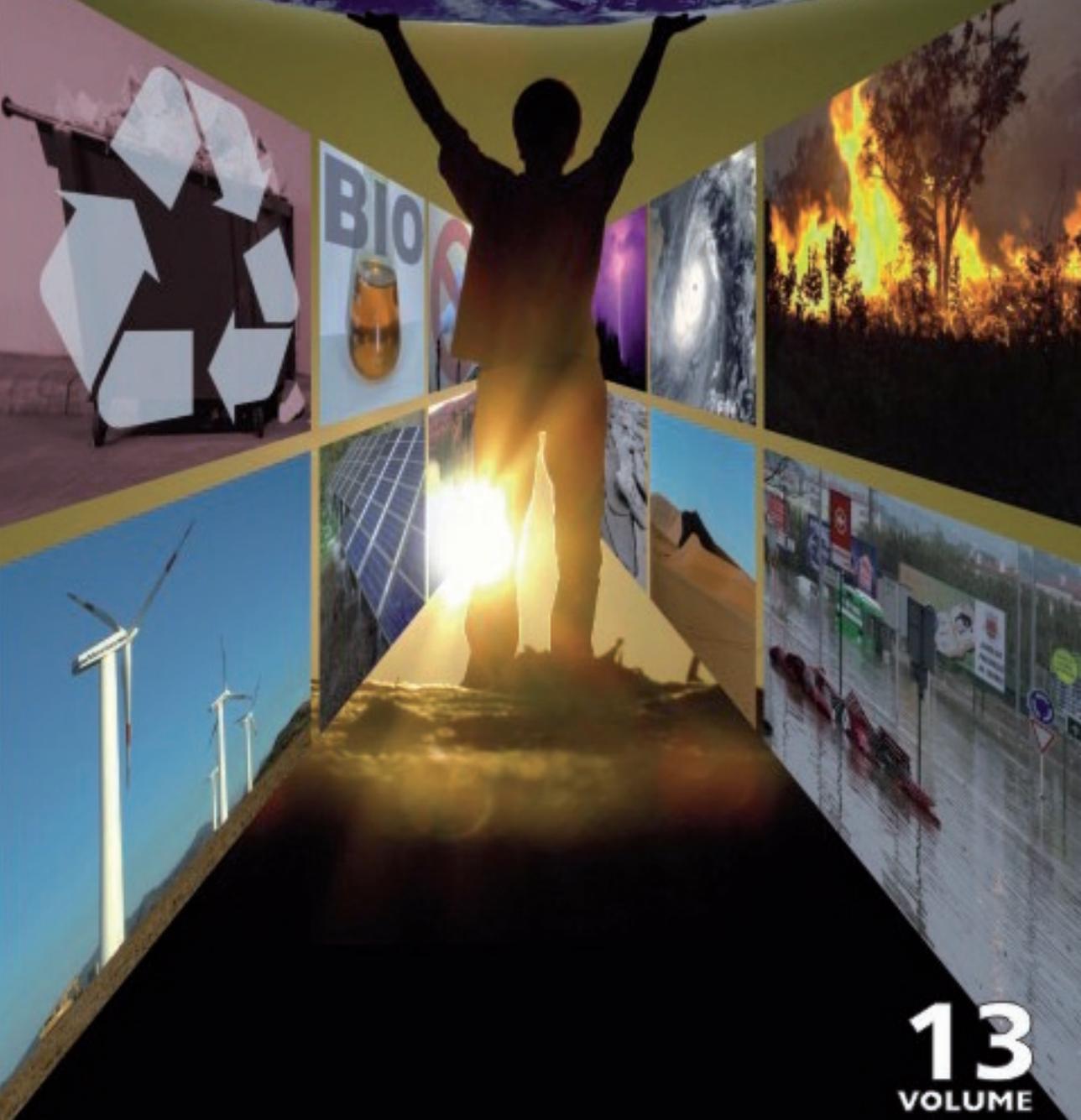


COLEÇÃO EXPLORANDO O ENSINO

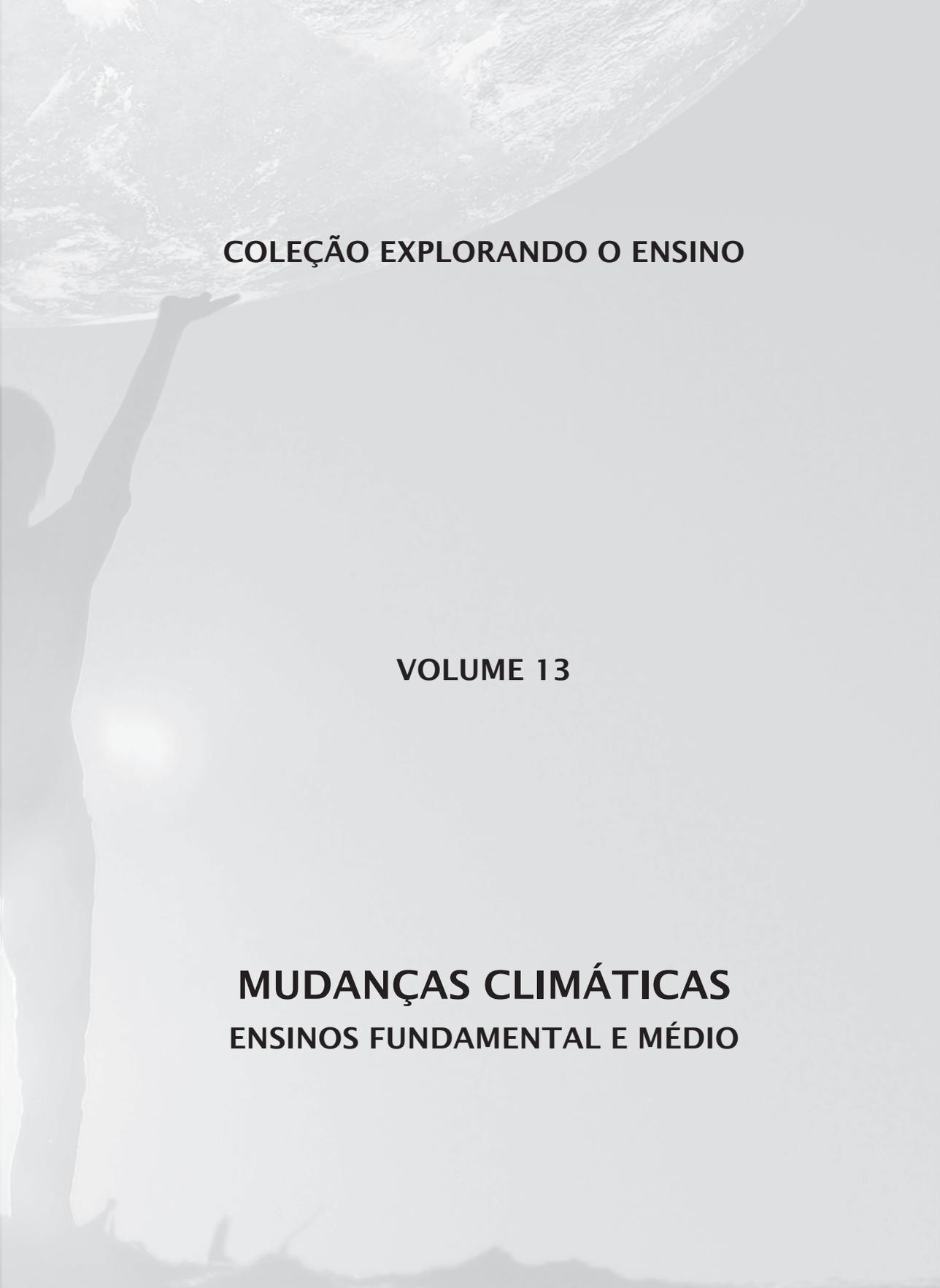
# MUDANÇAS CLIMÁTICAS



**13**  
VOLUME

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA





**COLEÇÃO EXPLORANDO O ENSINO**

**VOLUME 13**

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS**  
**ENSINOS FUNDAMENTAL E MÉDIO**

## COLEÇÃO EXPLORANDO O ENSINO

Vol. 1 - Matemática (Publicado em 2004)

Vol. 2 - Matemática (Publicado em 2004)

Vol. 3 - Matemática: Ensino Médio (Publicado em 2004)

Vol. 4 - Química

Vol. 5 - Química

Vol. 6 - Biologia

Vol. 7 - Física

Vol. 8 - Geografia

Vol. 9 - Antártica

Vol. 10 - O Brasil e o Meio Ambiente Antártico

Vol. 11 - Astronomia

Vol. 12 - Astronáutica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Centro de Informação e Biblioteca em Educação (CIBEC)

---

Oliveira, Gilvan Sampaio de.

Mudanças climáticas : ensino fundamental e médio / Gilvan Sampaio de Oliveira, Neilton Fidelis da Silva, Rachel Henriques. - Brasília : MEC, SEB ; MCT ; AEB, 2009.

348 p. -- : il. - (Coleção Explorando o ensino ; v. 13)

ISBN: 978-85-7783-017-6

CD Mudanças Ambientais Globais

1. Mudanças climáticas. 2. Ensino fundamental. 3. Ensino médio

I. Brasil. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica.

II. Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. III. Agência Espacial Brasileira. IV. Título.

CDU 551.583

---

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO  
BÁSICA

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA  
AGÊNCIA ESPACIAL  
BRASILEIRA  
INSTITUTO NACIONAL DE  
PESQUISAS ESPACIAIS

FORUM BRASILEIRO DE  
MUDANÇAS CLIMÁTICAS

# **MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

## **ENSINOS FUNDAMENTAL E MÉDIO**

BRASÍLIA  
2009

## Secretaria de Educação Básica

**Diretoria de Políticas de Formação, Materiais Didáticos e Tecnologias para Educação Básica**

**Diretoria de Concepções e Orientações Curriculares para Educação Básica**

**Coordenação-Geral de Materiais Didáticos**

**Coordenação-Geral de Ensino Médio**

## Agência Espacial Brasileira

### EQUIPE TÉCNICA

Andréa Kluge Pereira  
Cecília Correia Lima  
Elizângela Carvalho dos Santos  
José Ricardo Albernás Lima  
Lucineide Bezerra Dantas  
Lunalva da Conceição Gomes  
Maria Marismene Gonzaga

### EQUIPE DE APOIO

Andréa Cristina de Souza Brandão  
Leandro Pereira de Oliveira  
Paulo Roberto Gonçalves da Cunha

## COORDENAÇÃO

Ivette Maria Soares Rodrigues – ORG  
Gestora do Programa AEB Escola (AEB)

## AUTORIA

Gilvan Sampaio de Oliveira (Inpe) – ORG  
Neilton Fidelis da Silva (FBMC/Coppe/UFRJ) – ORG  
Rachel Henriques (IVIG/Coppe/UFRJ)

## CO-AUTORIA

Lana Cristina do Carmo – ORG

## REVISÃO TÉCNICA

Carlos Afonso Nobre (Inpe)  
Luiz Pinguelli Rosa (UFRJ)

## COLABORAÇÃO

Adelino Carlos de Souza (Uerj)  
Carlos Eduardo Quintanilha Vaz de Oliveira  
Claudete N. da Silva (AEB/Programa AEB Escola)  
David Lapola (Inpe)  
Ednaldo de Paiva Pereira (Cefet-RN, Coppe/UFRJ)  
Giovanni Dolif Neto (Cptec/Inpe)  
Jefferson C. Simões (UFRGS)  
Kristina Michahelles (Michahelles Jornalismo)  
Hélio Camargo Júnior (Inpe)  
João Batista Garcia Canalle (Uerj)  
José Fernando Pesquero (Inpe)  
Lana Nárcia Leite da Silveira (EEB)  
Leonardo da Silva Ribeiro (Coppe/UFRJ)  
Luis Fernando Salazar (Inpe)  
Manoel Ferreira Cardoso (Inpe)  
Marcos Barbosa Sanches (Inpe)  
Maria Emília M. Gomes (AEB/Programa AEB Escola)  
Maria Sílvia Muylaert de Araújo (PPE/Coppe/UFRJ)  
Marina Hirota Magalhães (Inpe)  
Rodrigo D. S. Monteiro (CEF 411 Samambaia/SEDF)

## REVISÃO GERAL

Kátia Chagas Lucio (Formata)

## REVISÃO ORTOGRÁFICA

Cely Curado

## PROJETO EDITORIAL

Kátia Chagas Lucio (Formata)

## PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Sueli Prates e Heluiza Bragança (AEB/Programa AEB Escola)

## CAPA

Rogério Castro (AEB/Programa AEB Escola)

Tiragem 73.634 exemplares

### MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SECRETARIA DE EDUCAÇÃO BÁSICA

Esplanada dos Ministérios, Bloco L, Sala 500  
CEP: 70047-900 Brasília – DF  
Tel. (61) 2104-8177 / 2104-8010 – <http://www.mec.gov.br>

### MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Av. dos Astronautas, 1759  
CEP: 12227-010 São José dos Campos – SP  
Tel. (12) 3945-6000 – <http://www.inpe.br>

### MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA

Setor Policial Sul (SPO), Quadra 3, Bloco A  
CEP: 70610-200 Brasília – DF  
Tel. (61) 3411-5000 / 3411-5678 – <http://www.aeb.gov.br>

### FÓRUM BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Prédio anexo ao Centro de Tecnologia  
Rua Pedro Calmon, S/Nº Cidade Universitária – Ilha do Fundão  
CEP: 21945-970 Rio de Janeiro – RJ  
Tel./Fax (21) 2562-8258 – [www.forumclima.org.br](http://www.forumclima.org.br)

# SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO | 11

INTRODUÇÃO | 19

## CAPÍTULO 1

**O CLIMA, UMA COMPLEXA TEIA DE FATORES | 23**

A ATMOSFERA, O GRANDE CENÁRIO | 26

As camadas da atmosfera | 27

GASES, CLIMA E EFEITO ESTUFA | 28

Sol: fonte de energia para a circulação atmosférica | 28

O QUE MANTÉM A TEMPERATURA DA TERRA | 31

Um fenômeno natural: o efeito estufa | 32

Terra-Atmosfera: um sistema em equilíbrio | 37

GASES DA ATMOSFERA E VAPOR D'ÁGUA: UMA QUÍMICA FUNDAMENTAL | 41

Ciclo do carbono | 41

Ciclo do nitrogênio | 43

Ciclo da água | 45

CONCLUINDO | 49



**LEITURA COMPLEMENTAR | 51**

OBSERVAÇÕES CIENTÍFICAS | 51



**ATIVIDADES | 53**

EFEITO ESTUFA | 53

PRESSÃO E DENSIDADE DO AR | 57

ALTERANDO A DENSIDADE | 61

COMO SE FORMAM AS BRISAS | 66

## CAPÍTULO 2

### MUDANÇAS CLIMÁTICAS NATURAIS | 71

A FORMAÇÃO DA TERRA E O CLIMA | 72

Evolução geológica da Terra | 75

INCLINAÇÃO E MOVIMENTOS DA TERRA ALTERNANDO A TEMPERATURA | 78

Eras glaciais e interglaciais na Teoria de Milankovitch | 79

AEROSSÓIS E TEMPERATURA TERRESTRE | 82

Vulcões resfriam a Terra? | 83

*EL NIÑO*, *LA NIÑA* E AS ÁGUAS DO PACÍFICO | 85

Compreendendo melhor o *El Niño* | 86

*La Niña*: um fenômeno oposto? | 88

CONCLUINDO | 90



### LEITURA COMPLEMENTAR | 92

O QUE DIZ A CIÊNCIA SOBRE A EVOLUÇÃO DA TERRA | 92



### ATIVIDADES | 97

A TERRA EM MOVIMENTO | 97

EIXO DE ROTAÇÃO DA TERRA | 101

FAZENDO SEU PRÓPRIO *EL NIÑO* | 106

## CAPÍTULO 3

### EVOLUÇÃO DA HUMANIDADE E DO CLIMA | 113

A humanidade muda, o clima muda | 114

A ENERGIA “AQUECE” O MUNDO | 118

Evolução do uso da energia | 121

- Estilo e qualidade de vida | 126
- O meio ambiente no mercado de energia | 127
- CONCLUINDO | 129



### **LEITURAS COMPLEMENTARES | 131**

- A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL | 131
- O USO DE ENERGIA NO MUNDO | 135



### **ATIVIDADES | 140**

- EFEITO ESTUFA INTENSIFICADO | 140
- VELOCIDADE DO VENTO | 143
- O EFEITO DO ALBEDO | 149

## **CAPÍTULO 4**

### **O MUNDO SE ORGANIZA DIANTE DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS | 155**

- AS NEGOCIAÇÕES EM TORNO DO CLIMA | 157
  - A Convenção sobre Mudança do Clima | 157
  - Metas da convenção | 160
  - Fóruns de discussão dos países – Conferências das Partes | 163
  - Na convenção, a Proposta Brasileira | 165
- O MUNDO CHEGA A UM ACORDO – PROTOCOLO DE QUIOTO | 168
  - Os instrumentos do protocolo | 169
  - Uma meta diferente para cada país | 170
  - Trocando emissões por ações ambientais | 171
  - Projetos de créditos de carbono do Brasil, da Índia e da China | 174
- CARBONO, UMA NOVA MOEDA | 177
- CONCLUINDO | 178



### **LEITURA COMPLEMENTAR | 180**

- TERMOS TÉCNICOS USADOS NO CAPÍTULO | 180



## **ATIVIDADES | 183**

INGREDIENTES DA ATMOSFERA | 183

ABSORVENDO CO<sub>2</sub> | 186

## **CAPÍTULO 5**

### **A LEITURA DO FUTURO NO PASSADO | 191**

GELO, A BIOGRAFIA DO PLANETA | 193

O estudo da história do clima | 194

O QUE OS ESTUDOS REVELAM | 195

Constatações do século 20 | 197

CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS FUTURAS | 200

Descrevendo cenários | 201

Uma perspectiva do futuro | 203

IMPACTOS NA AMÉRICA LATINA | 212

CONCLUINDO | 213



### **LEITURA COMPLEMENTAR | 214**

OS CONTINENTES E OS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS | 214



## **ATIVIDADES | 222**

OLHANDO PARA O PASSADO | 222

AQUECIMENTO E CONVECÇÃO | 225

DERRETIMENTO DO GELO E O NÍVEL DO MAR | 227

## **CAPÍTULO 6**

### **O BRASIL E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS | 233**

Os cenários nacionais | 234

Os impactos nos diferentes sistemas | 236

BRASIL: PROTAGONISTA NA QUESTÃO DO CLIMA | 242

- A Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima | 243
- O Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas | 245
- A Política e o Plano Nacional sobre Mudança do Clima | 247
- As emissões de gases de efeito estufa no Brasil | 250
- CONCLUINDO | 256



### **LEITURAS COMPLEMENTARES | 258**

- BRASIL: DESMATAMENTO E MUDANÇA DO CLIMA | 258
- USO DA TERRA E MUDANÇA DO CLIMA | 265



### **ATIVIDADES | 270**

- NUVENS E NÚCLEOS | 270
- O ORVALHO E O VAPOR DE ÁGUA | 274
- AS PLANTAS E O CLIMA | 280

## **CAPÍTULO 7**

### **O TEMPO DE AGIR CHEGOU? | 285**

- POSSÍVEIS CAMINHOS... | 287
- CONCLUINDO | 301



### **LEITURA COMPLEMENTAR | 302**

- ALÉM DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS | 302



### **ATIVIDADES | 306**

- VENTO: FONTE DE ENERGIA | 306
- ENERGIA SOLAR | 311

### **UM CONVITE À REFLEXÃO | 317**

**SALA DE PESQUISA | 321**

**REFERÊNCIAS | 331**

**APÊNDICE | 339**

CD “MUDANÇAS AMBIENTAIS GLOBAIS” | 339

PROGRAMA AEB ESCOLA - VIAJE NESSA IDÉIA! | 341

# APRESENTAÇÃO

A Secretaria de Educação Básica do Ministério da Educação (SEB/MEC), a Agência Espacial Brasileira (AEB/MCT), por meio do Programa AEB Escola, o Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas (FBMC) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) apresentam aos professores dos ensinos Fundamental e Médio mais um volume da Coleção Explorando o Ensino.

Nosso objetivo é apoiar o trabalho do professor em sala de aula, oferecendo um rico material didático-pedagógico relacionado às diversas disciplinas da grade curricular.

O volume 13 traz ao professor uma ampla gama de conhecimentos científicos sobre o aquecimento global, as mudanças climáticas e suas repercussões nas esferas social, ambiental e econômica.

Por sua abordagem multidisciplinar, os textos que compõem este volume permitem explorar conceitos que envolvem várias ciências: a Química, a Geologia, a Biologia, a Geografia, a História, a Física, a Sociologia, a Paleontologia, a Meteorologia, dentre outras, perpassando ainda os campos do direito, da ética e da política externa.

A cada hora, a humanidade injeta na atmosfera milhões de toneladas de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e nitrogênio e destrói áreas consideráveis de florestas tropicais. No mesmo intervalo, nascem milhares de pessoas no mundo e espécies são extintas.

As ações humanas têm interferido sobre o ambiente em um ritmo muito acelerado. Estudos indicam, por exemplo, que, enquanto a temperatura média da superfície subiu, aproximadamente, 5°C em 10 mil anos – contados desde o fim da última glaciação até 10 mil anos atrás –, pode-se elevar os mesmos 5°C em apenas 200 anos, se o ritmo de aquecimento global que se observa nas últimas décadas continuar.

