

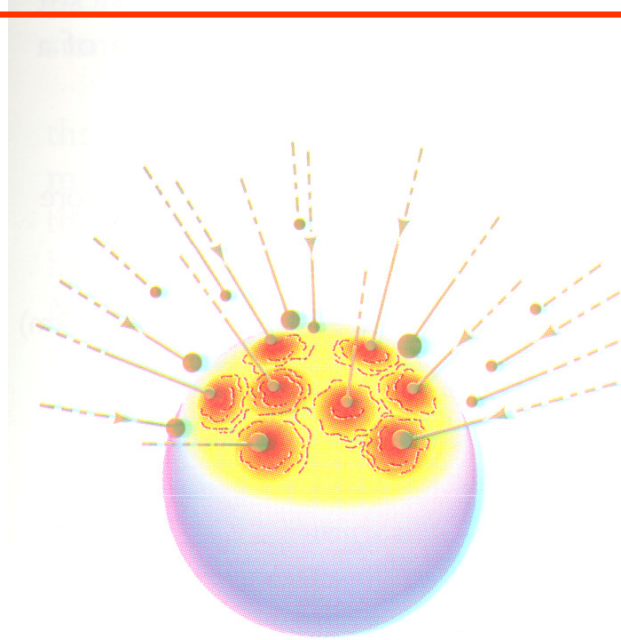


# ENERGIA GEOTÉRMICA

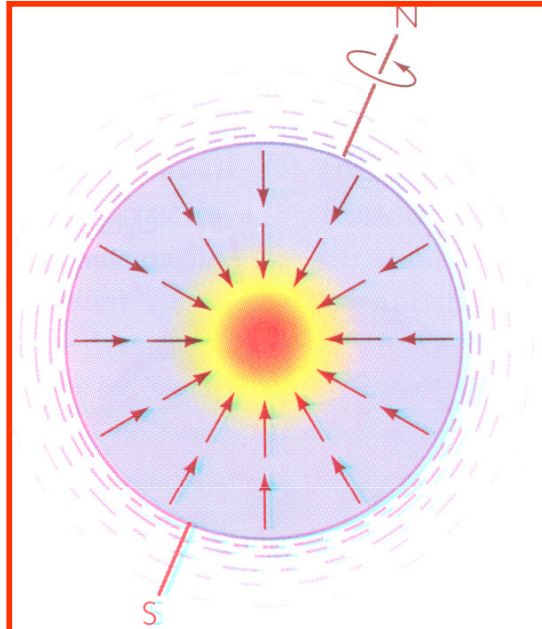
Geo means **Earth**  
Thermal means **Heat**

**A energia geotérmica é a que provém do calor natural da terra**

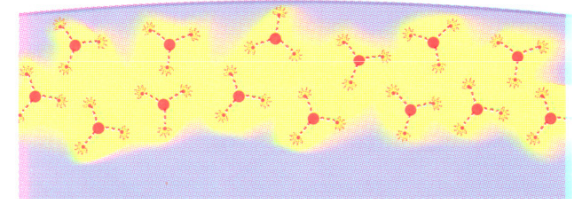
# Mecanismos que causaram o aquecimento da terra.



(a) A energia cinética dos corpos que bombardiaram a terra foi convertida em calor.

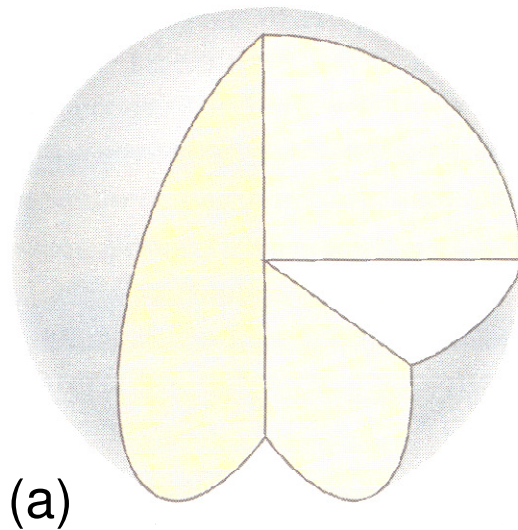


(b) Compressão gravitacional da terra para um volume menor causou o aquecimento do seu interior.

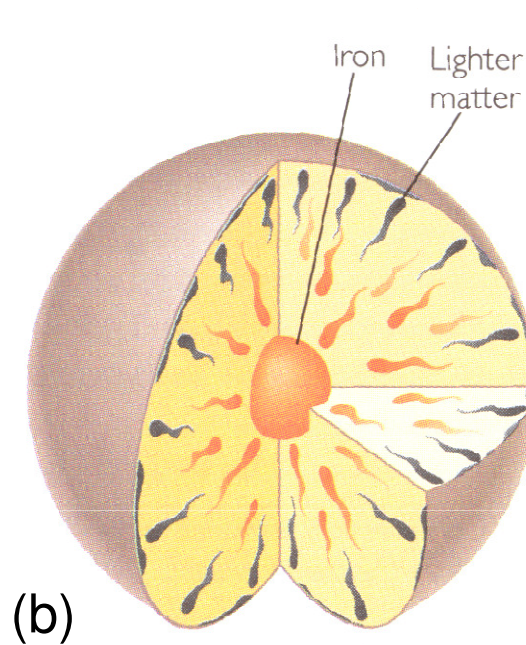


(c) Radioactividade de alguns elementos (urânio e outros).

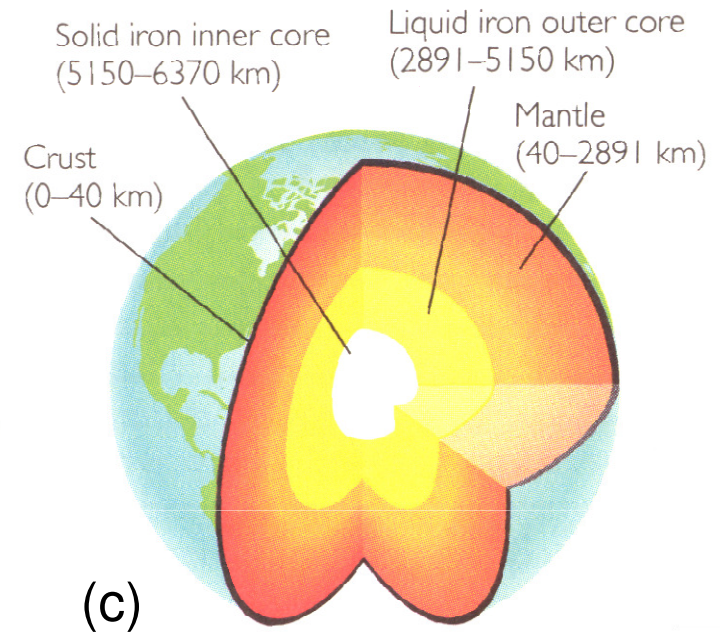
# Processo de diferenciação terrestre.



A terra foi provavelmente uma mistura homogênea no início.



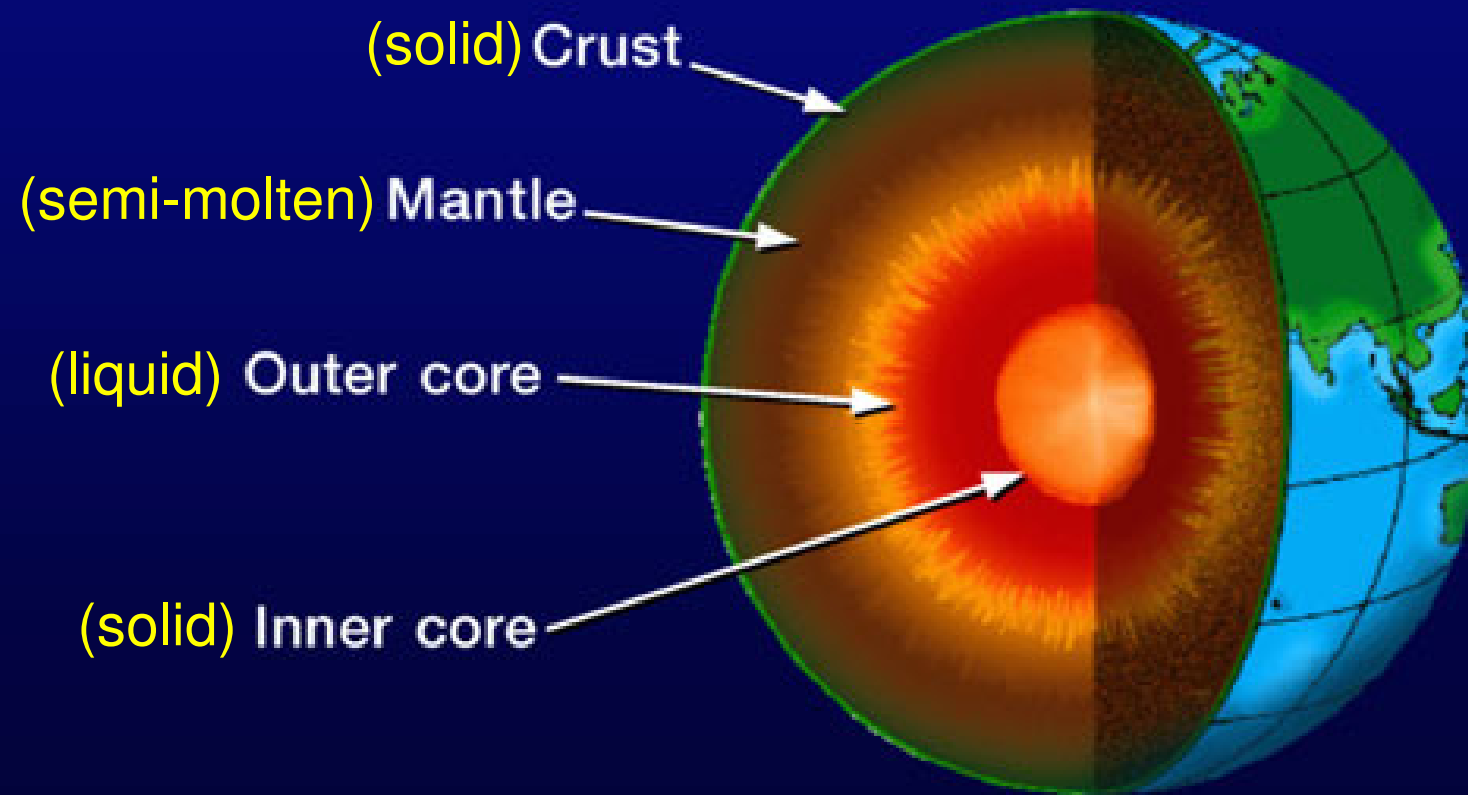
No processo de diferenciação, o ferro afundou-se para o centro e os materiais leves flutuaram para a parte superior formando a crosta.



A terra é agora constituída por zonas: um núcleo denso, uma crosta de rochas mais leves e um manto residual entre os dois.



# The Earth

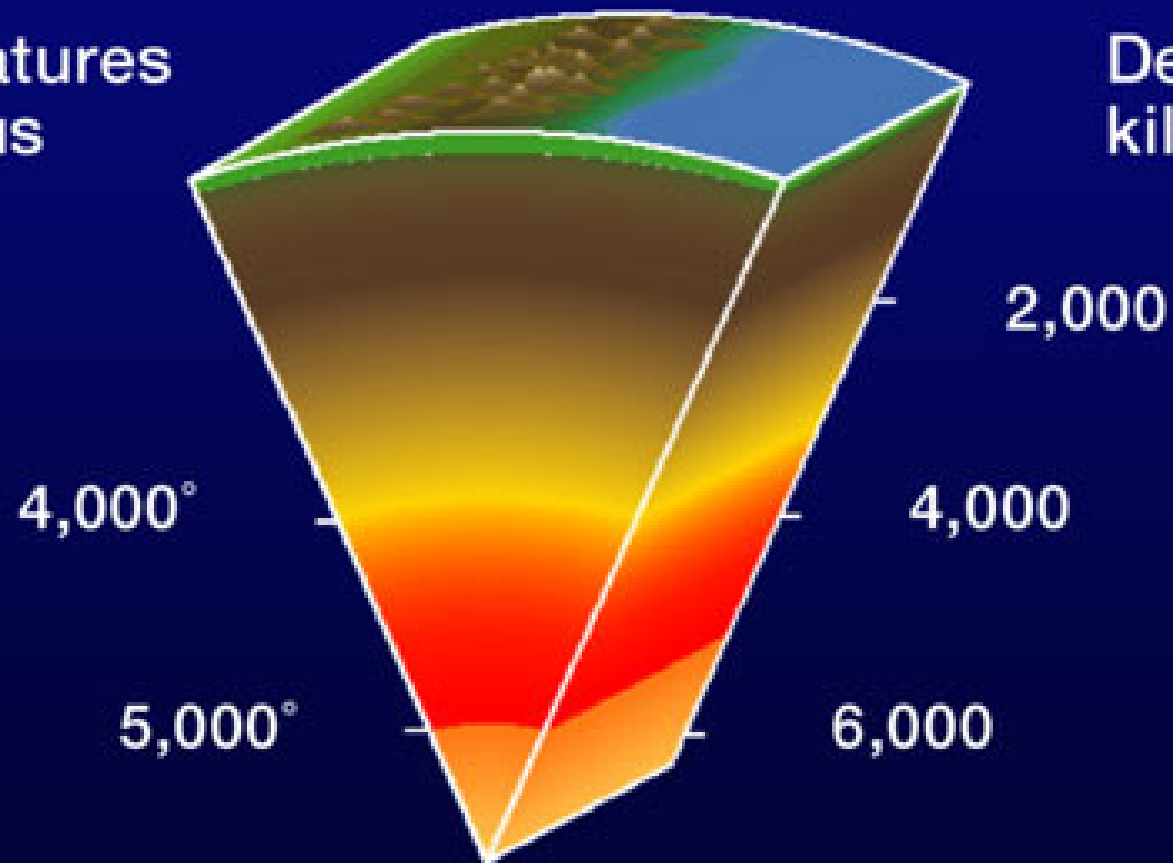


O calor flui do interior da terra. A crosta isola-nos do calor do interior da terra. O manto é semi viscoso, o núcleo exterior é líquido e o interior sólido.

