



Água na  
Terra

- O hidrogênio foi formado no Big Bang
  - o oxigênio, como outros elementos foi formado pelos processos de nucleossíntese no interior de estrelas.
- Água existe em vários corpos do sistema solar mas nenhum outro planeta ou satélite do sistema solar tem a mesma quantidade de água líquida que a Terra.

- Uma singularidade da Terra:
  - Contém muita água, no estado líquido, há bilhões de anos.
- Qual é a razão desse privilégio?
- O que torna a Terra diferente, para que isso tenha ocorrido?

- Como a Terra adquiriu uma quantidade de água tão grande?
  - Como a Terra foi formada?
- Uma vez adquirida a água, como ela foi mantida?
  - A existência da Terra como um ambiente hospitaleiro para a vida deve envolver muitos fatores incomuns.



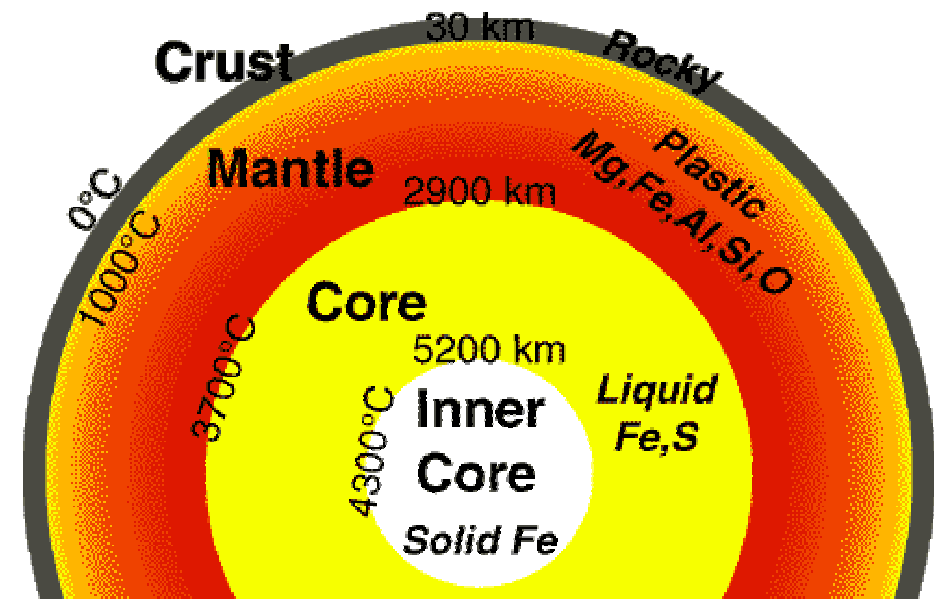
# Formação da Terra

- Teorias mais recentes: duas etapas
  - Formação de asteróides por colapso gravitacional
    - Asteróides com massa até 1/500 da massa da Terra
  - Colisão de asteróides, formando planetas
- A chuva de asteróides sobre a Terra gera grandes quantidades de calor, facilitando a migração dos elementos mais pesados (como o ferro) para o interior do planeta.
- Quando um meteorito impacta um planeta, parte da sua massa adere a ele (acrecção, accretion) e parte escapa de volta para o espaço.
  - A parte que escapa é formada por elementos mais leves do que a parte que forma o núcleo do planeta.

Colisão: aumento de massa, ejeção de elementos mais leves



- À medida em que a Terra cresceu, a gravidade aumentou e ela passou a reter **material mais leve, nos estágios mais recentes de sua formação.**
- A formação da Terra levou algumas centenas de milhões de anos para ser completada, e a formação de sua crosta sólida ocorreu há cerca de 3,5 bilhões de anos.