Alguns limites já foram cruzados. Por exemplo, o gelo flutuante no Oceano Ártico diminui em extensão, a cada verão, e, praticamente, não se sabe como reverter este processo. Em poucas décadas, não haverá mais gelo sobre aquele oceano no final dessa estação, alterando radicalmente a vida marinha da região.

Essa rápida transformação levou Paul Crutzen, professor e Prêmio Nobel de Química, em 1995, a definir os últimos 200 anos a partir da Revolução Industrial como o “antropoceno”, num trocadilho ao neoceno, período na escala evolutiva da Terra em que apareceram os hominídeos, mesclado com o prefixo *antropos*, que vem do grego *antrophos*, que quer dizer homem ou pessoa. Seria uma ironia fina para dizer: nós nos consideramos o centro do universo, portanto, tudo está a nosso serviço.

O processo de transformação ambiental global se acentuou marcadamente nos últimos 50 anos, alimentado pela explosão populacional e pelo crescente consumo de energia, alimentos e materiais. Podemos dizer que, na geração de nossos pais e avós, não se tinha plena consciência dos efeitos do crescimento material quase sem limites. Sobrava uma confiança quase ilimitada de que a ciência e tecnologia sempre encontrariam soluções para os efeitos adversos do crescimento econômico sobre o ambiente.

A responsabilidade que recai sobre nossa geração e de nossos filhos e netos é sem precedentes. As mudanças ambientais globais continuam a ocorrer em crescente velocidade, mas agora, ao contrário da época das gerações anteriores,

não são inadvertidas. A ciência ambiental moderna, ainda que com as incertezas típicas da análise de sistemas complexos, trouxe os conhecimentos sobre os riscos futuros de continuarmos nessa trajetória insustentável a longo prazo.

As mudanças climáticas tornam ainda mais claro que a humanidade se encontra numa encruzilhada. O caminho aparentemente fácil do progresso material nos levou a uma crise ambiental gigantesca e há claros limites da capacidade de adaptação à magnitude das mudanças ambientais previstas.

O *Homo sapiens* deve evoluir para o *Homo planetaris* por meio de uma revolução ética, na qual a eterna busca da felicidade se dê com respeito a todas as formas de vida e com solidariedade a muitos que ainda não atingiram padrões dignos de existência. É necessário pensarmos em uma revolução ética e filosófica que nos recoloca apenas como uma parte a mais dessa complexa engrenagem que é o Sistema Terrestre.

Aqui no Brasil, ao contrário do que ocorre em muitos países, a grande contribuição nas emissões de gases para a atmosfera não é do sistema energético, que possui importante componente de energia renovável, mas, sim, do desmatamento e das queimadas, principalmente na Amazônia e no Cerrado.

Muitos países, inclusive o Brasil, vêm promovendo ações, visando à mitigação da mudança do clima, de forma a contribuir para o alcance da sustentabilidade da vida na Terra.

O tema Mudanças Climáticas, como se vê, vai além da multidisciplinaridade, é multifacetado. Portanto, vincula-se a todas as disciplinas ou áreas trabalhadas em salas de aula. Estamos certos de que todos encontrarão nesta obra um material diferenciado que irá enriquecer o cotidiano escolar.

A equipe do AEB Escola e todos aqueles que contribuíram para a consecução deste livro desejam a você, professor/a, e aos seus alunos, uma instigante caminhada por um dos temas mais debatidos internacionalmente nos últimos anos.

O livro está dividido em sete capítulos, enriquecidos com imagens, ilustrações e sala de pesquisa. A seguir, apresentamos uma breve descrição da sistemática utilizada.

## Estrutura de cada capítulo

### 1ª Seção – Temática

É o “corpo” do capítulo, que aborda o tema descrito no seu título. Ao longo da seção, o leitor encontrará elementos interativos e informativos adicionais, incluindo:



**Box “Saiba mais”** — explica ou complementa o que o autor está desenvolvendo. Alguns são elaborados pelo próprio autor da seção e outros por especialistas e colaboradores da Agência Espacial Brasileira (AEB).



**Box “Pense nisso!”** – amplia alguma questão abordada pelo autor, relacionando-a com informações complementares que podem levar o leitor a ir além da compreensão da leitura e, também, refletir sobre a temática.



**Glossário** – palavras ou expressões menos usuais, ou mais complexas, são marcadas no texto com cor diferente e seu significado está expresso na margem lateral do texto.



**Caixa de destaque** – box pequeno, com ícone, inserido ao longo do texto, de leitura rápida, que representa um reforço ou uma complementação ao texto principal.

**Biografias** – informações sobre a vida de alguns nomes importantes citados na obra. Estão dispostas na margem lateral do texto.



## **2ª Seção – Leitura complementar**

Traz textos de autores diversos que ampliam a abordagem desenvolvida na seção temática. Nesta seção, também são utilizados os recursos didáticos apresentados na seção anterior.



## **3ª Seção – Atividades**

Apresenta sugestões de atividades relacionadas à temática explorada no capítulo, as quais já foram realizadas e validadas em sala de aula e em cursos do Programa AEB Escola. Inserida ao final de cada capítulo.

## **Seções genéricas**

No final do volume, é apresentada uma seção específica intitulada “Sala de pesquisa”. Há também uma lista de referências consultadas ou utilizadas, além de um apêndice com informações específicas sobre o Programa AEB Escola:

### **Sala de pesquisa**

Apresenta sugestões de referências bibliográficas, sítios, filmes e outros elementos para aprofundamento ou ilustração da temática tratada em todo o livro. Disciplinas que podem ser trabalhadas na escola com o apoio do volume ‘Mudanças Climáticas’.

### **Apêndice**

O CD interativo “Mudanças Ambientais Globais” utiliza recursos multimídia para explorar, de forma envolvente, os conteúdos do livro e estimular a reflexão sobre as repercussões e impactos das mudanças ambientais globais na América do Sul, em particular sobre o Brasil, considerando, inclusive, cenários futuros.

## Disciplinas que podem ser trabalhadas na escola com o apoio do volume “Mudanças Climáticas”

<b>CAPÍTULO</b>	<b>SEÇÃO</b>	<b>ÁREAS PREDOMINANTES</b>
<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>TEMÁTICA</b>	
	O clima, uma complexa teia de fatores	Geografia, física, química, biologia, matemática e ciências
	<b>LEITURA COMPLEMENTAR</b>	
	Observações científicas	Geografia, história, física, química, biologia, matemática e ciências
	<b>ATIVIDADES</b>	
	Efeito estufa	Física, química, biologia, matemática, ciências e artes
	Pressão e densidade do ar	Geografia, física, química, biologia, matemática, ciências e artes
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>TEMÁTICA</b>	
	Mudanças climáticas naturais	Geografia, história, física, química, biologia e matemática
	<b>LEITURA COMPLEMENTAR</b>	
	O que diz a ciência sobre a evolução da Terra	Geografia, história, física, biologia e matemática
	<b>ATIVIDADES</b>	
	A Terra em movimento	Geografia, história, física, biologia, matemática, ciências e artes
	Eixo de rotação da Terra	Geografia, história, física, biologia, matemática, ciências e artes
Fazendo seu próprio <i>El Niño</i>	Geografia, história, física, biologia, matemática, ciências e artes	

<b>CAPÍTULO</b>	<b>SEÇÃO</b>	<b>ÁREAS PREDOMINANTES</b>
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>TEMÁTICA</b>	
	Evolução da humanidade e do clima	Geografia, história, química, biologia, matemática, sociologia e ciências
	<b>LEITURAS COMPLEMENTARES</b>	
	A Revolução Industrial	História, geografia, matemática sociologia e física
	O uso de energia no mundo	Geografia, história, física, química, matemática e sociologia
	<b>ATIVIDADES</b>	
	Efeito estufa intensificado	Geografia, história, física, biologia, matemática, ciências e artes
	Velocidade do vento	Geografia, história, física, biologia, matemática, ciências e artes
	O efeito do albedo	Geografia, física, química, biologia, matemática, ciências e artes
	<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>TEMÁTICA</b>
O mundo se organiza diante das mudanças climáticas		Geografia, história, química, matemática e sociologia
<b>LEITURA COMPLEMENTAR</b>		
Termos técnicos usados no capítulo		Geografia, história e química
<b>ATIVIDADES</b>		
Ingredientes da atmosfera		Geografia, física, química, biologia, matemática, ciências e artes
<b>CAPÍTULO 5</b>		
	<b>TEMÁTICA</b>	
	A leitura do futuro no passado	Geografia, história, física, química, biologia, matemática, ciências e sociologia
	<b>LEITURA COMPLEMENTAR</b>	
	Os continentes e os impactos das mudanças climáticas	Geografia, história, física, química, biologia, matemática, ciências e sociologia

<b>CAPÍTULO</b>	<b>SEÇÃO</b>	<b>ÁREAS PREDOMINANTES</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> (continuação)	<b>ATIVIDADES</b> Olhando para o passado	Geografia, história, física, biologia, química, matemática, ciências e artes	
	Aquecimento e convecção	Geografia, história, física, biologia, química, matemática, ciências e artes	
	Derretimento do gelo e o nível do mar	Geografia, história, física, biologia, química, matemática, ciências e artes	
<b>CAPÍTULO 6</b>	<b>TEMÁTICA</b> O Brasil e as mudanças climáticas	Geografia, história, biologia, química e sociologia	
	<b>LEITURAS COMPLEMENTARES</b>		
	Brasil: desmatamento e mudança do clima	Geografia, história, biologia, matemática e ciências	
	Uso da terra e mudança do clima	Geografia, história, biologia, matemática e ciências	
	<b>ATIVIDADES</b>		
	Nuvens e núcleos	Física, química, biologia, ciências e artes	
	O orvalho e o vapor de água	Geografia, física, química, biologia, ciências e artes	
	As plantas e o clima	Geografia, física, química, biologia, ciências e artes	
	<b>CAPÍTULO 7</b>	<b>TEMÁTICA</b> O tempo de agir chegou?	Geografia, história, biologia, matemática e sociologia
		<b>LEITURA COMPLEMENTAR</b> Além das mudanças climáticas	Geografia, química e biologia
<b>ATIVIDADES</b>			
Vento: fonte de energia		Geografia, história, física, biologia, matemática, ciências, sociologia e artes	
Energia solar		Geografia, história, física, biologia, matemática, ciências, sociologia e artes	

# INTRODUÇÃO

Quando o homem foi à Lua, na década de 60, a humanidade sentiu-se invadida por sentimentos de espanto, prazer, orgulho e, por que não dizer, incredulidade. Imagens dos astronautas saltitando, felizes como crianças brincando num quintal, estão gravadas na nossa memória até hoje.

Todavia, a descoberta mais significativa, registrada naquela viagem, foi a do nosso planeta, a Terra. Bonita, redonda, um globo azul envolto em “pedaços de algodão” – como uma jóia rara, depositada numa caixa escura junto a outras preciosidades, muitas das quais ainda por se descobrir –, a Terra ganhou uma nova dimensão. Desde então, a temática ambiental passou a integrar as preocupações da nossa civilização.

Há algum tempo, vimos que os recursos naturais nos parecem reduzidos, sem capacidade de regeneração frente à rápida intervenção humana que ocorre sobre eles. As florestas e as savanas estão sendo sobreexploradas e invadidas por atividades da agropecuária e da indústria madeireira. Os ecossistemas estão sob pressão.

Embora as fotos que os satélites continuam a nos enviar de lá do espaço ainda retratem aquele mesmo santuário azulado, uma análise mais acurada nos mostra alterações específicas, como terras, antes cobertas por matas, hoje escalpeladas. Onde está o problema, então?

Está aqui mesmo. Em nossa cidade, em nosso estado, em nosso país. O planeta mudou porque a humanidade avançou sobre os recursos naturais sem observar alguns parâmetros, sem atentar para algumas regras escritas pela própria natureza

e evidenciadas a cada grande acidente ambiental, como os quadros de calor atípicos em épocas incomuns e episódios de chuvas intensas.

O nosso reduzido conhecimento sobre as variáveis que conformam o equilíbrio do planeta nos deixa à mercê das informações que nos chegam pelos meios de comunicação. Não raras vezes, ouvimos projeções alarmantes sobre as mudanças climáticas e o futuro do nosso planeta, as quais, quase sempre, estão associadas a grandes catástrofes ambientais.

No entanto, quando se fala em mudanças climáticas, não há muitas referências que possam orientar o trabalho dos educadores. Pensando nisso foi que o livro aqui apresentado ganhou forma.

O que se pretende é oferecer às escolas do Ensino Médio e Fundamental de todo o País o mais atual conhecimento científico sobre o tema e, assim, suprir a carência por dados compilados e organizados cientificamente.

Essa iniciativa coaduna-se com o pioneirismo do Brasil em debater a questão. Afinal, foi justamente no nosso país que o tema das mudanças climáticas foi debatido amplamente na Conferência do Meio Ambiente, a Rio-92. O dilema tantas vezes discutido, na época, era: como sustentar um modelo de crescimento econômico capaz de garantir emprego e meios de sobrevivência econômica aos seus habitantes, reduzindo os impactos ao meio ambiente?

A pergunta se mantém viva, por isso, ainda é desafiador abordar o tema, mesmo quase duas décadas depois. O que se busca com a obra ora ofertada é mostrar não só o panorama político-institucional em que se insere o tema, mas ir além: entender qual a relação da Terra com a atmosfera e onde essa ligação pode ser a resposta para o cenário em que vivemos; saber historicamente como o clima chegou ao que é hoje; conhecer os efeitos das mudanças climáticas e apresentar alternativas de ações que sejam capazes de amenizar esses efeitos, observados pelos cientistas.

Por seu caráter multidisciplinar, o livro certamente será para você, professor/a, uma chance de aprofundar conhecimentos

importantes abordados em diferentes disciplinas. E, o mais importante, pode contribuir para que os alunos sejam instigados a participar do debate sobre o tema, emitindo suas opiniões. Além disso, pode ajudá-los na reflexão de como agir para minimizar os efeitos desse processo.

Não se tem aqui a pretensão de esgotar o assunto, considerando que o tema é complexo e não se resume em, simplesmente, entendermos sua relação com a concentração de gases emitidos pelas atividades humanas. Também não se pretende provocar alarde, mas, antes de tudo, levar à reflexão. O gestor, o administrador e o pesquisador de amanhã, que hoje ocupam os bancos das escolas, deverão ser pró-ativos, conhecedores de seus compromissos com a saúde e a preservação do planeta.

A presente obra surgiu de uma parceria entre o Programa AEB Escola, da Agência Espacial Brasileira (AEB), o Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas (FBMC), instância formada por integrantes do setor público e da sociedade – que auxilia na formulação e na execução das políticas públicas voltadas para as mudanças climáticas –, e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), por ser um dos principais centros mundiais de pesquisa sobre o tema.

Tendo como seu objetivo primordial conscientizar a sociedade sobre o cenário de mudanças climáticas e suas conseqüências, o FBMC convidou o AEB Escola e o Inpe a ajudá-lo nesta tarefa. A parceria se justifica pela missão do AEB Escola de conscientizar os jovens da importância crescente e do caráter indispensável das atividades espaciais, enquanto fornece aos educadores meios de fomentar o interesse de seus alunos pela ciência e pela tecnologia. Além disso, é fato que o tema das mudanças climáticas tem estreita relação com a área espacial, uma vez que a aplicação das ciências espaciais oferece subsídios para o monitoramento ambiental.

O tema abordado neste livro ousa despertar a todos. E é preciso estar preparado para lidar com ele. Então, mãos à obra, porque o primeiro passo para enfrentar um problema é conhecê-lo.



André Silva (AEB/Programa AEB Escola),

# capítulo 1

## O CLIMA, UMA COMPLEXA TEIA DE FATORES

O século 21 nos trouxe grandes desafios. Primeiramente, tornou-se fundamental entender o que está acontecendo com o clima em escala planetária, provocando mudanças cada vez mais perceptíveis – e preocupantes – nos diversos pontos do planeta. Em segundo lugar, a partir desse entendimento, impõe-se a tarefa de traçar estratégias de ação, em plano tanto global quanto local, com vistas a preservar a vida na Terra como a conhecemos.

Os alertas vêm de antes. Nas últimas décadas, não faltaram vozes para anunciar que mudanças profundas se aproximavam. Mas levaria algum tempo para que as evidências de alterações no clima se tornassem visíveis a ponto de despertar interesse e preocupação em escala mundial.

### *O tempo de entender chegou. Por onde começar?*

Esta é uma pergunta que demandará não uma, mas várias respostas. A maioria delas surgirá de nossa compreensão do funcionamento do clima na Terra a partir das relações entre os diversos fatores que o determinam. Este capítulo se propõe a iniciar nosso estudo focando a atenção no espaço onde esses elementos interagem e determinam os rumos do clima: a atmosfera terrestre.

A atmosfera é fundamental para a vida na Terra. As razões vão muito além do fato de ela conter o ar que respiramos. A atmosfera é um imenso **fluido** com partículas que envolvem e protegem o planeta, assegurando que seus elementos sejam preservados nas condições naturais. Para que a água seja mantida em estado líquido, por exemplo, é preciso que a atmosfera assegure temperatura e pressão ideais.



**Fluido:** gás ou líquido que assume qualquer forma sem esforço.

A atmosfera terrestre reúne condições ideais para filtrar a radiação nociva que vem do espaço. É ainda na atmosfera que se iniciam os processos que darão origem aos fenômenos climáticos. Para que estes ocorram, é preciso que fatores distintos combinem-se e atuem no âmbito da atmosfera.



*Os raios do Sol levam cerca de oito minutos para chegar à superfície terrestre e percorrer uma distância aproximada de 150 milhões de quilômetros.*

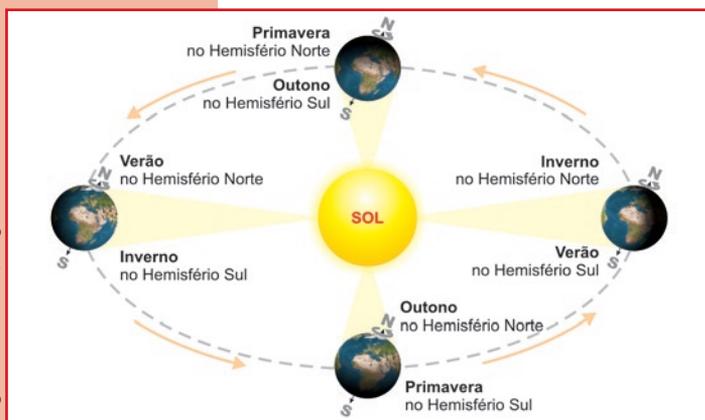
Mas que fatores são esses? Qual sua origem? Qual sua intensidade real na determinação dos rumos do clima em nosso planeta?

Um olhar mais amplo nos conduzirá para além dos limites da atmosfera. Lá estão os primeiros determinantes – que chamaremos de “fatores externos” – de uma extensa cadeia de causas e efeitos. Vamos olhar com mais atenção, portanto, para o início dessa jornada: a ação da radiação solar.

A distância entre o Sol e a Terra é decisiva para que apenas uma parcela da radiação solar alcance nosso planeta. E, ao chegar à Terra, essa parcela da radiação solar não se distribui de maneira uniforme. O planeta é “bombardeado” por ela em proporções variáveis. Em outras palavras, a radiação solar

atinge a Terra com diferentes intensidades, a depender de uma série de determinantes.

Um desses determinantes é o fato de que o eixo de rotação da Terra está inclinado em relação à perpendicular ao plano da órbita. Esse



Rogério Castro (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 1.1. Posição da Terra em relação ao Sol, nas quatro estações, nos dois hemisférios.

fator é fundamental nas implicações dos efeitos da radiação. Essa inclinação é que faz com que os hemisférios recebam diferentes quantidades de radiação.

De dezembro a março, o Hemisfério Sul recebe mais energia do Sol do que o Hemisfério Norte, período em que ocorre o verão no Hemisfério Sul e o inverno no Hemisfério Norte. De junho a setembro ocorre o oposto, sendo inverno no Hemisfério Sul, e verão no Hemisfério Norte.

### ***E se o eixo de rotação da Terra não fosse inclinado em relação à perpendicular ao plano de sua órbita?***

Se o eixo de rotação fosse perpendicular ao plano da órbita, não existiriam as diferentes estações do ano como as conhecemos, pois ambos os hemisférios receberiam a mesma quantidade de radiação solar durante todo o ano. A atual inclinação do eixo de rotação da Terra em relação à perpendicular ao plano da órbita em torno do Sol é de 23,5 graus ( $23^{\circ}27'$ ), conforme pode ser visto na Figura 1.2.

Somente em duas datas do ano, os hemisférios recebem radiação em proporções iguais: 21 e 22 de março, 22 e 23 de setembro. Essas datas correspondem ao início da primavera e do outono, dependendo do hemisfério.

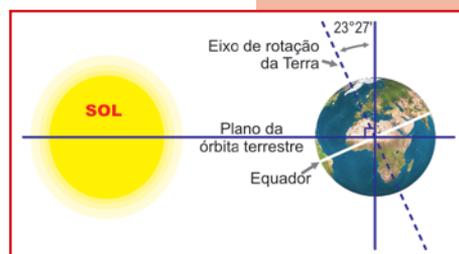


Figura 1.2. Plano da órbita terrestre e eixo de rotação da Terra.

Nesse momento, é possível perceber o quanto a incidência de radiação solar é um fator importante: o início e o término das estações do ano são determinados pela intensidade dessa radiação sobre os hemisférios do planeta. Como se pode constatar, a posição da Terra em relação ao Sol, em si, já é um fator que influencia nos fenômenos climáticos.