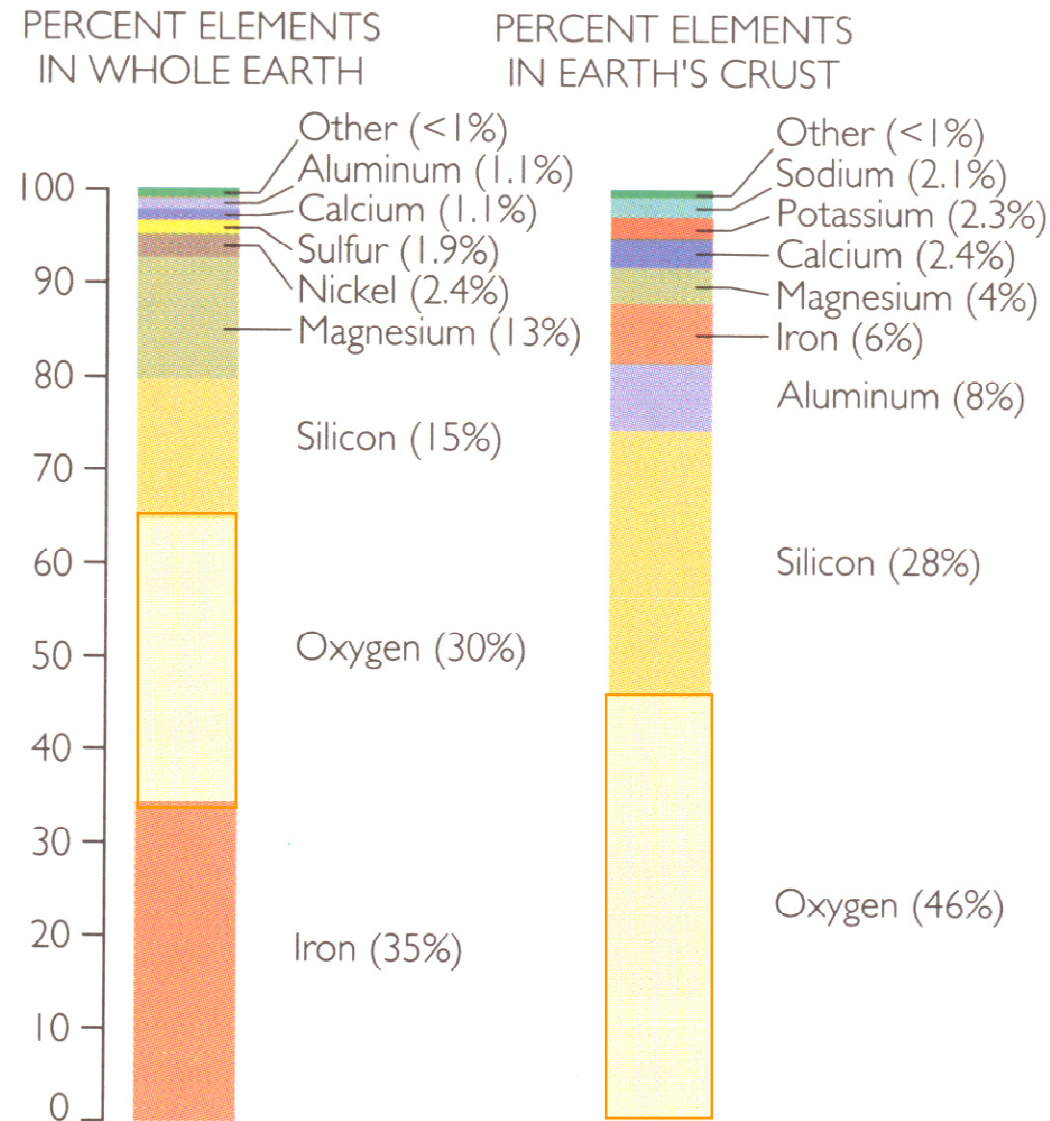
# Temperatures in the Earth

Temperatures  
in Celsius

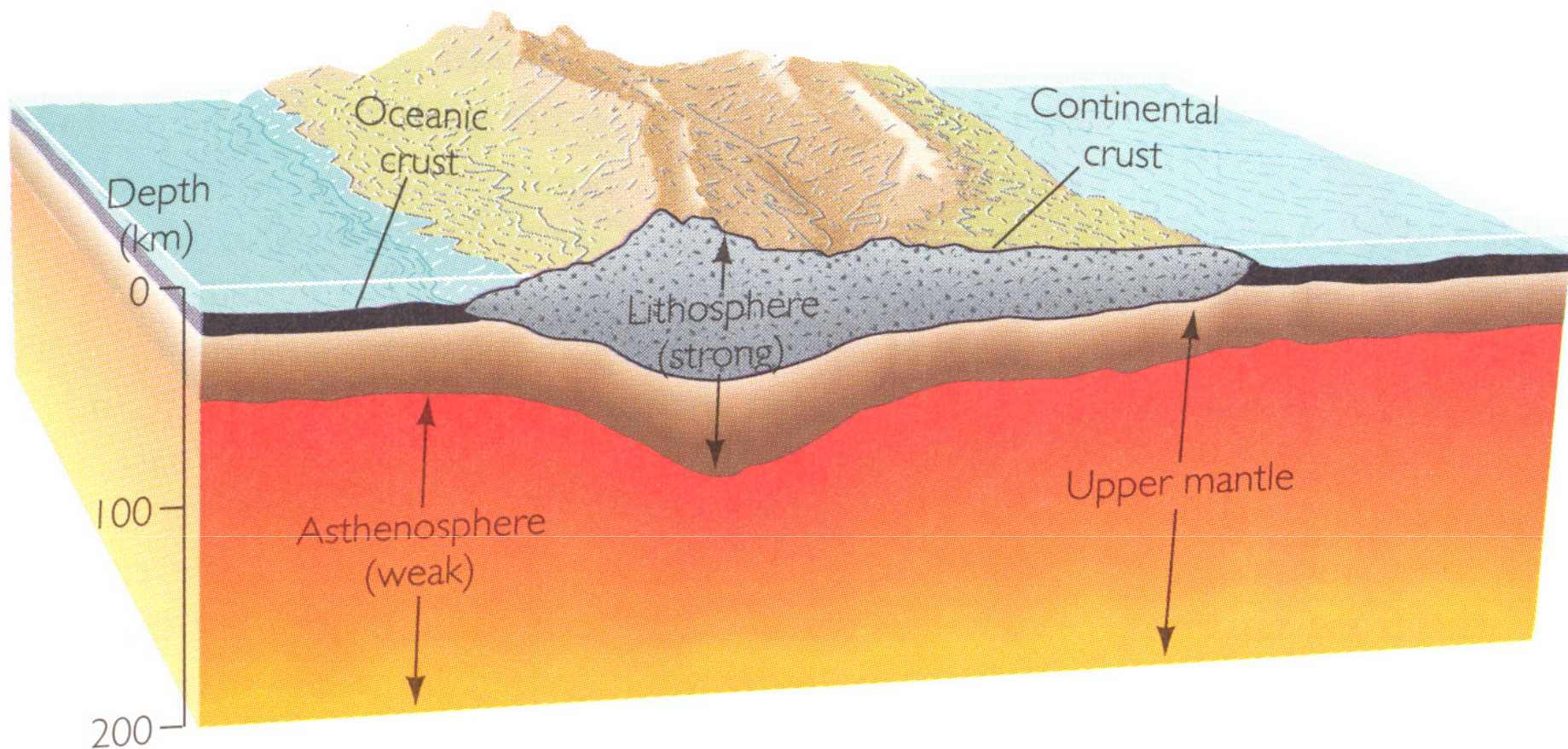
Depth in  
kilometers



## Abundância relativa do peso dos diversos elementos na terra e na sua crosta.



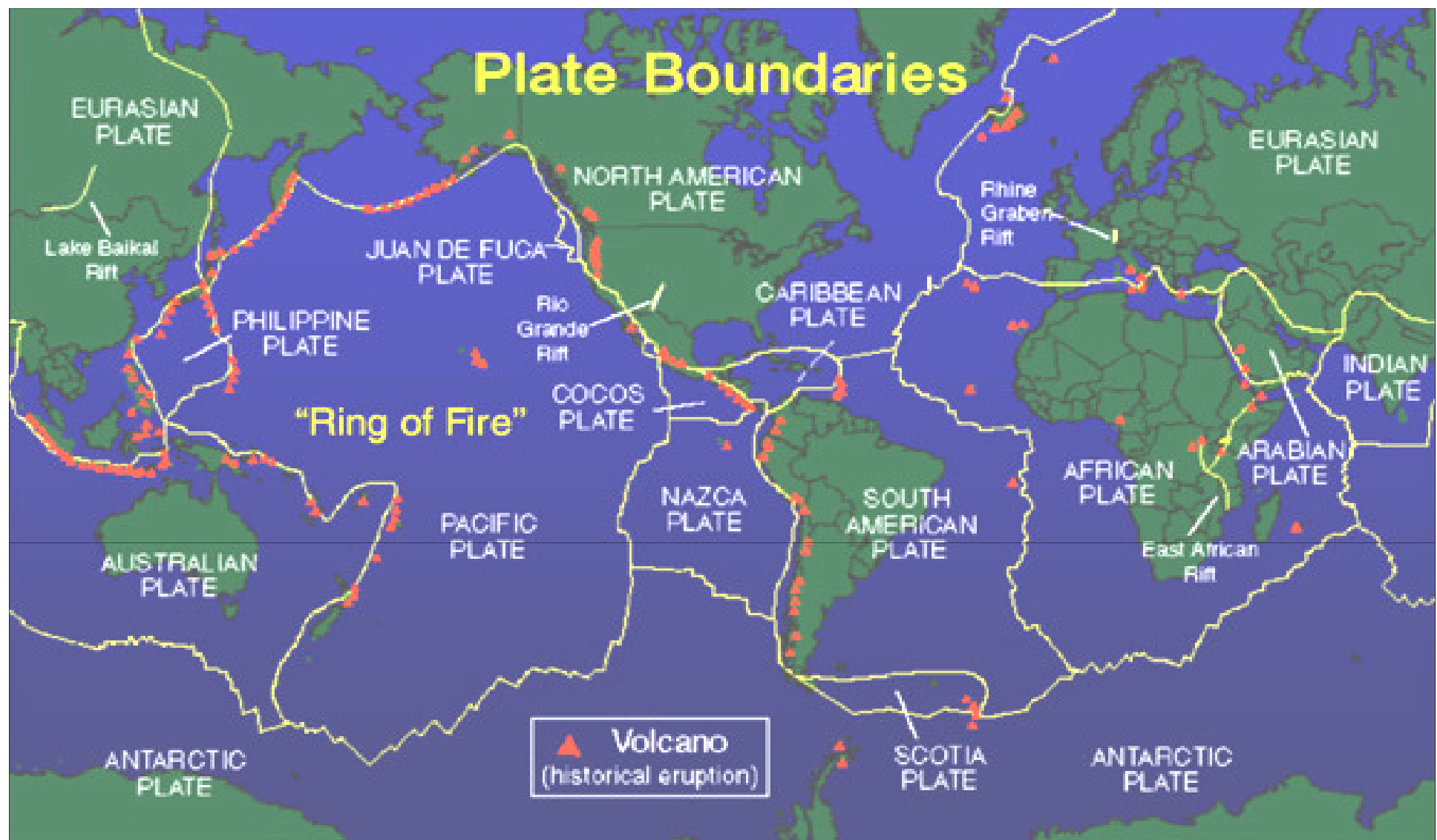
O processo de diferenciação criou uma crosta leve com pouco Fe e rica em O<sub>2</sub>, Si, Al, Ca, K e Na.



A camada exterior da terra é designada de **litosfera**, composta pela crosta e o topo do manto.

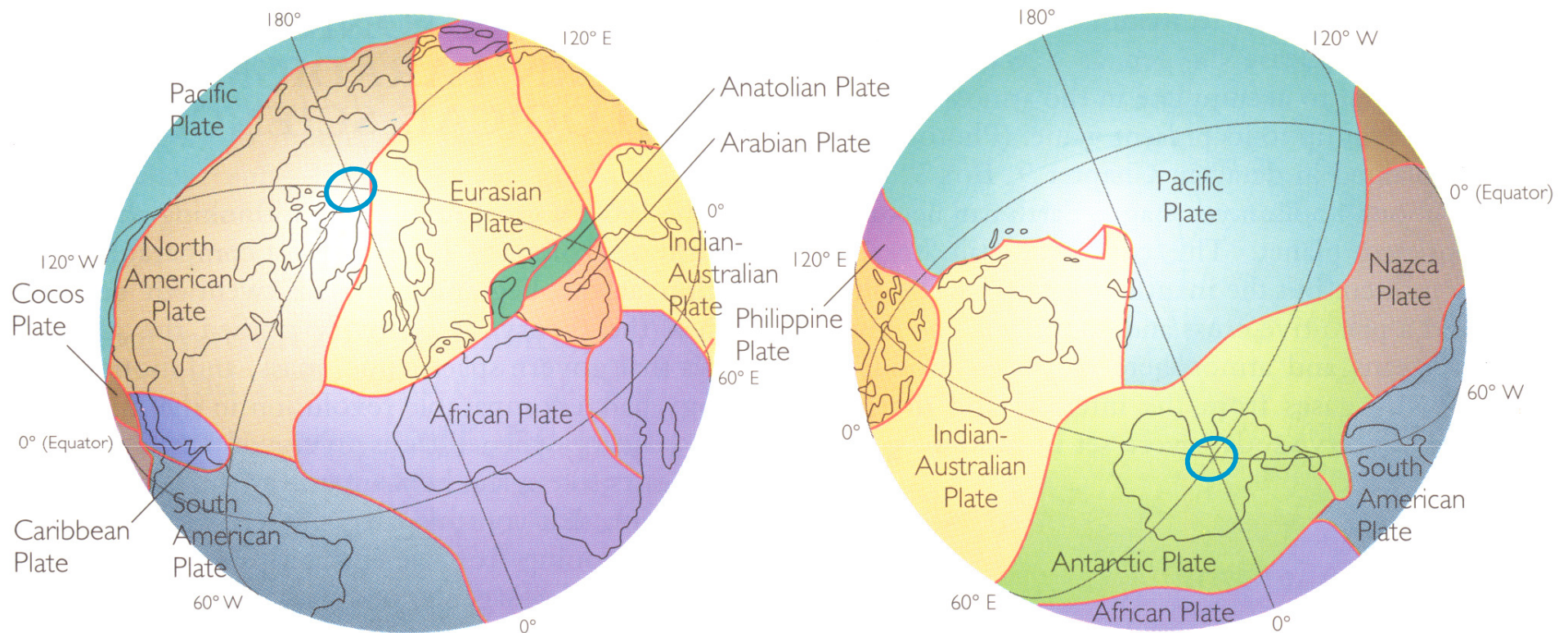
Esta camada encontra-se sobre uma outra mais fraca e parcialmente viscosa chamada de **astenosfera**.



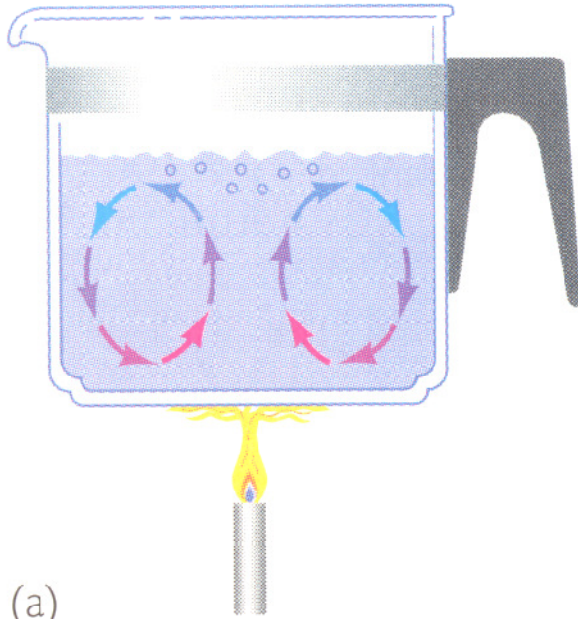


A crosta terrestre está dividida em placas que se afastam ou se empurram a uma velocidade semelhante ao crescimento das unhas. Os movimentos de convecção do manto superior contribuem para o deslocamento das placas tectónicas.





