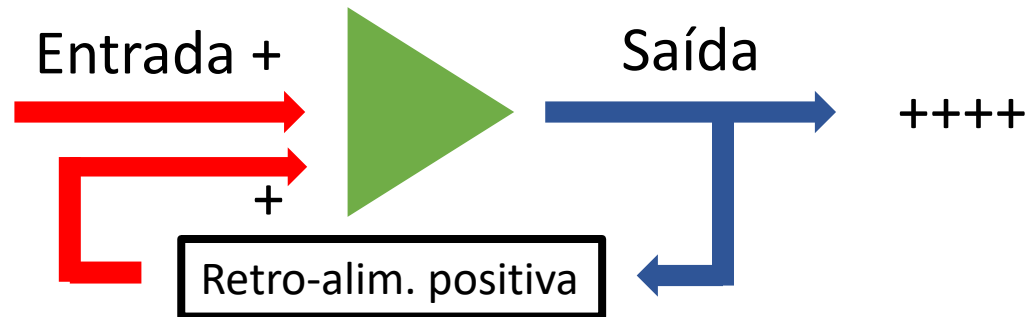
Estabilização do CO₂: 100 a 300 anos.

Emissões de CO₂.

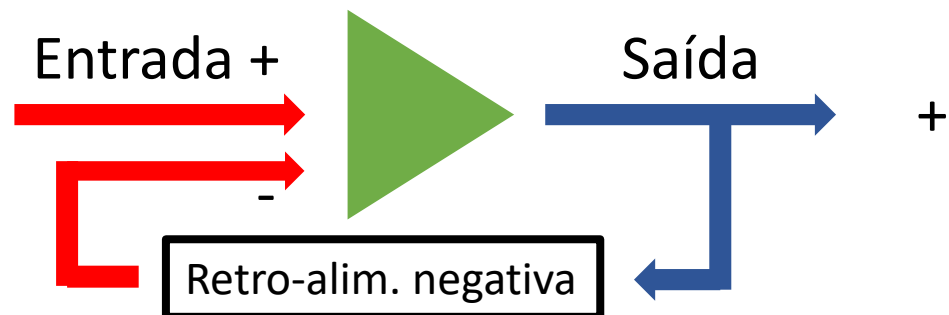
Inércia no sistema: retro-alimentação / *feedbacks*



Sem retro-alimentação



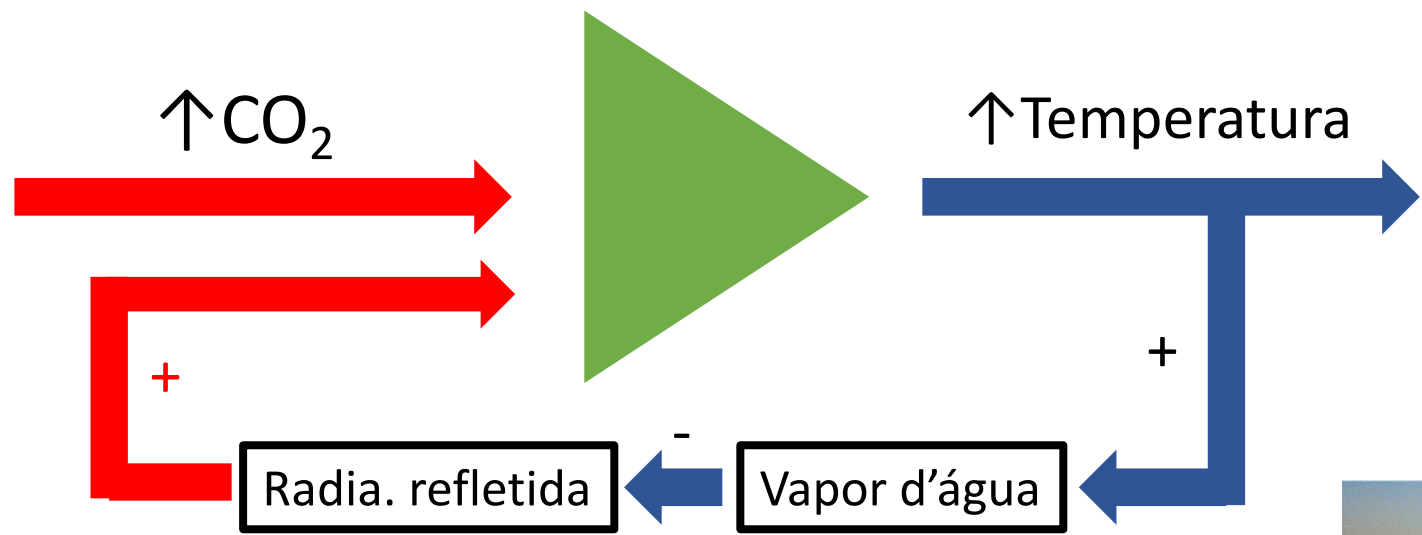
Retro-alimentação positiva
Potencializa o efeito da perturbação



