

PALEOCLIMATOLOGIA

Texto original: [Wikipédia, a enciclopédia livre.](#)

Outubro/2014

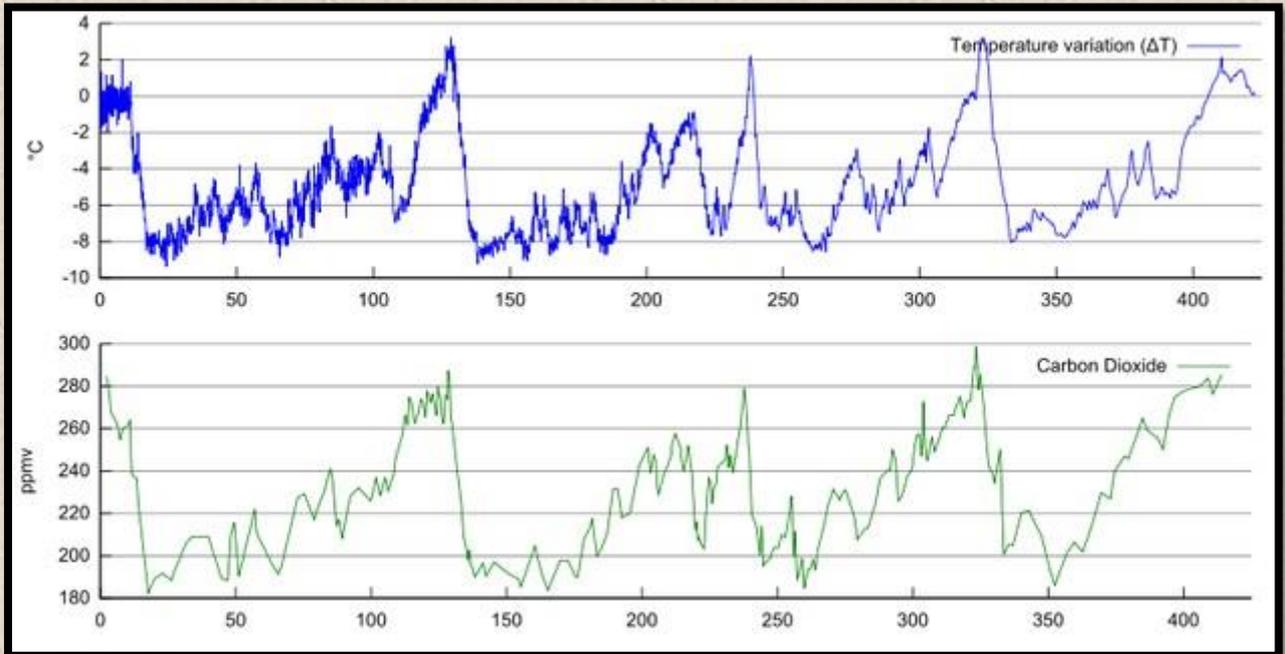
Ampliação e ilustrações: [Iran Carlos Stalliviere Corrêa-IG/UFRGS](#)

Paleoclimatologia é o estudo das variações climáticas ao longo da história da Terra. Esta ciência estuda os vestígios naturais que podem ajudar a determinar e caracterizar o clima de épocas passadas.

As **observações meteorológicas** com a ajuda de instrumentos, tal como são conhecidas hoje em dia, datam de há 100 ou 200 anos, dependendo da região. Este, porém, é um período muito curto relativamente às alterações sofridas pelo clima ao longo dos tempos, durante milhares ou até milhões de anos.

A **história do clima** pode ser deduzida através de evidências naturais, tais como a composição do gelo, as estruturas de árvores petrificadas e outros fósseis e das rochas sedimentares.

Nos últimos dois bilhões de anos, o **clima na Terra** tem se comportado de forma mais ou menos cíclica, com períodos frios, chamados **períodos glaciais**, e períodos quentes, chamados **períodos interglaciais**. Estas mudanças na temperatura são causadas por diferentes aspectos, tais como perturbações na órbita da Terra, a atividade solar, impactos de meteoros, erupções vulcânicas e a ação humana.