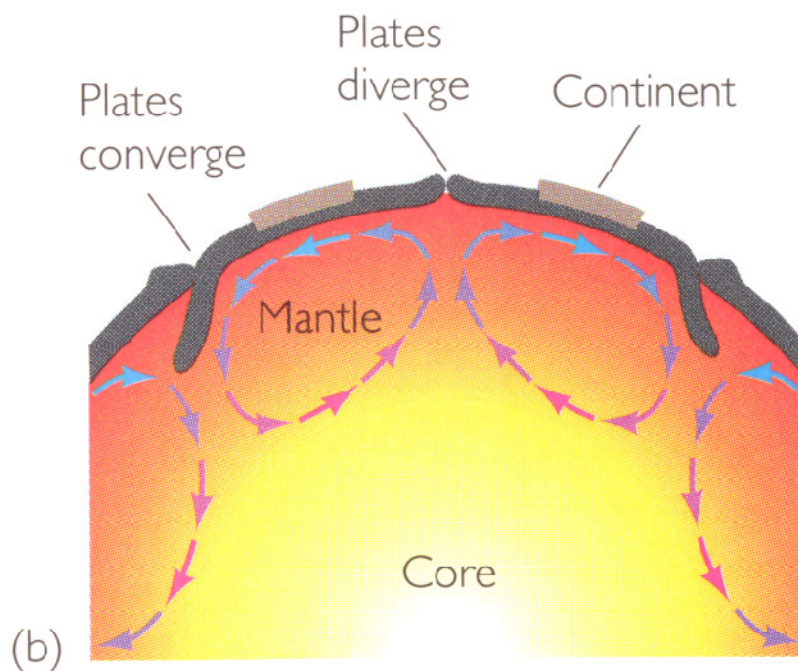
As linhas vermelhas representam os limites das placas, onde estas se separam, colidem ou deslizam entre si.



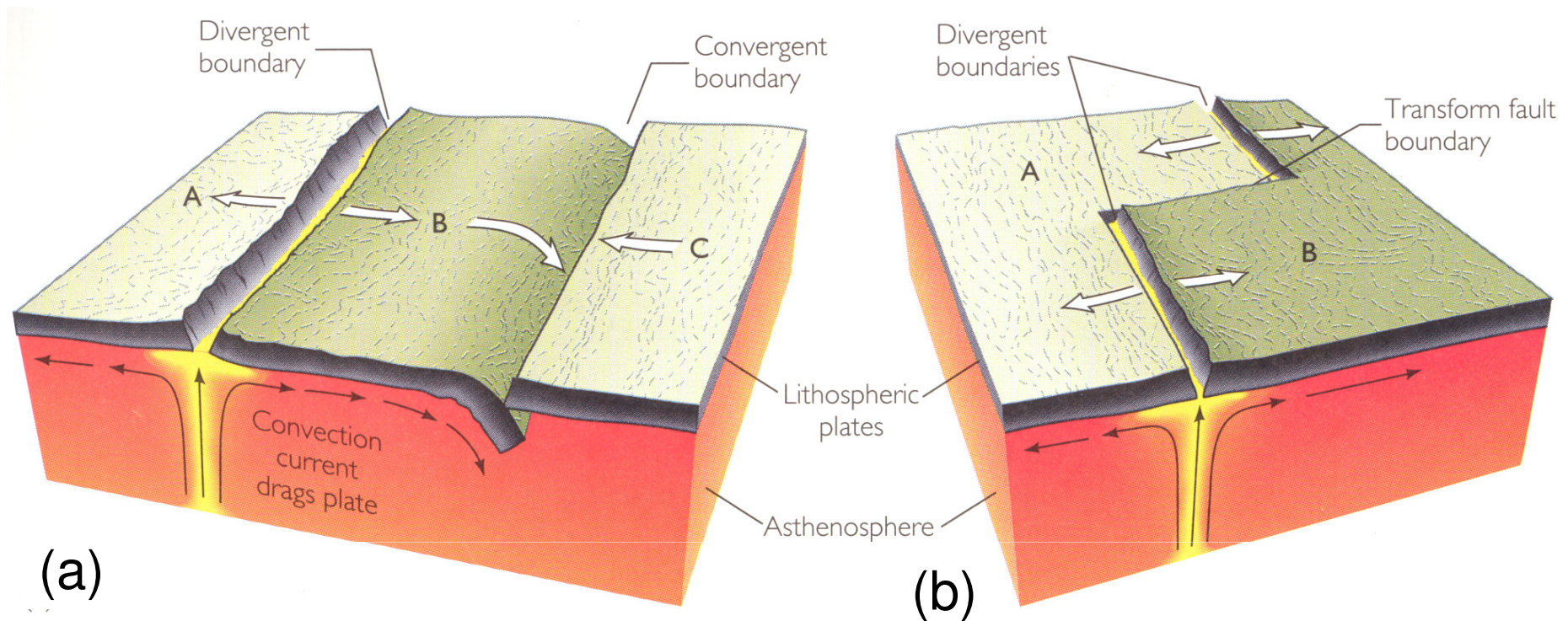
As correntes de convecção ascendentes devido ao calor do interior constituem a força que faz mover as placas.

Os materiais quentes vindos do interior sob os limites das placas fluem em direcções opostas arrastando as placas consigo e forçando-as à separação.

No outros extremos das placas a matéria arrefecida afunda-se de novo tendendo a levar a placa para baixo.





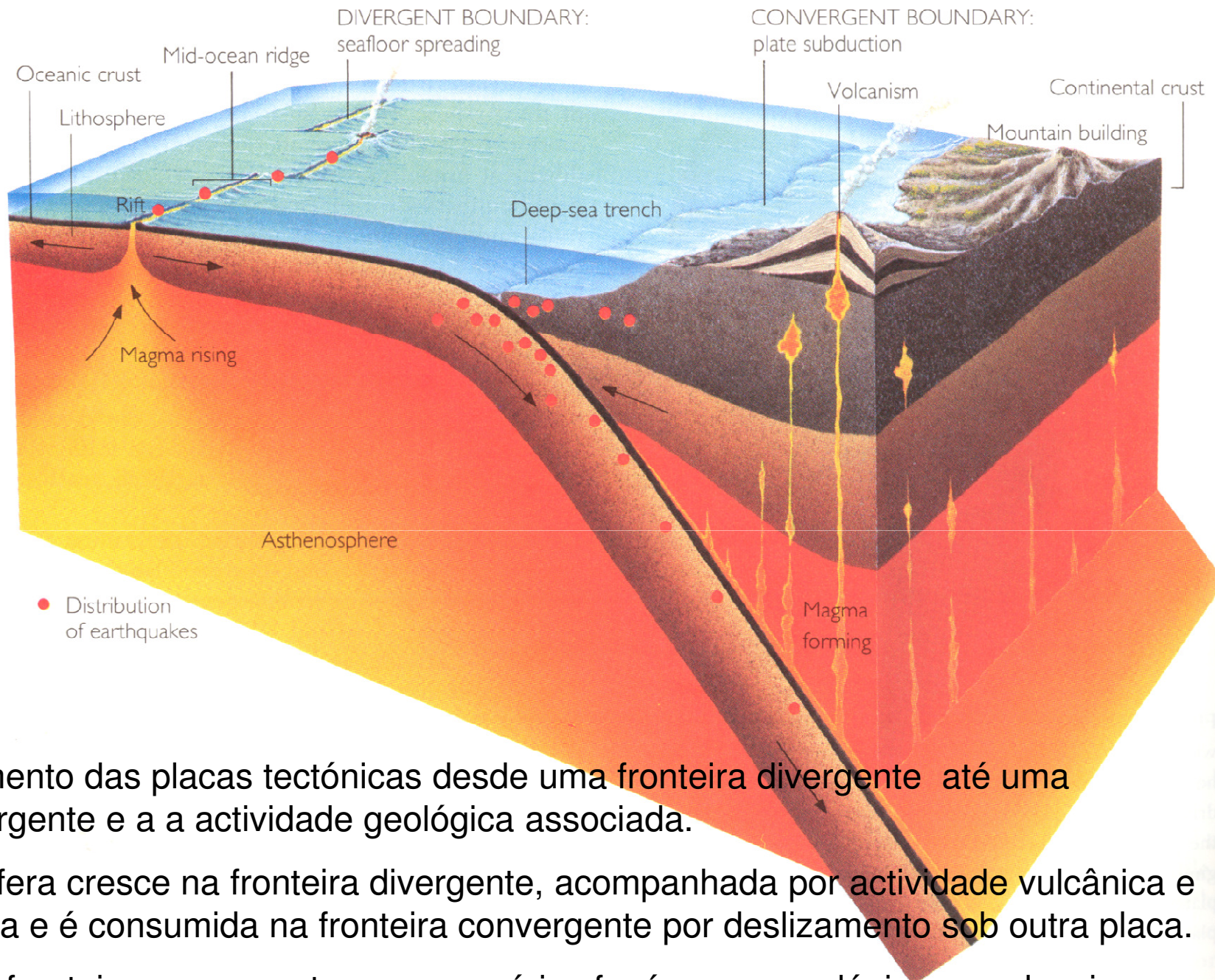


Existem três tipos de fronteiras entre placas tectônicas:

(a) Fronteira divergente, onde as placas A e B se separam.  
Fronteira convergente onde as placas B e C colidem;

(b) Fronteira em falha, onde as placas A e B deslizam uma na outra.



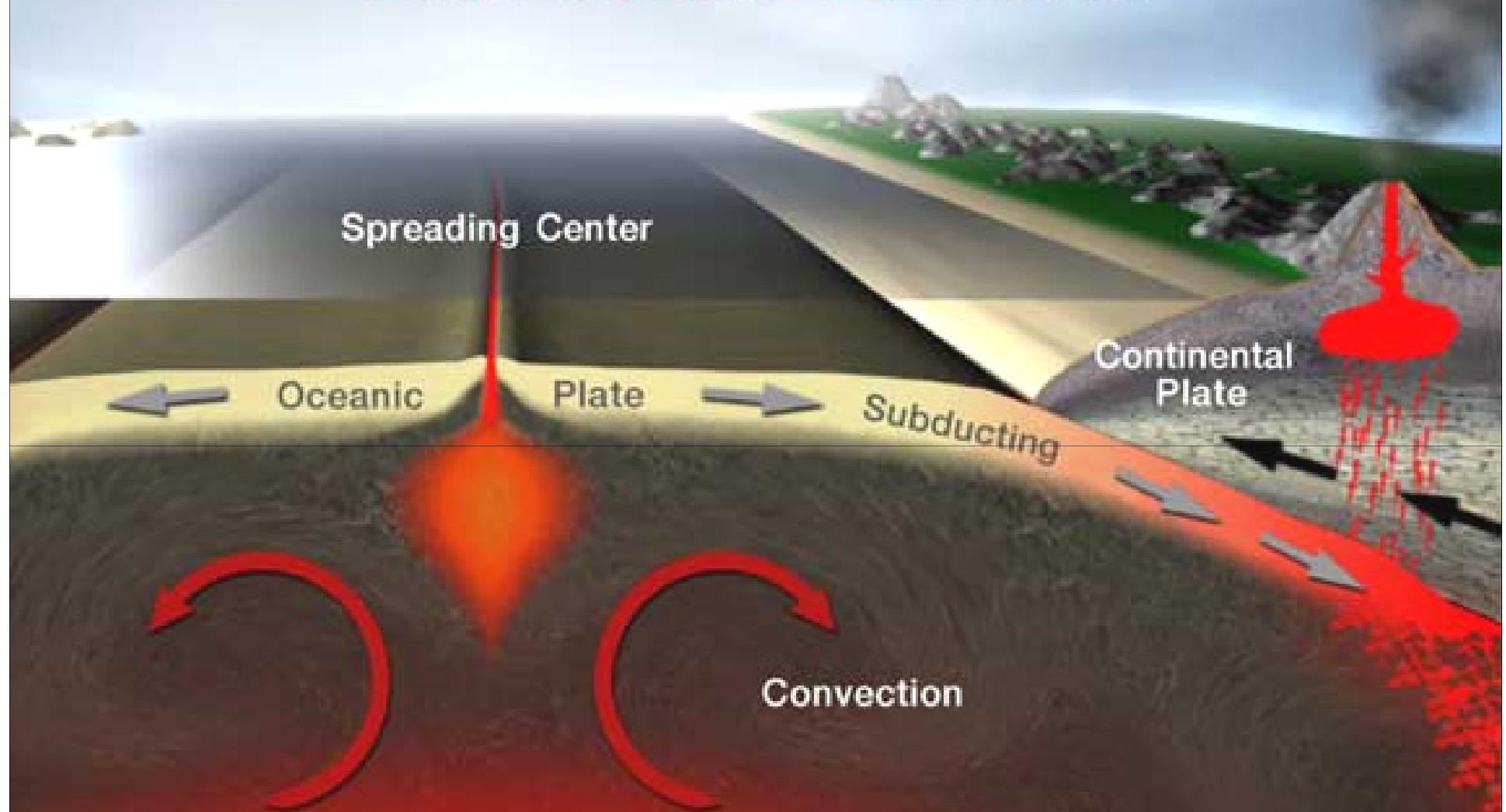


Movimento das placas tectónicas desde uma fronteira divergente até uma convergente e a actividade geológica associada.

A litosfera cresce na fronteira divergente, acompanhada por actividade vulcânica e sísmica e é consumida na fronteira convergente por deslizamento sob outra placa.

Numa fronteira convergente ocorrem vários fenómenos geológicos – vulcanismo formação de montanhas, fossas e sismos.

# Plate Tectonic Processes



A nova crosta vai-se formando no centro do oceano. Quando duas placas se encontram podem deslizar entre elas. Os vulcões podem-se formar na vizinhança das placas que se afundam.





Nas zonas em que a crosta é mais fina ou fracturada o magma sobe até á superfície sob a forma de lava. Caso contrário produz o aquecimento de grandes regiões próximo da crosta.

Na maioria dos locais, o aumento da temperatura com a profundidade é de 3°C por 100 m.

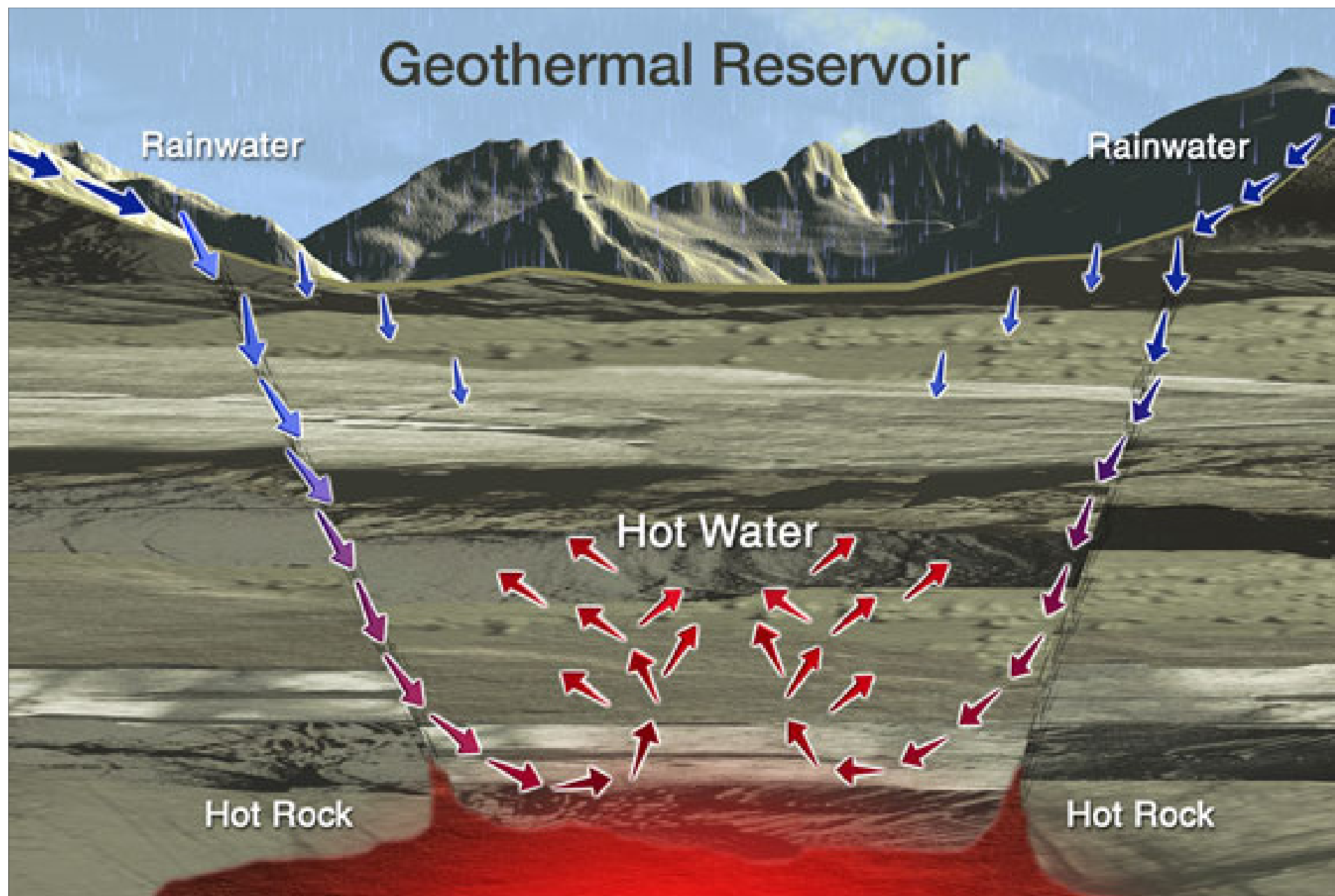
Existem, no entanto regiões associadas com actividade vulcânica ou tectónica onde o gradiente da temperatura é muito superior. Por exemplo, em Larderello, Italia, o gradiente é 10-30 vezes superior ao normal: Podem-se encontrar temperaturas superiores a 300°C a 1 km, facilmente atingível com a actual tecnologia de perfuração de poços.