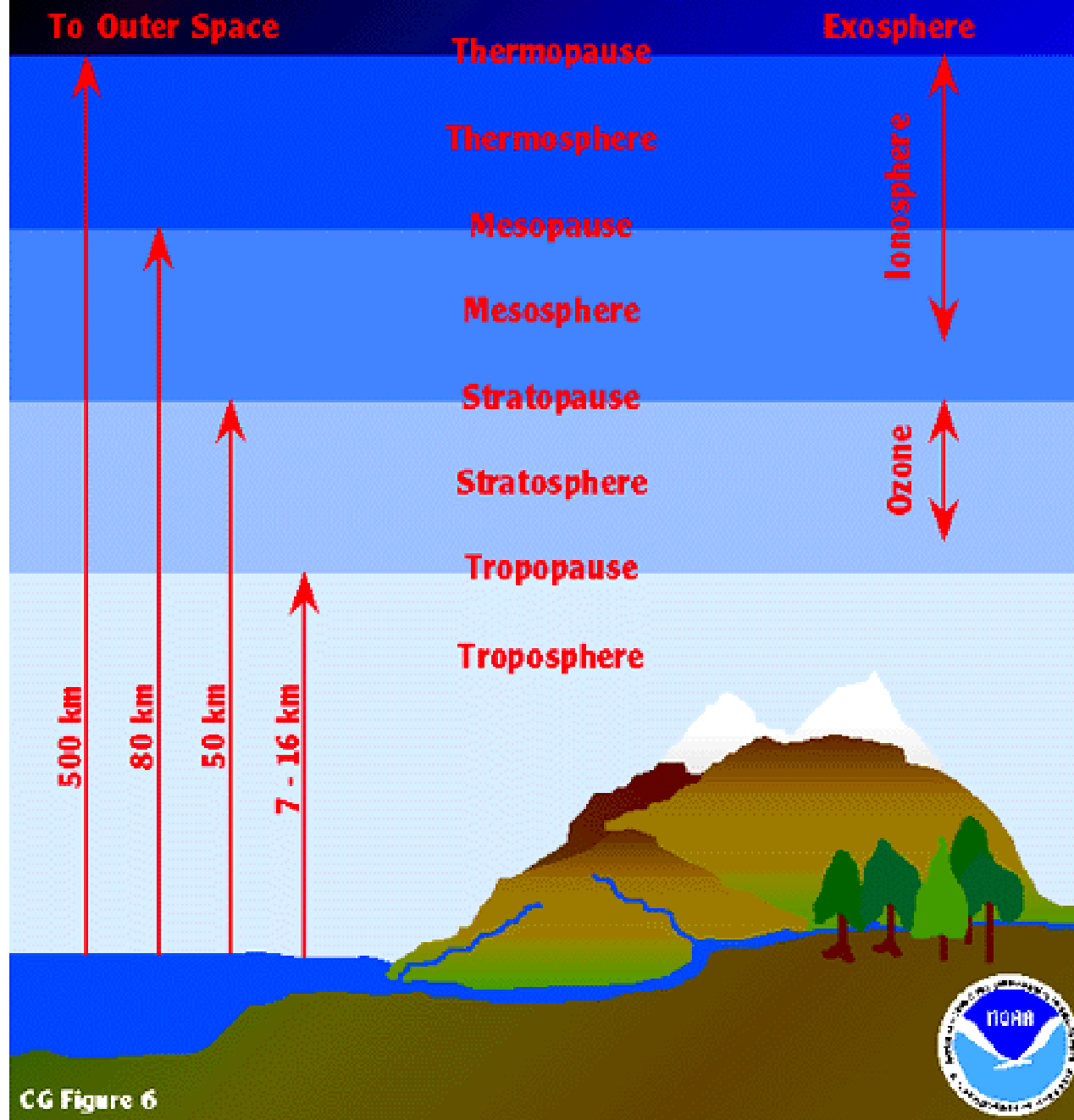
- Quando a Terra foi formada, o Sol já era suficientemente grande para que ocorressem reações de fusão nuclear na forma de cuspidas ("sputtering").
- Nessa altura, **a Terra não tinha atmosfera** porque, se tivesse, esta seria destruída pelos jatos de matéria e radiação emitidos pelo Sol
- A primeira atmosfera foi formada com gases liberados do interior do planeta (degasagem ou "degassing").
- A **degasagem do interior da Terra** produziu, durante cerca de 100 milhões de anos, material suficiente para formar os oceanos e a atmosfera.
- Essa atmosfera primitiva era formada por **amônia, metano e gás carbônico**, retidos junto à Terra pela gravidade.