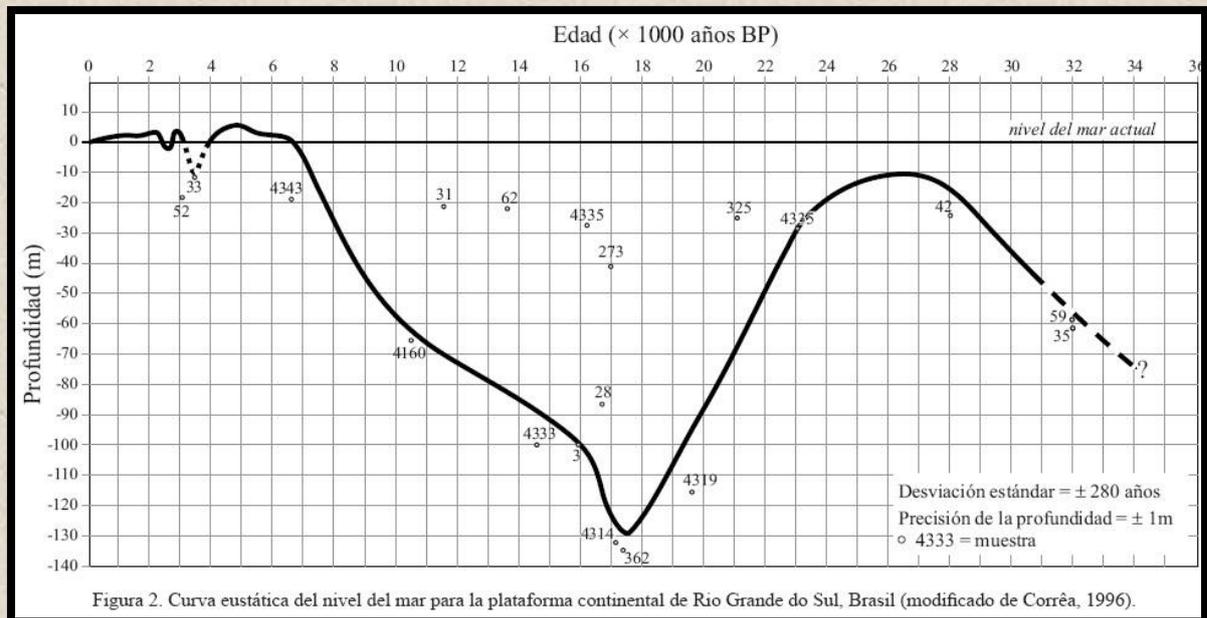
Variação da temperatura e do CO₂ nos últimos 400 mil anos

A variabilidade do clima da Terra

O planeta já sofreu, ao longo de seus 4,5 bilhões de anos de existência, processos de resfriamentos e aquecimentos extremos. Está comprovado que houve alternância de **climas quentes** e **frios** (Terra estufa - "*hothouse*" - e Terra geladeira - "*icehouse*", na linguagem dos paleoclimatologistas), sendo este um fenômeno corrente na história do planeta.

O último episódio de resfriamento ou **glaciação**, iniciado no Pleistoceno (1,8 milhões de anos antes do presente) teve seu ápice há cerca de **18.000 anos**, quando, começou o processo de aquecimento, que continua até os dias de hoje. No entanto, o aquecimento não ocorre sobre uma curva contínua. Neste espaço de tempo de 18.000 anos houve épocas de **aquecimento** e **resfriamento**, causando variações às vezes bruscas de temperaturas em períodos variáveis, que podiam ser de décadas ou menos, de vários graus Celsius. A comprovação destes fatos é fornecida pela análise de testemunhos de

sondagens, de centenas de metros, obtidos no Ártico e no Antártico, através da análise da composição **isotópica do oxigênio** encontrado nas bolhas de ar presas no gelo.



Durante os últimos 500 milhões de anos, a Terra passou por quatro episódios **extremamente quentes** ("hothouse episodes"), sem gelo e com níveis elevados dos oceanos, e quatro episódios **extremamente frios** ("icehouse episodes"), como o que vivemos atualmente, com camadas de gelo, glaciares e níveis de água relativamente baixos nos oceanos. Supoem-se que esta variação de mais longo termo se deve a variações no influxo de radiação recebida devidas à viagem do nosso sistema solar através da galáxia, correspondendo os episódios mais frios a encontros com os braços espirais mais brilhantes, onde a radiação é mais intensa. Os **episódios frios** mais frequentes, a cada 34 milhões de anos, mais ou menos, ocorrem provavelmente quando o sistema solar passa através do plano médio da galáxia. Os **episódios extremamente frios** de há 700 e 2.300 milhões de anos, em que até no equador havia gelo, correspondem a períodos em que havia uma taxa de nascimento de estrelas na nossa galáxia anormalmente alta, implicando um grande

número de explosões de estrelas e uma radiação cósmica muito intensa.