Se esses fluídos a altas temperaturas puderem ser conduzidos até à superfície através de poços poderão servir como fluídos de trabalho em centrais térmicas para geração de energia eléctrica.

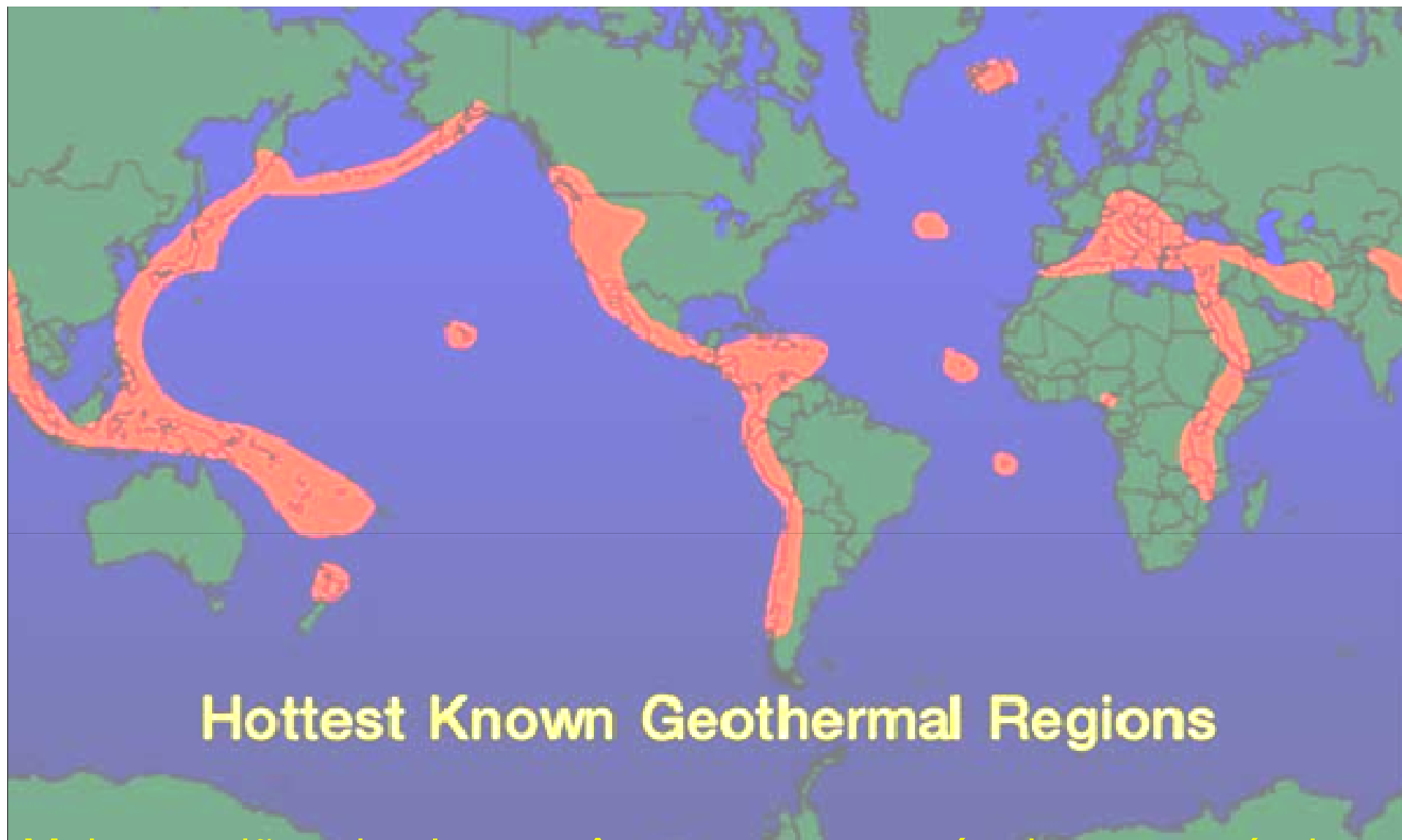
O objectivo será localizar esses reservatórios com fluídos a altas temperaturas e construir as infraestruturas necessárias para os conduzir até à central de uma forma técnica e economicamente viável e de uma maneira ambientalmente sustentável devolvendo o fluído ao reservatório original através de poços de injeção.



A água da chuva pode infiltrar-se através de rochas fracturadas e depois de aquecida pode retornar à superfície sob a forma de vapor ou água quente..



Se a água da chuva aquecida fica presa sob uma camada de rocha impermeável pode-se formar um reservatório geotérmico.



## Hottest Known Geothermal Regions

Muitas regiões do planeta têm recursos geotérmicos acessíveis, especialmente os países que se encontram ao longo do anél de fogo do pacífico, nas zonas de formação da litosfera e em algumas zonas de formação de montanhas .



A exploração dos locais actualmente começa com a análise de imagens por satélite e fotografia aérea.





O vulcões são obviamente indicadores de grande calor no interior perto da crosta.



As regiões vulcânicas são as primeiras a se sujeitas a estudos de viabilidade de utilização do calor da terra.



Passa-se de seguida a uma intensa recolha de dados nos locais com potencial.

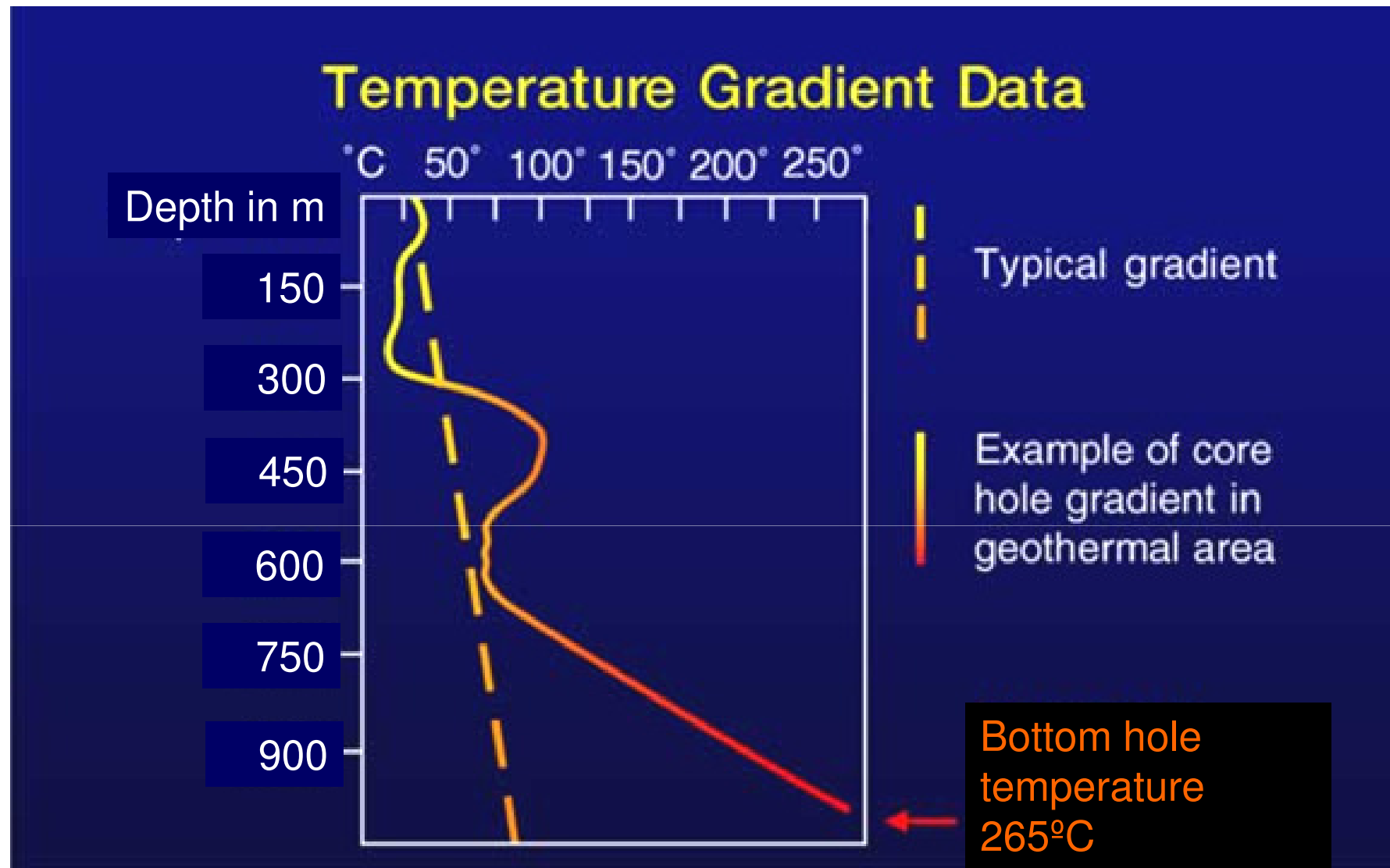


Os dados são analisados por geólogos para se aferir da viabilidade de efectuar uma perfuração isto é da probabilidade de se encontrar um reservatório geotérmico com interesse.





Primeiro faz-se um furo com pequeno diâmetro e analisa-se o gradiente de temperatura.



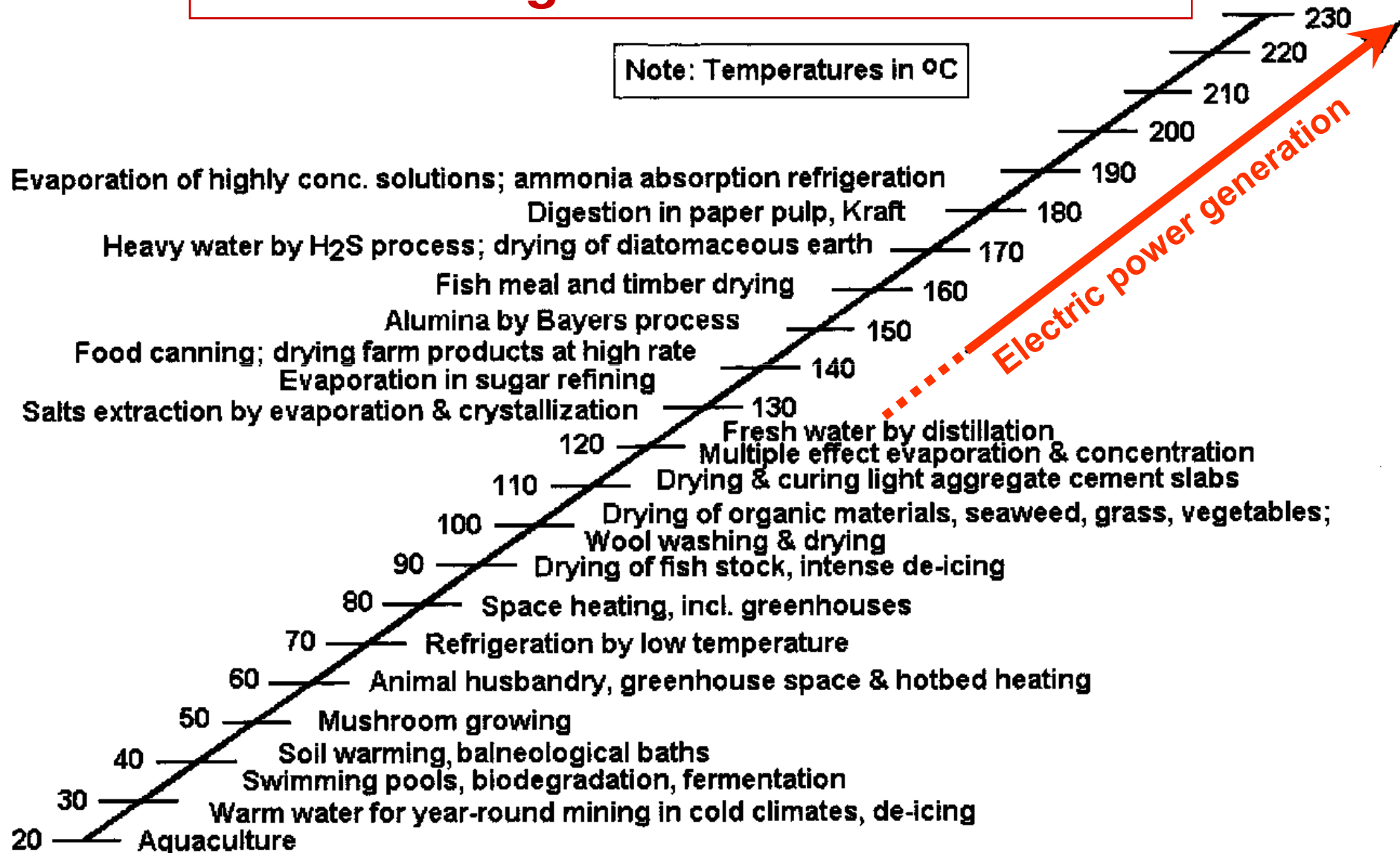
Os bons resultados relativamente ao gradiente térmico irão definir a decisão de partir ou não para a perfuração de um poço com o objectivo de encontrar um reservatório geotérmico.



A produção de poços é cara. Os poços geotérmicos podem chegar aos 3 km de profundidade.