As mudanças nas estações do ano trazem as alterações climáticas mais visíveis aos nossos olhos. Essas mudanças, que tendem a se repetir de maneira relativamente uniforme, nos são familiares e reconhecíveis pelos seus sinais mais evidentes: clima mais úmido ou mais seco, temperatura mais elevada ou mais baixa. É dessa forma que reconhecemos a chegada das estações.

É também dessa maneira que identificamos as mudanças nos ciclos químicos e biológicos que se processam em todos

os pontos do planeta. Não é preciso grande esforço de memória para lembrar que o período de reprodução de muitas espécies ocorre na primavera, da mesma forma que a hibernação de certas espécies se dá no inverno. São exemplos simples que revelam, na realidade, uma perfeita sincronia da vida em relação às diversas estações do ano.

Mas a cadeia de eventos que determina o clima na Terra não se encerra com a ação dos fatores externos sobre a ocorrência das estações. Além de movimentar a maioria dos ciclos químicos e biológicos, a radiação solar é responsável pelos movimentos na atmosfera e nos oceanos. Estamos falando, então, de um processo que se amplia e envolve outros componentes igualmente importantes. É nesse momento que entram em cena os fatores internos, tais como a distribuição dos continentes, a disponibilidade de fontes de umidade, relevo, vegetação etc. Todavia, quando a radiação solar chega até a Terra, ocorrem diversos processos que serão discutidos mais adiante.

A análise passa, antes de tudo, pela exata compreensão do grande palco onde a maioria desses fatores ocorre. Vamos, então, retornar à nossa abordagem sobre a atmosfera da Terra, desta vez de forma mais detida e concentrada nos processos diretamente relacionados às mudanças climáticas.

## **A ATMOSFERA, O GRANDE CENÁRIO**

No início deste capítulo, vimos que a atmosfera da Terra é um imenso fluido que nos envolve e nos protege. Ela existe por causa da força gravitacional, que evita que os gases se dispersem no espaço e faz com que fiquem concentrados, principalmente quando estamos próximos à superfície. Portanto, quanto mais próxima do solo, maior a densidade da atmosfera. A regra vale também no sentido inverso: quanto maior a altitude, menor a densidade. Ou seja, o ar fica mais rarefeito. Esse decréscimo é bastante rápido, de modo que, a 16 km de altitude a partir da superfície, a densidade da atmosfera já é cerca de 10% daquela verificada ao nível do mar.

## As camadas da atmosfera

A atmosfera é composta por várias camadas, cada qual com características, propriedades e razão de ser peculiares. E a Terra depende, no mesmo grau de importância, de todas essas camadas.

Vamos conhecer melhor cada uma delas, a começar pela camada inferior, chamada de troposfera. Na sequência, sempre partindo da superfície, vêm a estratosfera, a mesosfera e a termosfera.

A troposfera se estende desde a superfície até uma altitude média de 12 km. No Equador, a extensão da troposfera, a partir da superfície, é de 20 km e, nos pólos, é de 8 km. Nela, a temperatura diminui com a altitude. Ou seja: quanto mais alto, mais frio. É nesta camada que ocorrem essencialmente todos os fenômenos meteorológicos que caracterizam o tempo: nuvens, furacões, tornados, frentes frias, chuvas etc.

Na sequência, vem a estratosfera, até uma altitude de cerca de 50 km. É uma camada em que a temperatura aumenta com a altitude, por causa da absorção da radiação ultravioleta do Sol pelo ozônio. É na estratosfera que se situa a camada de ozônio.

A partir da estratosfera, até cerca de 80 km da superfície, vem a mesosfera. Nela, a temperatura diminui com a altitude.

A última das camadas é a termosfera, que se estende desde a mesosfera até o espaço, e onde a temperatura é inicialmente **isotérmica** e, depois, cresce rapidamente com a altitude, como resultado da absorção de ondas muito curtas da radiação solar, por átomos de oxigênio e nitrogênio.

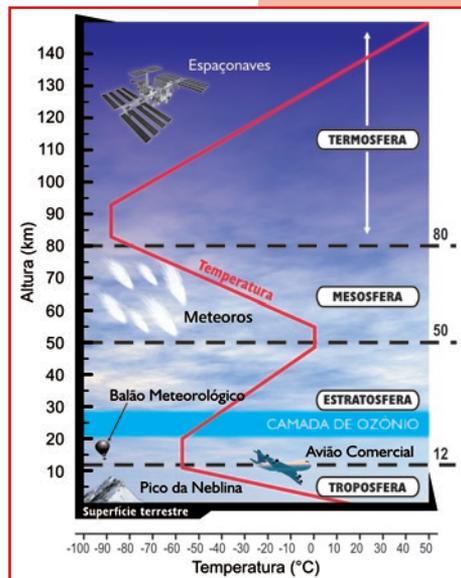


Figura 1.3. Variação da temperatura do ar nas camadas da atmosfera.

André Silva (AEB/Programa AEB Escola) e Rogério Castro (AEB/Programa AEB Escola).



**Isotérmica:**  
temperatura constante.



**Tempo:** refere-se às condições meteorológicas instantâneas vigentes em determinado lugar. Estado atmosférico.

**Clima:** geralmente definido como a média do tempo ou, de forma mais rigorosa, como uma descrição estatística de certas variáveis (temperatura, chuva, vento etc.), em termos da sua média e variabilidade, em um certo período de tempo, variando de um mês a milhares de anos.



**Aerossol:** conjunto de pequenas massas líquidas ou sólidas que podem se locomover pelo ar ou se tornar aéreas por força de um processo físico qualquer, como o vento ou um trator puxando o arado.

## GASES, CLIMA E EFEITO ESTUFA

Os gases que compõem a atmosfera são determinantes para a ocorrência dos diferentes fenômenos do **tempo** e do **clima**. São eles:

- 78% de nitrogênio
- 21% de oxigênio
- 0,93% de argônio
- 0,038% de dióxido de carbono e demais gases com menor concentração, tais como neônio, hélio, metano, kriptônio, hidrogênio, ozônio etc
- 0,001% de vapor d'água

Se excluirmos desta lista o vapor d'água, teremos os gases que compõem o ar seco da atmosfera.

Como você pode constatar, o nitrogênio e o oxigênio ocupam até 99% do volume do ar seco e limpo. A parte restante, 1%, é ocupada principalmente pelo gás inerte, argônio. Embora estes elementos sejam abundantes, eles têm pouca influência sobre os fenômenos climáticos.

A importância de um gás ou **aerossol** não está relacionada à sua abundância relativa. Por exemplo, embora a concentração de dióxido de carbono na atmosfera terrestre esteja em torno de 0,038%, ele é um importante gás para o fenômeno chamado “efeito estufa”, que será discutido mais à frente.

## Sol: fonte de energia para a circulação atmosférica

Um passeio à beira-mar pode ser um bom momento para a comprovação de um interessante fenômeno atmosférico. A suave presença de uma brisa pode ensinar muito mais do que se presume. Isso ocorre porque a brisa é a prova de que a atmosfera terrestre está em movimento permanente. Não há nada de acidental na brisa. Ela tem uma razão de ser, como

todo e qualquer fenômeno natural. Brisa é uma forma de vento e os ventos são causados por um “aquecimento diferencial”.

***Brisa é uma forma de vento. Ventos são causados por um “aquecimento diferencial”. Vejamos o que vem a ser isso.***

Ao caminhar pela praia, sentindo um vento suave no rosto, nem nos passa pela cabeça que essa sensação tem como causa as diferenças de temperatura entre o continente e a água do mar. Isso acontece porque, como o **calor específico** da água é maior do que o do continente, a temperatura da superfície no continente se torna maior do que a da água. Com isso, haverá uma diferença de temperatura entre o ar próximo da superfície continental e o ar próximo da água do mar.

Esta diferença de temperatura irá gerar uma diferença de pressão atmosférica – e, onde a temperatura do ar estiver relativamente maior (sobre o continente), a pressão atmosférica será menor, e vice-versa. Daí, surge uma corrente de ar, chamada de vento, que irá tentar equilibrar esta diferença de temperatura, soprando da região de pressão atmosférica mais alta para a de pressão atmosférica mais baixa. Ou seja, do mar em direção ao continente (Figura 1.4). Este fenômeno é chamado de “brisa marítima”.

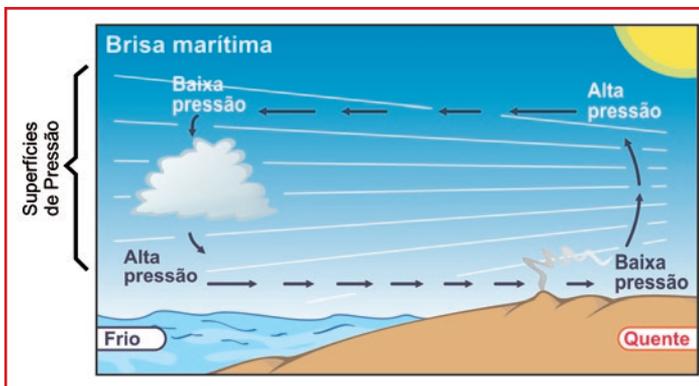


Figura 1.4. Entendendo o fenômeno conhecido como “brisa marítima”.

O inverso ocorre à noite, quando o continente resfria-se mais rapidamente do que a água do mar, fazendo com que



**Calor específico:** quantidade de energia térmica necessária para elevar de um grau a temperatura de uma unidade de massa de uma substância. Por exemplo, 1 caloria de energia é requerida para elevar a temperatura de 1 grama de água em 1 grau Celsius.

o aquecimento diferencial seja oposto: relativamente mais quente sob o mar e relativamente mais frio sob o continente. Com isso, surge um vento do continente para o mar, chamado de “brisa terrestre”.

Saiba mais...



### Aprofundando uma questão importante

A troposfera possui uma circulação média chamada circulação geral da atmosfera. Em cada hemisfério existem três células de circulação (Hadley, Ferrel e Polar) que têm a tarefa de manter o balanço de calor na Terra (Figura 1.5). Na zona entre o Equador e aproximadamente 30° de latitude, Norte ou Sul, a circulação se dirige para o Equador na superfície e para os pólos em nível superior da troposfera, formando a célula de Hadley. O ar quente ascendente no Equador, e que chega até o topo da troposfera, fornece energia para alimentar esta célula de circulação. O ar é descendente numa zona entre 20° e 35° de latitude. A circulação entre 30° e 60° de latitude é oposta à da célula de Hadley. No caso da célula Polar, a circulação é semelhante à da célula de Hadley, com ar descendente nos pólos e ar ascendente em torno de 60° de latitude.

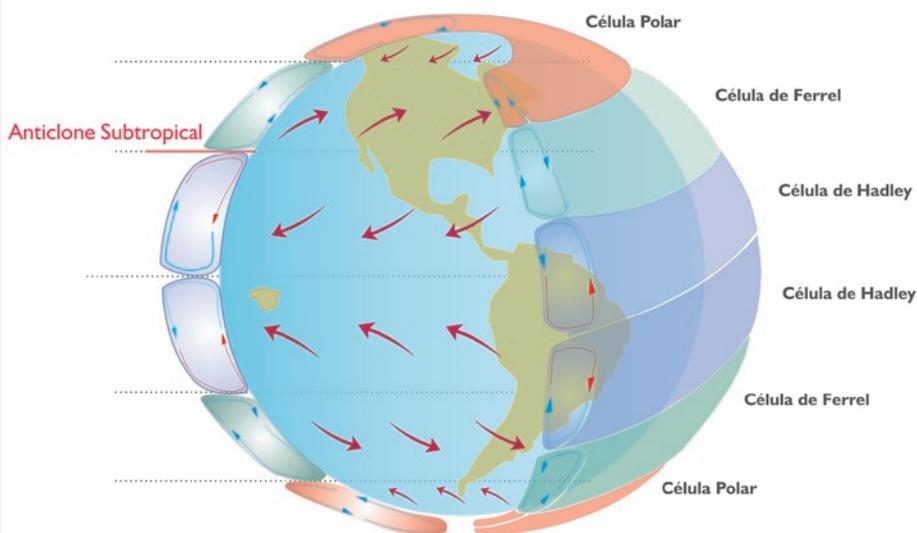


Figura 1.5. Imagem esquemática da circulação geral da atmosfera.

## Revedo conceitos

O Sol é a fonte de energia que controla a circulação da atmosfera. Ele emite energia em forma de radiação eletromagnética. Uma parte dessa radiação é interceptada pelo Sistema Terra-Atmosfera e convertida em outras formas de energia, como, por exemplo, calor e energia para a circulação atmosférica.

Como já visto, a energia solar (radiação) não é distribuída igualmente sobre a Terra e é esta distribuição desigual que gera as correntes oceânicas e os ventos, que, por sua vez, transportando calor dos trópicos para os pólos, procuram atingir um balanço de energia.

Sabemos que a Terra recebe mais energia na região tropical, próxima do Equador, do que nas regiões polares. Com isso, a temperatura nos trópicos é maior do que a temperatura nos pólos, ou seja, há um aquecimento diferencial.

As massas de ar frio se deslocam dos pólos em direção ao Equador, num processo de permanente busca de equilíbrio da temperatura do planeta Terra. É também este aquecimento diferencial que induz à formação da circulação geral da atmosfera.

## O QUE MANTÉM A TEMPERATURA DA TERRA

A vida na Terra, como a conhecemos, não existiria se não houvesse efeito estufa. É esse fenômeno, possível graças à presença dos gases na atmosfera, que faz com que a temperatura média na atmosfera seja de 15°C. Sem a presença dos gases, a temperatura média do planeta seria de -18°C. Mas registros científicos vêm indicando que esse fenômeno tem se intensificado, com conseqüente elevação da temperatura na Terra. Atribui-se à intensificação do efeito estufa a responsabilidade pelas grandes alterações climáticas que

o planeta está vivendo ou mesmo aquelas que podem vir a ocorrer. Mas, antes de tentarmos entender a influência desse fenômeno, é preciso saber que:

- a. o efeito estufa não surgiu agora. Ao contrário, sempre existiu e desempenha um papel fundamental para o equilíbrio climático do planeta;
- b. o efeito estufa não é um fenômeno isolado. É consequência dos fatores que acabamos de conhecer, que, ao interagirem na atmosfera, dão seqüência e justificam toda uma série de eventos climáticos.

A partir de agora, portanto, vamos buscar entender o efeito estufa. Inicialmente, como um processo natural. Num segundo momento, será possível entender por que razão esse fenômeno está sendo potencializado e por que sua influência sobre o clima do planeta tem aumentado, trazendo o risco de alterações profundas para a vida na Terra.

## **Um fenômeno natural: o efeito estufa**

Para compreender o conceito de efeito estufa, é preciso saber como funciona a trajetória da radiação solar desde a sua chegada ao planeta, até atingir a superfície da Terra, retornando ao espaço em seguida.

Além dos gases, a radiação solar também exerce papel importante no Sistema Terra-Atmosfera, cujo funcionamento pode ser compreendido no decorrer do capítulo. Analisando as Figuras 1.7, 1.8 e 1.9, vemos que:

- a. o fluxo de energia se inicia a partir da radiação solar (raios de luz e radiação ultravioleta);
- b. a energia que vem do Sol em forma de radiação luminosa e ultravioleta é depois devolvida para o espaço por meio de radiação infravermelha;
- c. os raios que chegam do Sol, na forma de radiação luminosa e ultravioleta, penetram na atmosfera da Terra com certa facilidade e parte dessa radiação é refletida ou absorvida por gases como o ozônio e o vapor d'água.

### Por analogia...

Para melhor compreender como se dá o efeito estufa natural, podemos fazer uma analogia com um ônibus parado, com os vidros fechados e sob a luz do Sol (Figura 1.6). Os raios que chegam do Sol na forma de luz e radiação ultravioleta passam pelos vidros e aquecem o ônibus. A partir de então, emitem calor na forma de radiação infravermelha. A radiação infravermelha tem dificuldade de atravessar os vidros do ônibus e, com isso, a parte que fica presa no interior do veículo intensifica o aquecimento do ar dentro do ônibus.

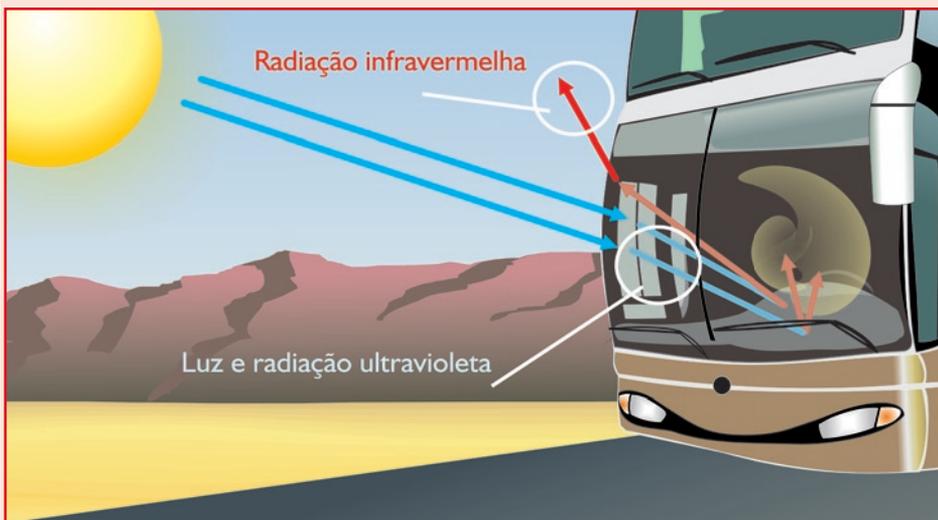


Figura 1.6. Uma simulação do efeito estufa: a ação da radiação solar sobre um ônibus com vidros fechados.

O mesmo ocorre com a atmosfera da Terra, onde gases (vapor d'água,  $\text{CO}_2$ , entre outros) funcionam como o vidro do ônibus, deixando passar a radiação luminosa e ultravioleta que chega do Sol, mas impedindo que parte da radiação, que é convertida em infravermelha na superfície, seja devolvida para a atmosfera na forma de calor.

### ***O que acontece quando a radiação solar alcança a superfície da Terra?***

Quando a radiação solar chega ao planeta Terra, algo como 30% dela é devolvida ao espaço e o restante penetra na atmosfera. Mas nem toda a radiação chega à superfície, como mostra

a Figura 1.7. Parte é absorvida pelo ozônio, vapor d'água e aerossóis – outra parte, pelas nuvens.

A porção da radiação que atinge a superfície terrestre também volta ao espaço. Parte dos raios que chegam à Terra se transformam em calor na forma de radiação infravermelha. Ocorre que uma parcela da radiação infravermelha tem dificuldade de retornar integralmente ao espaço, já que parte dela é absorvida por gases como o dióxido de carbono e o vapor d'água.

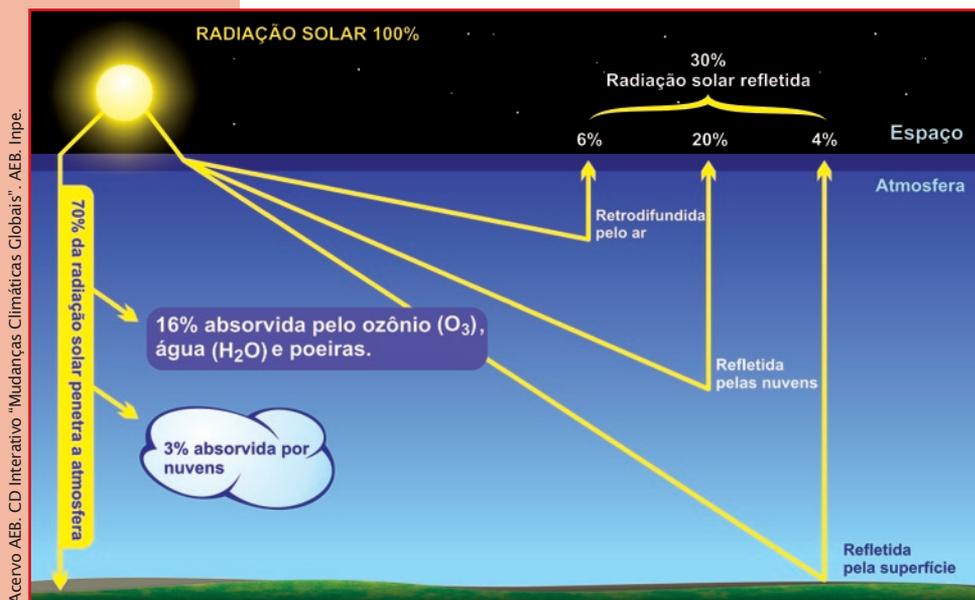
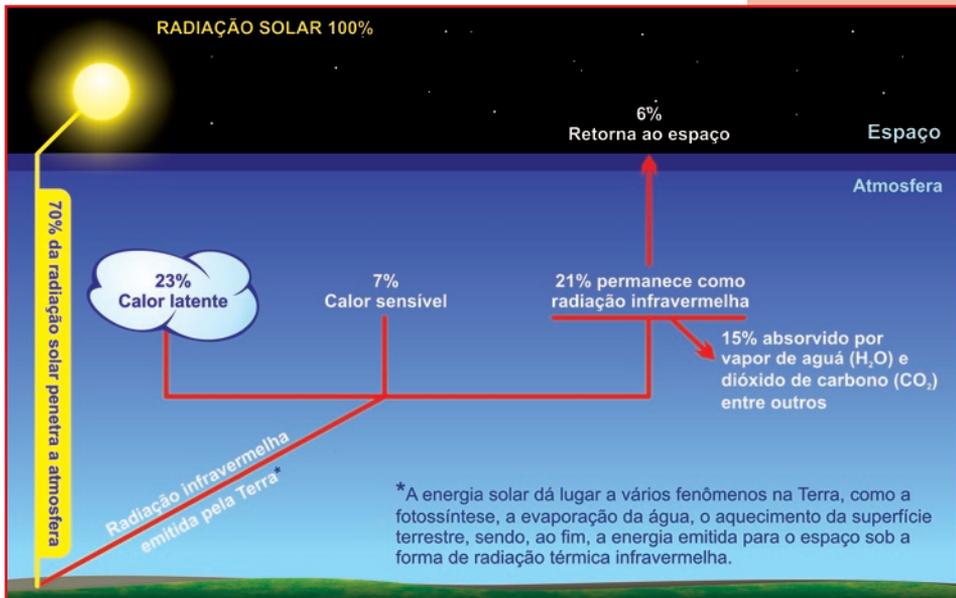


Figura 1.7. Trajetória da radiação solar até atingir a superfície da Terra.