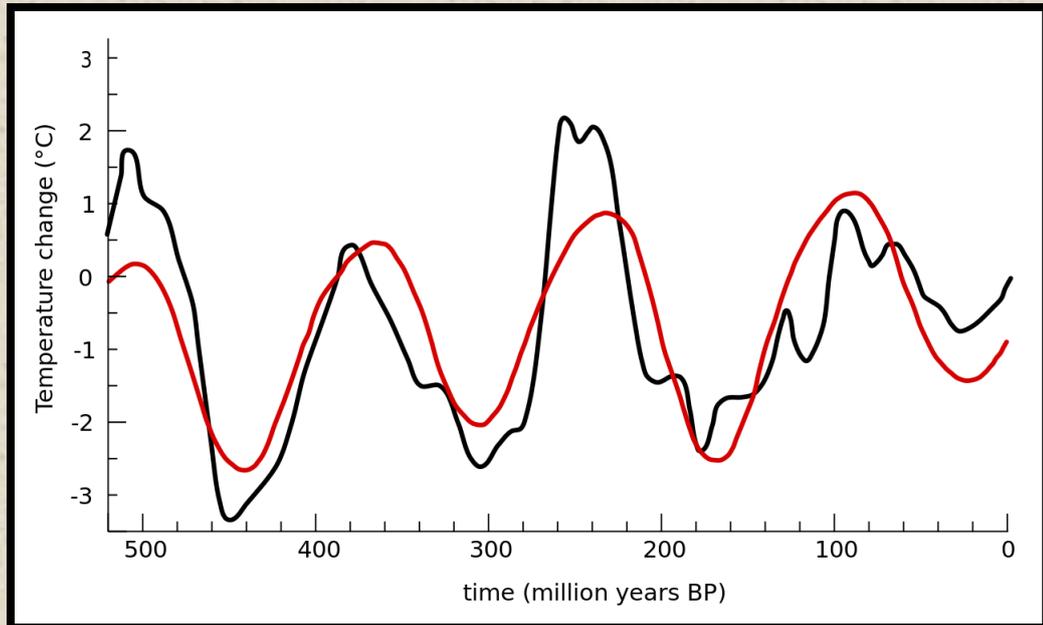
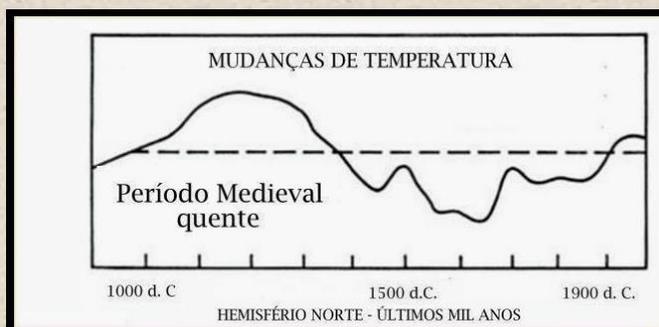
