

PALEOBIOMETEOROLOGIA

Um dos objetivos principais da paleo-biometeorologia é a reconstrução de climas do passado. Para reconstruí-los é necessário estudar diversos campos das Ciências. As Ciências biológicas fizeram e fazem grandes contribuições, sendo que através destas, acrescidas das áreas de física e química, podemos obter uma visão dos climas do passado, gerando estudos paleo-biometeorológicos.

Tendo-se isto em mente, para reconstruirmos uma visão do clima no passado, devemos estabelecer as características principais para se obter seqüências climáticas, contanto que:

- 1) as distribuições observadas das espécies biológicas utilizadas realmente foram uma conseqüência de diferenças climáticas,
- 2) os valores observados dos elementos climáticos são baseados em
 - a) uma compreensão de todo o conjunto de fatores, nem todos climáticos, que governam as alterações (ocorrências) biológicas,
 - b) o conhecimento de limiar climático no qual delimita estas alterações e este limiar deve ser mantido constante, i.e., as espécies não tenham se adaptado (mutação/seleção) a estas mudanças climáticas, alterando este limiar (aumento da tolerância climática).

De modo geral, os seres humanos e os animais de grande porte são adaptáveis a diferentes climas ao se moverem durante suas vidas individuais a grandes distâncias. Entretanto, há exceções, tais como barreiras quase intransponíveis, como os glaciares. Por outro lado, há espécies adaptadas a habitats (nichos ecológicos) muito estreitos (ex.; estenotérmicos ou esteno-hídricos). Estas espécies são, portanto, de grande utilidade, contanto que:

- i) o limite de sua distribuição (observável no tempo) é controlado pelo tempo/clima ou já foram controlados,
- ii) as condições climáticas, que são limitantes para as espécies, hoje são conhecidas,
- iii) esta limitação climática não tenha mudado no curso do tempo, através da adaptação (aclimatização) ou evolução das espécies.

A paleo-biometeorologia pode ser subdividida em 4 principais tópicos, de acordo com sua contribuição a paleo-climatologia, em:

4.1 Dendroclimatologia,

4.2 Palinologia ou estudo dos grãos-de-pólen,

4.3 Distribuição da vegetação global e de animais no passado,

4.4 Climatologia histórica.

4.1 DENDROCLIMATOLOGIA

O interesse pelo estudo dos anéis de árvores remonta a Leonardo da Vinci, mas o estudo sistemático iniciou-se com A.E.Douglass, em 1901, fazendo associações entre manchas solares, a meteorologia e os anéis de crescimento de árvores. Mais recentemente, Fritts (1971 a 1976) tem-se aperfeiçoado nos estudos, incluindo técnicas computadorizadas.

O crescimento dos anéis, no qual são predominantemente anéis anuais, mostram uma "resposta" da árvore a variações do seu ambiente, particularmente devido ao tempo, embora ataques de insetos e outras pragas também os afetem (bem como alterações no solo). Devido a estes fatores, falsos anéis podem surgir.

O estudo dos anéis é fácil nos seguintes casos:

- i) árvores crescendo no limite polar das florestas (taigas), aonde as variações são devidas principalmente às diferenças de temperatura no verão (quando se processa o crescimento da árvore e a formação do anel).
- ii) árvores de regiões montanhosas próximas ao limite superior máximo (linha da floresta) nas mesmas condições,
- iii) árvores crescendo em regiões marginais de desertos, ou regiões semi-áridas, onde as variações são devidas às estações secas e chuvosas.

Árvores de climas tropicais também podem ser usadas, como no caso de estudos como para a floresta amazônica, onde há uma estação chuvosa com alagamento bem definida.



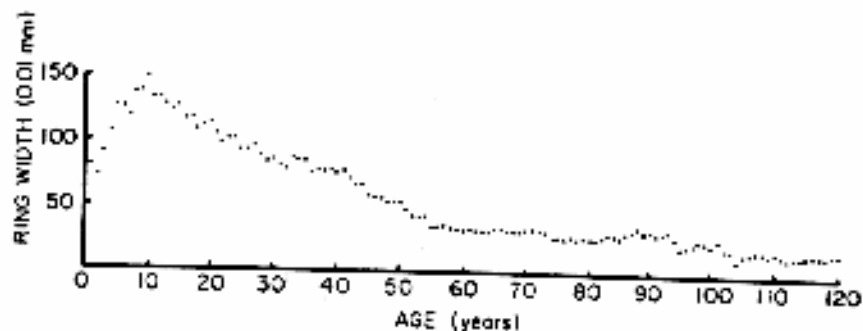
A huge fire scar on an old giant sequoia in Black Mountain grove. This grained old giant is still growing to life after centuries of surviving forest fires.

Há, também, o estudo da largura do anel, variando com a idade da árvore. Por exemplo: a largura do anel da *Sequoia washingtoniana* é cerca de 2,5 cm nos seus primeiros 10 anos de idade, após 200 anos é de 90% do anel "jovem", após 500 anos é de 60% e após 1700 anos é de 30%.

Em 1971, Fritts desenvolveu os principais métodos aplicados a dendroclimatologia, que se seguem abaixo alguns deles:

1) a escolha de árvores e lugares na qual a largura dos anéis é limitada, diretamente ou indiretamente, pelo estresse causado pelo tempo. O mais importante aqui é encontrar a máxima variação na largura do anel, para, também, maximizar a variação comum em muitas árvores e ao mesmo tempo, minimizar os efeitos não climáticos.

2) cada série de anéis deve ser ajustada de acordo com as idades das árvores. Este ajustamento é feito considerando a largura do anel individualmente em relação à curva exponencial da média de crescimento plotado contra a idade. A largura do anel esperada, y , é aproximadamente feita pela curva da expressão $y = a \cdot e^{-bx}$, onde x é o número de anos depois do período de crescimento máximo na sua juventude e a e b são constantes (ver fig. 4.1).



4.2 PALINOLOGIA

Palinologia é o estudo dos grãos de pólen, incluindo os esporos das plantas inferiores, partes microscópicas das próprias plantas e materiais fósseis. É um dos ramos que mais tem contribuído para a Paleoclimatologia. A estratigrafia feita nos pântanos (e/ou em turfas) é a análise principal para se obter os perfis verticais de pólen e esporos sedimentados há séculos. As datações servem para se estimar a idade de cada camada, enquanto que as espécies encontradas identificam o ecossistema desta camada (ou período), vide figura 4.2.

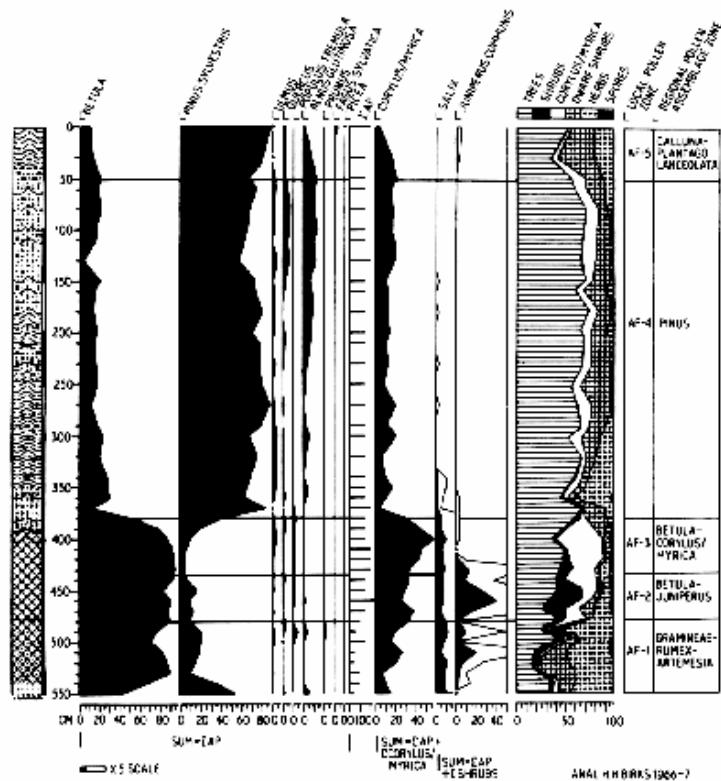


Figura 4.2. Diagrama de estratificação de pólen de pântano de turfa no centro-norte da Escócia. Porcentagens de pólen de diversas espécies, especialmente *Betula* e *Pinus* (videiro, próximo ao carvalho, e pinheiro).

Fig. 11.52. Pollen diagram from a peat bog in Abernethy Forest, northern central Scotland (56°2'N 3°6'W).

Percentages of the different tree species in the total tree pollen (TP) and at the extreme right

Como exemplo, na Europa, a planta ornamental mais usada foi a hera, embora sendo esta bastante afetada, na sua distribuição, pela atividade humana. A hera não tolera, no mês mais frio, médias abaixo de -2°C , nem no mês mais quente menos que 13°C . Estudando-se seu grão-de-pólen temos uma visão de sua distribuição no passado, notadamente durante o Império Romano.

Deve-se levar em conta, também, a capacidade de transporte do pólen, bem como o tipo de nicho em que se encontra. Os pólenes podem ser dispersos por muitos meios, como veremos mais para frente em biometeorologia vegetal, não só pelo vento (*anemocoria*). Tauber (1965) considera a distribuição dos pólenes em três categorias:

- 1) aqueles que ficam dentro da própria floresta ou por serem pesados demais para o transporte fora da floresta ou por possuírem outro meio de dispersão = $f(1)$.
- 2) pólenes carregados logo acima das copas das árvores = $f(2)$.
- 3) pólenes carregados por correntes convectivas para cima da camada limite e retornam através da precipitação da chuva = $f(3)$.

Para cada nicho ecológico (ex.: floresta, pântano ou um grande lago) há diferentes proporções de deposição destes três tipos de dispersão dos grãos. Por exemplo: para um pequeno lago ou pântano, $f(1)=0.8$, $f(2)=f(3)=0.1$ e para um grande lago, $f(1)=0.1$, $f(2)=0.7$ e $f(3)=0.2$.

final escala nas flutuações climáticas. Devido ao carregamento pelo vento as grandes distâncias e a possível existência de microclimas favoráveis ao desenvolvimento de uma flora não compatível com as condições climáticas em geral, a palinologia pode estar, então, incorreta. Ainda assim o método é utilizado em efeitos de larga escala (macro e mesoescala) sobre intervalos maiores que 1000 anos até cerca de 50 000 anos.