Retro-alimentação negativa
Reduz o efeito da perturbação

Inércia no sistema: retro-alimentação / *feedbacks*

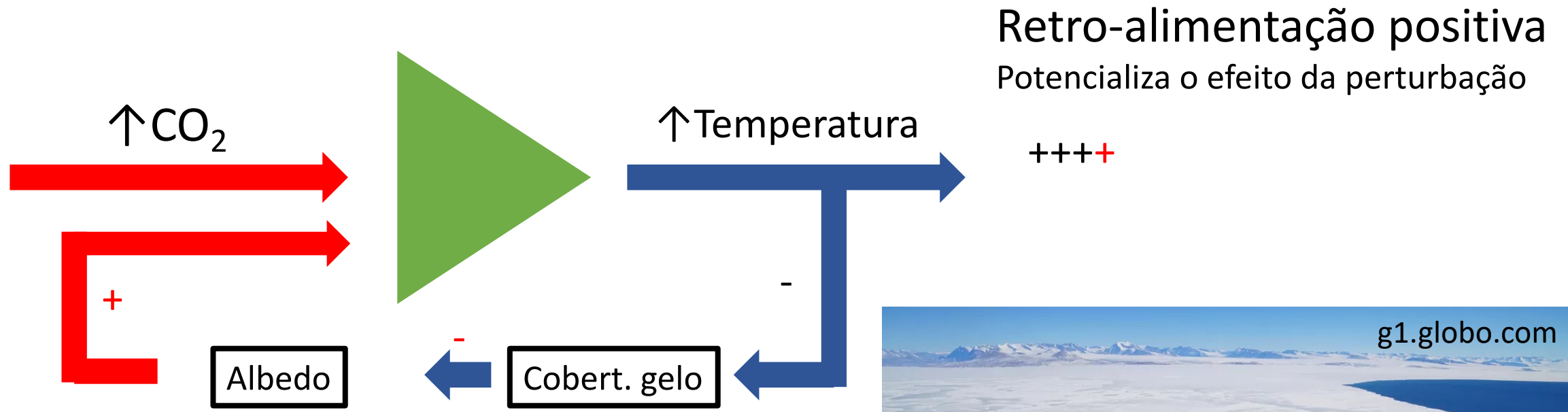
Retro-alimentação positiva
Potencializa o efeito da perturbação