# Aplicações para os vários fluidos geotérmicos

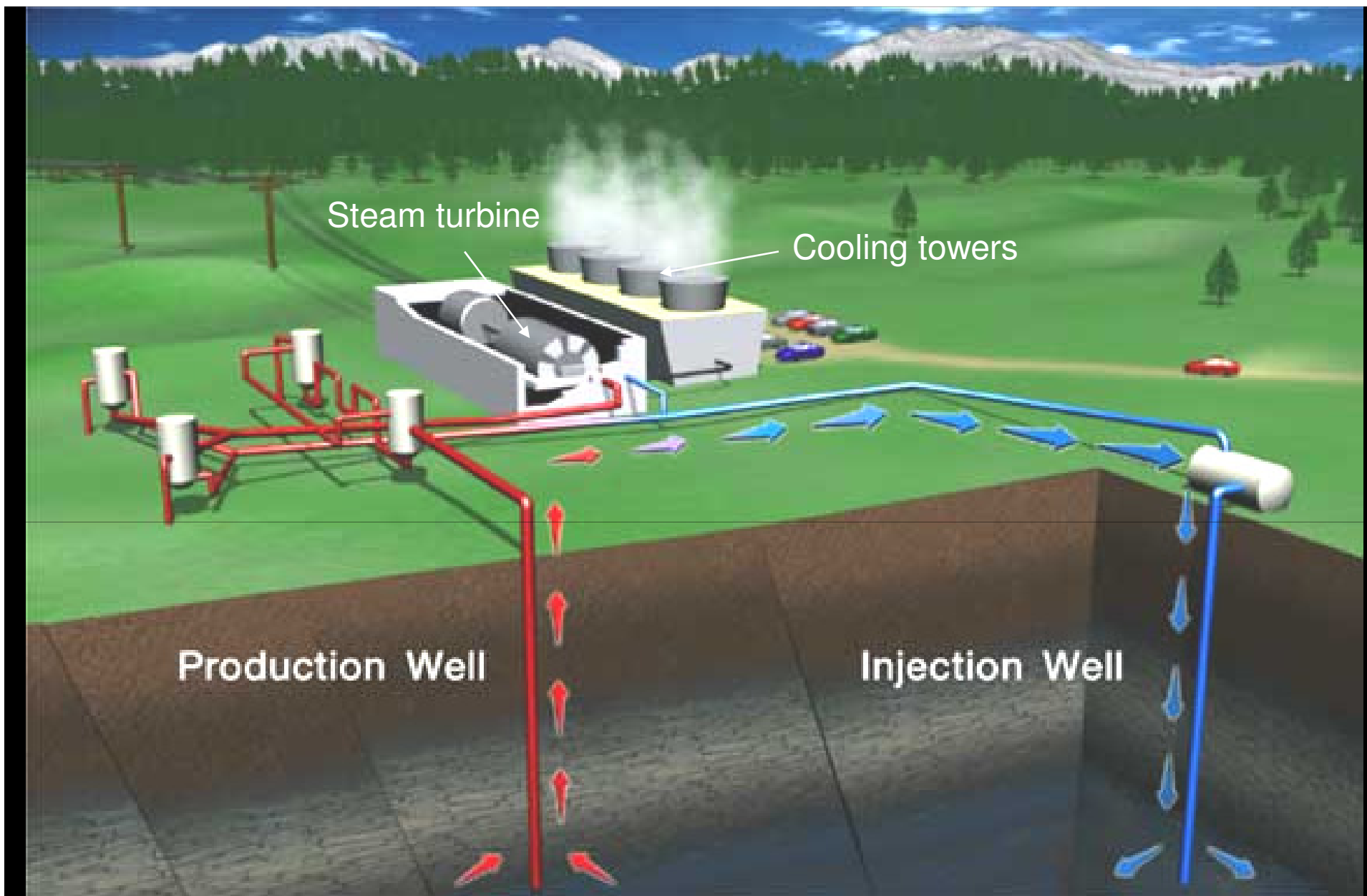
Note: Temperatures in °C



# GERAÇÃO DE ELECTRICIDADE

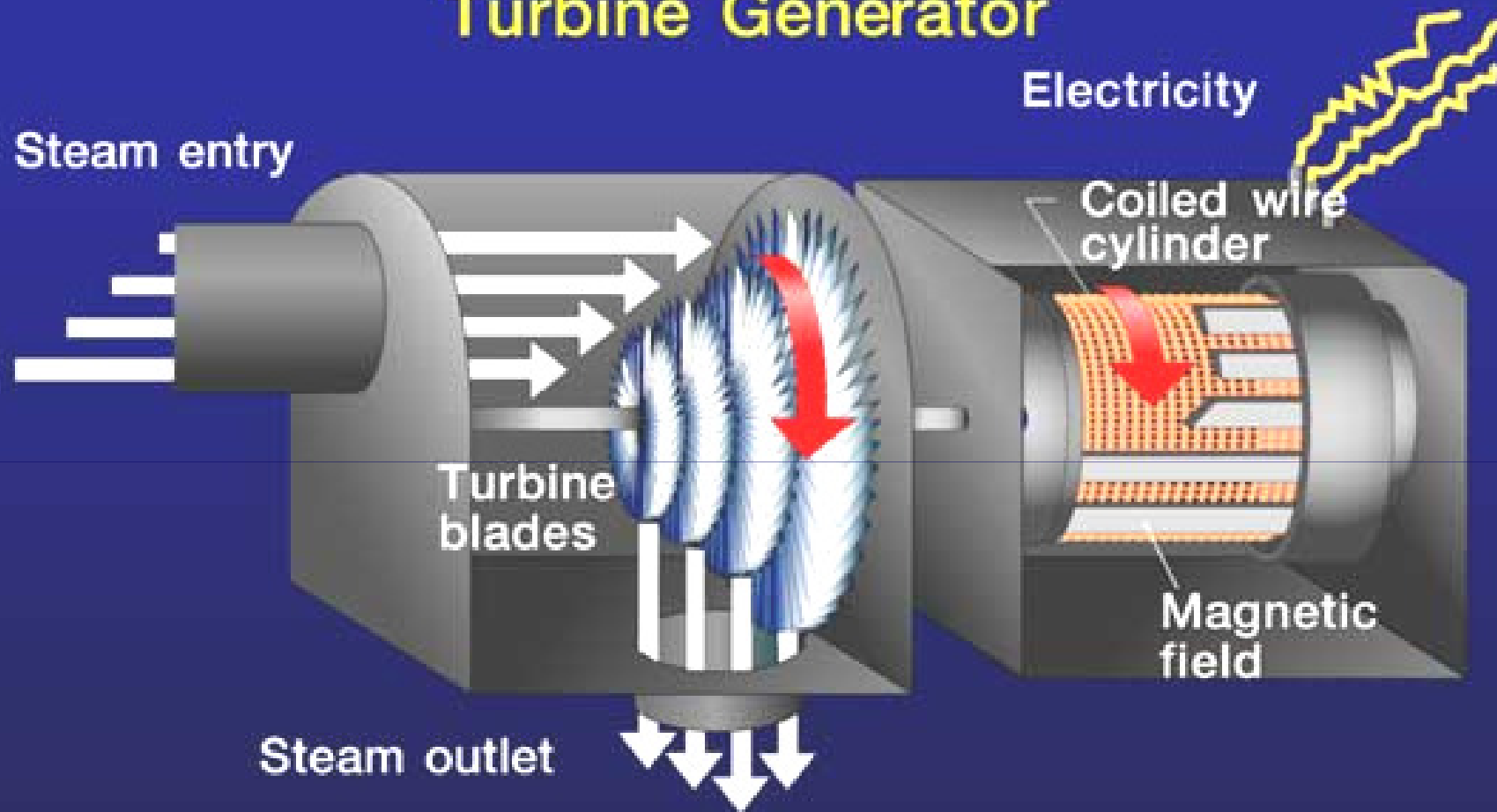






O vapor que vem dos poços de produção faz accionar uma turbina. O vapor condensado nas torres de arrefecimento é injectado para os poços de injeção de novo para o reservatório de forma sustentável.

## Turbine Generator



A produção de electricidade é idêntica à da central térmica a vapor a diferença é que aqui não há queima de combustíveis.

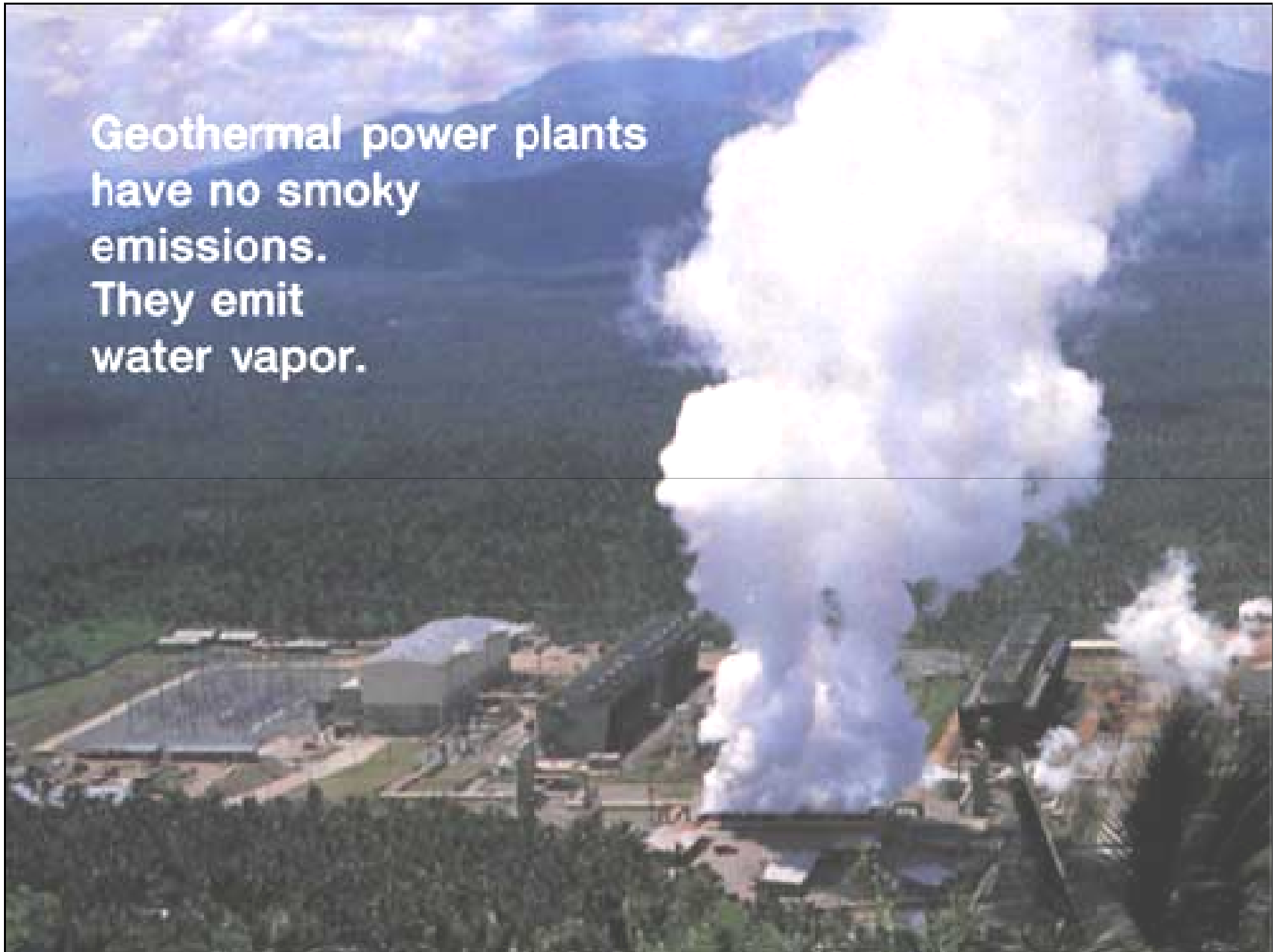


Central geotérmica Imperial Valley (California).



Grupo turbina/gerador na central de in Cerro Prieto, Mexico.

Geothermal power plants  
have no smoky  
emissions.  
They emit  
water vapor.