4.3 DISTRIBUIÇÃO DA VEGETAÇÃO E ANIMAIS NO PASSADO.

O estudo da distribuição de vegetais no mundo denomina-se fitogeografia e de animais, zoogeografia. Ambas são importantes para se definir ecossistemas e climas/sistemas meteorológicos de cada região. O seu estudo no passado pode nos fornecer o mesmo tipo de informação.

i) Distribuição dos vegetais ou fitogeografia.

Visto que o pólen é carregado a grandes distâncias, a descoberta de um tronco antigo ou pedaço grande de folha nos assegura uma identificação positiva da posição do vegetal. Este é o recurso mais utilizado para se verificar a distribuição dos vegetais no passado (vide figura 4.3). Durante o último período glacial, a Amazônia possuía um ecossistema semelhante ao cerrado, com pequenas "ilhas" de florestas, aonde houve uma grande especialização de seres vivos aí presentes, criando, posteriormente, a sua grande diversidade de flora e fauna.

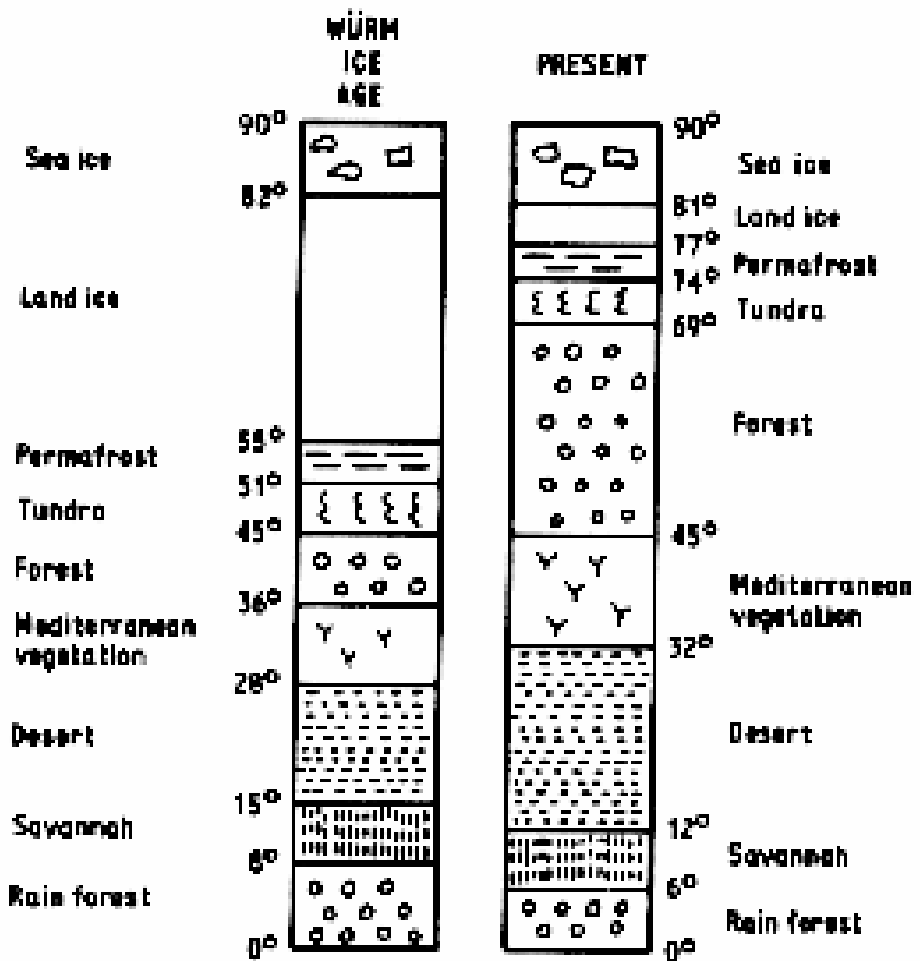
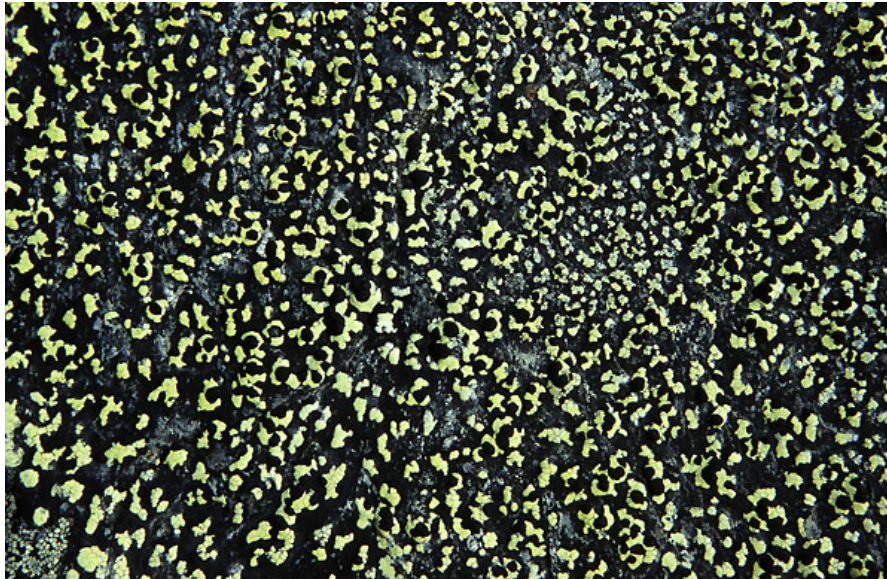


Figura 4.3. Zoneamento do clima e vegetação na última idade do gelo e no presente para a Europa, setor 0-15E.

A rubiácea *Declieuxia* "assumiu" aspecto de gramínea para poder sobreviver ao rigoroso inverno na Serra do Cipó e da Mantiqueira (ambas em MG), onde segundo alguns autores esta última teve até glaciares acima de 2000 m durante a glaciação Würm (12 000 anos atrás).

O musgo do gênero *Polytrichum*, na Grã-Bretanha, ficou atualmente restrito às altas montanhas da Escócia, enquanto que durante a última glaciação se espalhava por toda ilha. O gênero *Sphagnum* é agora o mais comum, sendo adaptado a climas mais amenos com folíolos mais largos.

O estudo com os líquens ou liquenometria tem sido utilizado para determinar a retração de glaciares e do desaparecimento de bancos de neve perenes. Os esporos dos líquens alcançam a face rochosa recém exposta rapidamente e algumas espécies (p.ex.: *Rhizocarpum geographicum*) são conhecidas por serem os primeiros a crescer após a retração do gelo. O crescimento é vagaroso e contínuo por muito tempo.



B) Distribuição de animais ou zoogeografia.

INSETOS: Estes são a mais prolífera fonte de informação da paleoclimatologia de toda fauna terrestre. Seu pequeno tamanho, a grande diversidade de espécies, a boa preservação de certas partes duras (ex.: abdômen) os fazem possível ser encontrados em um grande número nos depósitos sedimentares. Entre os insetos fósseis, os fragmentos mais identificáveis pertencem aos besouros (ordem **Coleoptera**) porque seu exoesqueleto é resistente e sua identificação por espécies é fácil, além de representar cerca de 70% das espécies da classe **Insecta**. Em depósitos lacustres, podemos encontrar dípteros (moscas e mosquitos) comuns a estas áreas. Há, também, trabalhos feitos em formigas (ordem **Hymenoptera**), devido a serem espécies muito antigas.

PÁSSAROS: O alcance das espécies de pássaros, bem como seus ninhos, certamente mudam com alterações climáticas e meteorológicas, não somente em grandes modificações (eras glaciais) como também com pequenas flutuações alteram o hábito de muitas espécies. As espécies migratórias são grandemente afetadas pelas alterações climáticas, como no caso das aves que aportavam em ilhas, durante a última glaciação, hoje são cobertas pelo mar.

ANIMAIS TERRESTRES: Tais como as aves , estas mudanças também afetam sua distribuição. Os mais óbvios casos, nos quais estas influíram na zoogeografia, incluem :

i) a imigração dos animais e do próprio ser humano, da Ásia para a América, através do estreito de Behring, durante a glaciação Würm (cerca de 20 000 anos). Situação similar na Austrália e N.Zelândia, durante o Pleistoceno (500 000 anos).

ii) a recolonização das ilhas Britânicas, durante a última glaciação com a diminuição do leito do mar (cerca de 100 m), deixando passar grandes mamíferos (ex. ursos).

iii) os movimentos de animais e homens através do Saara, na diminuição das chuvas no período pós-glacial, quando os níveis do lago Tchad e do Nilo começaram a baixar. Havia até antílopes, girafas e hipopótamos em 3000-2500 a.C.

Os moluscos (caramujos, bivalves, etc.) também são interessantes para o estudo devido à sua abundância, facilitando assim, os métodos estatísticos. Suas conchas calcárias possuem boa preservação, especialmente em solos não ácidos.

C) vida marinha

A fauna e flora marinha nos indicam muitos fatores climáticos e físicos dos oceanos como temperatura, salinidade, poluição, etc. Há um ótimo de condições para cada espécie, no qual a produtividade é máxima e as condições limites onde a espécie(ou o espécime) padece. No caso do mar, as condições são mais estáveis, havendo um grande número de espécies adaptadas a nichos ecológicos bastante estreitos, por ex.: os corais de recifes, não sobrevivem em águas inferiores a 18C, ou, alguns peixes antárticos vivem entre 4C e 4.5C, qualquer oscilação para cima ou para baixo são fatais.

Os foraminíferos estão entre as espécies mais estudadas em relação a paleoclimatologia, (e obviamente paleo-biometeorologia), porque há espécies adaptadas a condições bastante específicas, especialmente de temperatura, por todo o globo. Por exemplo:

i) grupo tropical : entre 30N e 30S, oeste do Atlântico,
10N e 10S, costa da África.

Espécies: *Globigerinoides ruber*, *G. sacculifer*, *Globorotalia menardii*.

ii) grupo-subtropical: entre 40 e 45N

Espécies dominantes: *Globorotalia truncatulinoides*, *G. falconensis*, *G.inflata*.

iii) grupo sub-polar: norte do Atlântico (até 66) e Antártida,

Espécies dominantes: *Globorotalia pachiderma*, *G. bulloides*, *Globigerinita glutinata*.

iv) grupo polar: mais de 70.