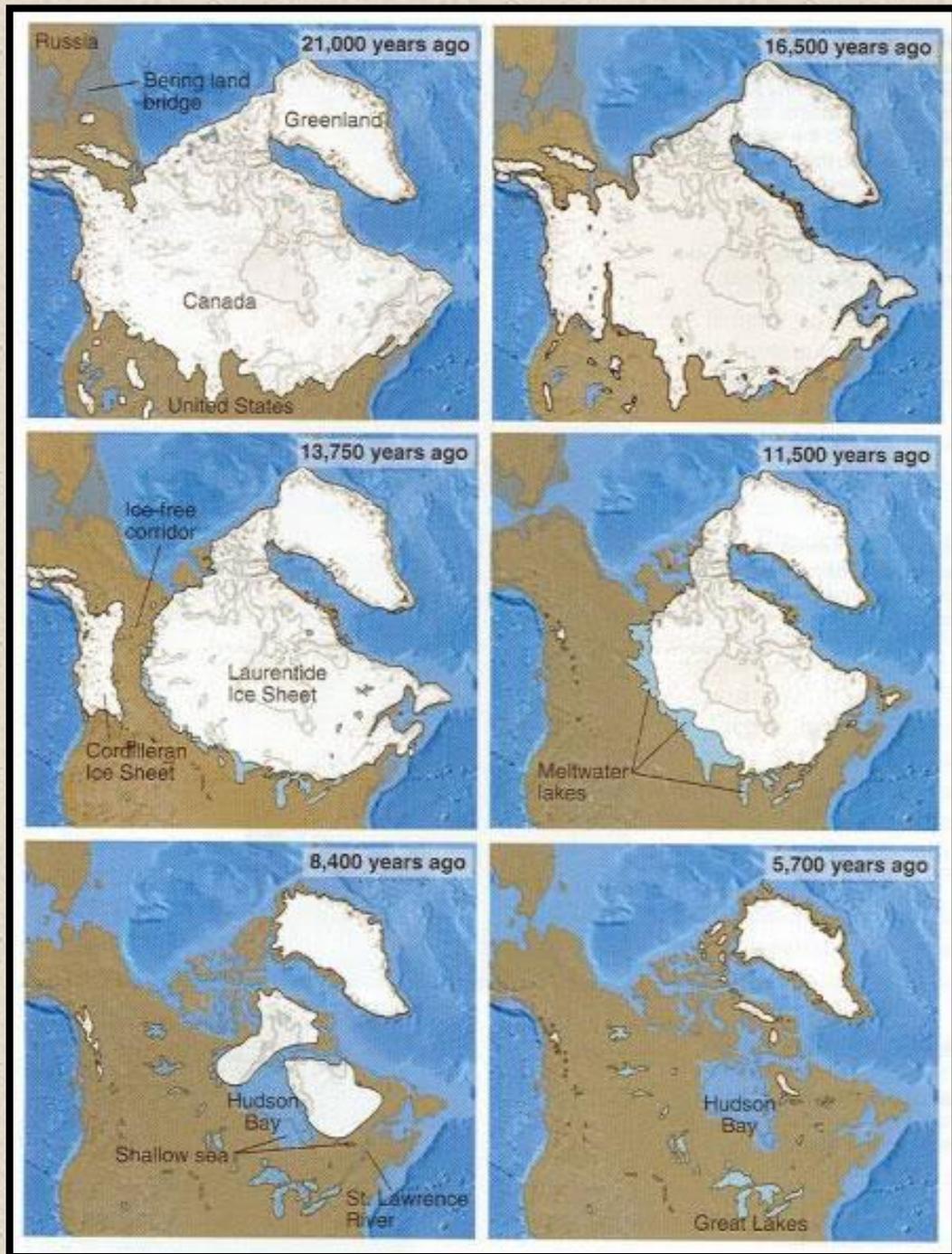