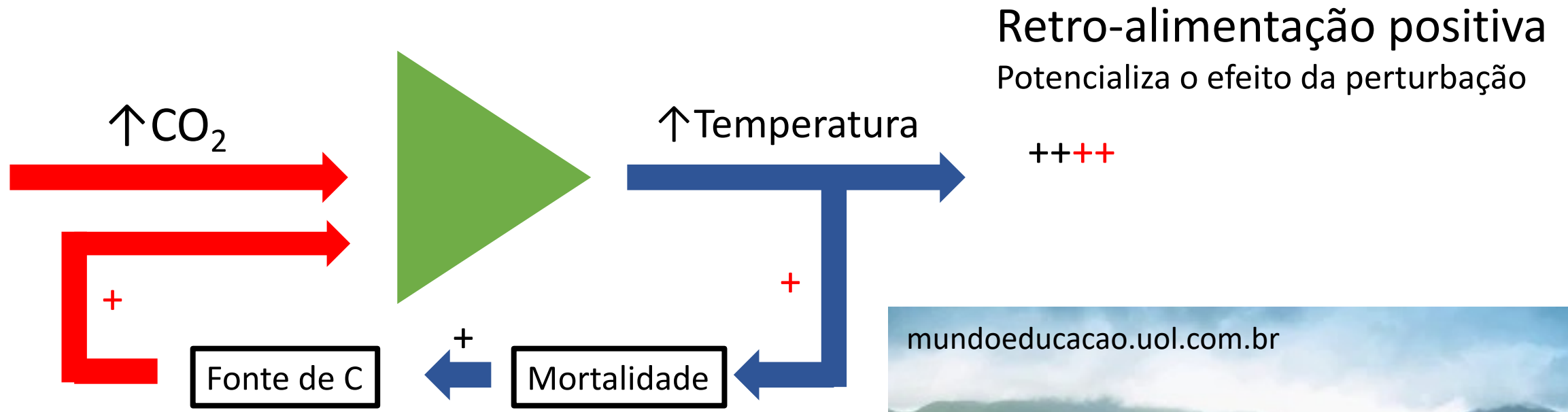
+++++



Inércia no sistema: retro-alimentação / *feedbacks*

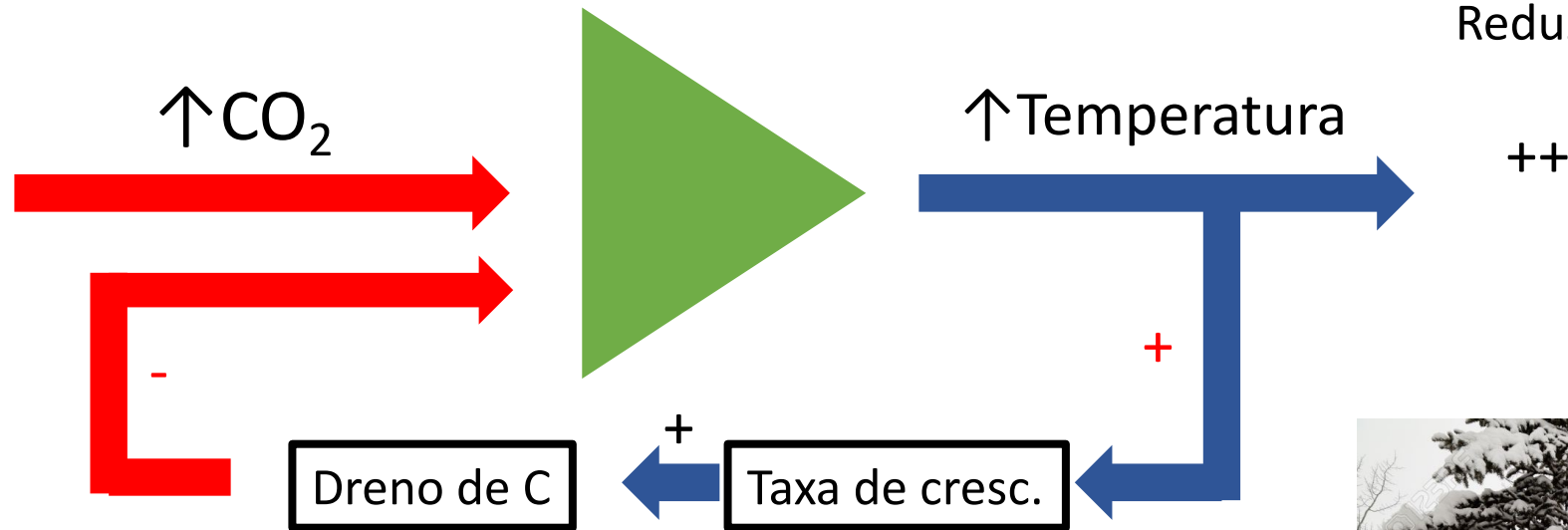


Inércia no sistema: retro-alimentação / *feedbacks*



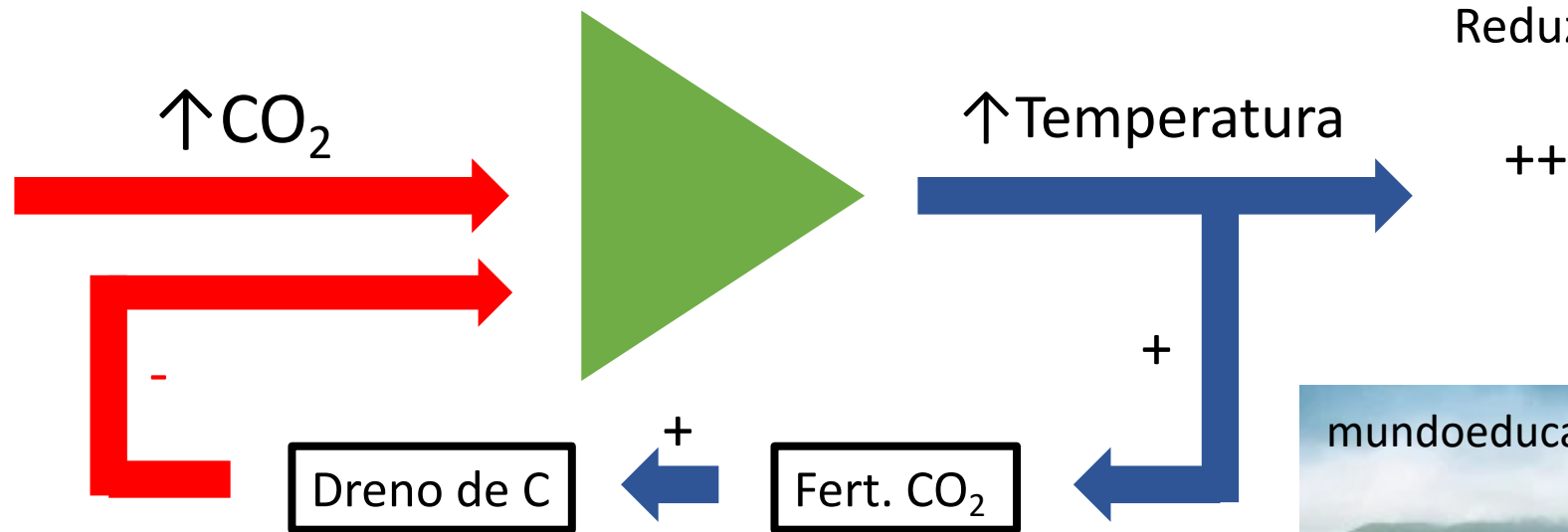
Inércia no sistema: retro-alimentação / *feedbacks*