# Por que a Terra não perdeu a água?

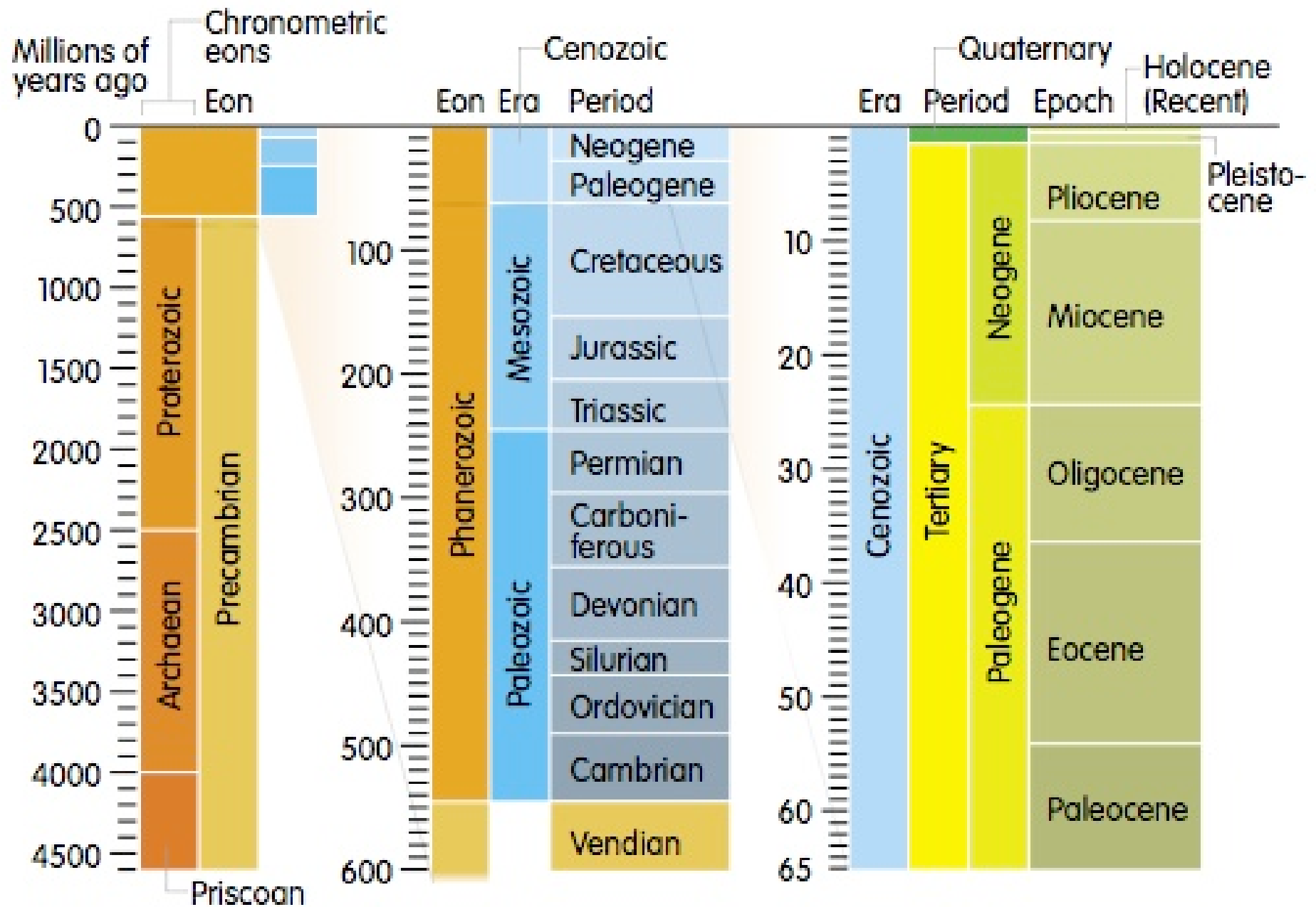
- A **natureza da atmosfera mudou**, com a evolução das espécies.
  - Algas produziram oxigênio e consumiram amônia e metano, gases de estufa.
  - Ao mesmo tempo, a luminosidade do Sol aumentou de cerca de 25%.
- Se a atmosfera não houvesse mudado, os oceanos teriam entrado em ebulição.
- Por outro lado, o resfriamento da Terra não foi suficiente para causar o congelamento da água.