Espécie: *Globorotalia pachiderma*



4.4 CLIMATOLOGIA HISTÓRICA

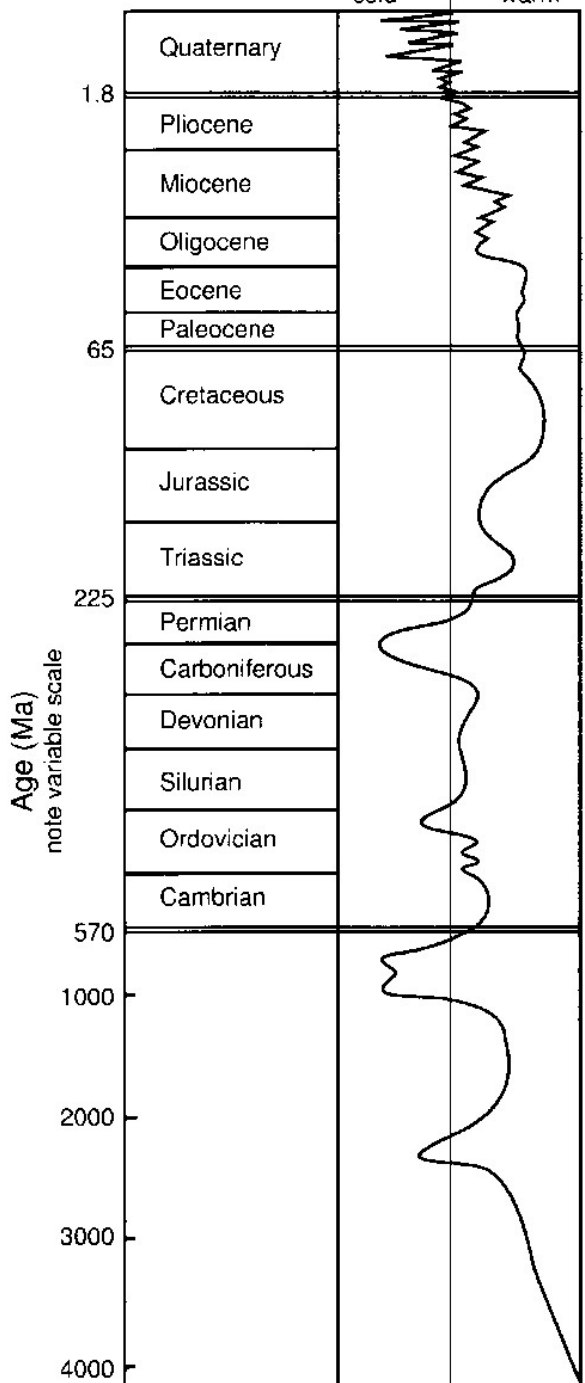
1783 Jun 8, In Iceland the Lakagigar volcano began erupting. Over the next 6 months it built a lava dam 40 miles long and 540 feet high in a month. The Laki volcano wiped out 75% of the crops which led to a severe famine that killed some 10,000 people, 20% of the population. This was described by Haraldur Sigurdson in an article titled Volcanic Pollution and Climate

rench Revolution

Laki, Iceland, 8th June 1783 to early February 1784

- Very large eruption from a 30-km-long fissure
 - à preceded by a week of earthquakes,
 - à produced between 12.5 and 15.7 km³ of basaltic lava, the largest flow on Earth within historic time,
 - à sent large quantities ~122 Tg = 122 million tonnes (1 Tg = 1 teragram = 10¹² g = 10⁶ ton) of sulphur dioxide (SO₂), which yielded 50 to 65 million tonnes of sulphuric acid aerosol (!), and of carbon dioxide (CO₂) in the atmosphere
 - à “Famine winter” in Iceland
- 9,000 people (25% of population of Iceland) died, a few directly from the lava flows, most from various forms of lung and skin poisoning
- 75% of all livestock died of lung inflammation and of starvation in the following winter
- Benjamin Franklin, living in Paris at the time, attributed, in a 1789 scientific paper, the extremely cold years that followed throughout Europe to the emissions from that eruption that prevented sunlight from reaching Earth’s surface. (And since crop failures in Western Europe at the time have been alleged to be responsible for great popular discontent, and, in particular, for the onset of the French Revolution in 1789, it can be at least argued that the Laki eruption triggered that revolution

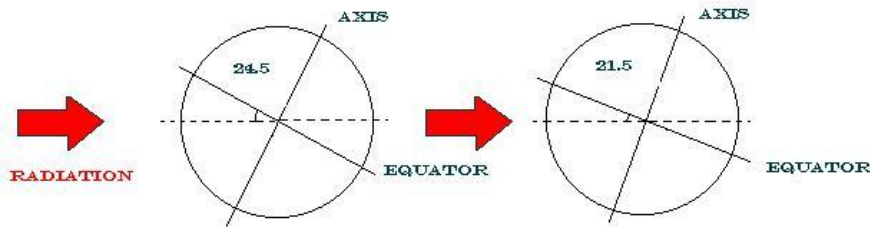
present
cold warm



Temperaturas da Terra Ao longo de todas as eras Geológicas

AS ERAS GLACIAIS

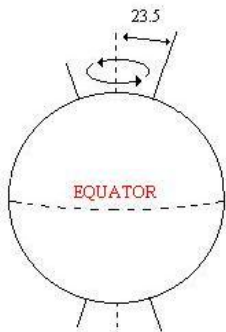
AXIAL TILT



PERIODICITY:

41,000 YEARS

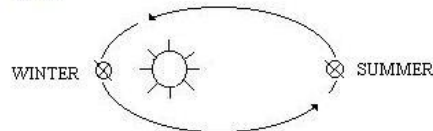
PRECESSION



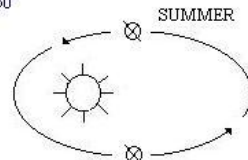
PERIODICITY:

C. 23,000 YEARS

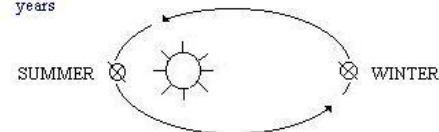
1. Now



2. In c. 5,250 years

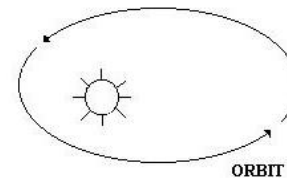


3. In c. 10,500 years

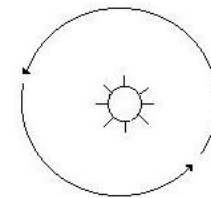


ECCENTRICITY

MORE ELLIPTICAL

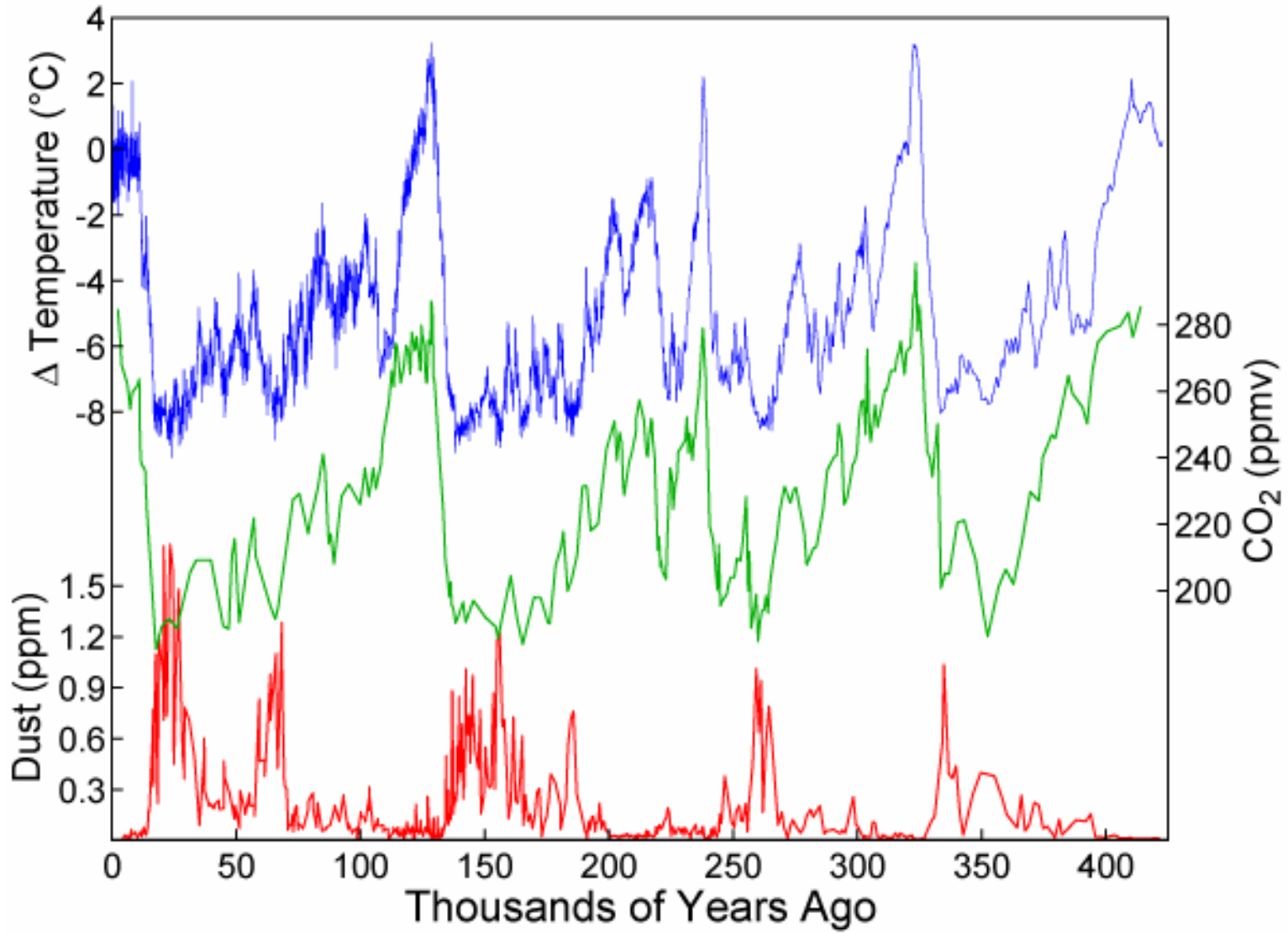


LESS ELLIPTICAL

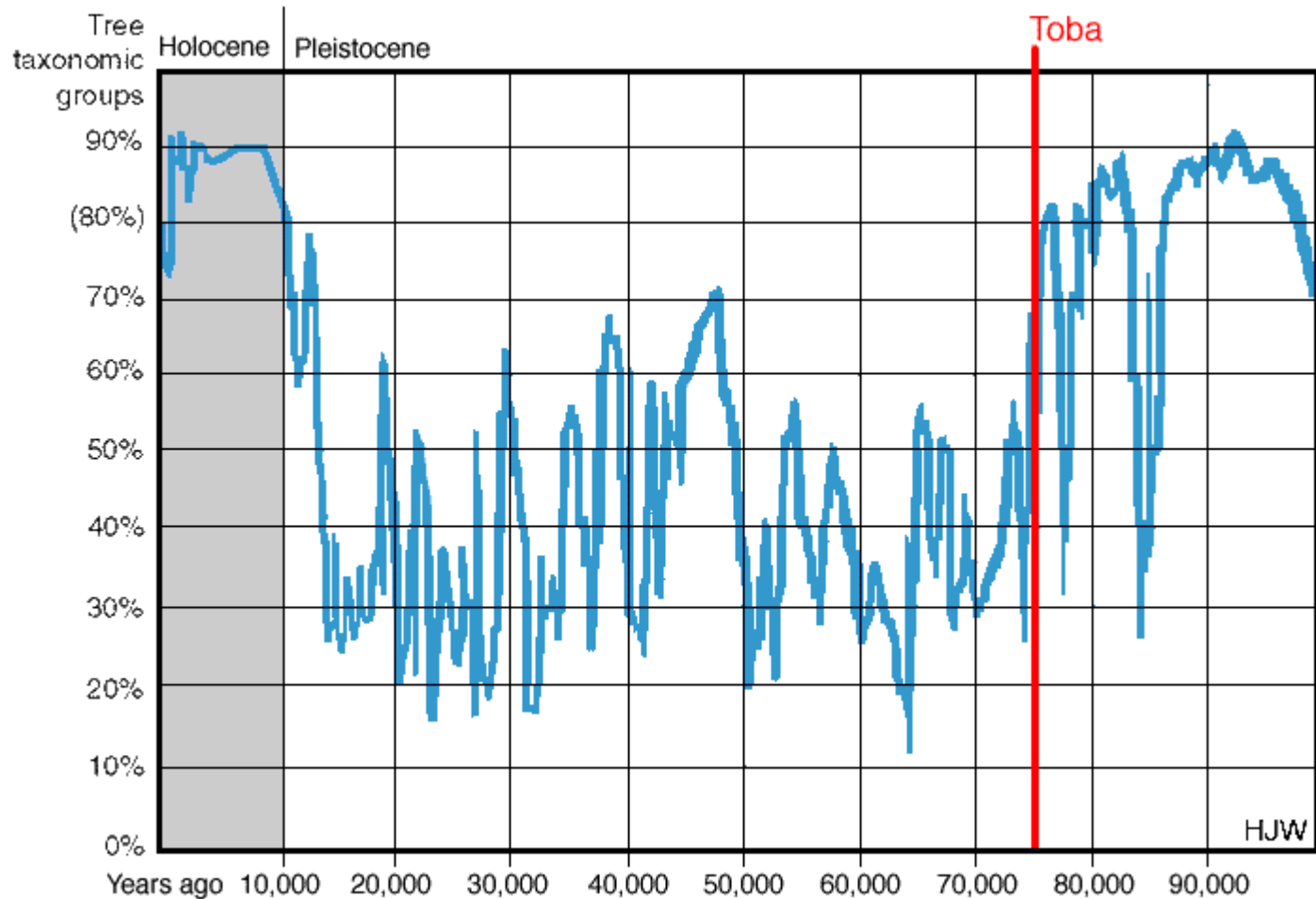


PERIODICITY:

100,000 YEARS



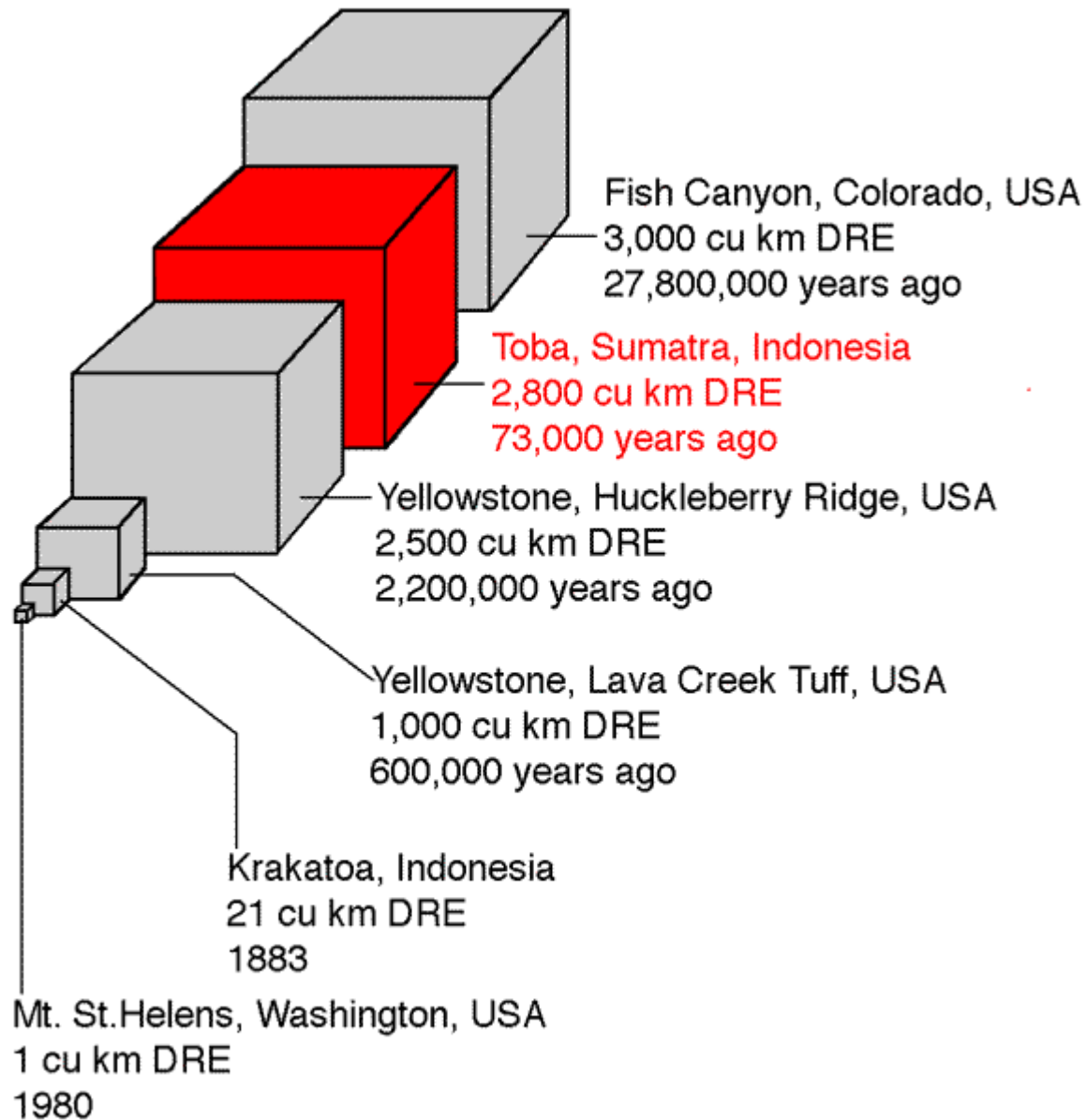
Eras glaciais

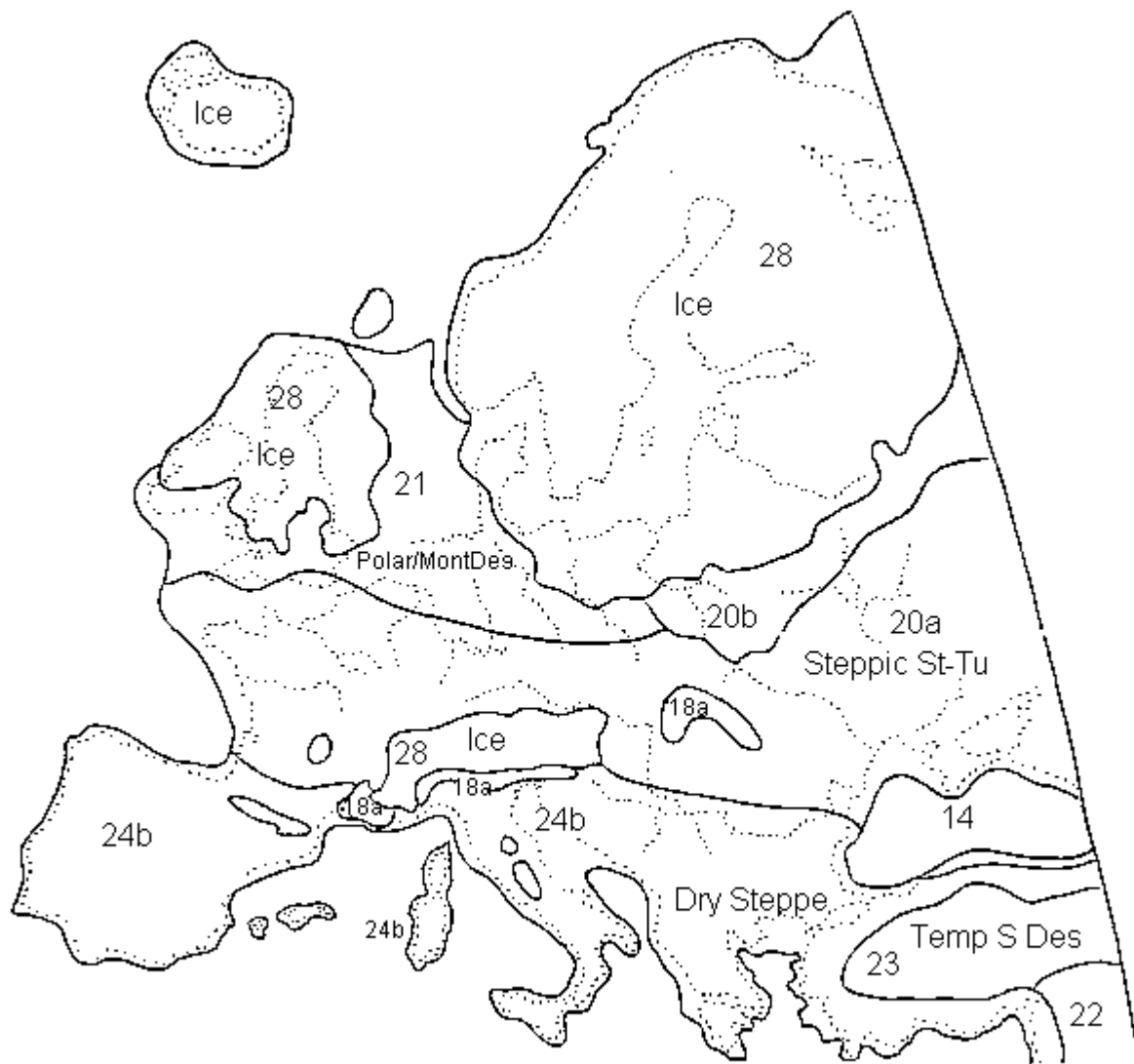


Temperaturas durante o Pleistoceno (última Era Glacial) e no Holoceno (atual) (mais o efeito do vulcão Toba)