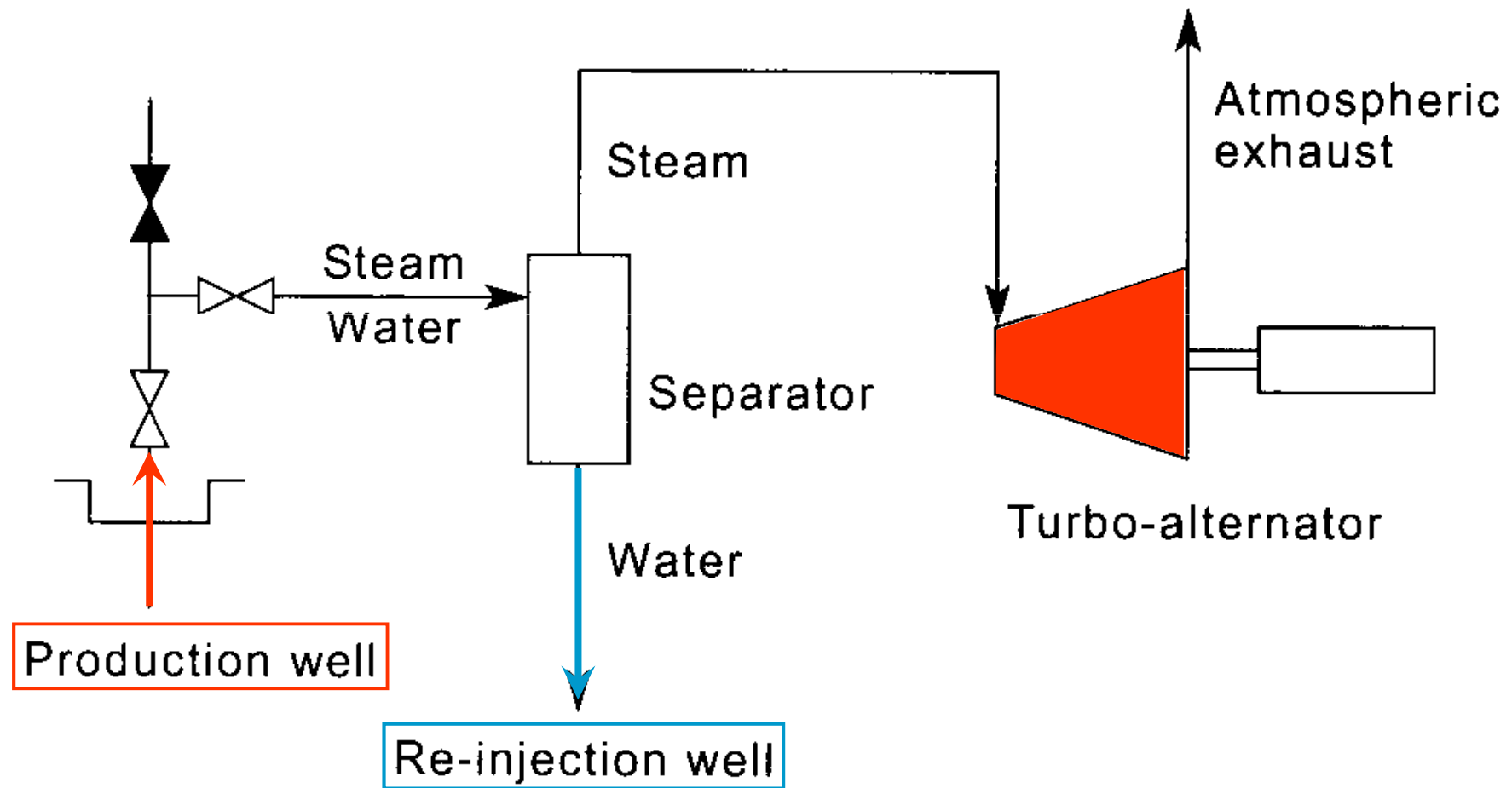


**Existem diferentes tipos de reservatórios geotérmicos e diferentes tipos de centrais**

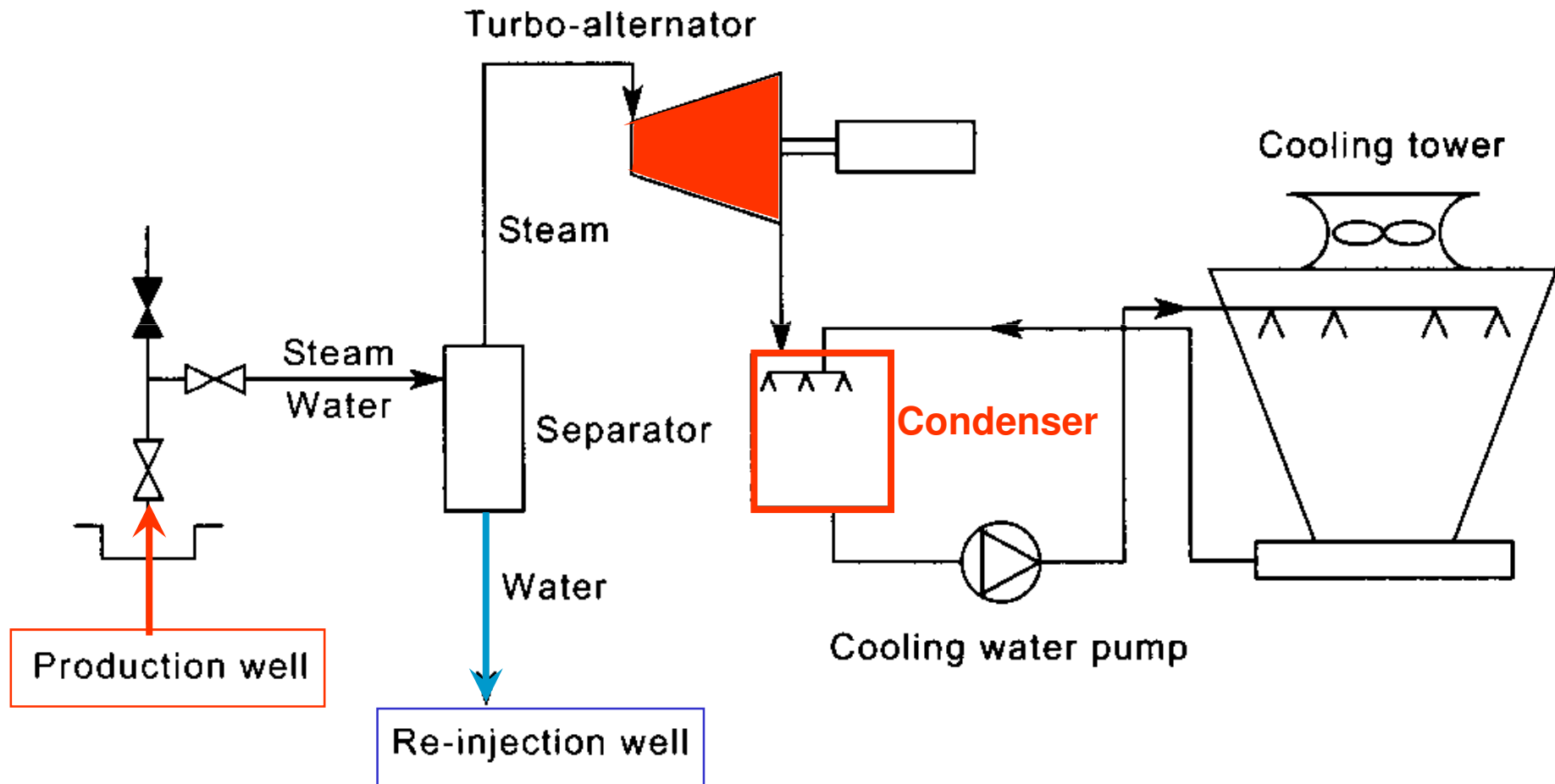
## **Power Plants**

- Dry Steam
- Flash Steam
- Binary Cycle

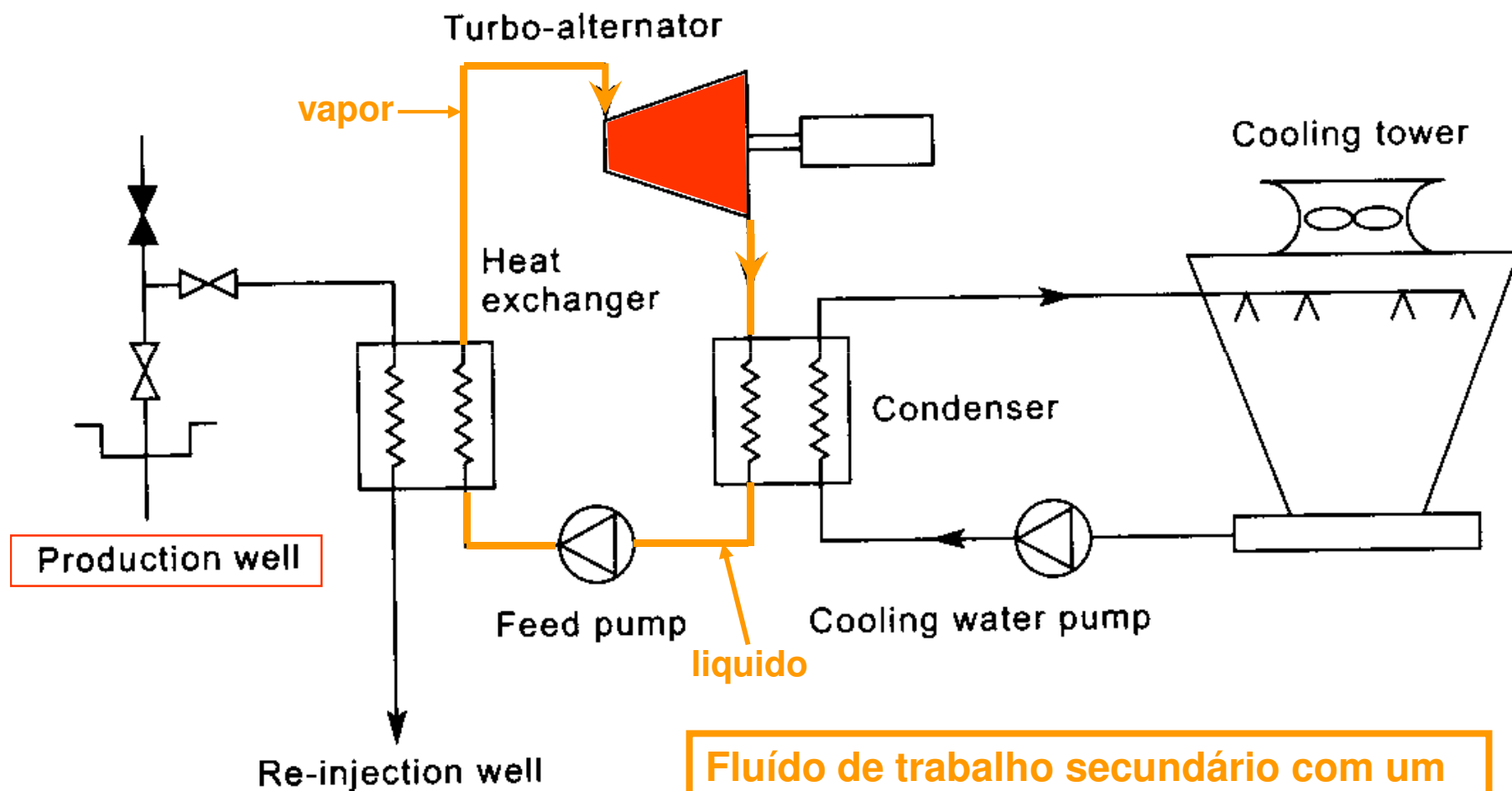
## Exaustão do vapor de água para a atmosfera (sem condensador) turbina a vapor de ciclo convencional



## Condensação do vapor no ciclo



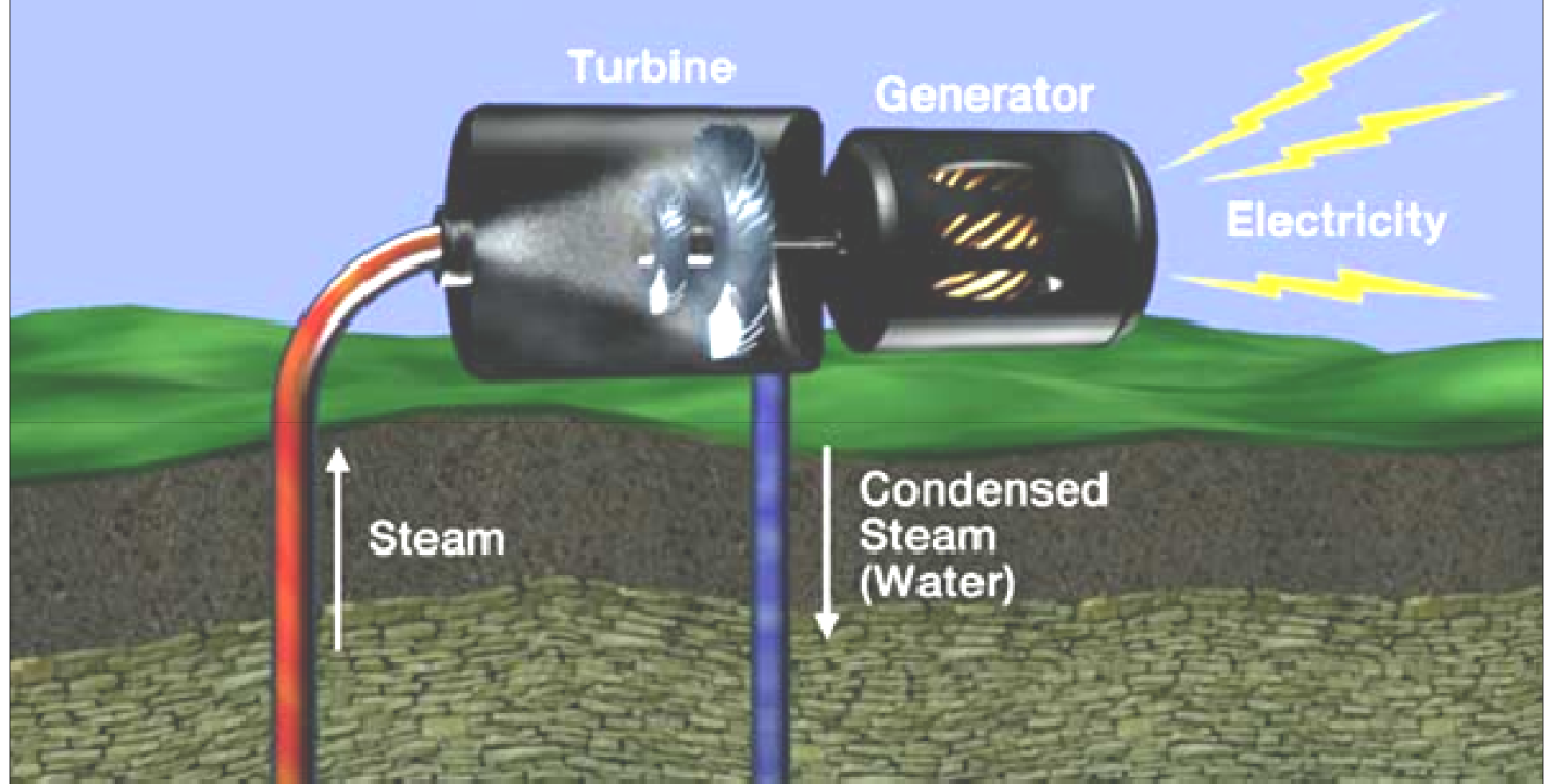
# CICLO BINÁRIO



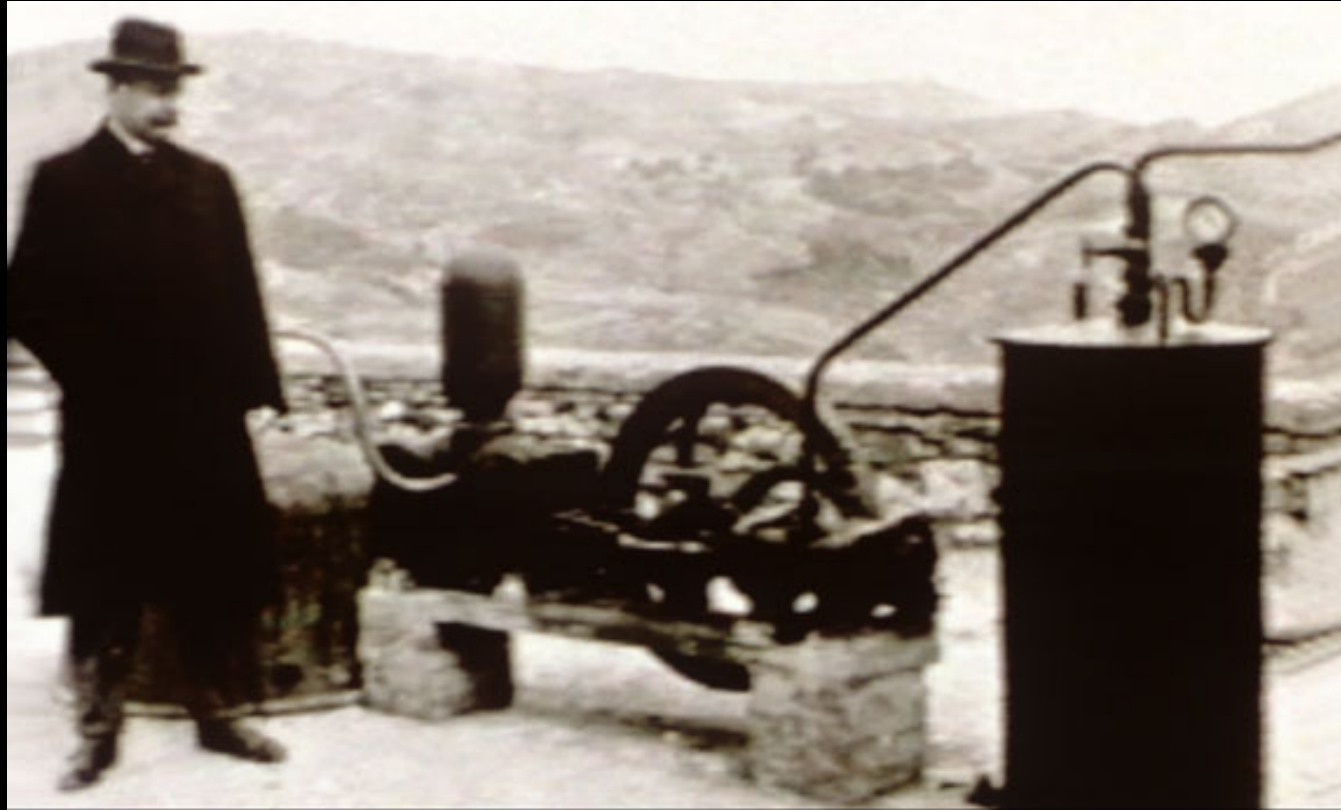
Fluído de trabalho secundário com um ponto de ebulição inferior ao da água.



## Dry Steam Power Plant



Central de vapor seco. São as mais raras.