# The Layers of the Atmosphere



- A **superfície da Terra se resfriou** até abaixo de 100 graus Celsius cedo na sua história
  - A água logo se condensou formando os oceanos.
- A atual massa de água dos oceanos ( $10^{21}$  kg) é a **mesma que a da crosta primitiva**, quando a liberação de gases teve início.
- Pode-se estimar a **atual taxa de perda de água** pela Terra calculando a taxa de decomposição de água em hidrogênio e oxigênio.
  - O hidrogênio é suficientemente leve para migrar para o espaço (geocorônio).

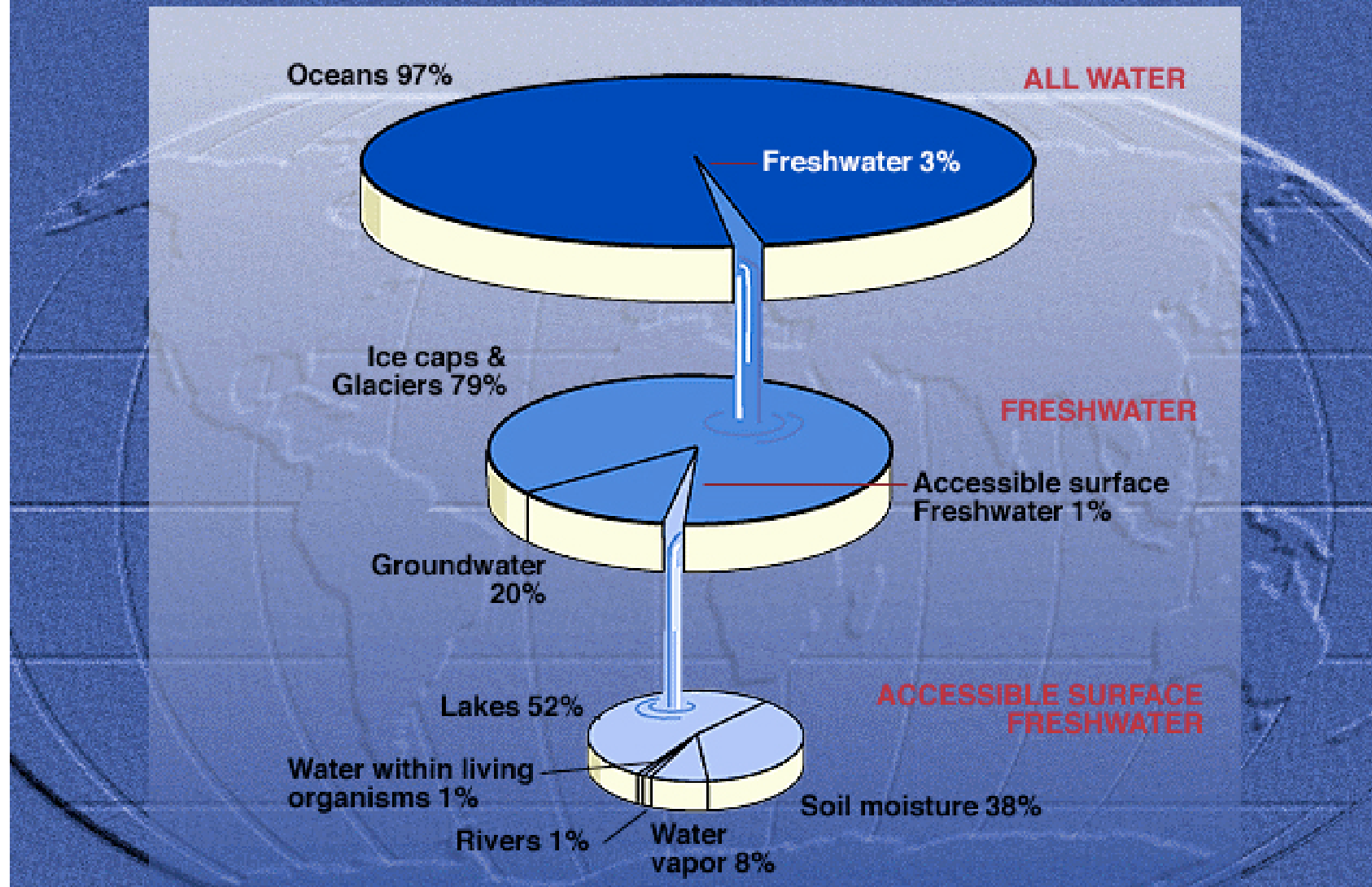
- A perda de vapor de água da atmosfera devido à perda de hidrogênio é estimada em  $5 \times 10^8$  kg por ano.
- A quantidade total de água total perdida para o espaço é portanto de  $2 \times 10^{18}$  kg, aproximadamente **0.2 % da água total dos oceanos**.
- Pelo menos uma parte da água perdida foi repostada pelos mesmos processos geológicos que formaram os oceanos.
- Portanto, a atual água dos oceanos é aproximadamente a mesma de quando foram formados.
- Hoje, **70% da superfície da Terra são cobertos por oceanos**.