Do percentual mandado de volta para o espaço em forma de radiação infravermelha, uma parte fica na atmosfera em forma de calor latente, que é a grandeza física que determina a quantidade de calor que uma unidade de massa de determinada substância deve receber para mudar de estado físico; outra parte fica na atmosfera na forma de calor sensível, que é o calor que sentimos da atmosfera terrestre; e outra parte permanece na forma de radiação infravermelha emitida da superfície (radiação de onda longa ou radiação terrestre).



Acervo AEB. CD Interativo "Mudanças Climáticas Globais". AEB. Inpe.

Figura 1.8. Trajetória da radiação solar após tocar a superfície terrestre.

O fenômeno de absorção da radiação e emissão na atmosfera é conhecido como “efeito estufa natural” e é responsável pelo balanço de energia no Sistema Terra-Atmosfera. Ele acontece naturalmente na atmosfera da Terra há bilhões de anos.

## Radiação infravermelha, radiação ultravioleta. Qual a diferença?

**Radiação ultravioleta**, também conhecida pela sigla UV, é a radiação eletromagnética ou os raios ultravioletas com um comprimento de onda menor que o da luz visível e maior que o do raio X, de 380 nm a 1 nm. O nome significa mais alta que – além do (do latim *ultra*) – violeta, pelo fato de que o violeta é a cor visível com comprimento de onda mais curto e maior frequência. A radiação ultravioleta é emitida pelo Sol juntamente com a luz visível.

**Radiação infravermelha** é uma parte da radiação eletromagnética cujo comprimento de onda é maior do que o da luz visível ao olho do ser humano, porém menor que o das microondas, conseqüentemente, tem menor frequência que a da luz visível e maior que a das microondas. É a radiação emitida pela Terra.



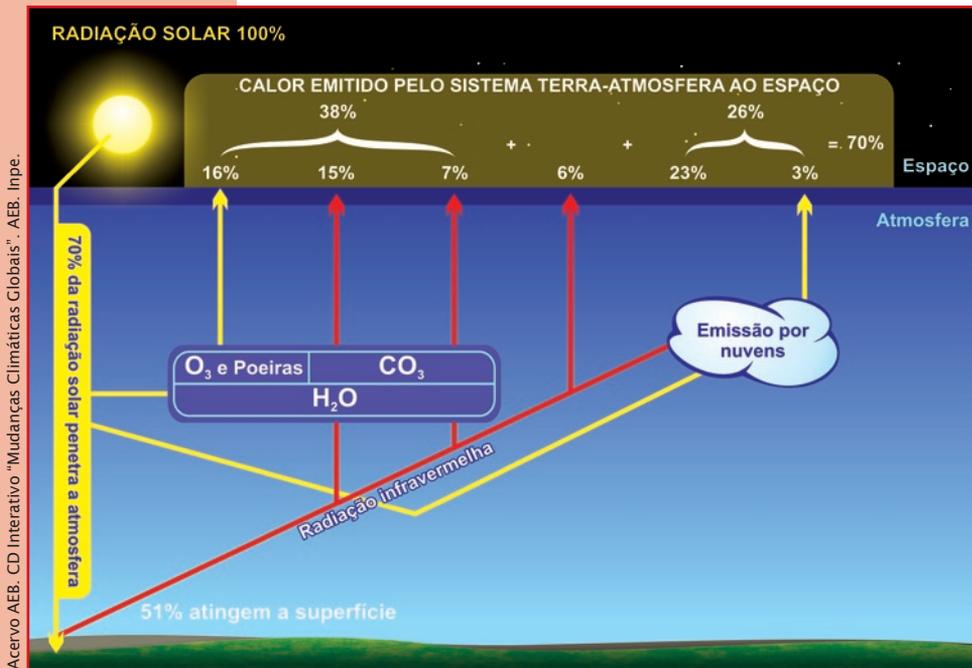


Figura 1.9. Balanço de Energia no Sistema Terra-Atmosfera.

Assim, poderíamos definir o efeito estufa como o aumento da temperatura terrestre devido, principalmente, à absorção de energia reemitida pela superfície terrestre. A presença de vapor d'água, nitrogênio, oxigênio e gases ricos em carbono – como o gás carbônico, o monóxido de carbono, o metano, óxido nitroso e óxido nítrico – faz com que o calor refletido pela superfície da Terra seja absorvido e com que a temperatura média na atmosfera do planeta seja de 15°C.

É justamente a presença desses gases que provoca o efeito estufa natural. Esse efeito tem aumentado sensivelmente devido às atividades humanas, tais como as emissões advindas da indústria, dos veículos automotores, do aumento das áreas de cultivo e dos resíduos líquidos e sólidos, do uso da terra (desmatamento, agropecuária, queimadas, expansão urbana, uso cada vez mais intenso de fertilizantes químicos).

## Terra-Atmosfera: um sistema em equilíbrio

Para entendermos melhor o que é o balanço de energia no Sistema Terra-Atmosfera, como nos mostram as figuras de 1.7 a 1.9 com a representação da entrada da radiação solar, sua absorção pela Terra e sua emissão, vamos, primeiro, entender o que é balanço: nada mais é que a diferença entre a entrada e a saída de elementos de um sistema. Os componentes principais do sistema terrestre importantes para o balanço de radiação são: superfície, atmosfera e nuvens.

Quando a radiação solar entra no sistema climático da Terra, uma parte é absorvida pela superfície do planeta e outra parte é refletida de volta para o espaço. A radiação solar é um dos principais fatores que asseguram a vida no planeta.

O Sol emite a energia necessária para praticamente toda a vida natural e os movimentos atmosféricos de nosso planeta. Quando a radiação solar atinge a Terra, ela é refletida, espalhada e absorvida nas seguintes proporções:

- 30% da radiação é refletida para o espaço, ou seja, **albedo** da Terra é de 30%.
- 19% é absorvida pela atmosfera.
- 51% da radiação solar restante é absorvida pela superfície do globo.

Em um solo coberto de vegetação, as folhas absorvem uma grande quantidade de radiação, impedindo a incidência direta na superfície. Entre a vegetação, parte da energia é consumida na evaporação, o que afeta significativamente o balanço de energia.

Embora a radiação solar incida em linha reta, os gases e aerossóis podem causar o seu espalhamento. Esta insolação difusa é constituída de radiação solar, que é espalhada ou refletida de volta para a Terra, causando a claridade do céu durante o dia e a iluminação de áreas que não recebem luz direta do Sol.



**Albedo:** do latim *albus*, significa branca ou alvura. O termo é usado em astronomia para medir a capacidade de reflexão luminosa de um corpo. Um corpo de cor branca tem albedo 1, ou seja, tem capacidade de refletir mais a radiação que incide sobre ele. Ao contrário, um corpo de cor negra absorve a radiação nele incidente porque seu albedo é nulo.

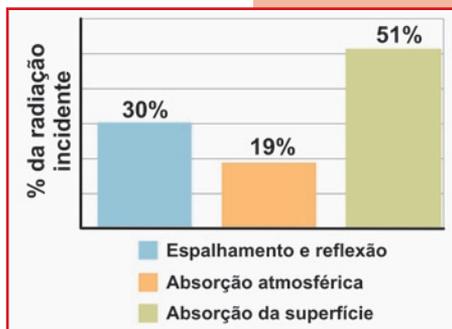


Figura 1.10. O que ocorre com os raios solares depois que atingem a superfície da Terra.

Acervo AEB. CD Interativo "Mudanças Climáticas Globais". Inpe.

A reflexão da radiação solar ocorre no limite entre dois meios diferentes, quando parte da radiação que atinge este limite é enviada de volta. Dentro da atmosfera, os topos das nuvens são os mais importantes refletores. O albedo dos topos das nuvens depende de sua espessura, variando de menos de 40% para nuvens finas a 80% para nuvens espessas. Já o albedo da Terra como um todo é de 30%.

## **O movimento das moléculas**

Quando uma molécula absorve energia transmitida na forma de radiação, esta energia é transformada em movimento molecular, causando o aumento da temperatura. Por isso, os gases que absorvem melhor a radiação têm papel importante no aquecimento da atmosfera. O vapor d'água tem um alto índice de absorção da radiação solar. Juntamente com o dióxido de carbono e o ozônio, o vapor d'água representa a maior parte dos 19% da radiação solar absorvida na atmosfera e é responsável pela maior parte da absorção da radiação solar na faixa no infravermelho. Este fenômeno ocorre na troposfera, onde existe a maior concentração de vapor d'água.

## **O calor e as montanhas**

Podemos comprovar a importância do vapor d'água e também do dióxido de carbono na absorção da radiação e, portanto, no seu papel de manter a atmosfera aquecida, ao observarmos o tempo nas regiões montanhosas. Os topos das montanhas recebem mais radiação que os vales durante o dia porque há menos atmosfera a atravessar. À noite, porém, a atmosfera menos densa também permite maior perda de calor. Por isso, os vales permanecem mais quentes que as montanhas, mesmo recebendo menos radiação.

É que a maior parte da energia solar que chega ao topo da atmosfera e atinge a superfície da Terra é irradiada de volta para a atmosfera no intervalo infravermelho. Neste intervalo, o vapor d'água absorve aproximadamente cinco vezes mais radiação terrestre que todos os outros gases combinados.

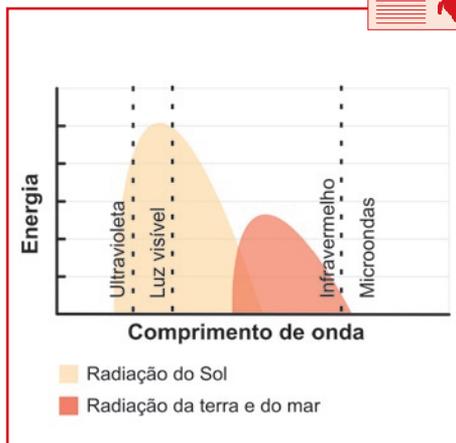
Como a atmosfera é bastante transparente para a radiação solar (ondas curtas) e mais absorvente para a radiação terrestre (ondas longas), a atmosfera é aquecida a partir da radiação emitida pela superfície da própria Terra.

As nuvens também são boas absorvedoras de radiação infravermelha (ondas longas) e têm papel importante em manter a superfície da Terra aquecida, especialmente à noite.

### Faixas de radiação

Verificamos que grande parte da radiação emitida pelo Sol se encontra numa faixa espectral em torno de meio metro. E a radiação terrestre se concentra na faixa de 10 metros. Por esta razão, a radiação solar é denominada de radiação de ondas curtas e a terrestre, radiação de ondas longas.

Figura 1.11. Representação do tamanho das ondas da radiação solar e da radiação da terra e do mar, e o respectivo espectro de luz.



Saiba mais...

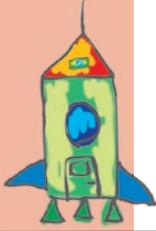


Acevo AEB. CD Interativo "Mudanças Climáticas Globais". AEB. Inpe.

## CO<sub>2</sub> e vapor d'água

Você acabou de aprender que o dióxido de carbono, juntamente com o vapor d'água, entre outros gases, é responsável pela absorção de 15% de toda a radiação infravermelha que é devolvida ao espaço. Mas esse gás desempenha outras funções importantes. Embora constitua apenas 0,038% da atmosfera, o dióxido de carbono é essencial para a fotossíntese.

Além disso, por ser um eficiente absorvedor da radiação de onda longa (radiação infravermelha ou radiação terrestre) emitida pela superfície terrestre, o dióxido de carbono influencia o fluxo de energia através da atmosfera, fazendo com que a baixa atmosfera retenha o calor, tornando a Terra própria à vida.



*Além do  $\text{CO}_2$  e do vapor d'água, outros gases também contribuem para o efeito estufa, tais como o metano ( $\text{CH}_4$ ) e os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ).*

Da mesma forma, o vapor d'água é um eficiente absorvedor da radiação de onda longa emitida pela Terra e, em menor escala, de alguma energia solar. Sendo dos mais variáveis gases

na atmosfera, o vapor d'água, junto com o dióxido de carbono, atua como uma espécie de manta para reter o calor na baixa atmosfera, o que é conhecido como efeito estufa natural.

### ***Até aqui, o equilíbrio. Mas...***

E se for aumentada a concentração de dióxido de carbono na atmosfera, com a queima de combustíveis fósseis, desmatamento, queimadas etc., o que acontecerá? Muito deste gás adicional será absorvido pelas plantas, na fotossíntese. Mas algo em torno de 50% permanecerá na atmosfera. Com isso, poderá haver maior absorção e emissão das radiações solar e terrestre, levando a um aquecimento atípico da baixa atmosfera, ou seja, uma intensificação do efeito estufa. Este cenário, que deixou de ser hipótese, para se tornar uma preocupante realidade, introduz, pela primeira vez na história da Terra, o conceito de mudanças climáticas antropogênicas, que correspondem às alterações do clima no planeta resultantes das atividades humanas.

Mais à frente, abordaremos a questão das mudanças climáticas, tanto naturais quanto antropogênicas, com mais detalhamento.

Pense Nisso!



O gradativo aumento da temperatura média do globo é atribuído, em grande parte, às emissões de poluentes na atmosfera, sobretudo a partir dos últimos 70 anos, com um aumento da quantidade de  $\text{CO}_2$  atmosférico. Isso reforça, portanto, a questão da intensificação do efeito estufa natural.

## **GASES DA ATMOSFERA E VAPOR D'ÁGUA: UMA QUÍMICA FUNDAMENTAL**

Neste ponto, vamos tratar de um tema importante para o entendimento do papel dos gases no Sistema Terra-Atmosfera

e sua importância para o efeito estufa: os **ciclos biogeoquímicos** do carbono e do nitrogênio, bem como o papel do ciclo da água.

## Ciclo do carbono

O ciclo do carbono é o motor químico que fornece energia e massa à maior parte da vida na Terra, além de estar intimamente relacionado com a regulação da atmosfera global e, conseqüentemente, com o clima. Ele pode ser dividido em duas partes, o ciclo terrestre e o ciclo marinho, ambos com um reservatório em comum: a atmosfera.

Antes da Revolução Industrial, em 1750, a concentração de dióxido de carbono na atmosfera era de aproximadamente 280 partes por milhão de volume (ppmv), ou seja, 0,028% da composição do ar seco. Atualmente, esse número gira em torno de 380 ppmv, devido principalmente à queima de combustíveis de origem fóssil, pelo ser humano, a partir do século 19.

No ciclo terrestre do carbono, as plantas removem  $\text{CO}_2$  da atmosfera por meio do processo de fotossíntese (Figura 1.12). Uma quantidade desse carbono é usada na própria manutenção da planta, em um processo conhecido como respiração autotrófica, que resulta em liberação de  $\text{CO}_2$  para a atmosfera. O restante de carbono absorvido pelas plantas (aproximadamente 50%) é chamado de produtividade primária líquida, e é o que vai compor as folhas, galhos, troncos e raízes das plantas.

A quantidade global de carbono armazenado nas plantas é relativamente pequena em comparação às grandes quantidades de carbono armazenadas no oceano e em reservatórios de combustíveis fósseis. Porém, esse estoque de carbono na vegetação assume importância fundamental devido ao fato

*O  $\text{CO}_2$  é a principal forma na qual o carbono é encontrado na atmosfera.*

*De 1750, início da Revolução Industrial, até os dias de hoje, a concentração de  $\text{CO}_2$  aumentou de 280 partes por milhão de volume para 380 ppmv.*



**Ciclo biogeoquímico:** caminho fechado percorrido pelos elementos químicos na natureza, passando pelos organismos, pelos meios físicos (ar, terra e água) e retornando ao ponto de partida. Os ciclos biogeoquímicos são agrupados em dois tipos básicos: ciclos gasosos, onde a atmosfera é o grande reservatório e os ciclos biogeoquímicos sedimentares, que tratam da matéria sólida em forma de sedimentos.



**Fitoplâncton:**

qualquer micro-organismo vegetal que flutua livremente nas diversas camadas de água, estando restrito à **zona eufótica** onde, graças à presença de energia luminosa, executam a fotossíntese. O fitoplâncton é a base da cadeia alimentar do meio aquático.

**Zona eufótica:** camada superficial de água até a profundidade de penetração da luz na qual a fotossíntese equilibra a respiração.

de que ele pode aumentar ou diminuir rapidamente, em resposta ao clima ou a intervenções humanas (como incêndios florestais e desmatamento), tendo efeitos fortes e imediatos na concentração de carbono na atmosfera.

As plantas ou suas folhas eventualmente morrem e apodrecem, são comidas por herbívoros ou, ainda, consumidas pelo fogo. Nos dois primeiros casos, o carbono, outrora na vegetação, passa para microorganismos ou animais como fonte de energia para a construção e manutenção de seus corpos.

Esses microorganismos e animais também liberam  $\text{CO}_2$  para a atmosfera, em um processo conhecido como respiração heterotrófica – respiração como a que nós, humanos, fazemos. Perturbações como tempestades e o aquecimento global aceleram o processo de respiração e, portanto, a liberação de  $\text{CO}_2$  para a atmosfera. Toda essa dinâmica diz respeito ao ciclo terrestre do carbono.

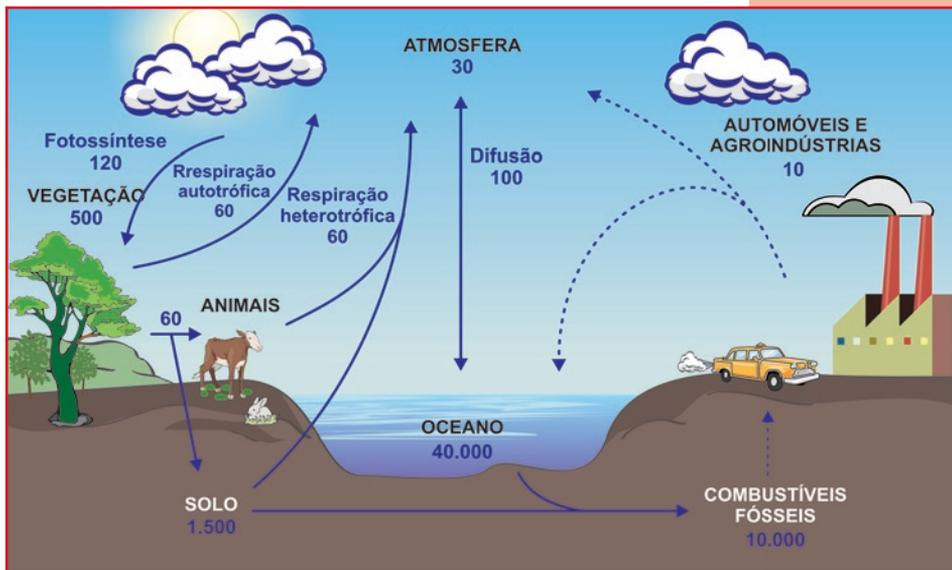
Já o ciclo marinho de carbono se dá basicamente pelas trocas de  $\text{CO}_2$  entre a atmosfera e os oceanos, por meio do processo químico de difusão, que depende fundamentalmente da diferença de temperatura entre esses dois reservatórios de carbono. Basicamente, quando a temperatura do oceano é baixa, há captura de  $\text{CO}_2$  da atmosfera pelo oceano, e quando a temperatura do oceano é alta, há liberação de  $\text{CO}_2$  do oceano para a atmosfera.

Isso contrasta bastante com o ciclo terrestre do carbono, no qual as maiores taxas de captura de  $\text{CO}_2$  atmosférico estão nas regiões tropicais (nas florestas), enquanto no oceano as maiores taxas de captura de  $\text{CO}_2$  se concentram nas regiões temperadas (mares frios).

Uma vez no oceano, o carbono capturado na superfície pode ser lentamente transportado para as camadas mais profundas por gravidade e pelas correntes oceânicas, ou ainda ser absorvido fotossinteticamente pelo **fitoplâncton**.

O fitoplâncton eventualmente morre e o carbono do seu corpo subsiste, ou seja, se desloca para águas profundas; ou então o fitoplâncton entra em uma cadeia alimentar, isto é, é consumido pelo **zooplâncton**, que é consumido, por exemplo, por peixes.

O volume de carbono presente no oceano faz dele o maior reservatório de carbono do planeta.



Acervo AEB. CD Interativo "Mudanças Climáticas Globais". AEB. Inpe.

Figura. 1.12. O ciclo global do carbono, com e sem interferência humana.