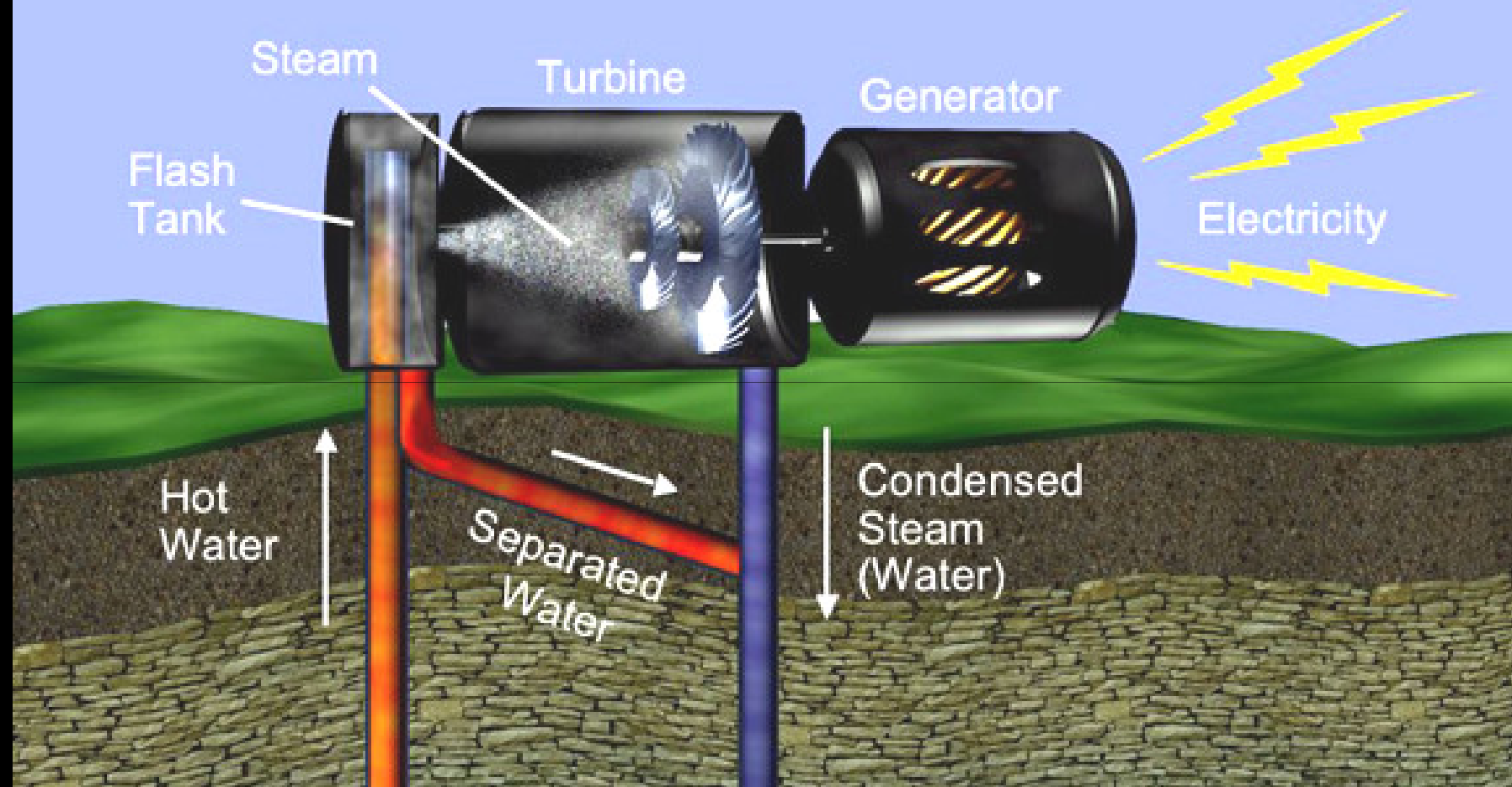


Prince Piero Ginori Conti inventou a primeira central geotérmica em 1904 Larderello, Itália.



As primeiras centrais geotérmicas nos EUA foram construídas em 1962 no norte da Califórnia num campo de Geysers.

## Flash Steam Power Plant

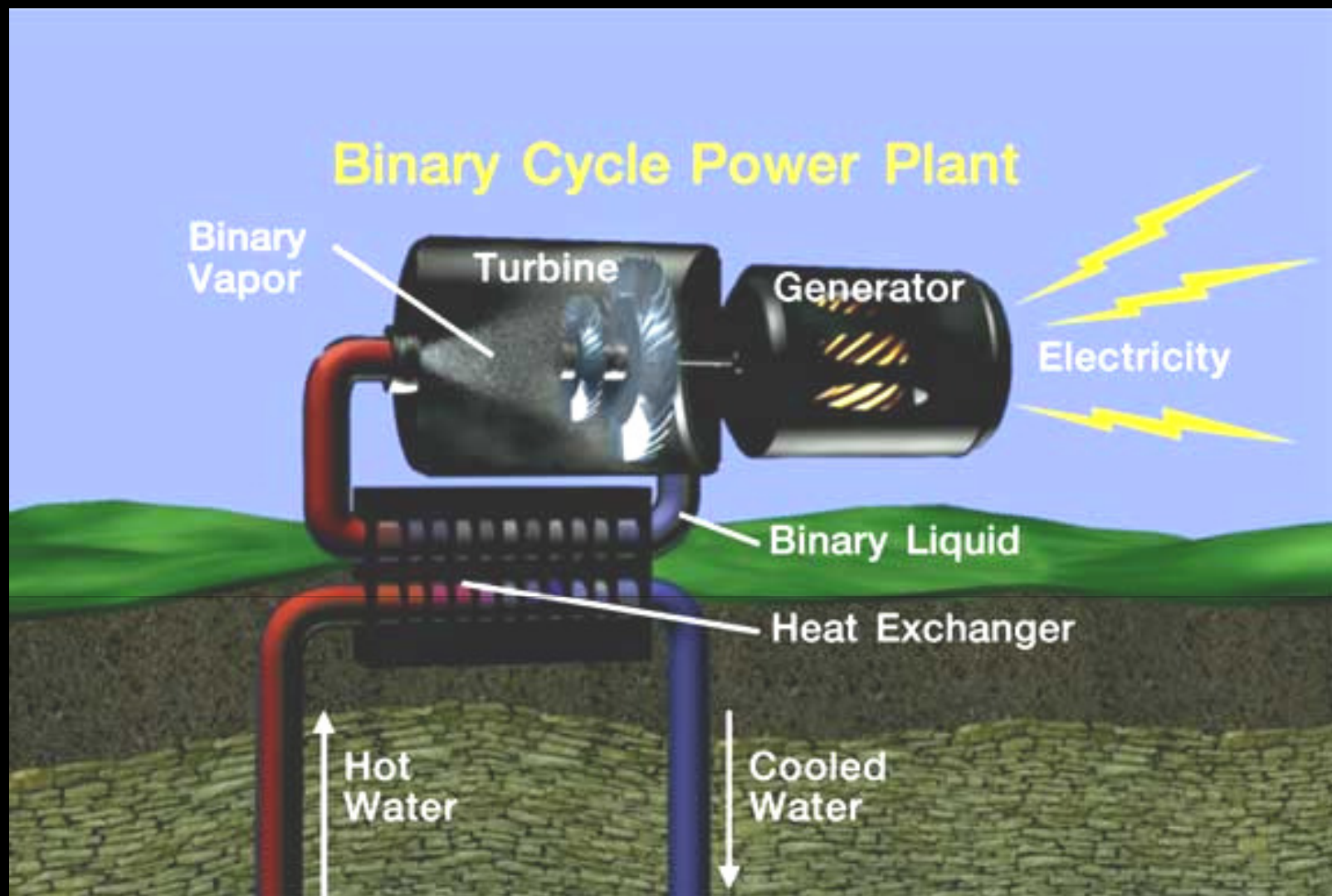


Central de valor “flash”. Representam cerca da 40% da capacidade instalada a nível mundial com potências entre 3 e 90MW..





Esta tecnologia foi inventada na Nova Zelândia. A água não utilizada e o vapor condensado são injectados de novo no reservatório para uma produção sustentável.



No ciclo binário o calor da água que vem do reservatório serve para aquecer um outro fluido de trabalho que por sua vez acciona a turbina produzindo electricidade.

Quando a temperatura do fluido geotérmico é inferior a 150°C torna-se difícil construir uma central a vapor “flash”.

As centrais geotérmicas de ciclo binário são uma boa solução permitindo aumentar o número de aproveitamentos. Um fluido de trabalho com um ponto de ebulição inferior à água é aquecido através de um permutador de calor e evaporado fazendo então accionar uma turbina. Depois de condensado volta de novo a passar pelo permutador.

A primeira central de ciclo binário construída foi na Rússia 1976.

Hoje em dia as centrais de ciclo binário são as mais usadas (155 unidades em 2004) que geram cerca 274 MWe. Constituem cerca de 33% de todas as unidades geotérmicas em operação mas apenas geram 3% da potência total. As unidades instaladas têm potências médias de 1.8 MW, no entanto estão em desenvolvimento unidades que poderão ter 7-10 MW.

## Propriedades termodinâmicas de alguns fluídos de trabalho para centrais binárias. (água para comparação)

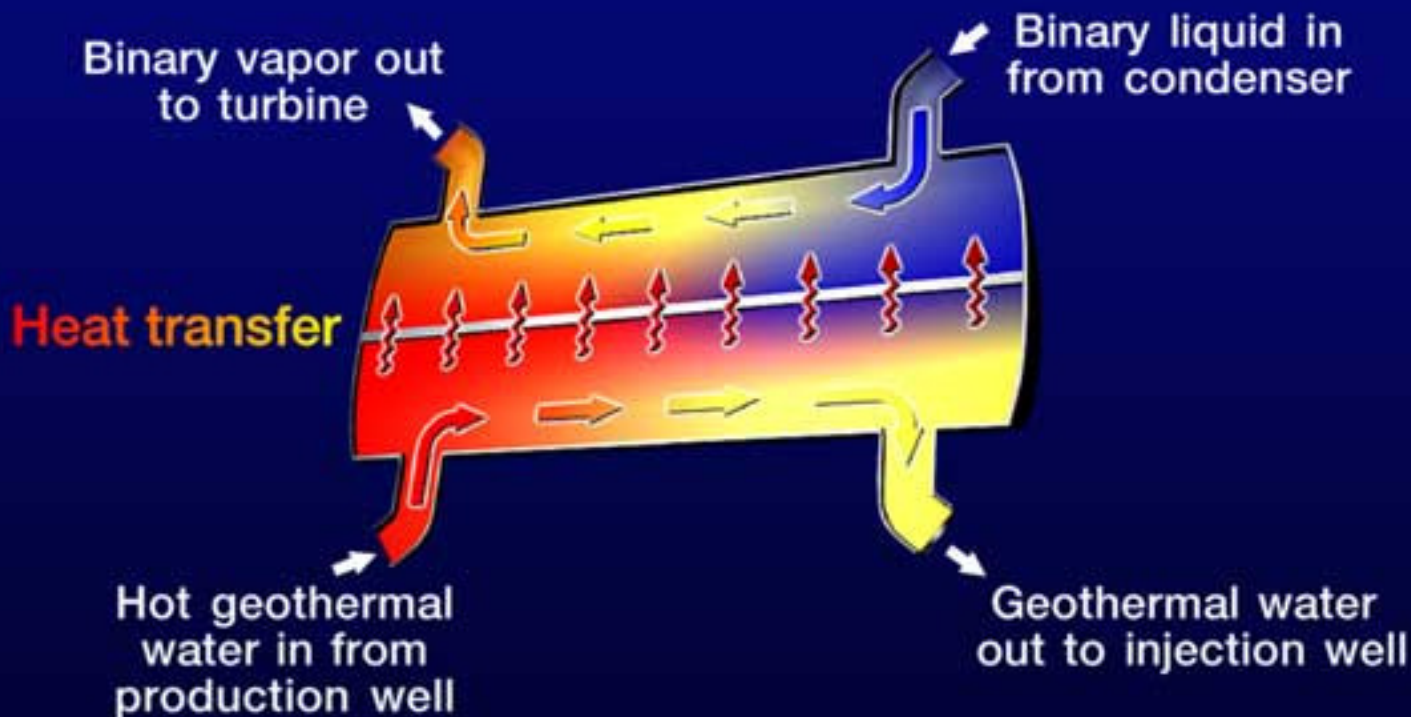
Fluid	Formula	$T_c$ (°C)	$p_c$ (MPa)	$p_s$ at 300K (MPa)	$p_s$ at 400K (MPa)
Propane	$C_3H_8$	96.95	206.5	0.9935	n.a.
i-Butane	i- $C_4H_{10}$	135.9	276.7	0.3727	3.204
n-Butane	$C_4H_{10}$	150.8	303.4	0.2559	2.488
i-Pentane	i- $C_5H_{12}$	187.8	370.1	0.09759	1.238
n-Pentane	$C_5H_{12}$	193.9	380.9	0.07376	1.036
Ammonia	$NH_3$	133.65	272.6	1.061	10.3
Water	$H_2O$	374.14	705.5	0.00354	0.2456

$T_c, p_c$  = temperature, pressure at critical point

$p_s$  = saturated vapour pressure

De notar que a temperatura e pressão críticas são substancialmente inferiores à da água, enquanto que a pressão de vapor saturado é substancialmente maior.

## Binary Power Plant Heat Exchanger

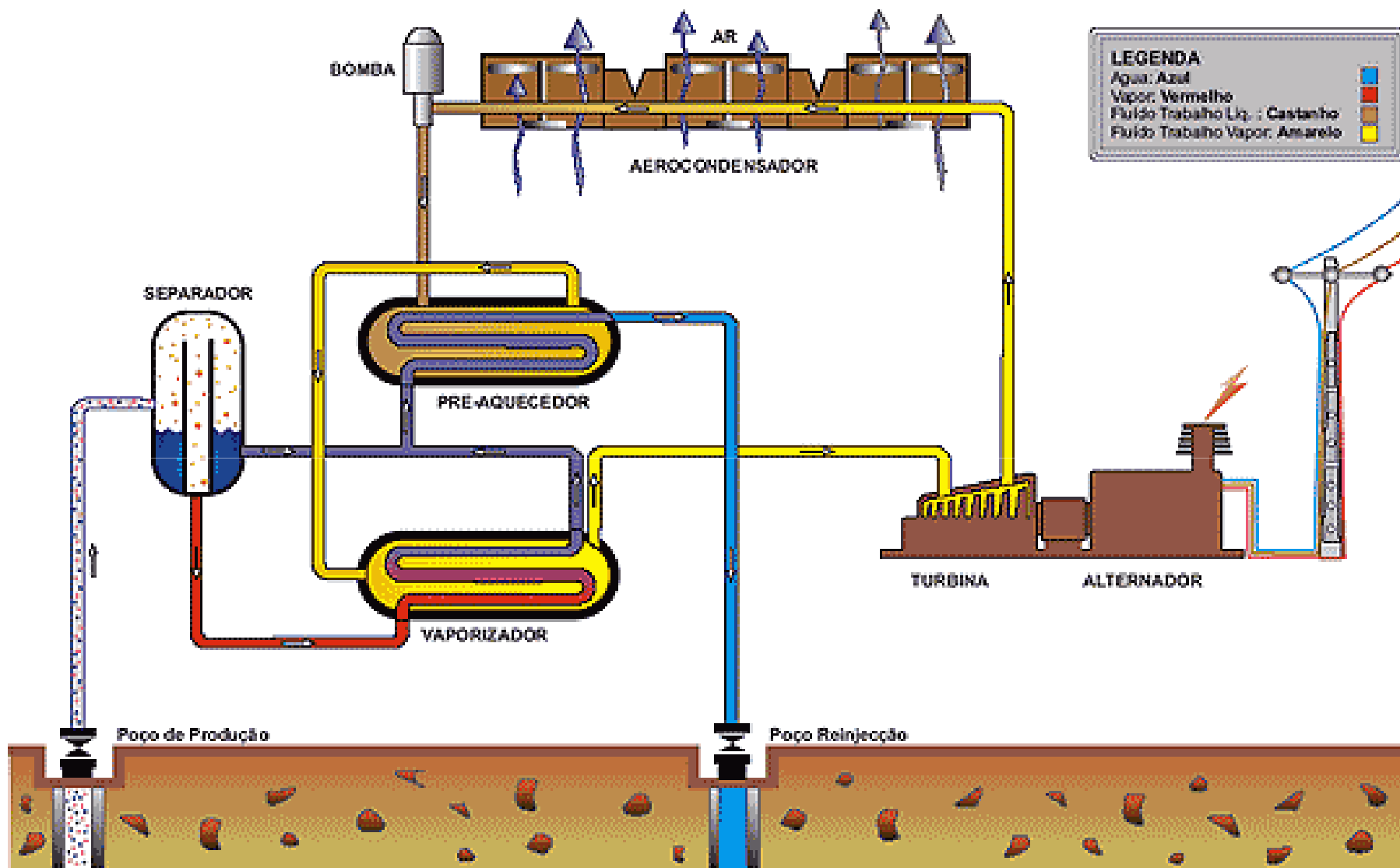


No permutador de calor, o calor é transferido da água geotérmica para o fluido de trabalho. Esta água nunca é exposta ao ar sendo injectada de novo para a periferia do reservatório.