# Distribuição da água na Terra

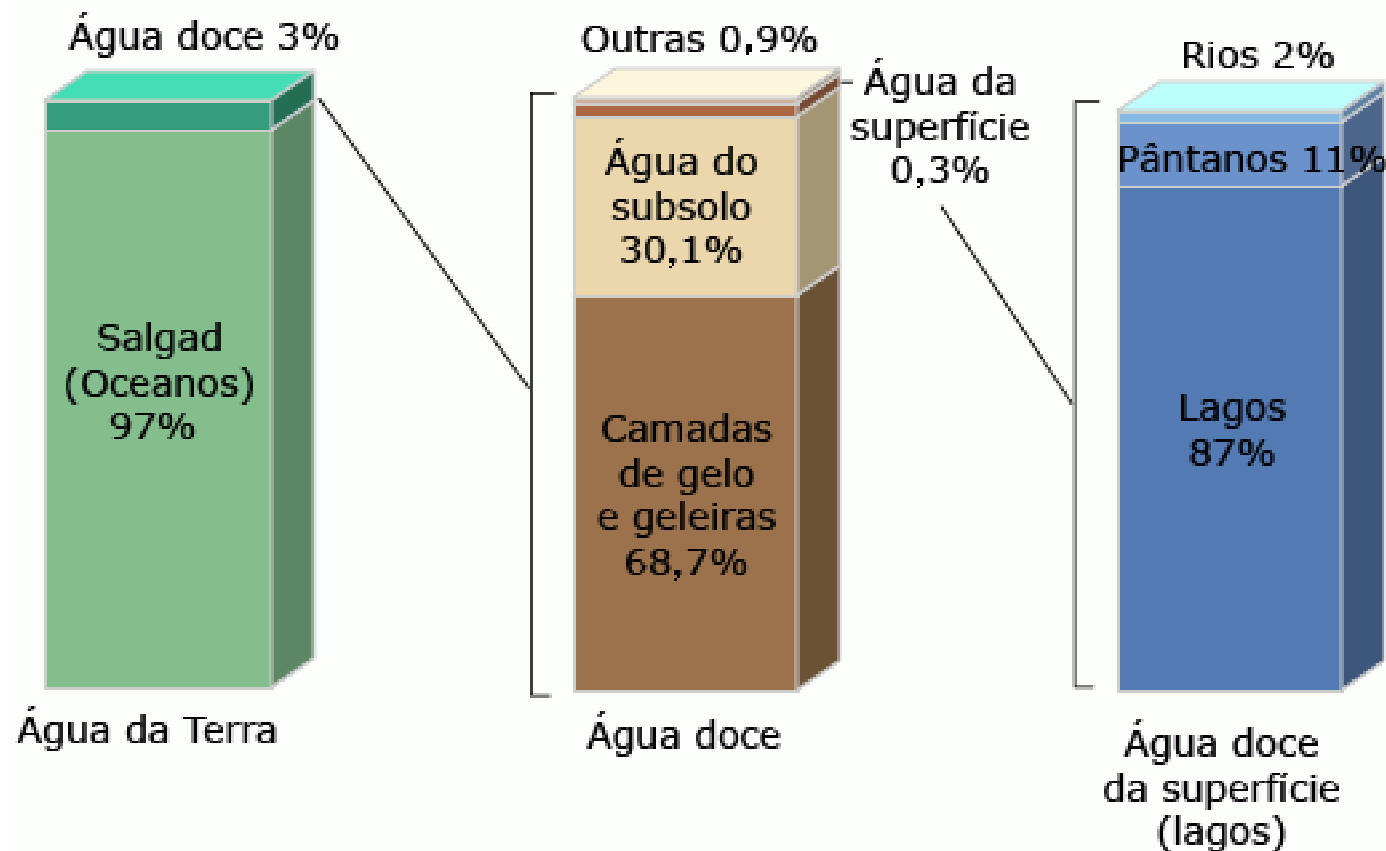
- Hoje, a água é distribuída entre as seguintes formas:
  - Oceanos,  $1.35 \times 10^{18}$  metros cúbicos (97.3%);
  - Gelo polar e geleiras,  $29 \times 10^{15}$  metros cúbicos (2.1%)
  - Aquíferos subterrâneos (água doce),  $8.4 \times 10^{15}$  metros cúbicos (0.6 %);
  - Lagos e rios,  $0.2 \times 10^{15}$  metros cúbicos (0.01%)
  - Atmosfera (vapor de água),  $0.013 \times 10^{15}$  metros cúbicos (0.001%);
  - Biosfera,  $0.0006 \times 10^{15}$  metros cúbicos (0.00004%).