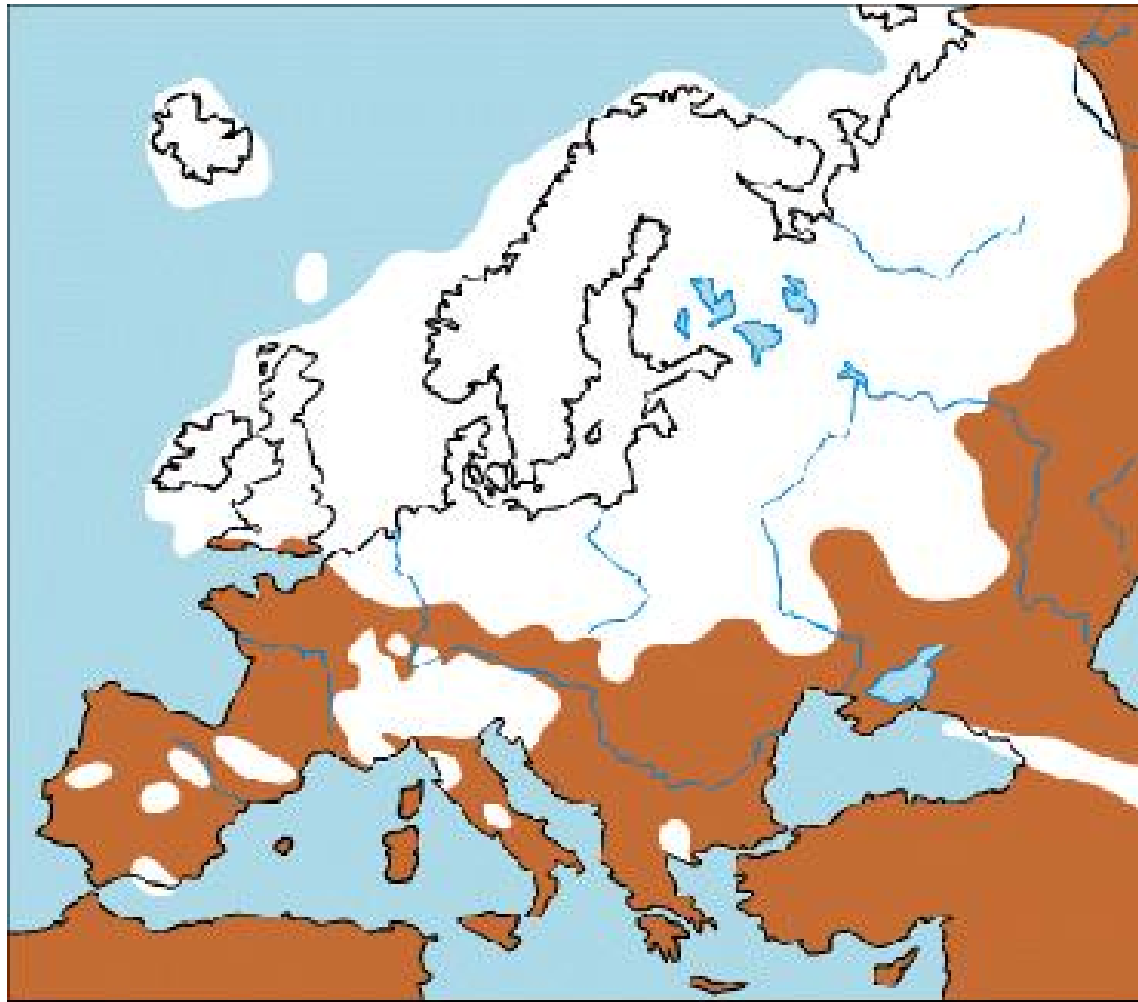
VULCANISMO:TAMBORA




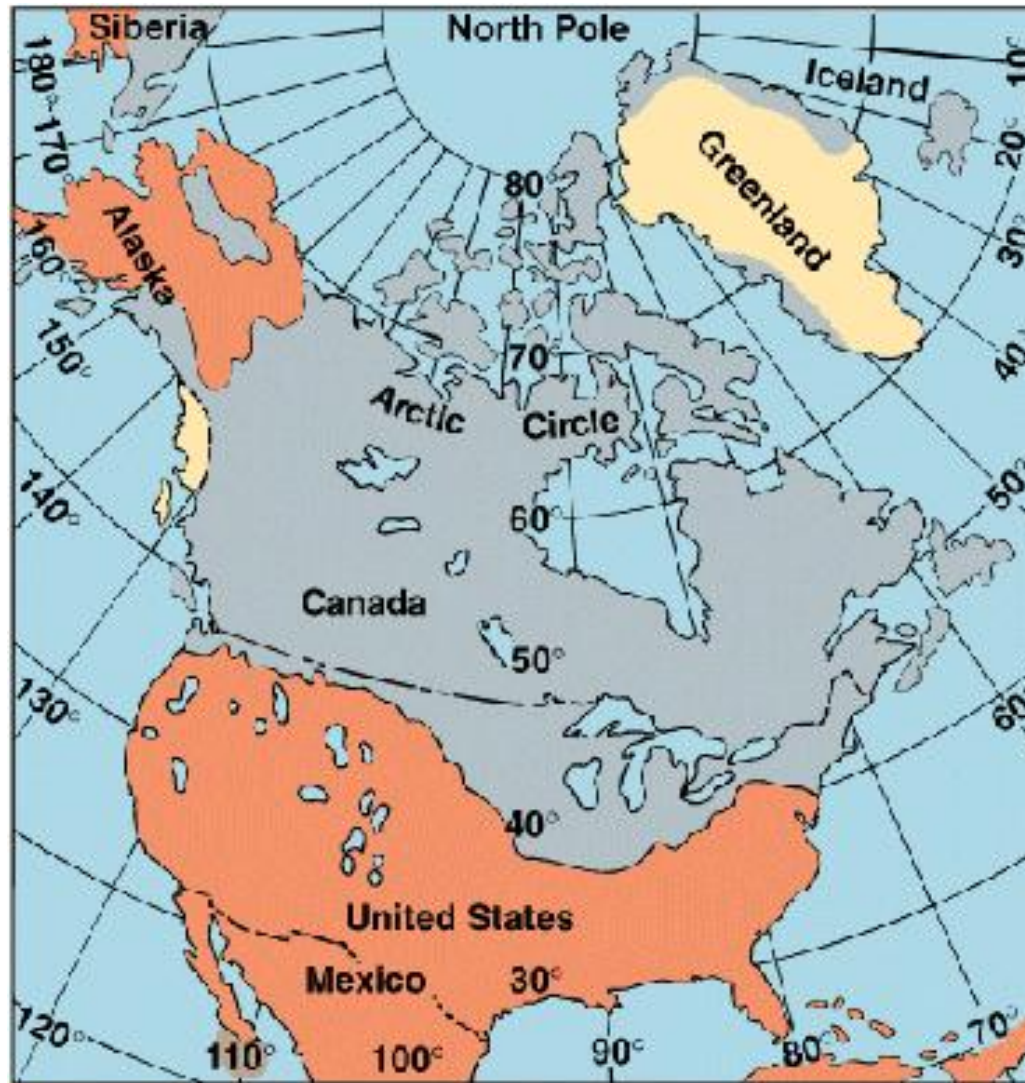




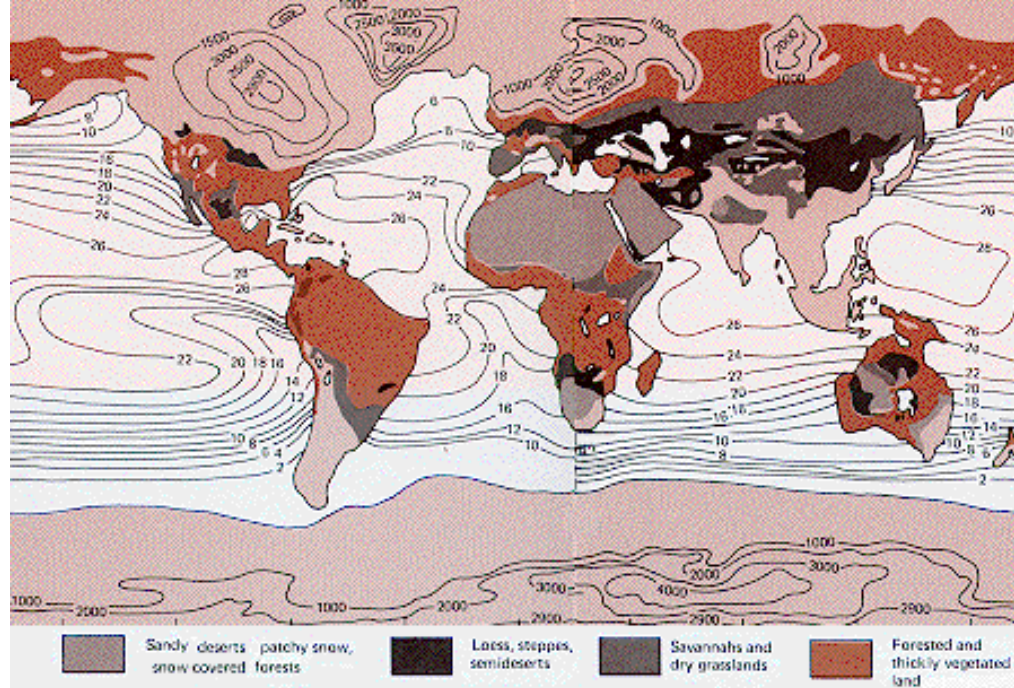
Reconstructed vegetation cover, 18000 C14 years ago.