## Ciclo do nitrogênio

O nitrogênio é um dos principais constituintes dos organismos vivos, daí a importância de se estudar e compreender como ele circula no meio ambiente. Embora presente em grandes quantidades no ar (cerca de 78% da atmosfera terrestre é constituída por gás nitrogênio), na forma de  $N_2$ , poucos seres vivos conseguem assimilá-lo nesta forma.

Esses seres vivos são algumas bactérias livres, cianobactérias e algumas bactérias que vivem estritamente associadas a raízes de plantas leguminosas (como o feijão), caracterizando um mutualismo (relação entre duas espécies na qual



### Zooplâncton:

animais muito pequenos, quase sempre microscópicos. O zooplâncton é constituído principalmente por pequenos crustáceos e larvas de peixes, que vivem junto com o fitoplâncton e se alimentam dele.

ambas se beneficiam). Essas bactérias mutualistas, como as do gênero *Rhizobium*, fornecem parte desse nitrogênio fixado às suas plantas hospedeiras, que, em troca, lhes fornecem abrigo e nutrientes, como fósforo.

Todas as bactérias acima citadas são chamadas de “fixadoras de nitrogênio” e utilizam esse elemento na síntese de moléculas orgânicas nitrogenadas, como as proteínas. Além disso, uma pequena fração de  $N_2$  atmosférico pode ser naturalmente reduzida para formas disponíveis para os seres vivos por meio de descargas elétricas em tempestades.

Quando os microorganismos fixadores morrem, liberam nitrogênio no solo sob a forma de amônia ( $NH_3$ ). A ação de bactérias transforma o  $NH_3$  em nitritos ( $NO_2^-$ ) e nitratos ( $NO_3^-$ ), sendo este último a fonte de nitrogênio mais aproveitada pelas plantas e, conseqüentemente, pelos animais. A devolução do nitrogênio à atmosfera é feita pela ação de microorganismos chamados de bactérias denitrificantes. Elas transformam os nitratos presentes no solo novamente em gás nitrogênio ( $N_2$ ), que volta à atmosfera, fechando o ciclo natural do nitrogênio (Figura 1.13).

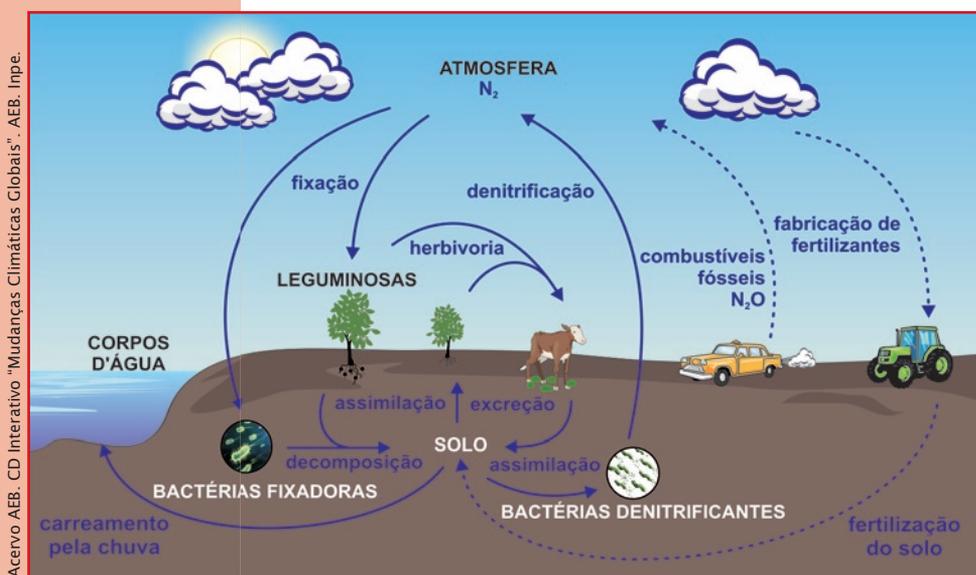


Figura. 1.13. O ciclo global do nitrogênio.

Obviamente, nessas transformações de uma molécula para outra, todos esses microorganismos extraem energia para si.

As ações humanas no último século provocaram intensas mudanças no ciclo do nitrogênio. Outra alteração significativa é o aumento na emissão de gases de nitrogênio como  $\text{NO}_x$  e  $\text{N}_2\text{O}$ , embora somente este último seja considerado um gás de efeito estufa. Quando analisada as emissões de gases de efeito estufa por setores da economia, observa-se que apenas uma pequena parcela do óxido nitroso é oriunda da queima de combustíveis para a geração de energia. A grande maioria do  $\text{N}_2\text{O}$  gerado por atividades humanas advém das atividades de manejo agrícola.

Entender a dinâmica desses ciclos nos ajuda a compreender como se dá a troca de gases entre a Terra e a atmosfera, bem como o papel desses gases no efeito estufa.

## Ciclo da água

Elemento natural essencial à sobrevivência da vida na Terra, a água mantém estreitas relações com os fenômenos climáticos, seja no seu estado líquido, sólido ou gasoso. A quantidade total de água no sistema terrestre permanece constante em escalas de tempo de milhares de anos. Porém, ela muda seu estado entre as formas líquida, sólida e gasosa e se movimenta entre o oceano, a atmosfera, a criosfera (a parte congelada da superfície terrestre) e a superfície terrestre, no chamado “ciclo hidrológico”.

O movimento da água no ciclo hidrológico é mantido pela radiação solar e pela atração gravitacional, e pode ser definido como uma seqüência fechada de fenômenos pelos quais a água passa da superfície terrestre para a atmosfera, na fase de vapor, e regressa para a superfície nas fases líquida e sólida.

A transferência da água na superfície terrestre para a atmosfera, sob a forma de vapor, dá-se por evaporação direta, por transpiração das plantas e dos animais e por sublimação (passagem direta da água da fase sólida para a de vapor).

A quantidade da água mobilizada pela sublimação no ciclo hidrológico é insignificante perante a que é envolvida na evaporação e na transpiração, cujos processos conjuntos se designam evapotranspiração.

O vapor d'água é transportado pela circulação atmosférica e condensa-se após percursos muito variáveis. A água condensada dá lugar à formação de nevoeiros e nuvens, e a precipitação (chuva) a partir de ambos. Este movimento horizontal e vertical do vapor d'água é crítico para o balanço de água nas áreas continentais, uma vez que um terço da precipitação que cai na superfície terrestre é água que tinha sido evaporada dos oceanos e transportada para o continente através da atmosfera.



*Os continentes são sumidouros de vapor da atmosfera. Os oceanos evaporam mais água do que recebem pela precipitação, portanto os oceanos constituem a fonte de vapor para a atmosfera.*

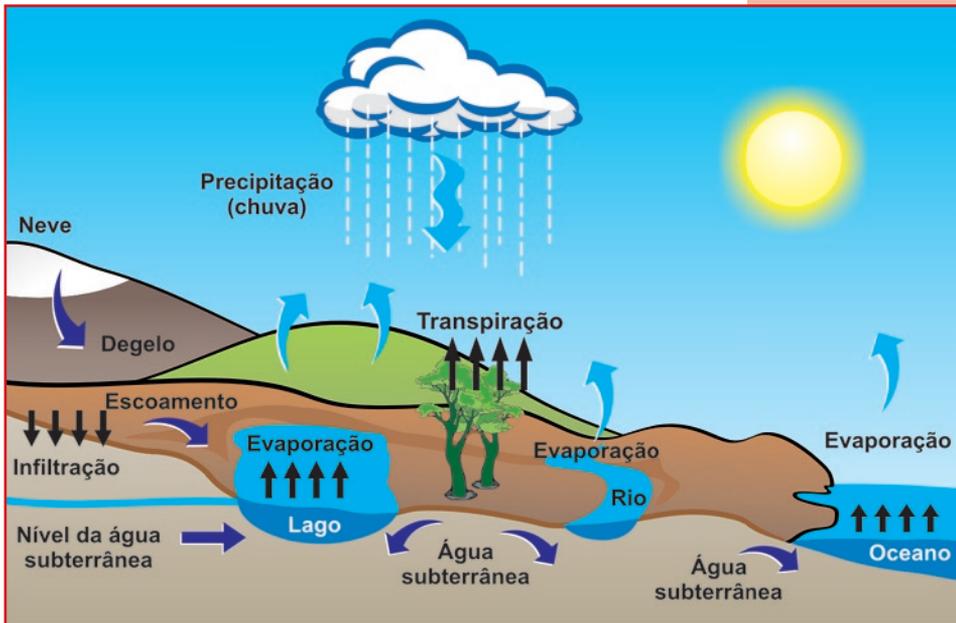
Nos continentes, a precipitação é maior do que a evaporação. Esse excesso de chuva é transportado pelos rios para os oceanos. De forma inversa, nos oceanos, verifica-se uma maior evaporação do que precipitação.

Esse excesso de vapor d'água é transportado para os continentes pela atmosfera, fechando o ciclo hidrológico.

O transporte de vapor ocorre das fontes para os sumidouros. As principais fontes de vapor estão localizadas nos oceanos tropicais e subtropicais e os principais sumidouros estão na zona equatorial e em regiões de zona temperada. Quando certa quantidade de vapor é submetida a baixas temperaturas, ela passa para a forma líquida, e é assim que nascem as nuvens. As gotículas de água formam-se quando o vapor se condensa sobre a superfície de partículas muito pequenas, chamadas de núcleos de condensação.

Após certo tempo, as gotículas tornam-se grandes e se precipitam. Na atmosfera, as gotículas maiores têm maior velocidade de queda em relação às outras, e, portanto, colidem com as menores que estão em seu caminho, ocorrendo o que se chama de coalescência. As gotículas de nuvem, pelo processo de colisão e coalescência, crescem até atingir o tamanho de gotas.

Ao deixar a base da nuvem, essas gotas são chamadas de gotas de chuva e iniciam sua queda em direção à superfície. A Figura 1.14 ilustra o ciclo hidrológico no sistema terrestre.



Rogério Castro (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 1.14. Ciclo hidrológico.

Uma parte da precipitação é retida nas construções e na vegetação. Essa quantidade de água que nunca alcança o solo é chamada de perda por interceptação. O restante de água que chega ao solo pode seguir vários percursos: pode evaporar e voltar para a atmosfera, pode escoar superficialmente ou se infiltrar na superfície terrestre.

A água que infiltra no solo entra, primeiramente, na zona que contém as raízes das plantas. Esta água pode retornar para a atmosfera por meio da evaporação, a partir da superfície do solo, ou pela evapotranspiração das plantas. Essa parte superior do solo pode reter uma quantidade de água que é conhecida como “capacidade de campo”. Se mais água for adicionada a esta parte do solo enquanto ela estiver na capacidade de campo, uma parte escoará superficialmente e uma parte passará para uma zona mais baixa (zona de escoamento subterrâneo).

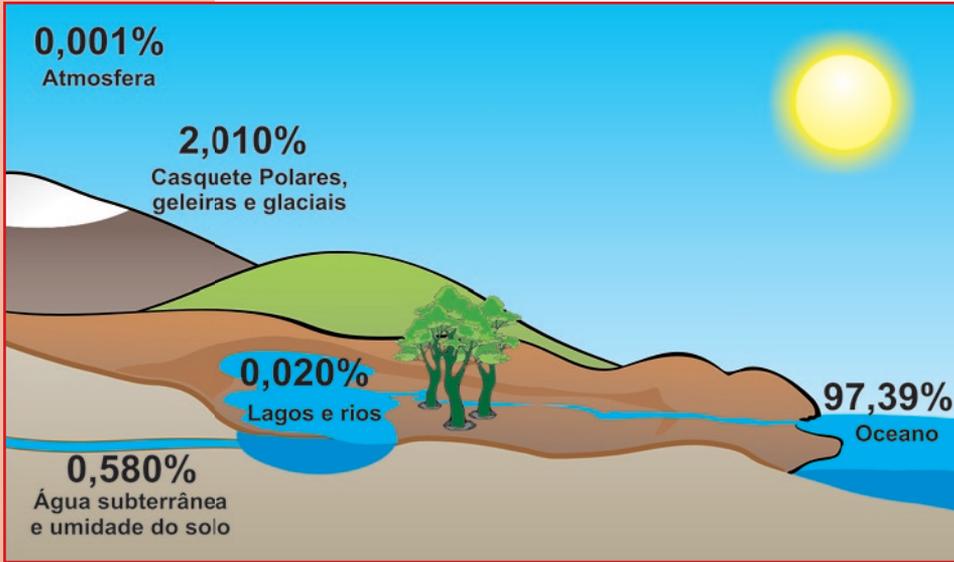


Figura 1.15. Representação dos volumes de água nos componentes do sistema hidrológico.

O caminho subterrâneo das águas é o mais lento de todos. Havendo oportunidade, esta água poderá voltar à superfície, por intermédio das fontes, somando-se às águas superficiais, ou então, voltar a infiltrar. A Figura 1.15 apresenta os volumes de água nos principais componentes do sistema.

Como você pode observar (Figura 1.16), a partir dos volumes de água nos principais componentes do sistema, temos que só 2,6% de toda a água existente no planeta Terra é água doce. Dessa água, que está disponível para o uso da humanidade, 97% está na forma de água subterrânea.

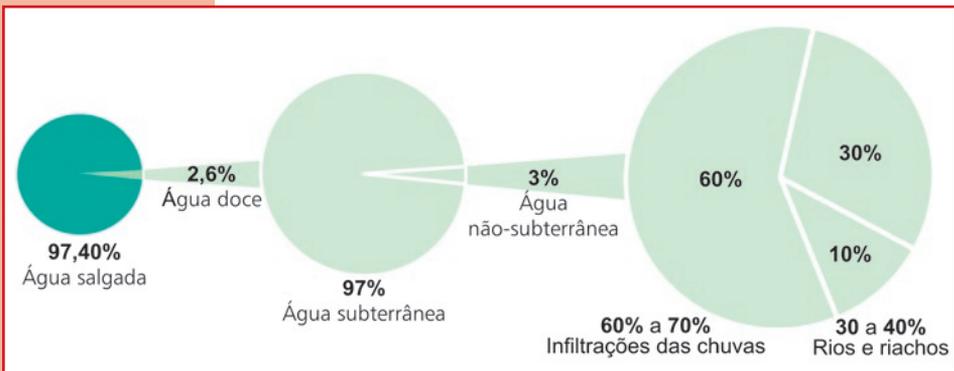


Figura 1.16. Volume de água nos principais componentes do sistema hidrológico.

## ***Estudos mostram que há uma relação entre o ciclo hidrológico e o aquecimento global.***

Quando diminui a infiltração, necessariamente aumenta o escoamento superficial das águas das chuvas. A infiltração é importante, portanto, para regularizar a vazão dos rios, distribuindo-a ao longo de todo o ano, evitando, assim, os fluxos repentinos, que provocam inundações. As cidades são aglomerados onde grande parte do solo é impermeabilizado. A consequência lógica disto é o aumento da quantidade de água que escoar, provocando inundações das áreas mais baixas.

Os cenários de aquecimento global indicam, para algumas regiões do globo, que poderá aumentar a frequência de fenômenos climáticos extremos, tais como secas, inundações, ondas de calor, tempestades severas etc. Adicionalmente, está ocorrendo o aumento do nível do mar devido à expansão térmica da água e ao derretimento das geleiras. Este aumento do nível do mar inundaria algumas regiões, com a consequente contaminação de **aqüíferos**.

A incerteza é ainda maior em relação às mudanças no ciclo hidrológico em escala regional. Entretanto, pode-se dizer que um aumento da evaporação irá acompanhar o aquecimento. Além disso, as regiões semi-áridas poderão ter menos disponibilidade de água.

## **CONCLUINDO**

São muitos os fatores que determinam as condições climáticas em todos os pontos do planeta. Alguns permanecem inalterados no decorrer de milênios, apesar das ações antropogênicas intensas. As taxas de fixação do nitrogênio atmosférico são a demonstração mais evidente desse fenômeno. Por outro lado, em muitos outros processos, ciclos e momentos, a ação humana parece contribuir para uma mudança nos padrões que, durante milhares de anos, mantiveram



**Aqüífero:** lençol freático. Água subterrânea, confinada ou não. É chamado também de lençol d'água e lençol subterrâneo.

o clima na Terra propício à vida. A aglomeração urbana, por exemplo, interfere na intensidade da infiltração, no ciclo hidrológico. E as taxas de concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera aumentaram exponencialmente em menos de dois séculos de ação antropogênica. Nos últimos 650 mil anos de história da Terra não se registrou tamanho aumento da concentração de CO<sub>2</sub>.

São informações com as quais a ciência lida exaustivamente, na busca de respostas que apontem para soluções concretas. E o grande campo de estudo na busca dessas respostas é a atmosfera da Terra, o grande cenário onde tantos fatores – internos e externos – vêm interagindo há milhões de anos. Até hoje, a atmosfera encarregou-se de regular essas incidências e viabilizar o clima como o conhecemos. Vale a indagação: da mesma forma como o ser humano vem interferindo no trabalho de milhões de anos da atmosfera, será capaz de ajudá-la a resgatar a ordem natural desses elementos?



## LEITURA COMPLEMENTAR



**Espectro:** para a física, relaciona-se à distribuição de radiação transmitida, absorvida ou refletida em função dos comprimentos de onda ou frequências.

### OBSERVAÇÕES CIENTÍFICAS

O efeito estufa foi observado, pela primeira vez, por Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830), no século 19. De acordo com Christianson (Christianson, G.E. 1999), Fourier foi o primeiro a conceber a Terra como uma estufa gigante que viabilizava a vida de plantas e animais em sua superfície.

Em 1896, Svante Arrhenius (1859-1927) criou um modelo para estudar a influência do gás carbônico residente na atmosfera sobre a temperatura da Terra. Arrhenius usou as medições de emissão de calor no **espectro**, realizadas por Samuel Langley (1834-1906), para calcular os coeficientes de absorção de  $H_2O$  e  $CO_2$ , pontos-chave para a construção do modelo que concebera.



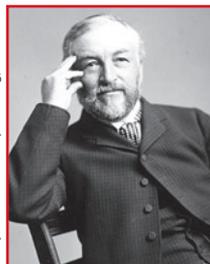
MIT OpenCourseWare. ocw.mit.edu/

Figura 1.17. Jean Baptiste Joseph Fourier.



Matthias Bock. www.wikipedia.org/

Figura 1.18. Svante August Arrhenius.



Wikipedia. www.wikipedia.org/

Figura 1.19. Samuel Pierpont Langley.

Quais as causas das Eras Glaciais, atual objeto de estudo em alguns centros de pesquisa, como o *Stockholm Physics Society*, era uma das perguntas que Arrhenius buscava responder. Os experimentos de Arrhenius foram muito bem sucedidos e seus resultados (Ramanathan, V. e Vogelmann, M., 1997) têm sido comprovados por modernas simulações de computador.

**Jean Baptiste Joseph Fourier** (1768-1830), matemático francês.

Estudou a propagação do calor. Seu nome foi immortalizado pelas séries trigonométricas que introduziu em 1807 e que levam seu nome. Em 1827, afirmou que os gases atmosféricos prendem a energia solar, elevando a temperatura da superfície terrestre, em vez de permitir que o calor se dissipe no espaço.

**Svante August Arrhenius** (1859-1927), físico e químico sueco, vencedor do prêmio Nobel de Química em 1903. Autor da teoria dos íons, também demonstrou o papel desempenhado pelo gás carbônico nos processos climáticos.

**Samuel Pierpont Langley** (1834-1906), astrônomo e físico norte-americano. Seu estudo sobre os infravermelhos serviram de base para a formulação dos primeiros cálculos sobre o efeito estufa, feitos por Arrhenius.

Arrhenius foi o primeiro a abordar o efeito dos aerossóis na regulação da temperatura do planeta, referindo-se a eles como *hothouse gases*, e não *greenhouse gases* (gases de efeito estufa), como nos dias de hoje.

A importância de um gás ou aerossol não está relacionada à sua abundância relativa. Por exemplo, o dióxido de carbono, o vapor d'água, o ozônio e os aerossóis ocorrem em pequenas concentrações, mas são importantes para os fenômenos meteorológicos e para a vida.



## ATIVIDADES

### EFEITO ESTUFA

Carlos Afonso Nobre (Inpe), David Lapola (Inpe), José Pesquero (Inpe), Gilvan Sampaio (Inpe), Giovanni Dolif Neto (Inpe), Luiz Salazar (Inpe), Manoel Cardoso (Inpe) e Marina Hirota (Inpe).

### Apresentação

O efeito estufa é um fenômeno natural que faz com que a temperatura da Terra seja maior do que seria na ausência de atmosfera, permitindo assim que ocorra a vida da forma como a conhecemos.

Se não houvesse o efeito estufa, a temperatura média da Terra seria  $-18^{\circ}\text{C}$ , ao invés dos  $15^{\circ}\text{C}$  que temos hoje, ou seja,  $33^{\circ}\text{C}$  menor. Por isso, o efeito estufa é fundamental para a manutenção da vida no planeta Terra.

Para entender como funciona, vamos retomar o exemplo do ônibus parado, com os vidros fechados e sob a luz do Sol. Os raios que chegam do Sol na forma de radiação ultravioleta passam pelos vidros e, ao atingirem a superfície do ônibus, se transformam em calor na forma de radiação infravermelha. A radiação infravermelha tem dificuldade de atravessar os vidros do ônibus e, com isso, a parte que fica presa no interior do veículo causa o aquecimento do ônibus. O mesmo ocorre dentro de carros. Esse mesmo princípio é aproveitado pelo ser humano para criar plantas que precisam de calor para crescer e florescer e não podem ficar expostas a temperaturas baixas durante a noite. Essas plantas são colocadas dentro de uma estufa, que é simplesmente uma casa de vidro ou de plástico transparente.