## Distribution of the World's Water



<http://earth.rice.edu/mtpe/hydro/hydrosphere/hot/freshwater/WaterPie-Chart.jpg>

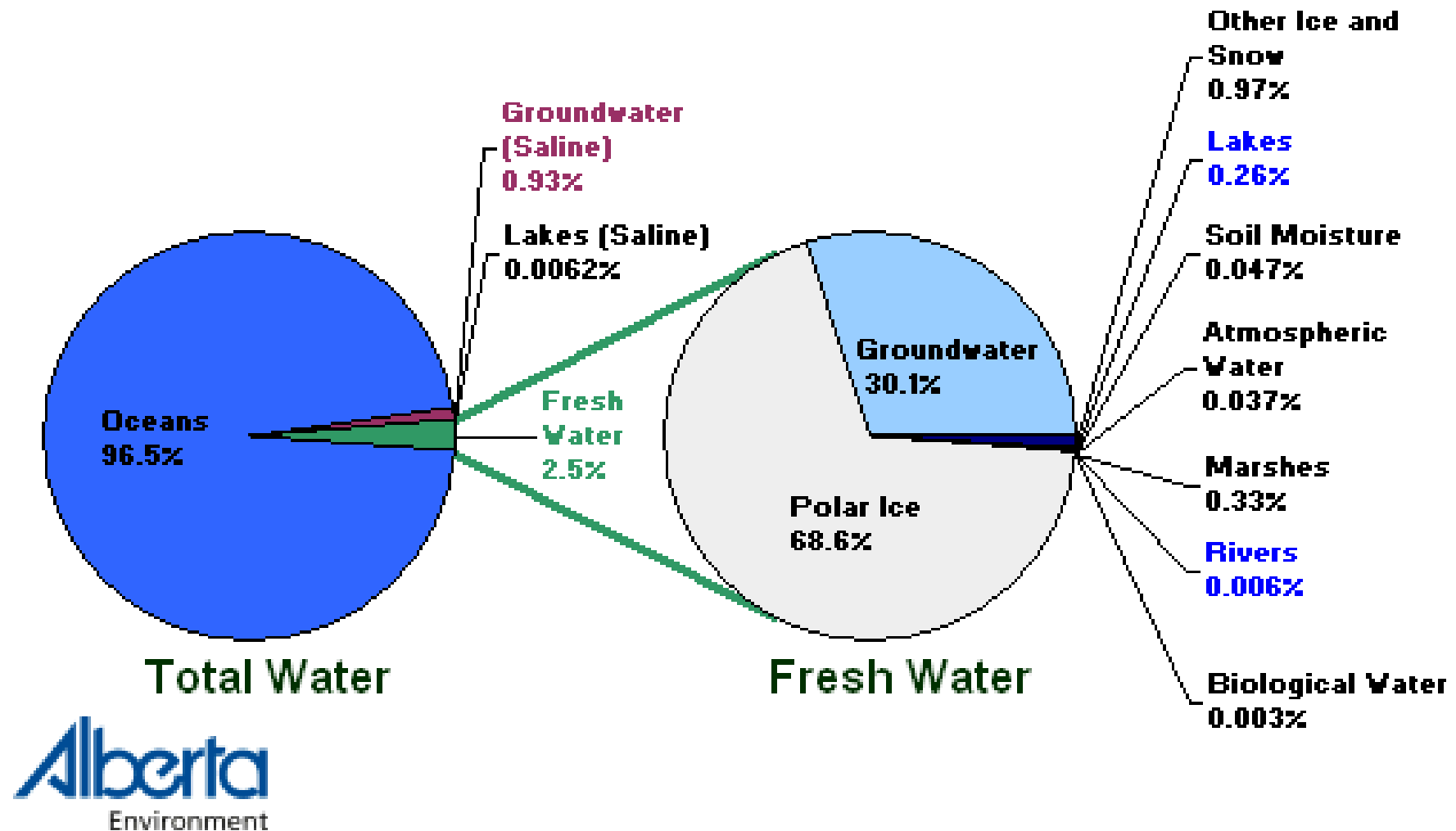
## Diagrama de barras da distribuição da água na Terra