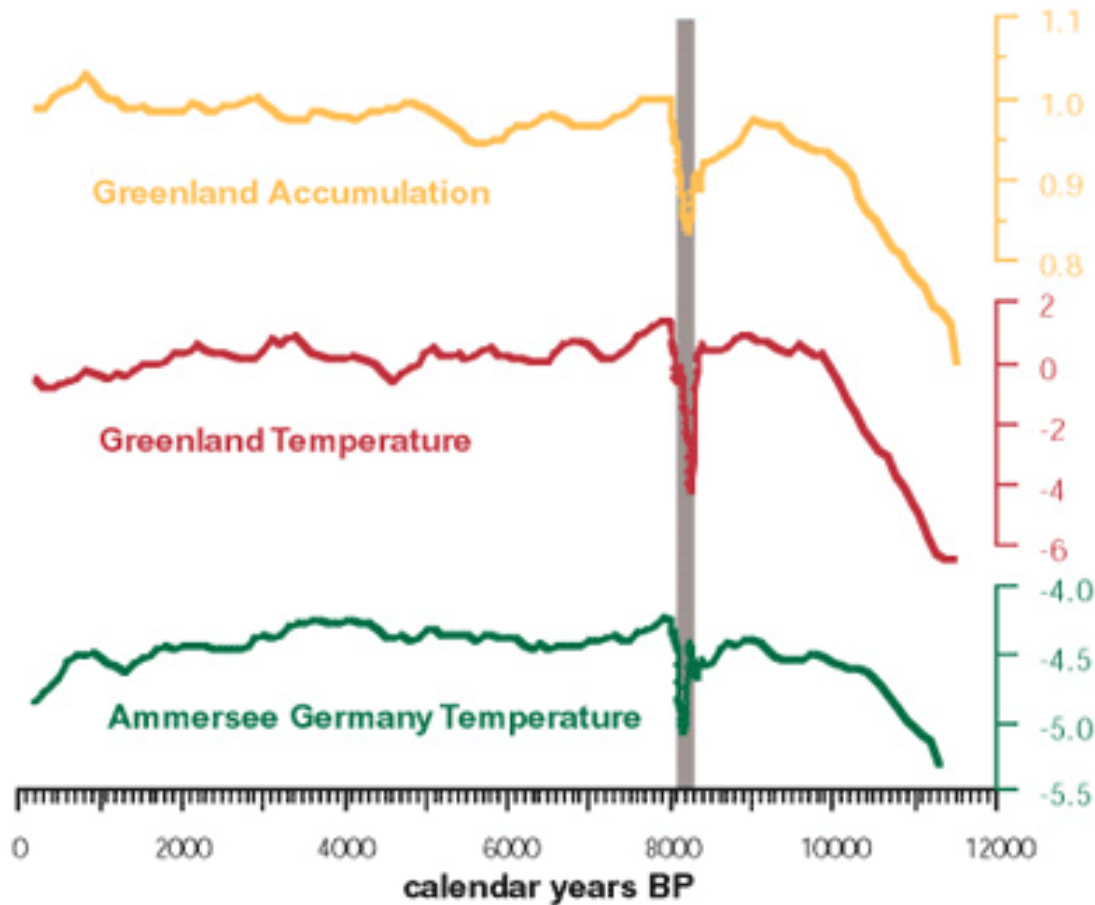
 **Areas covered with glacial ice during the Pleistocene**



 Existing glaciers  Land areas formerly covered by glaciers



Abrupt Climate Change



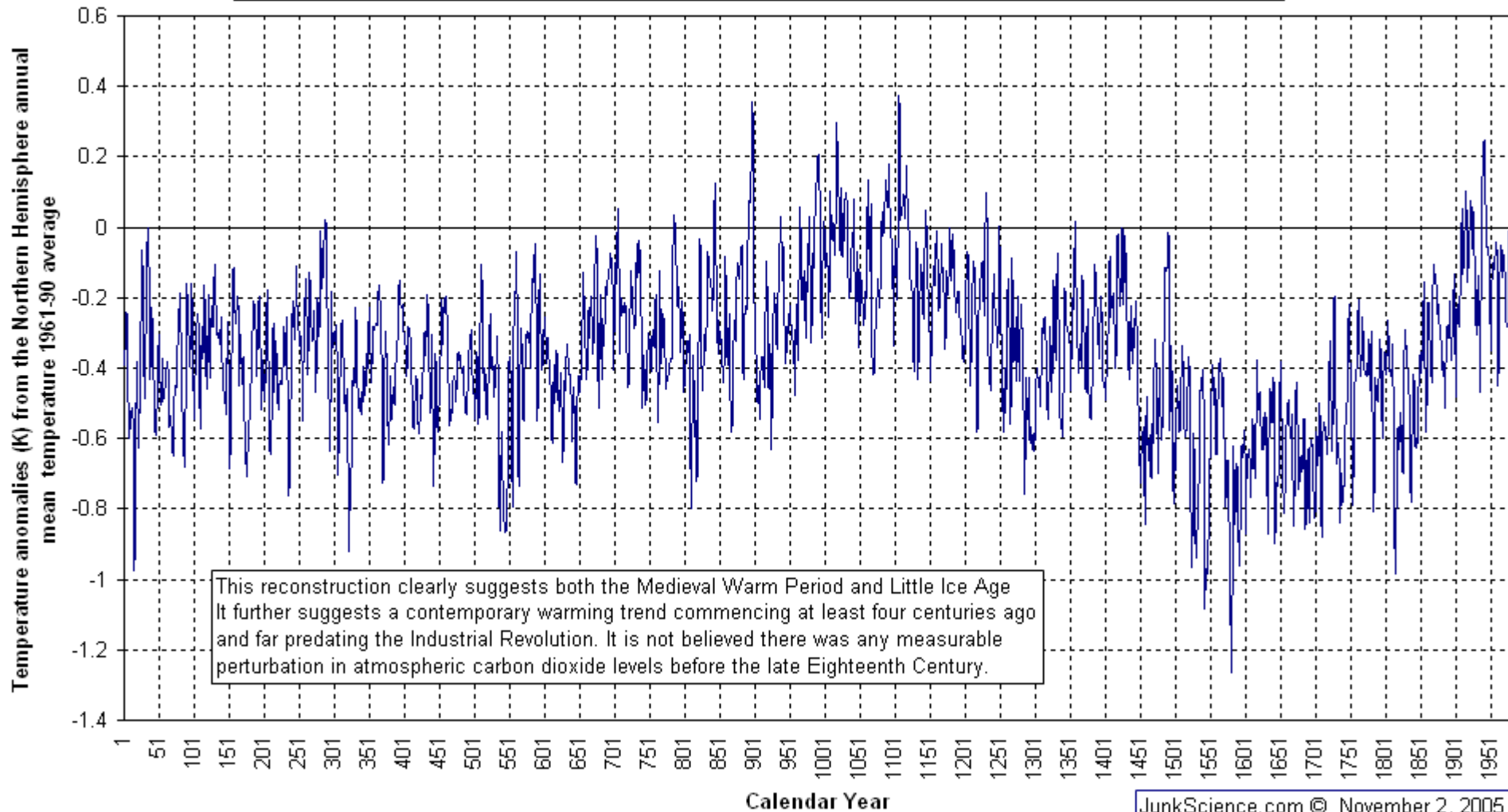
Temperatura na Groenlândia durante o Holoceno
Observar o Young-Dryas



O Dilúvio: 7.500 anos atrás, o nível do Mar Negro subiu 200 m de repente .
Após o Young-Dryas.

Moberg et al. 2005 2,000-Year Northern Hemisphere Temperature Reconstruction

Data source: ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/contributions_by_author/moberg2005/nhtemp-moberg2005.txt





Vestuário Romano clássico
Sec. I aC a III dC



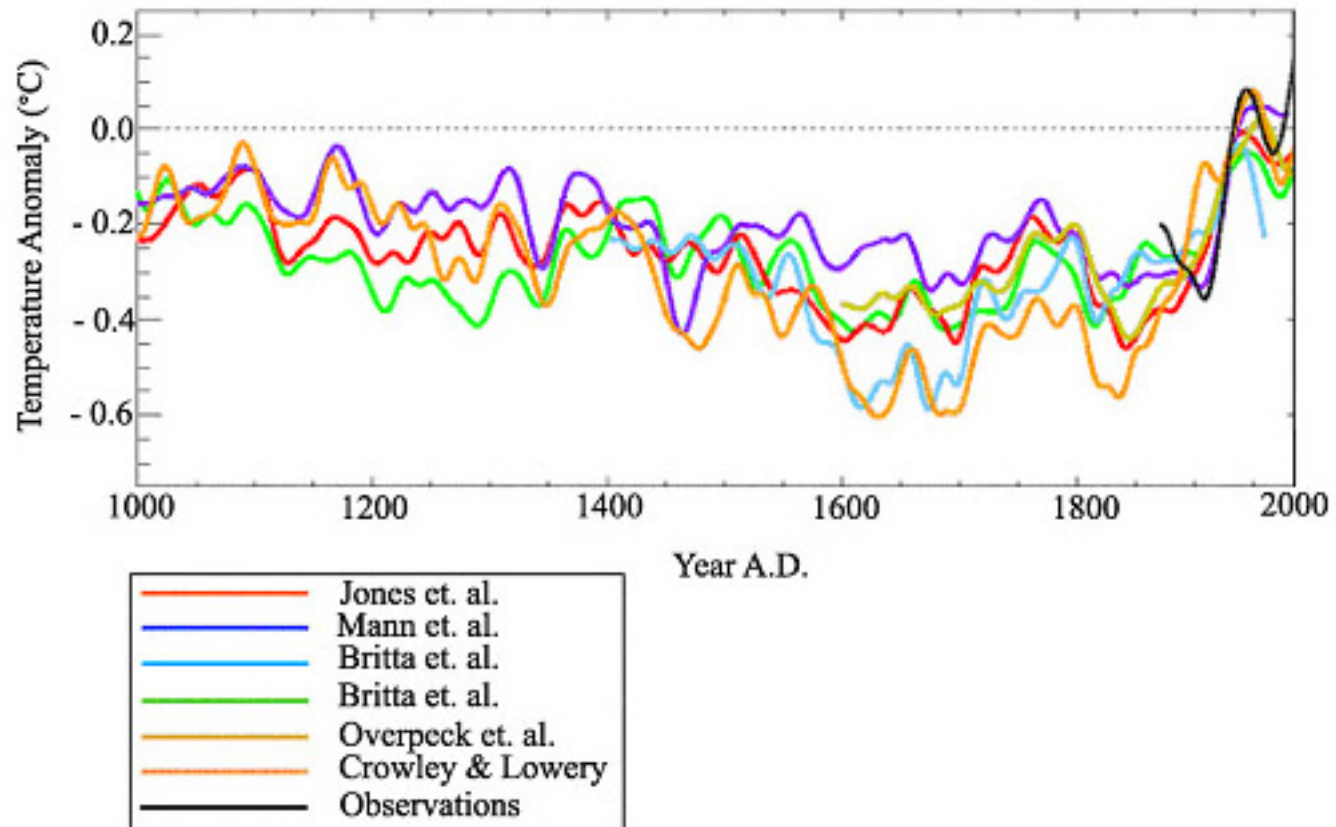
1. Green-Roger in the Catacombs. 2. & 3. Women. 4. Priest. 5. & 6. Women with Children. 7. Soldier. 8. & 9. 10. 11. Roman Women. 12. Roman