Retro-alimentação negativa
Reduz o efeito da perturbação



Inércia no sistema: retro-alimentação / *feedbacks*

Retro-alimentação negativa
Reduz o efeito da perturbação



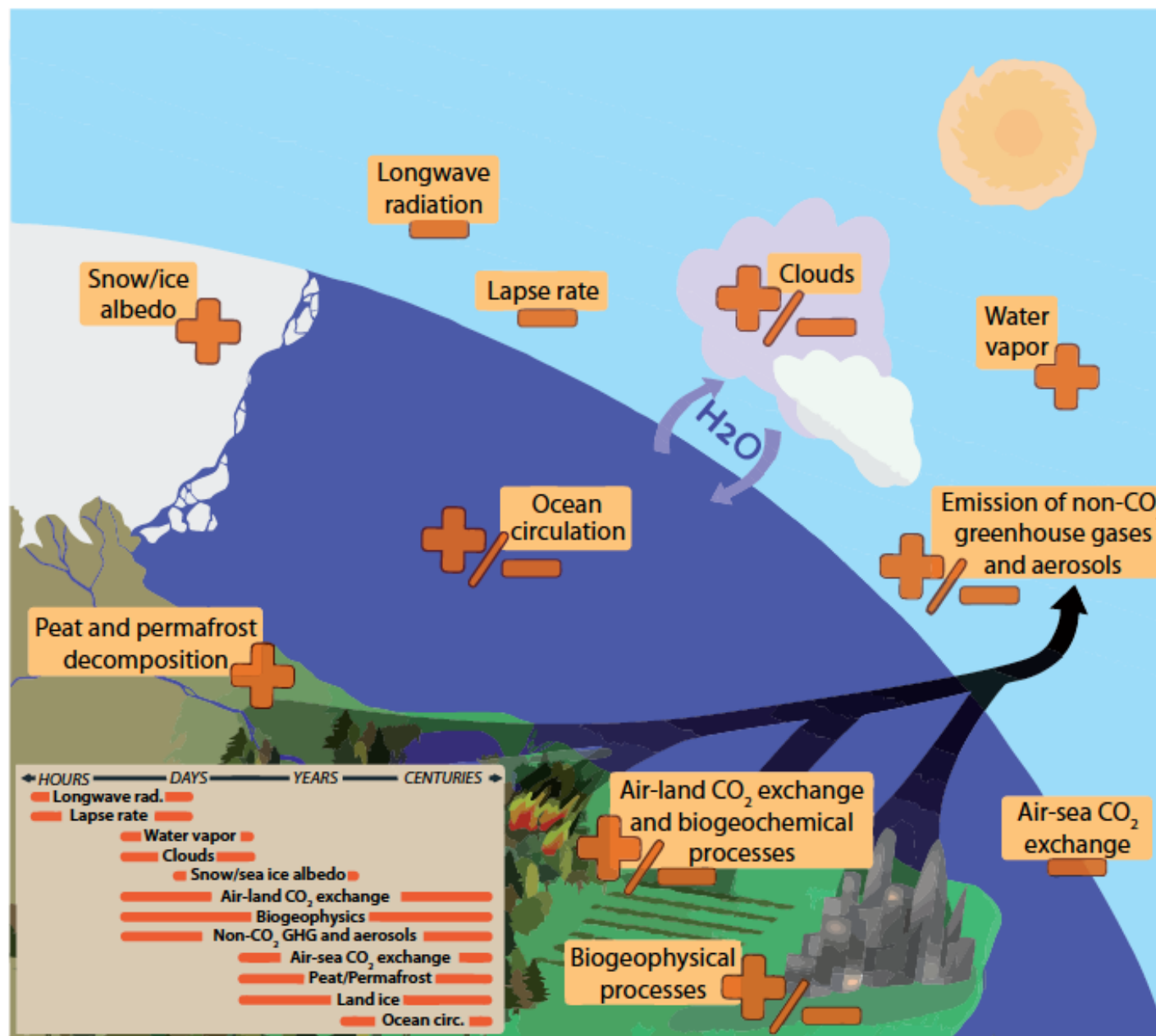
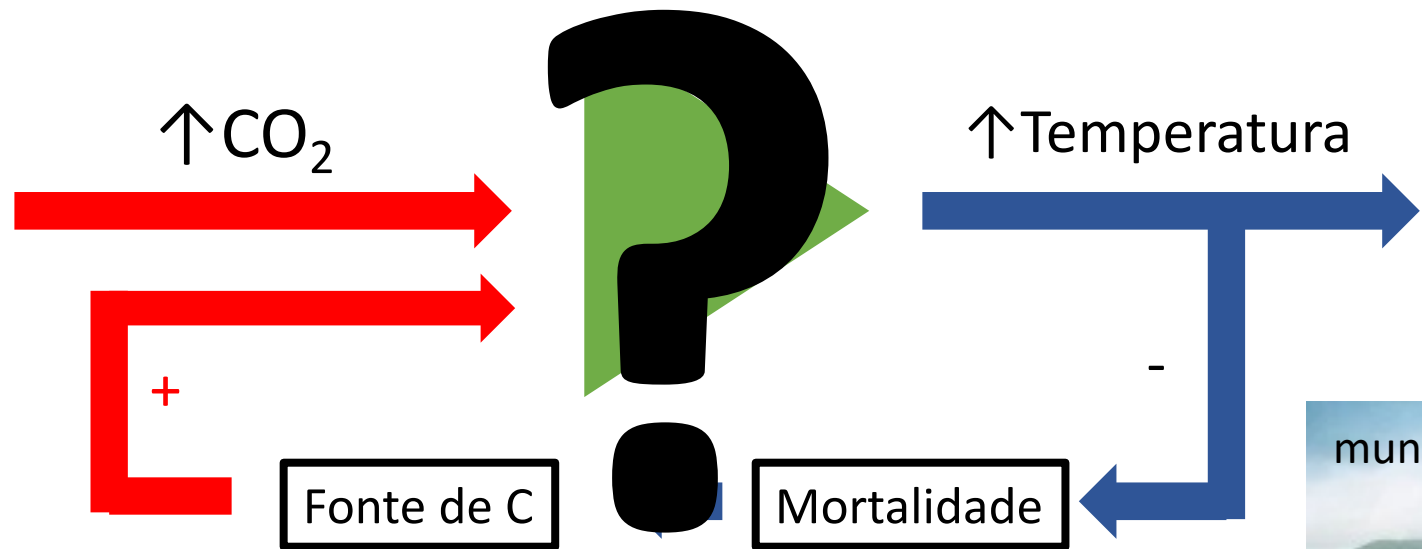