A tecnologia Binária permite a utilização de reservatórios de menor temperatura aumentando assim o número de aproveitamentos geotérmicos que podem ser explorados. Exemplo: São Miguel, Azores, Portugal.



Representação esquemática da central binária de São Miguel (Açores).



Esta central fornece cerca de 25% da eletricidade usada na maior ilha do Hawaii. Trata-se de uma central híbrida (binária e “flash”).

## Comparação dos custos da produção de energia de várias fontes renováveis.

	Current energy cost	Potential future energy cost	Turnkey investment cost
	US cents/kWh	US cents/kWh	US\$/kW
Biomass	5–15	4–10	900–3 000
<b>Geothermal</b>	2–10	1–8	800–3 000
Wind	5–13	3–10	1 100–1 700
Solar:			
photovoltaic	25–125	5–25	5 000–10 000
thermal electricity	12–18	4–10	3 000–4 000
Tidal	8–15	8–15	1 700–2 500

Source: Fridleifsson, 2001.

## Potência instalada em geotérmica (2003)

País	Capacidade (MWe)	País	Capacidade (MWe)
Austria	1.25	Kenya	53
China	28.2	Mexico	865
Costa Rica	142.5	New Zealand	438
El Salvador	152	Nicaragua	77.5
Ethiopia	8.5	Philippines	1905
Guatemala	28.6	Portugal (Azores)	14
Iceland	200	Russia	73
Indonesia	787.5	Turkey	20.4
Italy	862	USA	2800
Japan	560.9	<b>TOTAL</b>	<b>9028</b>



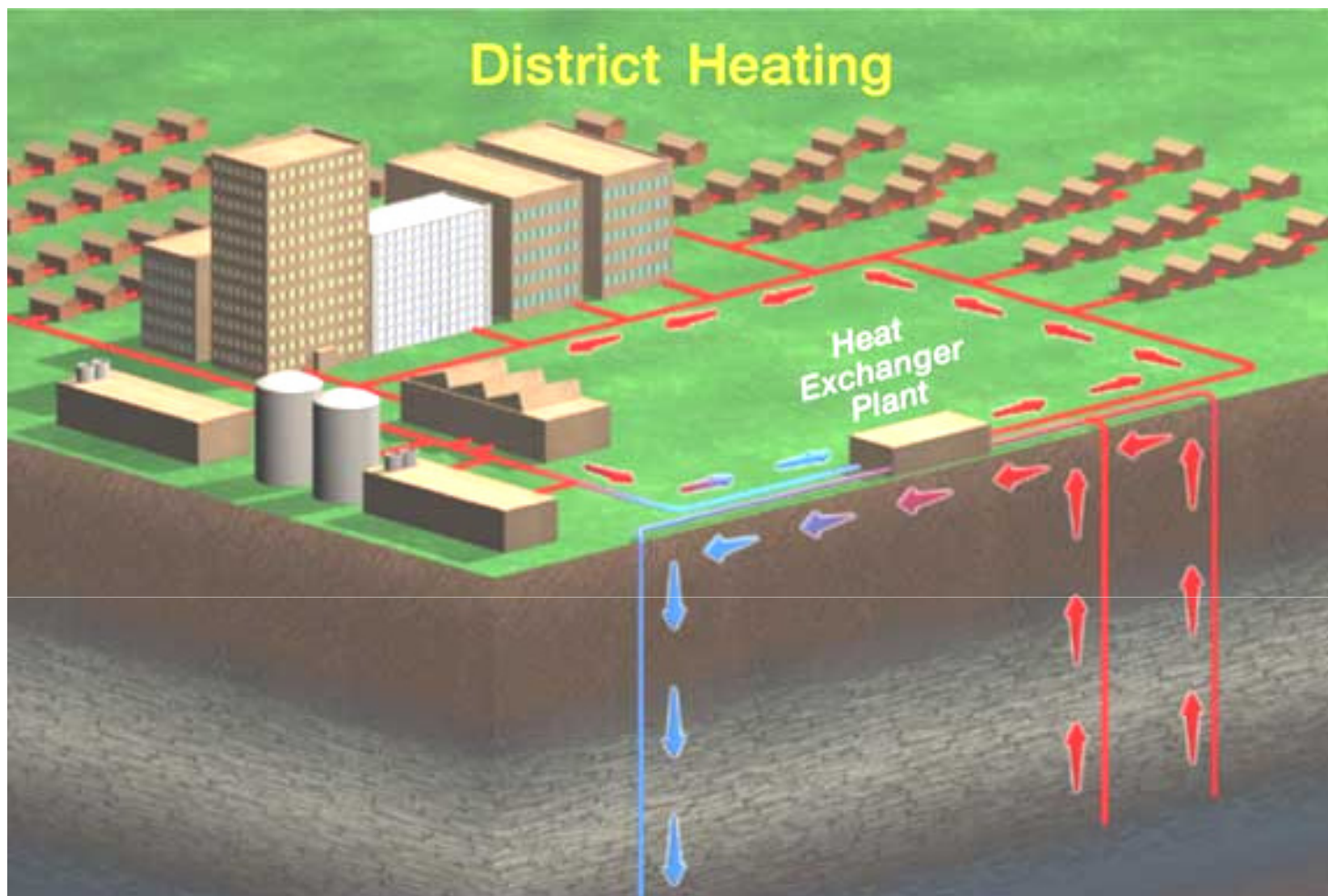


# Aquecimento de edifícios



Geothermal Drilling at  
Capitol Building,  
Boise, Idaho

An aerial photograph of the Idaho State Capitol building in Boise, Idaho. The building is a large, light-colored structure with a prominent dome. To the right of the building, there is a large, rectangular, light-colored structure, likely a geothermal drilling site. A white arrow points from the text 'Geothermal Drilling at Capitol Building, Boise, Idaho' to this structure. The surrounding area includes trees, parking lots, and other buildings.



A água quente vem dos poços geotérmicos, passa por um permutador de calor. O calor é transferido para outro fluido que depois percorre a rede de tubagens aquecendo os edifícios.



Cerca de 95% dos edifícios em Reykjavik, Islândia, são aquecidos com água de origem geotérmica.

# Geothermal Heat Pumps (GeoExchange Systems)

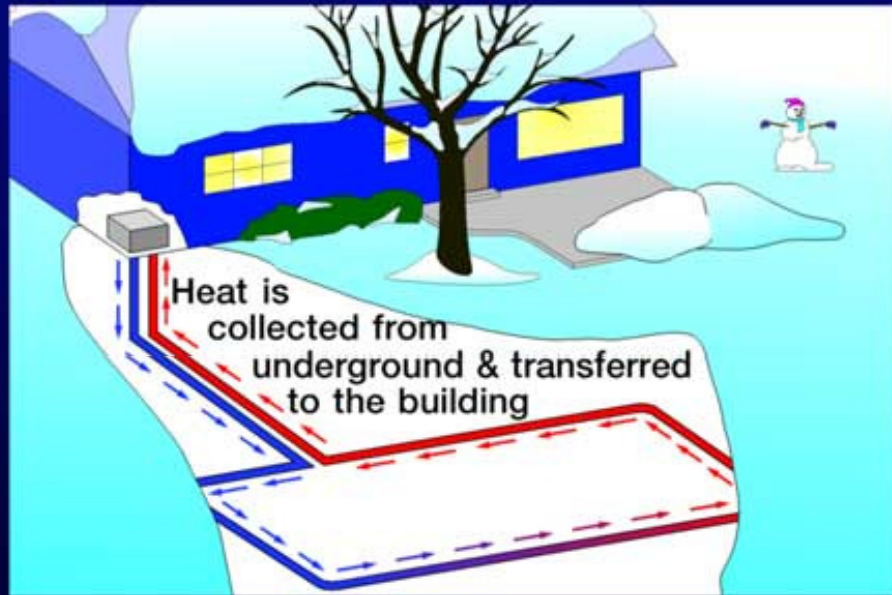
---

Residential and commercial heating and cooling  
. . . without a geothermal reservoir

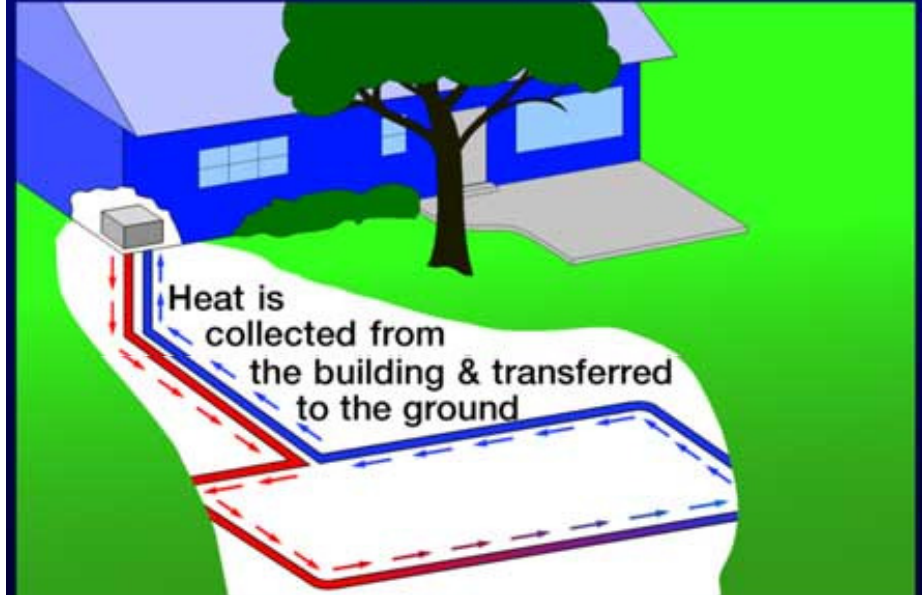
As bombas de calor podem ser utilizadas quase em todo o lado sem ser necessária a existência de um reservatório. As propriedades isoladoras da terra podem ajudar quer no aquecimento quer no arrefecimento.

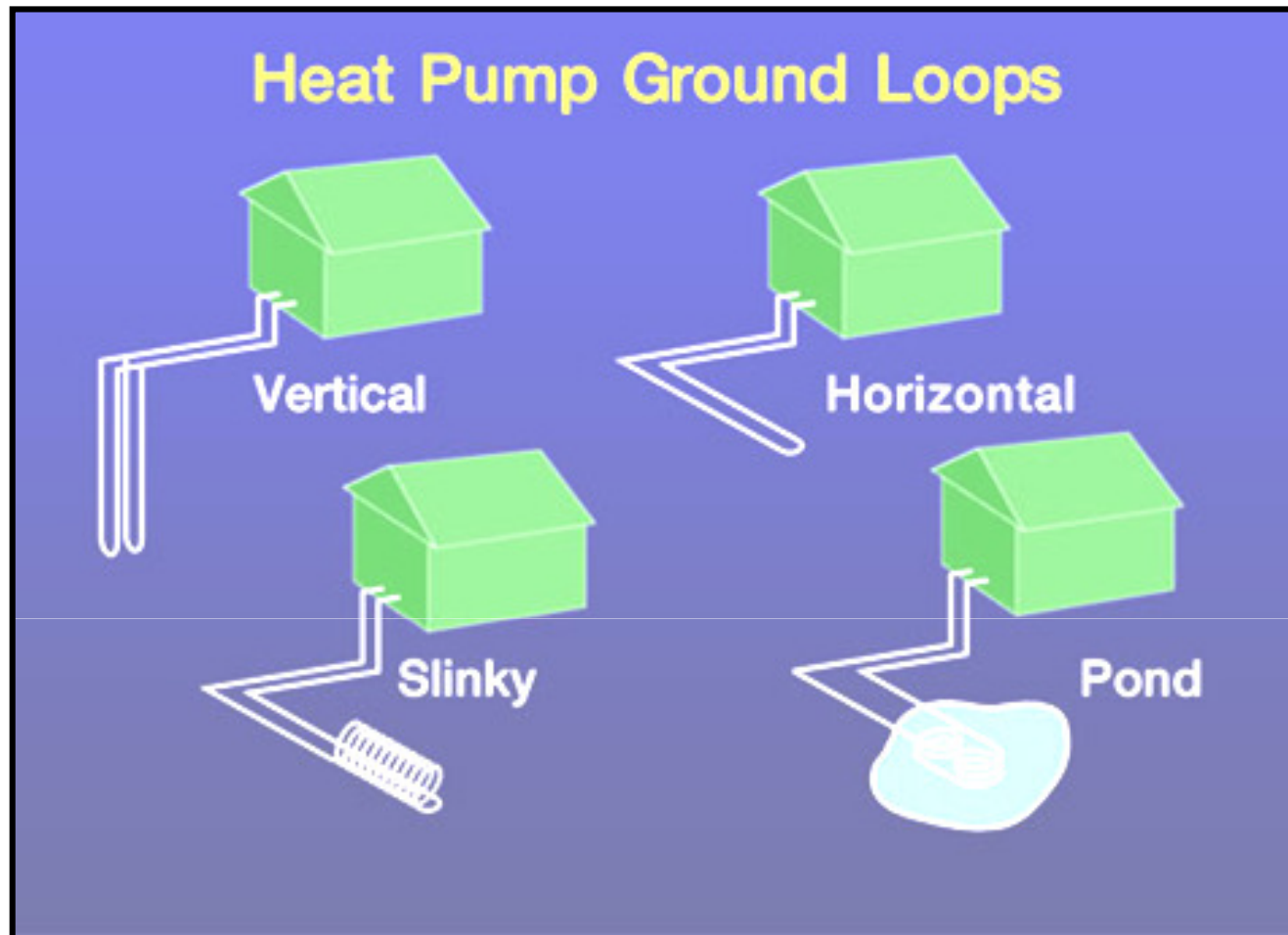


## Heat Pump in Winter



## Heat Pump in Summer





Existem diferentes tipos de tubagem para aquecimento através das bombas de calor.

## **Vantagens das bombas de calor:**

- Podem ser utilizadas praticamente em qualquer lugar do mundo.
- São eficientes na relação custo/benefício
- Evitam a utilização de combustíveis fósseis.
- Fornecem calor ou frio, praticamente sem emissões de CO<sub>2</sub>.

Muitos destes slides foram adaptados de: **The Geothermal Education Office, USA.**

Disponível em: <http://geothermal.marin.org/GEOpresentation/>

## **Bibliography:**

- Mary H. Dickson, Mario Fanelli. Geothermal Energy: Utilization and Technology. UNESCO Publishing, 2003. ISBN 9231039156. [Covers all aspects of geothermal energy.](#)
- Ronald DiPippo. Geothermal Power Plants. Elsevier, 2005. ISBN 1856174743. [Advanced text on electrical energy production.](#)
- Frank Press, Raymond Siever. Understanding Earth. W.H. Freeman, 1994. ISBN 0716722399. [A very well illustrated introduction to the geology of the Earth, by two well-known scientists.](#)
- Geoff Brown, John Garnish. Geothermal Energy. In: Renewable Energy ( Godfrey Boyle, editor). Oxford University Press, 2004. ISBN 0199261784. [A basic introduction to the subject.](#)