<http://ga.water.usgs.gov/edu/graphics/earthwheredistribution.gif>

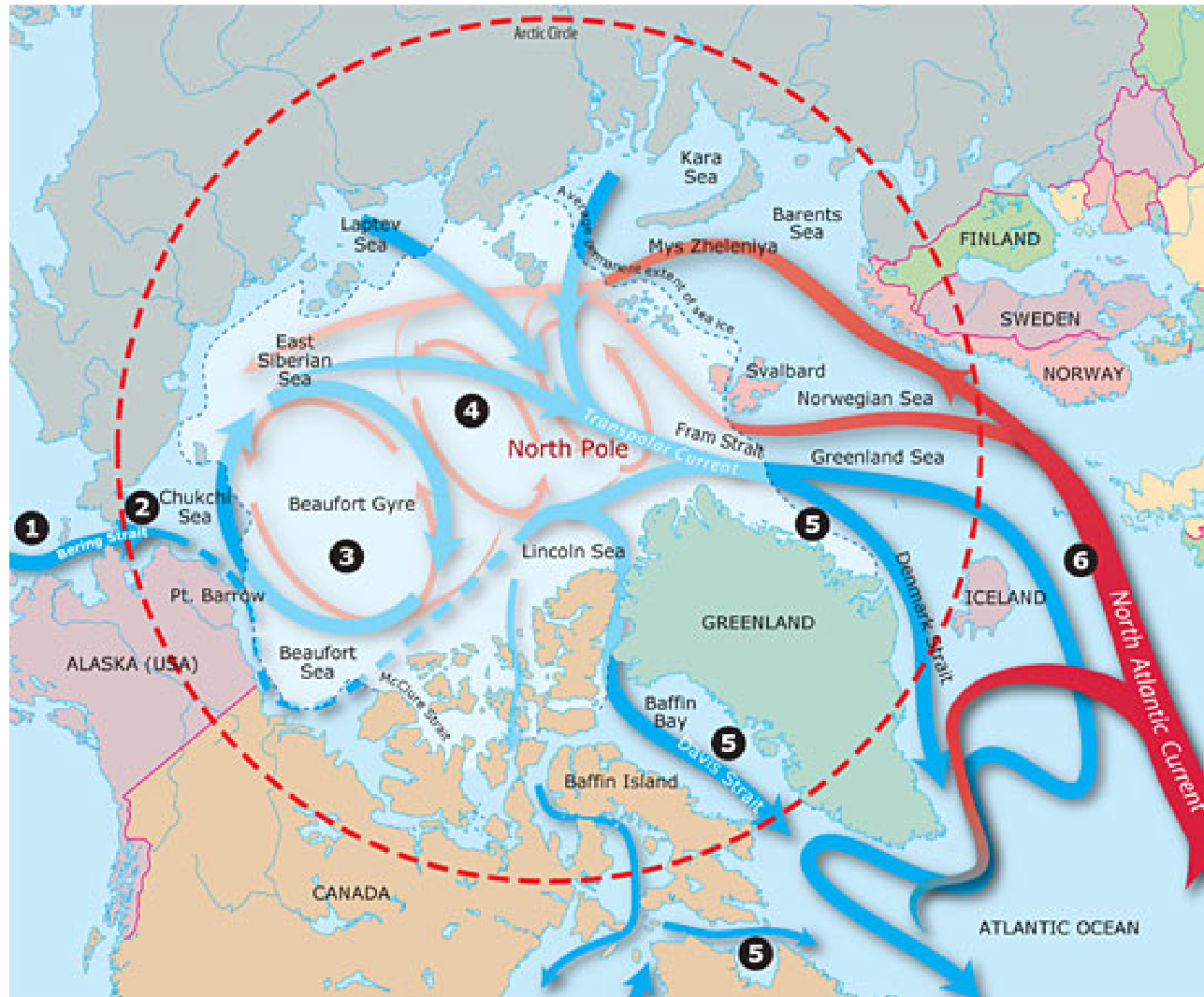


# Distribution of Global Water



[http://www3.gov.ab.ca/env/water/GWSW/quantity/learn/what/HC\\_HydroCycle/HC\\_Images/HC1\\_distCHART\\_sm.GIF](http://www3.gov.ab.ca/env/water/GWSW/quantity/learn/what/HC_HydroCycle/HC_Images/HC1_distCHART_sm.GIF)

- O que acontece se todo o gelo polar e das geleiras derreter?
  - O nível dos oceanos subirá cerca de 80 metros.



# Quem quer ficar no mesmo lugar não pode parar de correr

- Uma **grande vantagem brasileira**: 20% da água doce do mundo.
- É possível dessalinizar a água do mar: hoje, 32 milhões de m<sup>3</sup>/dia (10 x a cidade de SP).
- Quanto custa?
  - Em uma planta nova, no Kuwait: R\$ 0,85/m<sup>3</sup>.
    - Custo da água de irrigação na Palestina: R\$ 0,60/m<sup>3</sup>
  - Na conta de água em Campinas: R\$ 2-3,8/m<sup>3</sup>.
    - Água para irrigação (S.Francisco): R\$ 0,03/m<sup>3</sup>

*Até quando vai durar essa nossa vantagem?*

- A água tem tido um papel essencial na definição do clima na Terra.
- Regula variações de temperatura
- Contribui para o efeito estufa
- Corrente do Golfo aquece o hemisfério norte

# Exercícios

- 1 Escreva a equação barométrica e mostre como ela explica a variação na composição da atmosfera, com a altitude.
- 2 Construa um gráfico mostrando as pressões parciais de oxigênio e de hidrogênio, na atmosfera terrestre, até uma altitude de 50 mil metros. Explicita todas as suas suposições.
- 3 Faça uma estimativa da profundidade média dos oceanos.
- 4 Qual é a quantidade total de sal nos oceanos?

Para consulta:

<http://witcombe.sbc.edu/water/physicsearth.html>