O mesmo ocorre com a atmosfera da Terra, onde alguns gases funcionam como o vidro do ônibus, ou como o vidro da estufa,

deixando passar a radiação ultravioleta que chega do Sol, mas impedindo a passagem da radiação que é convertida em infravermelho na superfície e devolvida para a atmosfera na forma de calor. Essa radiação, refletida na forma de calor, tem dificuldade de retornar para o espaço, pois é capturada (absorvida) pelos gases de efeito estufa, que se aquecem, aumentando assim a temperatura do ar. Os principais gases de efeito estufa são: o vapor da água e o gás carbônico.

## Objetivos

1. Mostrar como funciona o efeito estufa a partir da simulação de uma estufa.
2. Explorar o comportamento da radiação solar quando entra na atmosfera terrestre e a influência dos gases na temperatura da Terra.

## Sugestão de problematização

Da forma como está composto atualmente, o Sistema Terra-Atmosfera está em equilíbrio, pois toda energia que entra é igual à que sai. De toda a radiação solar que atinge a Terra, 30% é refletida antes de atingir o solo e 70% é absorvida e convertida em calor. Para que o equilíbrio energético seja mantido, toda essa radiação absorvida deverá ser emitida de volta para o espaço.

Mas, se houver um aumento da concentração do gás carbônico na atmosfera, poderá ocorrer um aumento do efeito estufa e, portanto, sairá menos radiação do que entra. Essa diferença causará o aquecimento da atmosfera, aumentando a temperatura média da Terra, podendo provocar desequilíbrios ambientais e mudanças no clima. Vamos ver o que acontece ao simularmos uma situação em que nem todo o calor recebido pela radiação é liberado. Ou seja, vamos ver o que acontece quando parte da energia recebida da luz fica aprisionada.

## Materiais

- 1 lâmpada com luz intensa (holofote)
- 2 termômetros
- 2 copos com água
- 1 rolo de papel alumínio
- 1 caixa grande de sapatos
- 1 tesoura
- 1 rolo de filme plástico
- 1 fita adesiva



Figura 1.20. Materiais.

## Procedimentos

1. Forre o interior da caixa com o papel alumínio e coloque um dos copos com água dentro da caixa.
2. Tampe a caixa com o filme plástico.
3. Coloque o segundo copo e a caixa preparada anteriormente sob a luz do Sol ou do holofote.



Figura 1.21. Demonstração do procedimento 1.



Figura 1.22. Demonstração do procedimento 2.



Figura 1.23. Demonstração do procedimento 3.

4. Após dez minutos, abra a caixa e sinta com o dedo ou meça com o termômetro a temperatura da água, verificando qual dos copos está com a água mais quente.

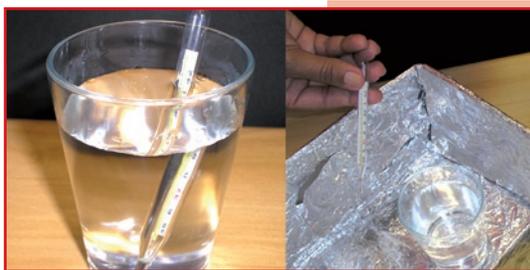


Figura 1.24A e B. Demonstração do procedimento 4.

## Orientações complementares

Ao iluminar a caixa, a luz passa pelo filme plástico e, ao encontrar a superfície, é absorvida e se transforma em calor.

O ar dentro da caixa então se aquece e não consegue sair da caixa por causa do filme plástico, aumentando, assim, a temperatura interna da caixa. Por esse motivo, a água do copo que está dentro da caixa fica mais quente do que a do copo que está fora.

No caso de não se perceber diferenças marcantes na temperatura entre os dois copos, é importante discutir com os alunos as possíveis causas.

Uma das causas prováveis é o tempo de exposição à luz ou a intensidade da luz utilizada. Para mudar a situação, refaça o experimento, aumentando o tempo de exposição ou mudando o foco de luz para um com luz mais forte. Pode-se utilizar também um termômetro para permitir uma medida mais precisa da diferença entre a temperatura da água nos dois copos.

## Possíveis desdobramentos

Um outro efeito que também acontece no nosso planeta é a absorção diferenciada da energia do Sol, dependendo da superfície aonde a luz chega, como, por exemplo, oceanos, florestas, geleiras.

Uma maneira de simular esse efeito é fazer uma pequena adaptação no experimento. Em vez de uma, use duas caixas cobertas com o filme; porém, forre uma delas com um papel branco e forre a outra com um papel preto. Coloque um copo de água dentro de cada uma das caixas e coloque sob a luz do holofote ou sob o Sol. Em qual das duas caixas a temperatura da água estará mais alta depois de algum tempo?

**Atenção!** A atividade aqui exposta deve ser desenvolvida, de preferência, sob a supervisão do professor. Vale lembrar que é sempre recomendável cuidado no manuseio de materiais como tesoura, fósforo e outros que podem ferir quando usados inadequadamente.

# PRESSÃO E DENSIDADE DO AR

Giovanni Dolif Neto (Inpe) e Marcos Barbosa Sanches (Inpe).

## Apresentação

Como qualquer substância, o ar tem o seu próprio peso. A atmosfera tem mais de 600 km de espessura e o peso de todo esse ar pressiona a superfície da Terra. Essa força para baixo exercida pelo peso do ar é chamada de pressão. Esta pressão é chamada pressão atmosférica e sua unidade de medida é o Pascal. A pressão atmosférica não é constante, podendo variar no espaço e no tempo, e depende também da densidade do ar.

Em regiões onde a coluna de ar é densa, a pressão atmosférica na superfície é alta. Já em regiões onde a coluna de ar é rarefeita, a pressão atmosférica na superfície é baixa. Por exemplo, ao nível do mar, onde a massa atmosférica é grande, a pressão atmosférica é maior do que a registrada em uma região montanhosa na mesma latitude. Com isso concluímos que a pressão atmosférica varia com a altitude.

Outro fato relevante é que 50% do total da massa atmosférica está concentrado nos primeiros 5 km. O calor faz as moléculas do ar se afastarem e, assim, o ar fica menos denso. Quando acontece o resfriamento do ar, o efeito é contrário, tornando o ar mais denso e mais pesado. Dessa forma, massas de ar de temperaturas diferentes têm densidades (pesos) diferentes e por isso exercem também um valor de pressão diferente. O ar se movimenta de regiões com alta pressão para regiões com baixa pressão.

## Objetivos

1. Demonstrar que o ar tem peso e densidade, e que exerce pressão.

2. Demonstrar os efeitos das mudanças de temperatura na pressão do ar.

## Sugestão de problematização

Dois corpos podem ocupar o mesmo lugar no espaço? O ar pode ser infinitamente comprimido? Como ocorre a expansão do ar?

## Materiais

### Experimento 1

- 1 balão inflável
- 1 garrafa PET

### Experimento 2

- 1 balão inflável
- 1 garrafa PET, pré-gelada no congelador por uma hora
- 1 jarra de água morna
- 1 bacia de plástico de tamanho médio



Figura 1.25. Materiais do Experimento 1.



Figura 1.26. Materiais do Experimento 2.

## Procedimentos

### Experimento 1

1. Aperte a garrafa e coloque o balão dentro da garrafa, prendendo a boca do balão na boca da garrafa.

2. Solte as laterais da garrafa. O balão irá inflar à medida que a garrafa encher de ar. Se apertarmos a garrafa de novo, o balão irá murchar novamente.



Acervo AEB.



Acervo AEB.

Figura 1.27. Demonstração do procedimento 1.

Figura 1.28. Demonstração do procedimento 2.

## Experimento 2

1. Coloque a garrafa de plástico no congelador por cerca de uma hora. Retire do congelador e coloque o balão inflável na boca da garrafa, com a parte inflável para fora da garrafa.
2. Preencha a bacia com água morna e coloque a garrafa dentro.
3. Registre o que ocorreu. O aquecimento do ar dentro da garrafa provoca a sua expansão, forçando o ar a sair pela boca da garrafa, o que acaba enchendo o balão inflável.



Acervo AEB.



Acervo AEB.



Acervo AEB.

Figura 1.29. Demonstração do procedimento 1.

Figura 1.30. Demonstração do procedimento 2.

Figura 1.31. Demonstração do procedimento 3.

## Orientações complementares

Um paralelo que podemos traçar para entender melhor a relação “diferença de pressão e vento” é o seu mecanismo de respiração. Para que se possa inspirar, a caixa torácica se expande, pela movimentação das costelas e do diafragma. Esse aumento do volume dos pulmões faz a pressão diminuir dentro dele, resultando em uma pressão menor do que a pressão fora do corpo; então, o fluxo do ar é como o vento, que sopra de uma região de alta pressão para uma região de baixa pressão, que são seus pulmões.

No experimento 2, o aquecimento fez com que as moléculas de ar se movessem mais rapidamente, aumentando a distância entre elas, determinando a expansão, pois assim ocupam um volume maior. Em outras palavras, o ar se expande quando é aquecido e se contrai quando é resfriado, demonstrando que a densidade muda.

## Possíveis desdobramentos

Entender o funcionamento de um Barômetro (aparelho medidor de pressão).

Aplicabilidade da pressão atmosférica na meteorologia.

**Atenção!** As atividades aqui expostas devem ser desenvolvidas, de preferência, sob a supervisão do professor. Vale lembrar que é sempre recomendável cuidado no manuseio de materiais como tesoura, fósforo e outros que podem ferir quando usados inadequadamente.

## ALTERANDO A DENSIDADE

Carlos Eduardo Quintanilha Vaz de Oliveira, Giovanni Dolif Neto (Inpe) e Rodrigo Dutra Silveira Monteiro (CEF 411 Samambaia/SEDF).

### Apresentação

Desde as épocas mais remotas, o ser humano busca se deslocar por sobre as águas. Mas, para se mover sobre uma superfície, é preciso haver um equilíbrio de forças. Quando alguém caminha sobre o chão, o peso dessa pessoa, que aponta para o centro da Terra, é compensado pela força que o chão exerce sobre os pés dela. Essa força é chamada “força normal”. No caso de, ao invés de uma superfície sólida, tivermos uma fluida, como a água, uma outra força provoca o equilíbrio com o peso que está na superfície, força esta chamada “empuxo”.

O empuxo representa o peso do volume do líquido deslocado. Em outras palavras: quando alguém ou alguma coisa é colocada dentro da água, uma quantidade de água se desloca. Como exemplo, se uma esfera for colocada dentro de um copo com água completamente cheio, uma quantidade de água vai derramar, e essa quantidade de água derramada é exatamente igual ao volume da esfera que está submersa. Dessa forma, se pudermos coletar toda a água que vazou do copo e medir seu peso, teremos então encontrado o valor do empuxo, que é a força que um fluido exerce em um corpo imerso nele.

Conta a história que Arquimedes desenvolveu esse princípio quando precisou desvendar um problema para Hierão, o rei de Siracusa. O Rei, desconfiado de que um ourives desonesto não utilizara todo o ouro disponibilizado para a confecção de sua

coroa, pediu que Arquimedes verificasse, sem destruí-la, se a coroa, depois de pronta, era realmente de ouro puro. Arquimedes, então, utilizou-se de um pedaço de ouro e outro de prata, maciços, com a mesma massa da coroa. Colocou o bloco de ouro e verificou quanta água se deslocava. Fez o mesmo processo com o bloco de prata. O cientista verificou que o bloco de prata deslocava um volume maior de água do que o de ouro. Ao colocar a coroa no mesmo vasilhame, foi observado que a coroa deslocava um volume de água maior do que o do ouro e menor do que o da prata. Isso significava que na coroa havia prata misturada. Assim, a farsa do ourives foi desmascarada.

Nesta atividade, temos a oportunidade de perceber como a densidade de um fluido influencia diretamente na força de reação ao peso dentro do fluido.

## Objetivos

1. Verificar como a densidade de um fluido pode interferir na força de empuxo que este exerce sobre um corpo imerso.
2. Familiarizar-se com o princípio de Arquimedes.

## Sugestão de problematização

Por que é mais fácil flutuar no mar do que em um rio ou em uma piscina? Existe uma força maior na água do mar que possibilita essa flutuação?



Figura 1.32. Materiais.

## Materiais

- 1 garrafa PET
- 1 estilete
- 1 tesoura
- ½ litro de água
- 1 ovo
- 1 colher de sopa
- 200g de sal

## Procedimentos

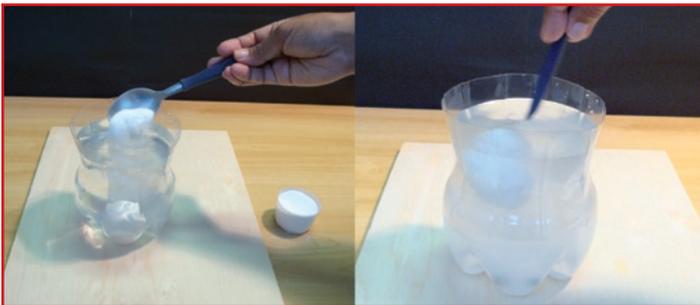
1. Coloque o ovo dentro da vasilha com água. O que acontece com o ovo? Flutua ou afunda?



Acervo AEB.

Figura 1.33A, B, C e D. Demonstração do procedimento 1.

2. Despeje sal dentro da vasilha com água e mexa.



Acervo AEB.

Figura 1.34A e B. Demonstração do procedimento 2.

3. Coloque novamente o ovo dentro da água. E agora, ele flutua ou afunda?



Acervo AEB.

Figura 1.35A e B. Demonstração do procedimento 3.

## Orientações complementares

Partindo do princípio de Arquimedes, pode-se explicar por que o ovo flutua na segunda situação, sendo que o volume de água que ele desloca é o mesmo nos dois momentos (que é o próprio volume dele).

Essa diferença ocorre porque, após misturar sal, a solução aquosa, por ter um soluto dissolvido, fica mais densa, ou seja, possui maior massa em um mesmo volume. A densidade absoluta  $D$  é dada pela razão entre a massa e o volume,

$$D = \frac{\text{Massa}}{\text{Volume}}$$

Dessa forma, ao deslocar o mesmo volume que

anteriormente, o ovo desloca uma massa maior de fluido, e como a força de empuxo é o peso desse volume deslocado ( $E = D \cdot g \cdot V$ ), estando a água mais densa, a força será maior, fazendo com que o ovo flutue.

É por esse mesmo princípio que é mais fácil flutuar no mar do que na piscina.

É possível que o ovo não flutue depois da adição do sal. Isso pode acontecer em virtude de os ovos possuírem variações em suas densidades. Nesse caso, deve-se adicionar mais sal até que o ovo flutue, ou seja, a densidade ( $D$ ) da solução de água+sal irá aumentar até superar a densidade do ovo e, então, ele flutuará.

## Possíveis desdobramentos

A madeira, quando colocada em água, flutua naturalmente, então é de se esperar que um barco feito de madeira venha a flutuar também. Já o metal, que é mais denso que a água, notoriamente afunda. Como explicar embarcações imensas de metal, e ainda carregadas com toneladas de carga, viajarem pelos oceanos?

O segredo está justamente na palavra “imenso”. Quanto maior é um objeto, mais água ele vai deslocar quando

imerso. Deslocando mais água, a força de empuxo será maior, oferecendo sustentação para a navegação. Uma forma simples de verificar isso é com uma bolinha de massa de modelar. Quando em formato de esfera, maciça, ela afunda; ao modelá-la em formato de cunha, como se fosse uma canoa pequena, ela passa a flutuar, pois desloca uma quantidade maior de fluido. Experimente fazer também essa experiência.

**Atenção!** A atividade aqui exposta deve ser desenvolvida, de preferência, sob a supervisão do professor. Vale lembrar que é sempre recomendável cuidado no manuseio de materiais como tesoura, fósforo e outros que podem ferir quando usados inadequadamente.

## COMO SE FORMAM AS BRISAS

Gilvan Sampaio (Inpe), Giovanni Dolif Neto (Inpe), Lana Nárcia Leite da Silveira (EEB) e Maria Emília Mello Gomes (Programa AEB Escola/AEB).

### Apresentação

As circulações locais são circulações de ar induzidas termicamente pelos processos de superfície em regiões heterogêneas. Essas circulações podem ser as convencionais, ou seja, surgem em virtude de aquecimento diferencial, como a circulação de “brisa marítima/terrestre”, vale–montanha, lacustre, ou as não convencionais, como as induzidas por diferenças em umidade de solo ou vegetação.

As brisas (marítimas, terrestres, lacustres, de vegetação, de vale–montanha) têm grande influência no clima em diversas partes do globo. Por exemplo, próximo à costa, num dia quente, com vento fraco, há maior aquecimento da areia e do solo do que da água do mar. Isto porque a água tem capacidade calorífica maior que materiais como areia e solo, e para aquecê-la é necessário maior quantidade de calor.

Esse aquecimento diferencial gera diferença regional de pressão atmosférica, ficando o ar mais quente sobre o continente com pressão relativamente mais baixa do que o ar mais frio sobre o mar. Esta diferença de pressão induz à formação de uma brisa da região de pressão mais alta (mar) para a região de pressão mais baixa (continente), que é a chamada “brisa marítima”. Esta brisa surge para equilibrar as diferenças de temperatura e pressão entre as duas regiões.

Durante a noite ocorre o contrário: o continente resfria rapidamente, enquanto a água do mar resfria mais lentamente; com

isso, a temperatura estará mais quente no mar do que no continente. Portanto, o ar sobre o continente estará com pressão relativamente mais alta do que o ar sobre o mar. Isto irá gerar uma brisa da região de pressão mais alta (continente) para a região de pressão mais baixa (mar), que é a chamada “brisa terrestre”.

Com esta atividade, os alunos perceberão o deslocamento do ar (brisa) observando o deslocamento da fumaça do incenso. A partir do entendimento desses conceitos, os alunos também entenderão por que as massas de ar se deslocam dos pólos em direção do Equador, em ambos os hemisférios.

## Objetivos

O objetivo desta atividade é compreender como se dá a formação de brisas, por meio do entendimento dos seguintes processos:

1. Diferenças de densidade do ar causadas por diferenças de temperatura.
2. Mudanças na pressão causadas pelas mudanças na densidade do ar.
3. Movimento do ar causado por diferenças de pressão.

## Sugestão de problematização

Por que existe vento? Como será o deslocamento do ar: da região mais fria para a região mais quente, ou ao contrário? Se aumentarmos a diferença de temperatura, a intensidade do vento aumentará também?

## Materiais

- 1 fogareiro elétrico
- 10 cubos de gelo
- 1 quilograma de areia fina
- 2 vasilhas de vidro ou alumínio de aproximadamente 30 cm cada
- 1 cartolina de cor preta



Figura 1.36. Materiais.

- 1 fita adesiva
- 2 incensos
- 1 caixa de fósforos
- 1 tesoura
- Massa de modelar

## Procedimentos

1. Preencher uma das vasilhas de alumínio com areia, e aquecê-la sobre um fogareiro elétrico, e a outra vasilha com gelo.



Acervo AEB.

Figura 1.37. Demonstração do procedimento 1.



Acervo AEB.

Figura 1.38. Demonstração do procedimento 2.



Acervo AEB.

Figura 1.39. Demonstração do procedimento 3.

2. Colocar a cartolina em forma de painel em torno das duas vasilhas e acender os incensos.
3. Fazer uma base para o incenso com a massa de modelar, espetar os incensos e colocá-los entre as duas vasilhas. Observar para onde a fumaça se desloca.

Espera-se que a fumaça se desloque da vasilha com gelo para a vasilha com areia.

## Orientações complementares

Como as circulações convencionais surgem em virtude do aquecimento diferencial, podemos pensar que no planeta Terra há aquecimento diferencial, uma vez que a região

mais próxima do Equador é mais quente do que os pólos. Este grande contraste de temperatura cria uma circulação térmica semelhante àquela da brisa marítima, com o ar soprando dos pólos em direção ao Equador.

A primeira pessoa a propor esse modelo clássico de circulação geral da atmosfera foi George Hadley em 1735. Hadley sugeriu que, sobre a Terra sem rotação, o movimento do ar teria a forma de uma grande célula de convecção, com o ar soprando dos pólos em direção ao Equador, convergindo e subindo, também, próximo do Equador e em altos níveis da troposfera (camada mais baixa da atmosfera), soprando do Equador em direção aos pólos. Com isso, podemos entender que as massas de ar frio e as frentes frias sempre vêm dos pólos em direção ao Equador, na tentativa de equilibrar a temperatura da Terra, ou seja, é uma reação ao aquecimento diferencial.

## Possíveis desdobramentos

Professor/a, a partir desta atividade, é possível desencadear novos estudos, estimular a leitura e a produção de textos na escola, como, por exemplo:

- a. estudar a influência de montanhas, lagos e vegetação na circulação atmosférica de uma cidade ou região;
- b. estudar a circulação geral da atmosfera;
- c. pesquisar sobre a dispersão de poluentes na atmosfera.

Que tal se os alunos fizerem uma apresentação dos materiais na feira de Ciências da escola e em outras turmas? Eles podem preparar até uma apresentação em *power point*, se a escola tiver condições para isso.

**Atenção!** As atividades aqui expostas devem ser desenvolvidas, de preferência, sob a supervisão do professor. Vale lembrar que é sempre recomendável cuidado no manuseio de materiais como tesoura, fósforo e outros que podem ferir quando usados inadequadamente.