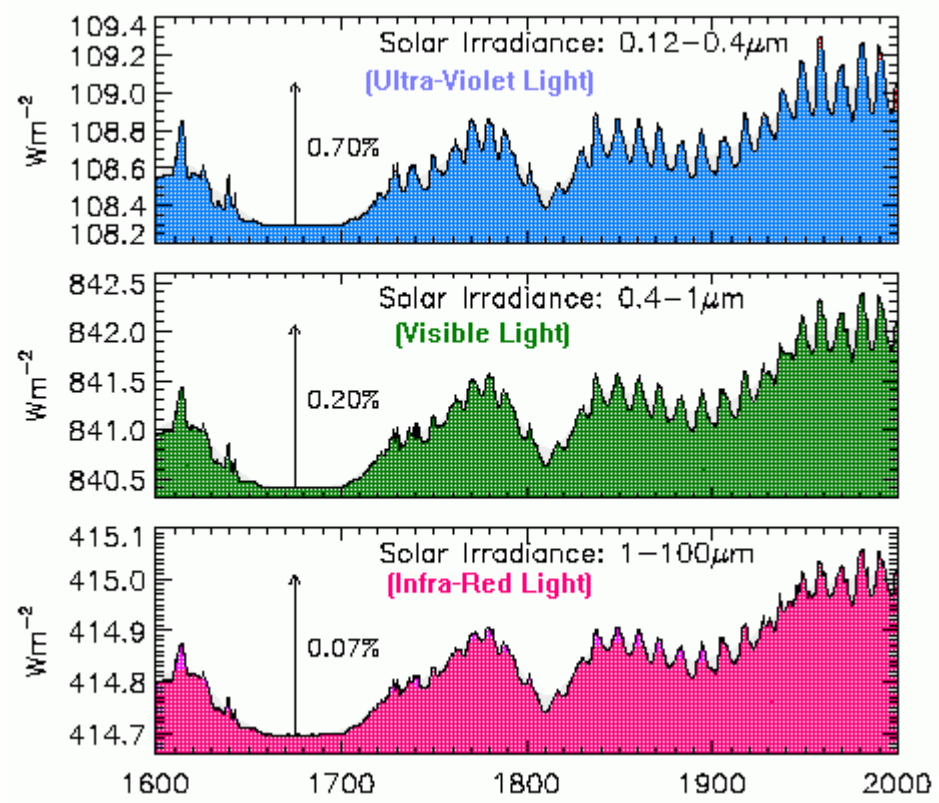
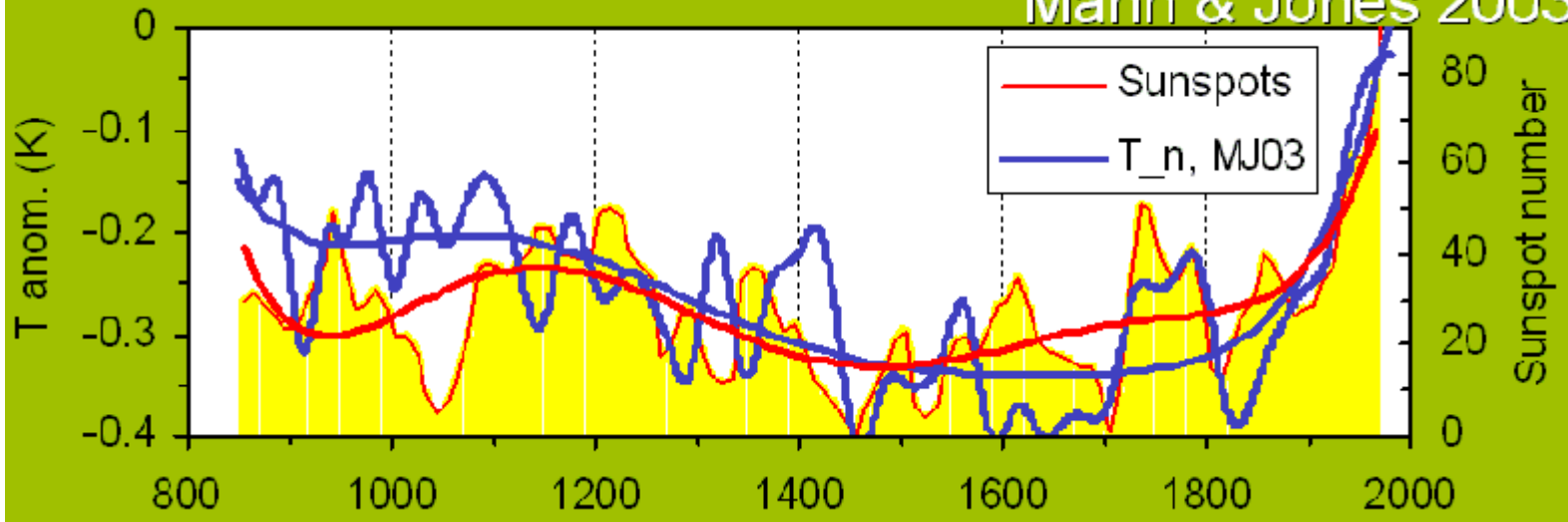
Vestuário

Bizantino

Sec. V- VIII

A PEQUENA IDADE DO GELO -1400 A 1800



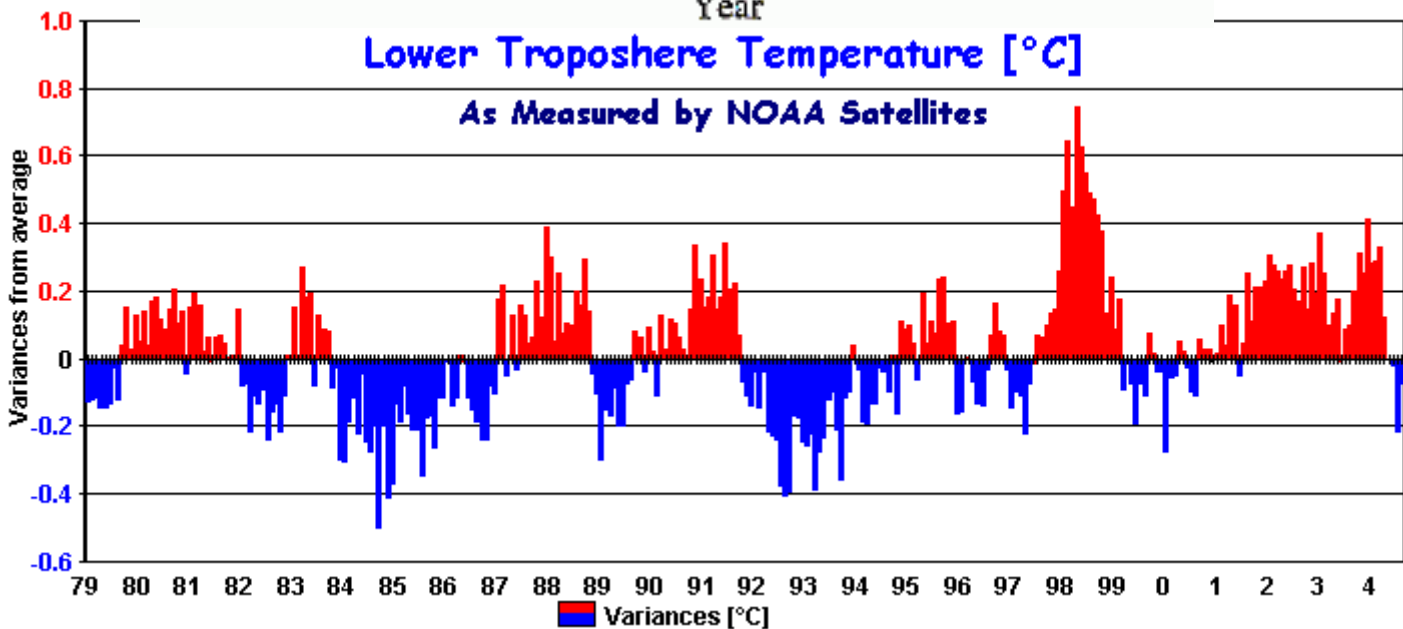
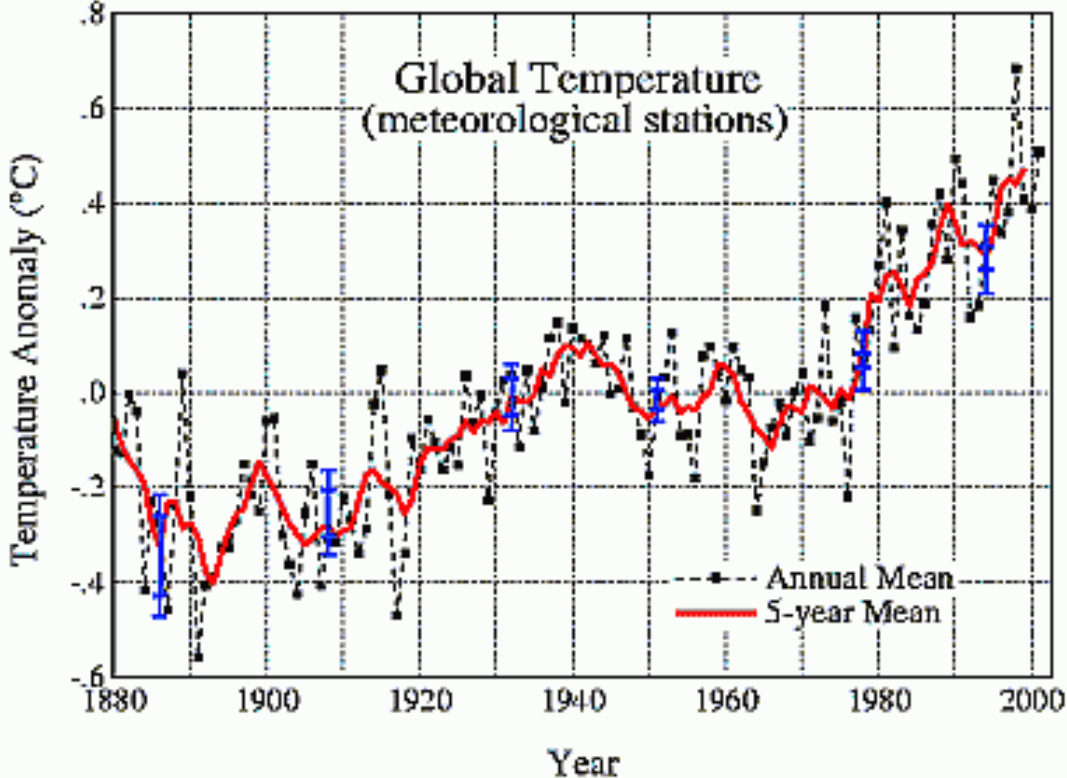