Figure 1.2 | Climate feedbacks and timescales. The climate feedbacks related to increasing CO₂ and rising temperature include negative feedbacks (-) such as LWR, lapse rate (see Glossary in Annex III), and air-sea carbon exchange and positive feedbacks (+) such as water vapour and snow/ice albedo feedbacks. Some feedbacks may be positive or negative (±): clouds, ocean circulation changes, air-land CO₂ exchange, and emissions of non-GHGs and aerosols from natural systems. In the smaller box, the large difference in timescales for the various feedbacks is highlighted.

Inércia no sistema: retro-alimentação / *feedbacks*



Retro-alimentação positiva
Potencializa o efeito da perturbação

++++

mundoeducacao.uol.com.br





smithsonianmag.com

Antropoceno



Antropoceno



Sustentabilidade

- Presume satisfazer as necessidades da geração presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer suas próprias necessidades.

Ser sustentável é?



Ser sustentável é?



Antropoceno



Caçador-coletor?

Sustentabilidade



OBJETIVOS  **DE DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL**

Sustentabilidade



OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

11 CAVERNAS E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS



Sustentabilidade



OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

11 CAVERNAS E
COMUNIDADES
SUSTENTÁVEIS



11 CIDADES E
COMUNIDADES
SUSTENTÁVEIS



Sustentabilidade



Sustentabilidade



Sustentabilidade