Aléogênico Cretácico Jurássico Triásico Pérmico Silúrico Devónico Carbonífero

André Silva (AEB/Programa AEB Escola)

# capítulo 2

## MUDANÇAS CLIMÁTICAS NATURAIS

No capítulo anterior, você conheceu um pouco mais sobre os processos, fatores e elementos que determinam o funcionamento do clima na Terra. A atmosfera – seu comportamento e a natureza de sua composição – recebeu especial atenção por se constituir no cenário onde uma parte importante desses componentes se relacionam, determinando a ocorrência dos fenômenos climáticos da forma como os conhecemos.

A abordagem direcionou-se para o entendimento desses mecanismos e processos à luz das circunstâncias naturais. Esta é uma condição fundamental para as etapas posteriores de nosso estudo, quando deveremos estabelecer as conexões necessárias entre as mudanças climáticas e as ações humanas.

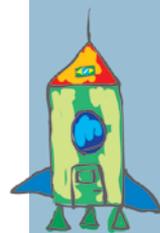
Ou seja, entender como funcionam os processos climáticos sem a interferência humana ajuda o ser humano a dimensionar o real impacto de suas ações e intervenções na natureza.

Neste capítulo, agregaremos outros dados fundamentais para essa compreensão geral.

Afinal, como já vimos, o termo mudanças climáticas não é privilégio das ações humanas. Pelo contrário, essas ocorrências sempre existiram e, em maior ou menor escala, foram decisivas para a constituição da vida na Terra como hoje a conhecemos.

Portanto, antes de se entender o que são as mudanças climáticas antropogênicas, causadas pelas atividades humanas, é importante saber como se dão as mudanças climáticas

*Mudanças climáticas sempre ocorreram no planeta. São as chamadas “mudanças climáticas naturais”.*



impostas pela própria natureza, ou seja, as mudanças climáticas naturais. A compreensão desses fenômenos passará, também, por uma rápida abordagem da história da Terra e dos momentos fundamentais de sua trajetória, cujos reflexos foram decisivos para a evolução do clima no planeta.

Mudanças climáticas naturais sempre ocorreram na Terra, motivadas por fatores diversos, internos e externos. Alguns desses fatores você já conheceu no capítulo anterior. Vimos, por exemplo, que a radiação solar que chega à Terra é uma das determinantes na definição do clima.

Há outros componentes que interferem no clima que a Terra apresenta hoje, dentre os quais se destacam:

- a. a formação da Terra e a deriva dos continentes;
- b. as variações dos parâmetros orbitais da Terra;
- c. a quantidade de aerossóis naturais;
- d. as erupções vulcânicas;
- e. os fenômenos climáticos que podem modificar o clima localmente, como furacões, ciclones, tempestades violentas etc.;
- f. os fenômenos *El Niño* e *La Niña*;
- g. o crescimento das montanhas, que pode afetar os padrões de circulação atmosférica.

A partir de agora, vamos recuar no tempo e entender a relação do processo de formação do planeta Terra com as mudanças climáticas naturais.

## A FORMAÇÃO DA TERRA E O CLIMA

A Terra não é um corpo estático. Pelo contrário, as placas que formam a camada mais superficial da Terra estão sempre se movimentando, ora deslizando umas contra as outras, ora umas sobre as outras. No passado, essa movimentação deu origem à Teoria da Tectônica de Placas,

a teoria da evolução da Terra que conhecemos hoje e que é também a mais aceita cientificamente.



## A Teoria da Tectônica de Placas

A Tectônica de Placas funciona desde os primeiros estágios da Terra, desempenhando um papel de destaque na história da vida. As mudanças na configuração relativa dos continentes e dos oceanos influenciam os padrões climáticos, o ambiente, a composição e a distribuição das espécies.

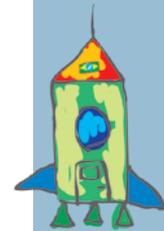
Você já deve saber que os continentes ocuparam posições diferentes na superfície da Terra, nos diferentes estágios da história do planeta. Estamos falando de situações em que a distribuição das zonas climáticas e a circulação oceânica eram totalmente diferentes das atuais. Da mesma maneira, você já sabe que a energia total transmitida pelo Sol é determinante para o clima da Terra. Agora, vamos analisar essas influências sob um novo ângulo.

As variações da luminosidade solar ao longo da existência do planeta Terra provocaram mudanças significativas no clima. Teorias da evolução estelar sugerem que o Sol apresentava uma radiação de menor intensidade nos primeiros bilhões de anos da história da Terra.

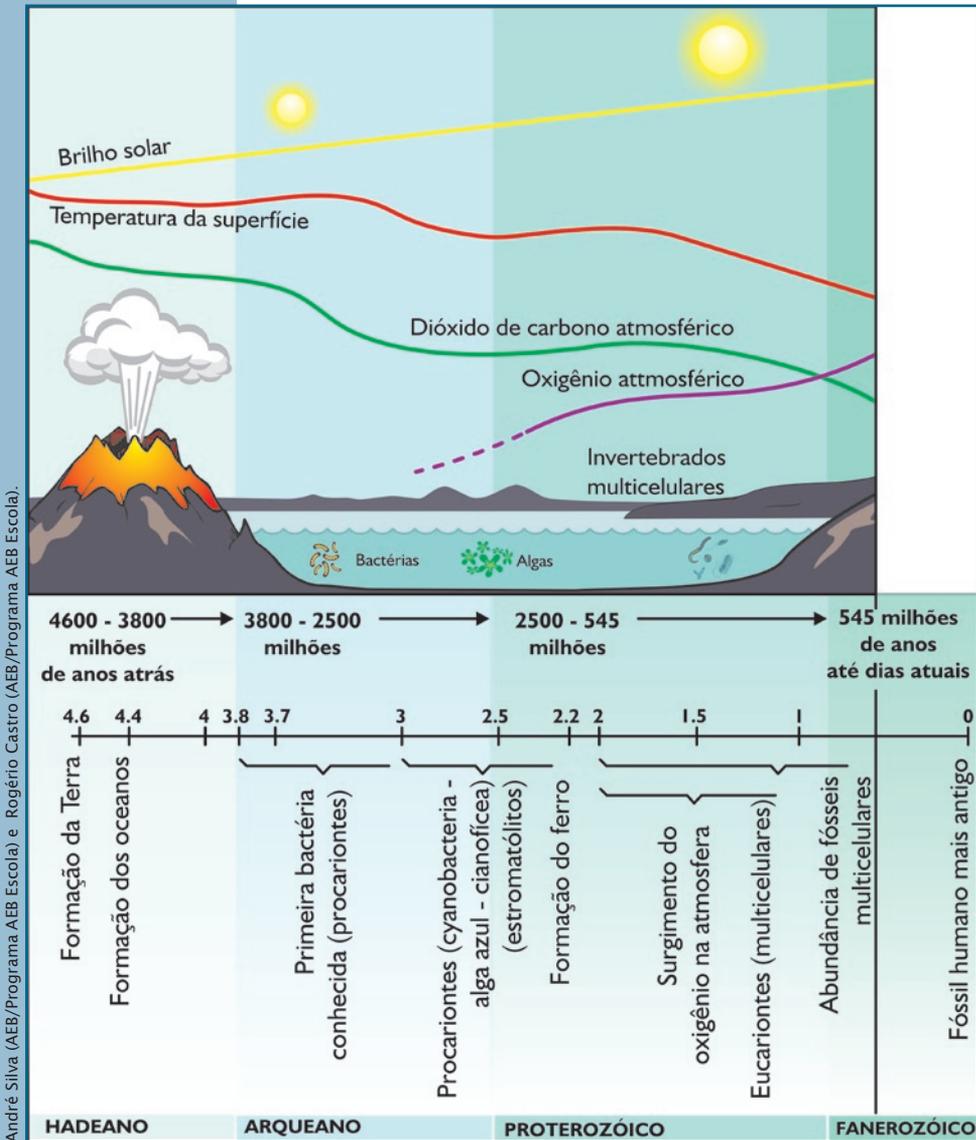
Todavia, mesmo nesse período, evidências da cobertura

*Segundo algumas teorias, a luminosidade do Sol aumentou cerca de 30% desde a formação do Sistema Solar. Este aumento da luminosidade está associado à conversão de hidrogênio para hélio, o que ocasionou o aumento da densidade solar, da temperatura central do Sol, da taxa de fusão e da produção de energia.*

de gelo demonstram que o planeta não estava significativamente frio. A causa disso seria um forte efeito estufa provocado pela alta concentração de dióxido de carbono e pelo vapor d'água que compensava a reduzida radiação solar. A Figura 2.1 mostra um modelo da evolução da Terra entre 4,6 bilhões e 545 milhões de anos atrás, no qual



se pode observar a diminuição da quantidade de gás carbônico – também conhecido como dióxido de carbono ou  $\text{CO}_2$  – e, portanto, da temperatura. Observa-se, ainda, o aumento do brilho solar no decorrer das eras. O surgimento dos oceanos deu-se por volta de 4,4 bilhões de anos atrás. A Figura 2.1 mostra, também, como se deu o surgimento dos primeiros seres vivos.



André Silva (AEB/Programa AEB Escola) e Rogério Castro (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 2.1. Formação da vida na Terra entre 4,6 bilhões e 545 milhões de anos atrás, com variação solar e de temperatura, além de oxigênio e dióxido de carbono na atmosfera.

## Evolução geológica da Terra

Para auxiliar na compreensão da relação entre a formação da Terra e as mudanças do clima, vale lembrar que, na escala do tempo geológico, a divisão da evolução da Terra é feita em néons, eras, períodos e épocas, conforme mostra a Figura 2.2.

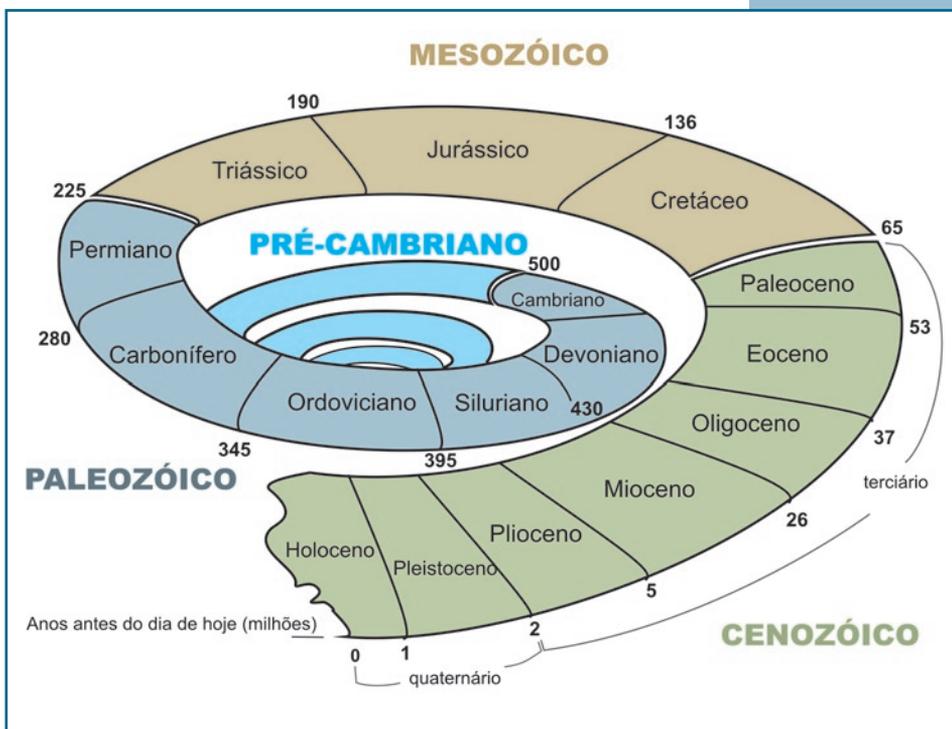


Figura 2.2. Representação da escala de evolução geológica da Terra desde o Pré-cambriano.

### Na era Pré-cambriana

Antes de 4,6 bilhões de anos temos o néon hadeano e, a partir dessa data até cerca de 570 milhões de anos atrás, temos a era Pré-cambriana, que corresponde a cerca de 85% da história da Terra. Pouco se sabe sobre essa era e, provavelmente, isso se deve ao fato de que as possíveis evidências do clima neste período foram removidas pelos subseqüentes episódios climáticos e geológicos. Foi no final dessa era que surgiram as primeiras espécies vivas.

## Entre a era Pré-cambriana e o período Cambriano

Na era Pré-cambriana e no período Cambriano (o primeiro do Paleozóico), estima-se que a temperatura estava mais alta do que nos dias atuais, em resposta à maior atividade vulcânica e à maior quantidade de  $\text{CO}_2$  na atmosfera. Havia, em média, mais precipitação, o que levou a um aumento do nível médio do mar. Calcula-se que a concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera era cerca de dez vezes maior do que os dias atuais.

## Surge a Pangéia, o grande continente

Há aproximadamente 250 milhões de anos, ocorreu a formação da Pangéia. Neste período, houve uma diminuição significativa do nível do mar, provavelmente associada a um aumento significativo de gelo nas altas latitudes. A circulação oceânica global era composta

praticamente por duas células de circulação, sendo uma no Hemisfério Norte e a outra no Hemisfério Sul, conforme podemos observar na Figura 2.3.

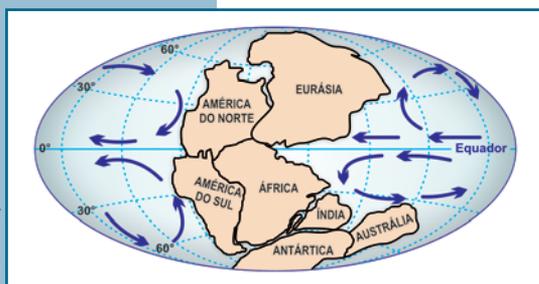


Figura 2.3. A Pangéia e a circulação oceânica.

Rogério Castro (AEB/Programa AEB Escola).

Saiba mais...



### O gelo aumenta a reflexão dos raios solares

Os movimentos das massas continentais para altas latitudes podem iniciar uma forte interação entre o gelo e o albedo. O gelo, como é branco, é bom refletor de radiação solar. Se aumentar a quantidade de gelo do planeta, indicando que este está mais frio, haverá maior reflexão da radiação solar, que também irá contribuir para resfriar ainda mais o planeta, ou seja, é um mecanismo de retroalimentação ou *feedback*.

### Recapitulando

Vimos no capítulo 1 que albedo significa brancura ou alvura. O termo é usado em astronomia para medir a capacidade de reflexão luminosa de um corpo.

## No Cretáceo

Entre cerca de 200 milhões de anos atrás e o final do Cretáceo, o clima refletia o efeito da “quebra” da Pangéia. Foi quando ocorreu a formação do Oceano Atlântico, surgiu o Mar Tropical de Tétis, conectando os Oceanos Tropicais, o platô Antártico movimentou-se em direção ao Pólo Sul e as placas das atuais África, Índia e Austrália movimentaram-se para o norte.

Há cerca de 100 milhões de anos, houve o mais recente aquecimento do planeta. No Cretáceo, a temperatura era maior do que hoje em dia, sobretudo nas altas latitudes, o que indica uma diminuição significativa ou a ausência de gelo nesses pontos. Acredita-se que a quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera era de duas a dez vezes maior do que é hoje. Além disso, o nível do mar era mais elevado e cerca de 15% a 20% da superfície atual estava submersa.

## No Cenozóico

No Cenozóico, especificamente no período Terciário, verificou-se uma lenta tendência de formação das calotas polares. Ocorreu um decréscimo do CO<sub>2</sub> atmosférico por causa da diminuição da atividade vulcânica. Entretanto, entre 55 milhões e 50 milhões de anos atrás, as temperaturas do ar e do mar aumentaram, provavelmente por causa de um aumento da atividade tectônica. Esse contexto, marcado por intensa atividade vulcânica, redundou em maior concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera e, conseqüentemente, no aumento do efeito estufa.

Como resultado da maior atividade tectônica, ocorreram:

- a. a formação dos novos supercontinentes: Eurásia/África e Américas;
- b. o fechamento do Mar Tropical Tétis, há cerca de 30 milhões de anos;
- c. a elevação dos Alpes, há cerca de 20 milhões de anos, e do Himalaia, há cerca de 15 milhões de anos, em decorrência da colisão da África e da Índia com a Eurásia;

- d. a abertura do Oceano Sul pelo deslocamento para o norte da Austrália, há cerca de 20 milhões de anos;
- e. o fechamento do istmo do Panamá, há cerca de 4 milhões de anos;
- f. a expansão significativa do Oceano Atlântico e o desenvolvimento das correntes oceânicas.



Saiba mais...

### As geleiras e o nível do mar

O desenvolvimento das geleiras na Antártica começou há mais ou menos 30 milhões de anos. Depois, há 10 milhões de anos, o volume de gelo aumentou por causa de um resfriamento. Com a extensão do gelo antártico, houve uma diminuição do nível do mar em cerca de 50 metros.

## INCLINAÇÃO E MOVIMENTOS DA TERRA ALTERNANDO A TEMPERATURA

Há aproximadamente 2,4 milhões de anos, já havia mantos de gelo nos continentes do Hemisfério Norte. A partir daí, observam-se alternâncias rítmicas, de frio e calor, num período próximo de 41 mil anos. Essa situação de oscilações frequentes e relativamente pouco intensas vai até mais ou menos 900 mil anos atrás, quando as oscilações, tendendo a períodos frios, tornam-se muito mais intensas e passam a ocorrer a cada 100 mil anos.

Essas variações, que são deduzidas da análise dos isótopos de oxigênio dos sedimentos de fundo marinho, vêm comprovar a influência que as mudanças na órbita da Terra – e as conseqüentes variações da quantidade de calor recebida nos diferentes locais – devem ter exercido na determinação das alterações climáticas do passado.

A relação entre o nível do mar e as mudanças climáticas é muito significativa. Ao tomarmos como referência o atual nível médio do mar, podemos inferir que, em momentos

históricos em que a temperatura média do planeta esteve abaixo das atuais, o nível médio do mar se manteve abaixo do nível que temos hoje. Sempre que a Terra passou por momentos de temperatura mais baixa, houve o aumento das áreas cobertas por gelo. Da mesma forma, em temperaturas mais elevadas, o nível médio do mar esteve mais alto do que o atual, indicando degelo em grandes proporções.

Essas alterações climáticas são cíclicas e vêm ocorrendo em intervalos de, aproximadamente, 100 mil anos, expressando mudanças nas concentrações de gases de efeito estufa, provocadas pela variação de temperatura. Veja na Figura 2.4 os intervalos em que se deu a alternância de temperatura e do nível do mar.

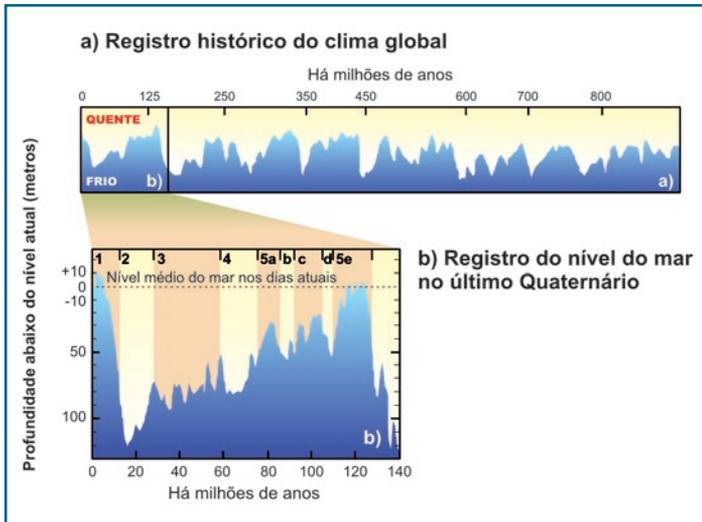


Figura 2.4. Variações do nível do mar nos últimos 900 mil anos.

## Eras glaciais e interglaciais na Teoria de Milankovitch

Agora, vamos conhecer uma teoria que explica, matematicamente, as oscilações que acabamos de ver. Conhecida como Teoria de Milankovitch, ela toma como base variações sazonais e latitudinais da radiação solar recebida pelo planeta. Essa teoria foi elaborada pelo sérvio Milutin Milankovitch

Adaptada por Rogério Castro (AEB/Programa AEB Escolar).  
National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).  
www.ngdc.noaa.gov/

**Milutin Milankovitch** (1879-1958) nasceu em Belgrado, capital da Sérvia. Era astrônomo e formulou a teoria que leva seu nome, segundo a qual as flutuações do clima a longo prazo são ligadas a variações cíclicas de três parâmetros orbitais da Terra.



**Periélio:** ponto da órbita de um planeta, planetóide, asteróide ou cometa que está mais próximo do Sol.

**Afélio:** ponto da órbita em que o planeta, ou planetóide, está mais afastado do Sol.

no início do século passado e explica essas oscilações que ocorrem a cada 100 mil anos.

A Teoria de Milankovitch está baseada nas variações cíclicas de três elementos, que ocasionam variações na quantidade de energia solar que chega à Terra e que, por sua vez, influenciam marcadamente a temperatura do planeta. Esses elementos são:

- 1. Precessão:** mudanças na orientação do eixo rotacional da Terra. Estas mudanças alteram as datas do **periélio** e do **afélio**, ocasionando aumento do contraste sazonal em um hemisfério e diminuição em outro. O período médio é de 23 mil anos.

Heluiza Bragança (AEB/Programa AEB Escola).