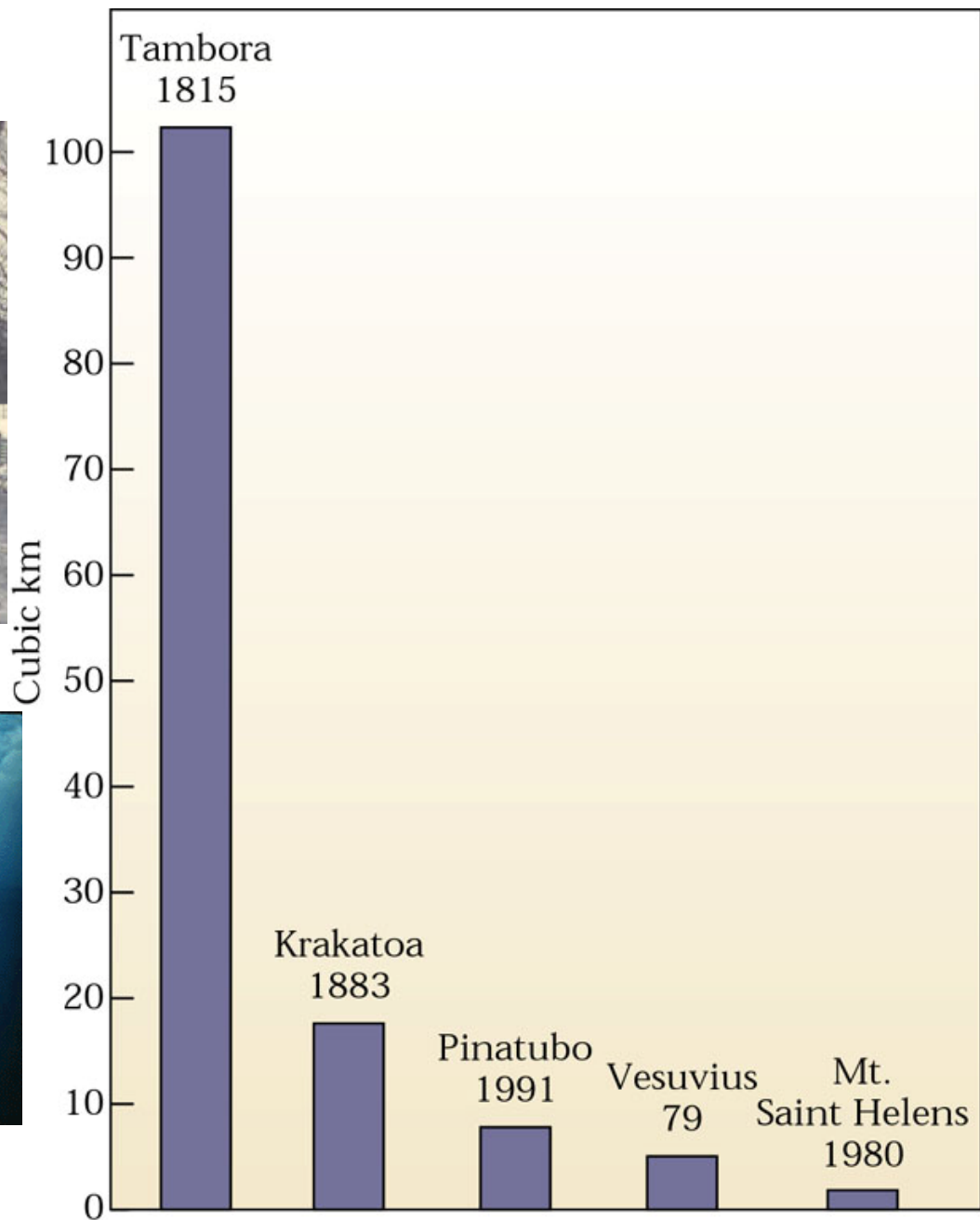


ROUPAS MEDI-
EVAIS VS.
RENASCENTISTAS



ATUAL
TENDENCIA





The Response

During the year with no summer, many artists all over the world felt moved to write about it. Among those people were Mary Shelley, Lord Byron, and William Turner (see painting below). Mary Shelley wrote the very well-known book entitled *Frankenstein* to help portray the dismal feeling of 1816. Lord Byron wrote the poem [Darkness](#) in response to the weather.



A flutuação climática afetou muitas as atividades humanas, tanto nos períodos pré-históricos como na própria História, onde há muitas evidências, sendo na sua maior parte, indiretas, já que os seres humanos constroem abrigos há muito tempo. Entre estas evidências podemos destacar perdas de safras agrícolas, guerras, epidemias, pressões econômicas, migrações, etc. Podemos dividir as evidências em pelo menos quatro tipos:

- i) relatos diretos, tais como (na Inglaterra, séc. XII) se houve sol, chuva, neve, etc. Relatos estes foram diários.
- ii) eventos incomuns, tais como a boa produção de vinhos, por volta de 1085, na mesma Inglaterra, indicando clima mais ameno do que de hoje. O mesmo ocorrendo até 750 m de altitude na Floresta Negra.
- iii) evidências culturais e econômicas determinando influências nas sociedades em diferentes períodos, tais como migrações, apogeu de determinadas culturas, vestimentas (toga romana de linho e seda até próxima à queda do Império), etc.

Determinismo geográfico (no caso climático): a teoria do determinismo assegura que o clima tem profunda influência no curso da História, sendo este tema muito controverso, pois há teorias economistas, como o marxismo-leninismo, dizendo que este determinismo é irrelevante. Exemplo de determinismo; o espessamento da capa de gelo na Groenlândia foi fatal para a colonização viking, explicação economista: o comércio para estas regiões remotas não compensava, devido a isto os vikings desistiram de tentar colonização neste local.

Uma série de colheitas mal sucedidas afetaria a estabilidade política de uma determinada cultura, facilitando ser dominada por outra. Isto é difícil de se provar, pois o número de variáveis é astronômico, e também não como fazermos experimentação, seguindo as três metodologias apresentadas na Aula 1.

Outros exemplos de determinismo podem citar os harapanos, no NW da Índia (Rajasthan), com pecuária extensiva, entre 3000 e 1700 a.C. Devido a este pastoreio e agricultura extensiva, o vale foi se desertificando, gerando hoje um deserto "artificial", chove 4 vezes mais que na maioria dos desertos, mas há uma cobertura permanente de areia no vale, afetando o balanço radiativo e a pedologia local.

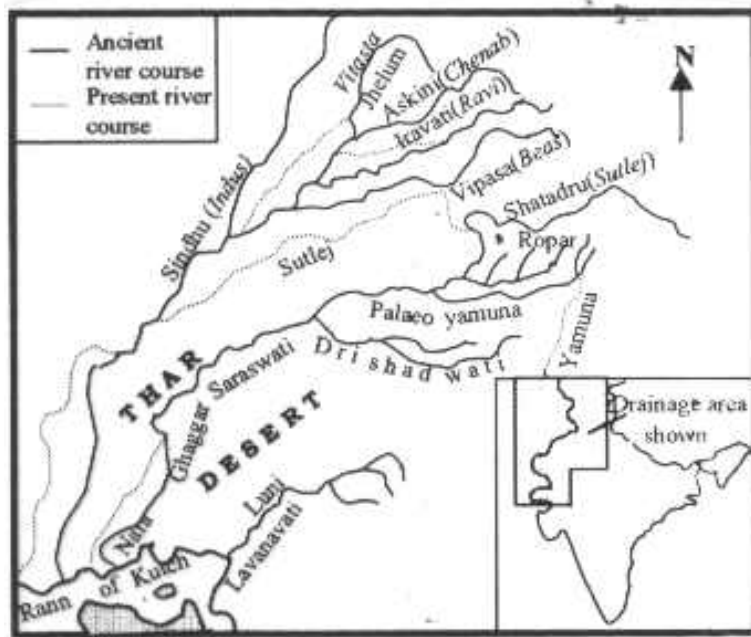


Figure 2. River systems, past and present, in the Northwestern India (ref. 11).

Desaparecimento de rios no NW da Índia.

Nos quadros abaixo podemos verificar como clima pode afetar uma população humana, através de sua agropecuária, e afetando sua saúde, tabela 4.1 e figura 4.4.

Tabela 4.1 Média da altura de jovens (masc.) na Islândia, feita por Bergthorson (1962)

período	média de altura em cm
874-1000	178.2
1000-1100	171.8
1100-1563	172.0
1700-1800	166.8
1952-1954	177.4

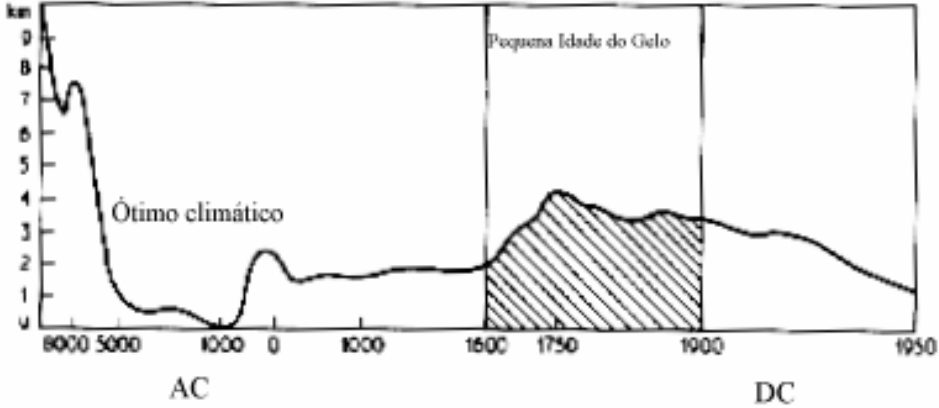


Figura 4.4 Variação do comprimento dos glaciares na Islândia e Noruega, desde 10000 a.C. (Ahlman, 1953).