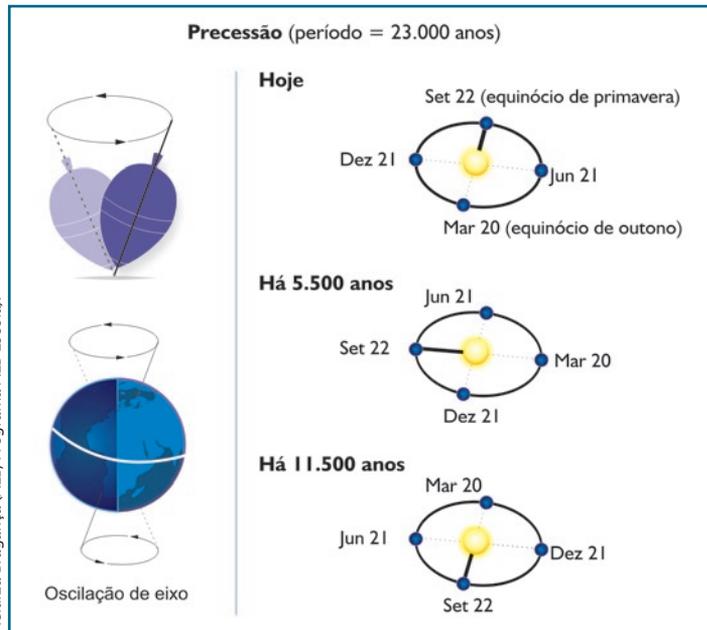


Figura 2.5. Mudanças na orientação do eixo rotacional da Terra alteram as datas do periélio e do afélio. Como consequência, em um hemisfério aumenta o contraste sazonal e no outro diminui.

- 2. Obliquidade:** alterações na inclinação do eixo de rotação da Terra, em relação à perpendicular ao plano da órbita, influenciam na magnitude da mudança sazonal. Ou seja, quando a inclinação é maior, as estações são mais extremas – os invernos são mais frios e os verões,

mais quentes – e, quando a inclinação é menor, as estações são mais suaves em ambos os hemisférios. Atualmente, a inclinação é de  $23,5^\circ$ . O período médio de ocorrência de tais alterações é de 41 mil anos, variando entre inclinações de  $21,5^\circ$  e  $24,5^\circ$ . Quando os verões são mais frios, há maior permanência de neve e gelo nas altas latitudes, o que contribui para um *feedback* positivo, ou seja, mais neve significa albedo maior e, portanto, maior resfriamento.

- 3. Excentricidade:** está relacionada com o fato da órbita da Terra em relação ao Sol ser mais elíptica (alta excentricidade) ou mais circular (baixa excentricidade). Atualmente, existe uma diferença de 3% entre a maior aproximação, perélio, e o afélio. Esta diferença na distância significa 6% da insolação entre janeiro e julho. Quando a órbita está mais elíptica, a diferença da insolação é da ordem de 20% a 30% entre janeiro e julho. O período de ocorrência dessas variações é de 90 mil a 100 mil anos.

Utilizando estas três variações orbitais, Milankovitch formulou um modelo matemático que fornece a diferença latitudinal na insolação e a correspondente temperatura da superfície. Ele tentou, então, correlacionar estas mudanças com o crescimento e a retração das Eras Glaciais. Para fazer isto, assumiu que as mudanças na radiação em algumas latitudes e estações são mais importantes para o crescimento e a diminuição de capas de gelo do que outros parâmetros.

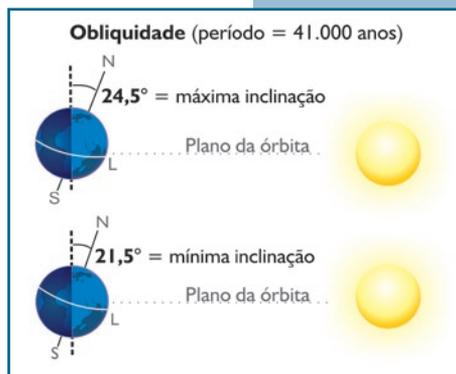


Figura 2.6. Alterações na inclinação do eixo de rotação da Terra, em relação à perpendicular ao plano de sua órbita, trazem como consequência invernos mais frios e verões mais quentes, se a inclinação for maior. Quando a inclinação é menor, as estações são mais suaves nos dois hemisférios.

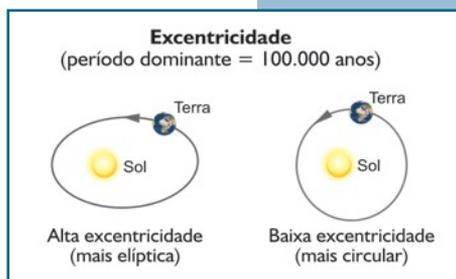


Figura 2.7. A órbita da Terra, em relação ao Sol, pode ser mais elíptica ou mais circular e isso faz com que haja diferença na insolação de até 30% entre janeiro e julho.

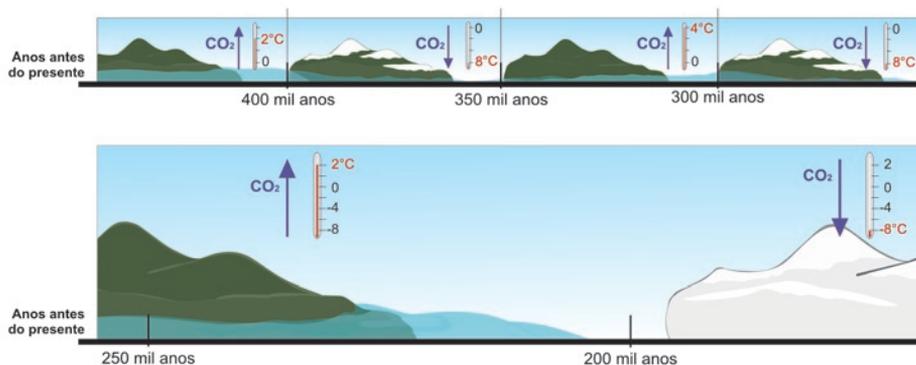


## A Teoria de Milankovitch

Milankovitch publicou os resultados de seu trabalho em 1938. Sua teoria foi alvo de disputas por décadas, até que, em 1976, um estudo publicado na revista *Science* (Hays *et al.*, 1976) examinou os sedimentos de corais nas profundezas do oceano. Os pesquisadores em questão demonstraram que, realmente, o sistema climático tinha uma resposta diretamente ligada à indução orbital. Este estudo encontrou picos de mudanças de temperatura desde, aproximadamente, 450 mil anos atrás, que estariam associados a variações no clima. Essas variações, por sua vez, estavam ligadas às mudanças na geometria (excentricidade, obliquidade e precessão) da órbita da Terra. Na verdade, ficou comprovado que as Eras Glaciais tinham ocorrido quando a Terra estava passando por diferentes estágios de variações orbitais.

Na Figura 2.8, pode-se verificar como se dão as alternâncias do clima da Terra. Nota-se, claramente, que o planeta Terra passou por variações de temperatura com períodos médios de 100 mil anos e, portanto, por Eras Glaciais e Interglaciais. É possível observar, ainda, que, com o aumento da temperatura média da Terra, também há um aumento da concentração de CO<sub>2</sub> e de metano, e vice-versa.

### Ciclos glaciais



Helíza Bragança (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 2.8. Variação da quantidade de dióxido de carbono na atmosfera, nos últimos 450 mil anos, estimada a partir de amostras de gelo em Vostok - Antártica.

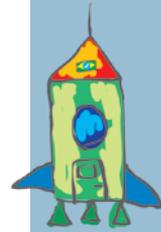
## AEROSSÓIS E TEMPERATURA TERRESTRE

As partículas em suspensão na atmosfera, como, por exemplo, poeira e pólen, em estado líquido ou sólido, são também denominadas aerossóis e cor-

respondem a outro fator determinante do clima. Um aerossol natural muito comum é o sal marinho, que chega à atmosfera a partir do atrito do vento com a superfície oceânica.

Como vimos no capítulo 1, os gases de efeito estufa e a presença de aerossóis na atmosfera podem ter um impacto importante sobre o balanço de energia do Sistema Terra-Atmosfera.

*A poluição atmosférica, normalmente, é composta de gases tóxicos, acompanhados de aerossóis gerados por diversas atividades antrópicas.*



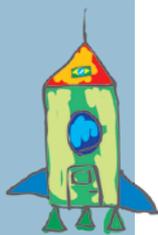
*A maior parte dos aerossóis tem origem natural e é produzida, principalmente, pela ação do vento sobre a superfície do mar e de áreas de solo descoberto, por vulcões e pela queima natural da vegetação. Atividades humanas, como a queima de combustíveis e mudanças na cobertura natural do solo, também são fontes importantes.*



Em escala global, estima-se que o efeito predominante da presença dos aerossóis na atmosfera seja o de refletir os raios solares. Este efeito direto sobre o balanço de energia tende a resfriar as camadas mais baixas da atmosfera, reduzindo a temperatura próxima à superfície.

Em escalas menores, porém, a descrição dos efeitos dos aerossóis é mais complexa. Por exemplo, em níveis elevados, a poeira mineral proveniente do solo pode refletir a radiação solar, causando resfriamento da superfície. A presença destes mesmos aerossóis em níveis intermediários da atmosfera pode causar retenção da radiação refletida pela superfície terrestre e contribuir para intensificar o efeito estufa. Outros tipos de aerossóis, emitidos durante processos de queima, podem, ainda, absorver a radiação solar e contribuir diretamente para o aquecimento da atmosfera.

## Vulcões resfriam a Terra?



*Um importante componente destes aerossóis é o carbono elementar, normalmente descrito como black carbon, que, por sua cor escura, atua como absorvedor de radiação.*

Os vulcões promovem alterações nas condições climáticas, mesmo em regiões distantes da erupção, em função da enorme quantidade de aerossóis emitidos durante esses eventos. As partículas atingem níveis elevados da atmosfera,

onde os processos de remoção de aerossóis são reduzidos, o que permite que o efeito de reflexão da radiação solar possa atingir grandes áreas e persistir por vários meses a anos.

As erupções vulcânicas produzem os maiores impactos relacionados aos aerossóis na atmosfera. Isto se dá, principalmente, por três motivos:

1. Quando há uma erupção vulcânica, uma grande quantidade de aerossóis é lançada na atmosfera.
2. Dependendo da intensidade da erupção vulcânica, os aerossóis emitidos por ela podem atingir a estratosfera e, como praticamente não há troca de ar entre a troposfera e a estratosfera, estes aerossóis podem ficar nesta camada da Atmosfera por até dois anos, aproximadamente, fazendo com que chegue menos radiação solar à superfície, influenciando, assim, no balanço de energia do Sistema Terra-Atmosfera. Como consequência, pode haver um resfriamento temporário do planeta.
3. Os vulcões emitem, na atmosfera, dióxido de enxofre, que vai reagir com o vapor d'água, formando o ácido sulfúrico e desencadeando a chamada chuva ácida.

Vejamos o exemplo do vulcão Pinatubo, nas Filipinas, que entrou em erupção em julho de 1991, lançando na atmosfera cerca de 20 megatoneladas de ácido sulfúrico. Suas cinzas atingiram a estratosfera e se espalharam por todo o globo, bloqueando parte da radiação solar. Com isso, dependendo da região, a **profundidade óptica da atmosfera** aumentou até cem vezes em relação aos níveis normais medidos antes da erupção.



### **Profundidade óptica da atmosfera:**

medida da quantidade de luz que é filtrada pela presença de partículas numa coluna atmosférica, com um determinado valor médio global. Nos dias de hoje, essa média é de  $0,07 \text{ g/cm}^2$  de aerossóis. Nas décadas de 1920-1950, por exemplo, quando a atmosfera terrestre esteve bem mais limpa do que hoje, por causa da baixa atividade vulcânica, este índice era de  $0,04 \text{ g/cm}^2$  de aerossóis.

O bloqueio parcial da entrada de radiação solar, com a nuvem de poeira proveniente da erupção, fez com que a temperatura terrestre diminuísse. Durante os 15 meses seguintes, foi observada uma diminuição da temperatura média global em cerca de  $0,6^{\circ}\text{C}$ . Outras erupções vulcânicas, como a do El Chichón, no México, em 1982, e a do Tambora, na Indonésia, em 1815, lançaram cerca de 7 mil e 175 mil megatoneladas de ácido sulfúrico na atmosfera, respectivamente.



Figura 2.9. A erupção do vulcão Pinatubo é um exemplo de como as erupções vulcânicas podem interferir na composição atmosférica, afetando a temperatura do planeta.

Dave Harlow/United States Geological Survey. <http://www.wikipedia.org/>

Saiba mais...



## Os aerossóis e o 11 de setembro

Há estudos científicos que se detêm a relacionar a intensificação do efeito estufa com os gases emitidos pela atividade do transporte aéreo. Mas, e os aerossóis deixados no céu depois da passagem de um avião? Também não teriam influência na temperatura atmosférica?

Estudo de pesquisadores das Universidades do Wiscosin e da Pensilvânia, Estados Unidos, sobre o efeito da interrupção da circulação de aviões logo depois dos atentados de 11 de setembro de 2001, em Nova York, mostrou que a diferença entre a temperatura mínima e a máxima, durante o dia, aumentou  $1,1^{\circ}\text{C}$  acima do normal nos três dias subseqüentes ao choque das aeronaves com o World Trade Center.

Analisando os dados coletados por estações climáticas de todo o país, no período de 1971 a 2000, eles concluíram que o aumento da amplitude térmica em Nova York, de 11 a 14 de setembro, foi o maior dos últimos 30 anos.

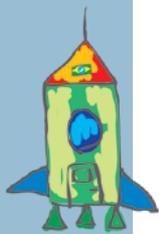
A conclusão, publicada na revista científica *Nature*, é de que a proibição temporária para o tráfego aéreo depois do ato terrorista que derrubou as Torres Gêmeas, fez com que diminuísse a quantidade de aerossóis comumente registrados ali com a circulação de aviões. Com isso, a radiação solar encontrou caminho mais fácil para aquecer a superfície.

## EL NIÑO, LA NIÑA E AS ÁGUAS DO PACÍFICO

Fenômenos climáticos naturais podem induzir mudanças climáticas locais, por exemplo, pela simples modificação das paisagens. A partir de agora, vamos abordar dois fenômenos que têm efeitos na condição do clima e que estão relacionados à temperatura das águas do Oceano Pacífico. São eles *El Niño* e *La Niña*.

O primeiro é assim chamado numa referência dos pescadores peruanos ao menino Jesus, expressão que, em espanhol, é traduzida por *El Niño*. É um fenômeno oceanográfico e atmosférico, caracterizado pelo aquecimento anormal das águas do Oceano Pacífico ao longo do equador, desde o Pacífico Central até a costa oeste da América do Sul.

O *El Niño* é tido pelos meteorologistas como o segundo fenômeno climático-atmosférico mais importante da Terra, depois da mudança das estações. Já o *La Niña* é tido como o oposto do *El Niño*, por se caracterizar pelo resfriamento anômalo das águas superficiais do Pacífico.



A maior intensidade do *El Niño* se dá no início do verão no Hemisfério Sul, em intervalos que variam de dois a sete anos, e sua duração é de um ano a um ano e meio, em média. Agora, vamos imaginar que estamos sob a influência de um episódio de *El Niño*. O fenômeno pode induzir

secas severas em regiões de florestas tropicais, como no norte e no leste da Amazônia. Dependendo da intensidade da seca, a floresta pode se tornar ainda mais seca, facilitando a ocorrência de queimadas, que podem destruir centenas de milhares de hectares de floresta nativa.

### Compreendendo melhor o *El Niño*

*El Niño* é o aquecimento anormal das águas do Oceano Pacífico Equatorial. *El Niño* pode ser chamado, também, de Episódio Quente no Pacífico. Na verdade, é a combinação

entre o aquecimento anormal do Oceano Pacífico e o enfraquecimento dos ventos alísios, que sopram de leste para oeste, na região equatorial. Com essa combinação, começam a ser observadas mudanças na circulação da atmosfera, ocasionando fenômenos como secas e enchentes em várias partes do globo.

A Figura 2.10 mostra a anomalia da temperatura do mar provocada pelo *El Niño* no episódio ocorrido em 1997/1998. Os tons avermelhados indicam regiões em que a temperatura ficou acima da média climatológica. Repare que, na Linha do Equador, na região do Pacífico Central e Oriental, estão as temperaturas mais altas.

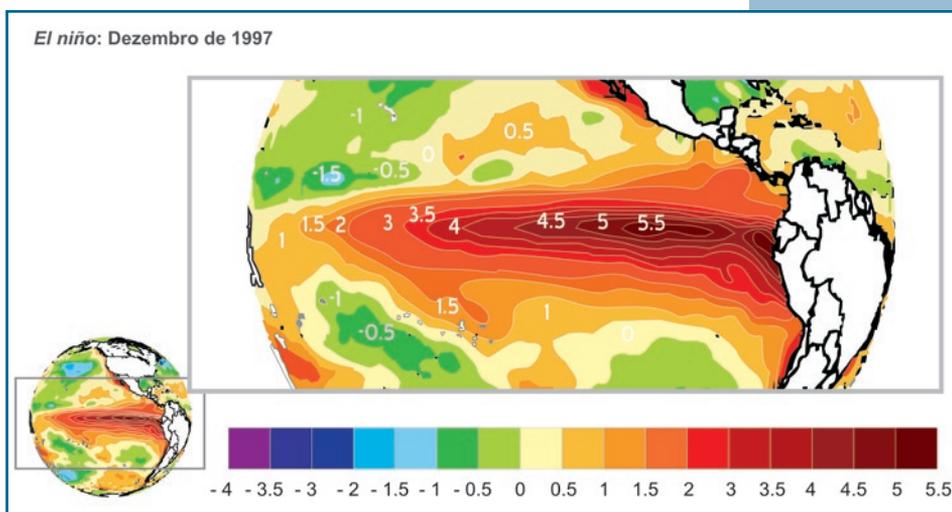


Figura 2.10. Anomalia da temperatura da superfície do mar em dezembro de 1997.

Os meteorologistas têm estudado o *El Niño* para prever sua ocorrência e sua intensidade. No entanto, o fenômeno é de difícil previsão. Modernas técnicas de sensoriamento remoto, com uso de satélites, têm permitido monitorar detalhadamente seus efeitos. Em períodos de *El Niño*, registra-se calor excessivo no norte dos Estados Unidos, seca intensa no nordeste do Brasil, chuvas fortes no sul do Brasil, ausência de peixes nas costas do Peru e do Chile, secas na Austrália etc. A intensidade dessas ocorrências é variável.

Os principais impactos do *El Niño* no mundo são apresentados na Figura 2.11, que comprova como seus efeitos são variáveis.

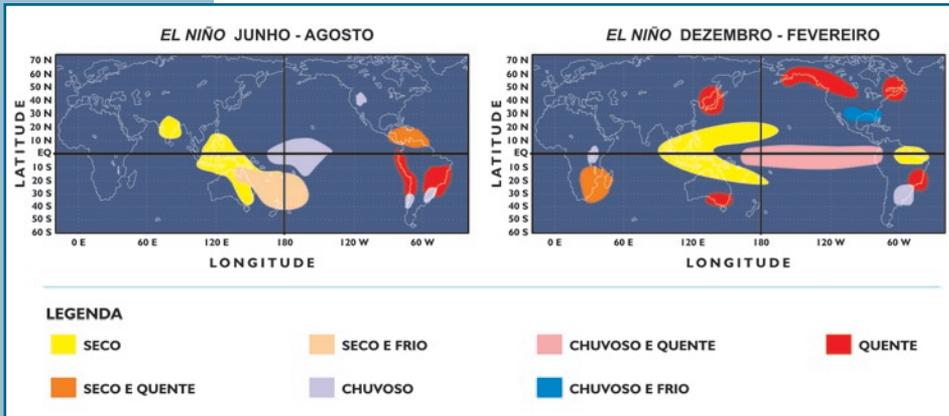


Figura 2.11. Principais impactos do fenômeno *El Niño* em todo o globo.

## Principais efeitos do *El Niño* no País

De um extremo a outro, podem ocorrer no Brasil secas intensas e, até mesmo, chuvas abundantes nos períodos de ocorrência do *El Niño*. Em 1983, por exemplo, considerado um dos episódios do *El Niño* mais fortes do século, as chuvas provocadas pelo fenômeno, na Região Sul, ocasionaram enchentes em vários municípios.

A cidade de Blumenau, em Santa Catarina, foi uma das mais castigadas. A enchente durou 31 dias. O rio Itajaí-Açu começou a subir no dia 5 de julho daquele ano e atingiu 15 metros acima de seu nível, deixando 30% das casas debaixo d'água e 50 mil pessoas desalojadas. Mais de 70% do vale ficou submerso. Os danos materiais foram estimados em US\$ 1,1 bilhão. Surgiu, então, a Oktoberfest, que angariou fundos que ajudaram na reconstrução da cidade de Blumenau.

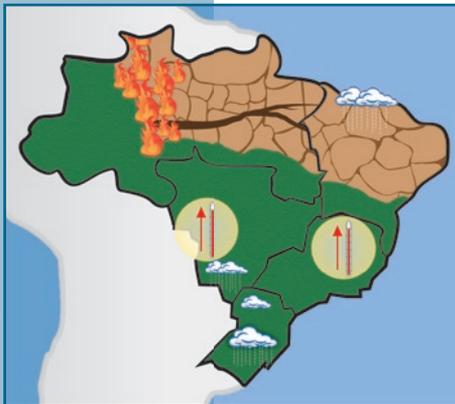


Figura 2.12. Veja que o fenômeno do *El Niño* pode provocar os efeitos mais variados nas regiões do Brasil.