Gráfico de correlação entre o fluxo de raios cósmicos (vermelho) e a variação da temperatura (preto)

O **carbono-14 radioativo** e outros átomos raros produzidos na atmosfera pelas partículas cósmicas. Estes fornecem um registro de como as suas intensidades variaram no passado e explicam a alternância entre períodos frios e quentes durante os últimos 12.000 anos. Sempre que o **Sol** era **fraco** e a **radiação cósmica forte**, seguiram-se condições **frias**, como a mais recente, na **Pequena Idade do Gelo**, há 300 anos. Considerando escalas de tempo mais longas, encontra-se uma explicação credível para as variações de maior amplitude do clima da Terra.



Pequena Idade do Gelo



Varição da calota polar nos últimos 21.000 anos.

Técnicas Utilizadas

Para se determinar o **clima** em eras passadas, devido a não existência de observações meteorológicas que cobrissem um intervalo de tempo satisfatório, os paleoclimatólogos utilizam algumas técnicas e diversos estudos para se determinar o clima passado. As técnicas mais utilizadas são:

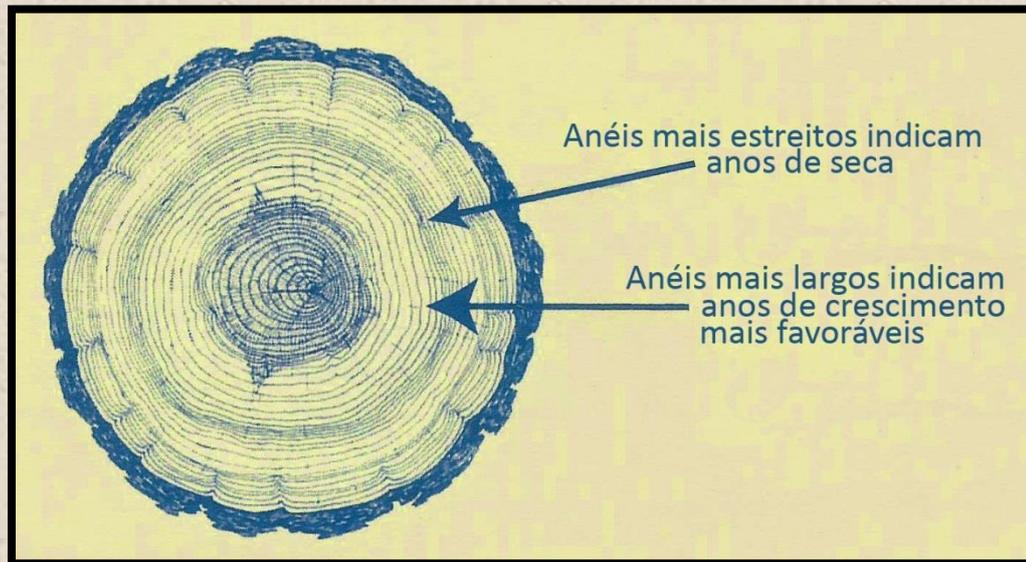
Estudo de geleiras

Esta técnica é uma das mais empregadas. A avaliação de geleiras é possível, pois estas vão se depositando em **camadas**, de acordo com a era em que foi formada (as mais recentes vão cobrindo as mais antigas). Estima-se que as calotas polares possuam mais de 100.000 camadas. Nestas camadas, estudiosos encontraram pólen, o que é útil para estimar a cobertura vegetal em determinada época. A espessura da camada pode ajudar a determinar a **quantidade de chuvas** que aquela região recebeu, pois quanto maior a camada, maior a quantidade de chuvas.

Além disso, a relação entre diferentes **isótopos de oxigênio e hidrogênio** podem ser um indicador da temperatura média daquela região. Dependendo da camada em que forem encontrados, os cientistas podem avaliar a temperatura média daquele período. Destes estudos é que vieram as teorias sobre os ciclos sofridos pelo clima ao longo das eras.

Estudo de árvores petrificadas

Fósseis de árvores são úteis para a determinação da temperatura e da umidade. Através de datação radiométrica, que utiliza o tempo de vida média dos átomos que constituem o material, determina-se, embora com uma margem de erro de cerca de 200 anos, em média, o período em que esta árvore viveu. Os **anéis** encontrados nas árvores também são pistas sobre a idade e o clima em que esta árvore viveu. A **largura** destes anéis variam de acordo com o clima de uma forma geral, a espécie, a idade da árvore e a quantidade de água e alimento disponível naquele solo.



Estudo de sedimentos e rochas

A **análise de sedimentos** permite verificar características do solo em uma determinada Era. Esta possibilita o estudo das características da vegetação, da vida existente (ou a ausência de) e temperatura através do tipo de rocha.

Existem, basicamente, três tipos de rochas. As **magmáticas**, que são formadas pela condensação do magma, indicam a existência de vulcões na vizinhança. As **sedimentares** são formadas pelo acúmulo de sedimentos, indicam, também, que esta é uma região de formação antiga, que sofreu diversas alterações no clima. As **metamórficas** são formadas por alterações na composição das duas anteriores devido a variações de pressão e/ou temperatura em eventos extremos, podendo indicar períodos quentes ou frios. Também são indicadoras de atividade erosiva, pois a erosão também forma rochas metamórficas, sem necessariamente variar temperatura ou pressão local.

As rochas formam camadas, sendo que estas camadas demoram de milhares a milhões de anos para se sobreporem, formando, assim,

uma fonte de dados de períodos muito distantes, já que as rochas sedimentadas se preservam ao longo do tempo.



Sequências sedimentares

Estudo de corais

A análise de **recifes de corais** permite avaliar as alterações nos oceanos. De acordo com as características dos corais permite-se avaliar temperatura da água, bem como sua evolução, pois os corais têm indicadores naturais, como a perda de sua coloração natural.



Colônia de corais

Datação radiométrica

Os átomos, com exceção do hidrogênio, possuem **prótons** e **nêutrons** (o hidrogênio mais comum possui apenas um próton, e é conhecido pelo nome de prótio). Os **prótons** existentes no núcleo repelem-se, porém os **nêutrons** não permitem que os prótons se separem, exercendo uma força sobre eles. Contudo, quando o número de **prótons é grande**, os **nêutrons** não conseguem mais evitar a repulsão entre eles, tornando o átomo **instável**. Esta instabilidade expulsa partículas do núcleo e é chamado de **decaimento**. Elementos com mais de 83 prótons ou com uma quantidade elevada de nêutrons sofrem decaimento. Esta "**desintegração**" é constante e só cessa quando o átomo se estabiliza, o que pode demorar, desde segundos a milhões de anos, podendo ser medidos através de aparelhos como o espectroscópio de massa e detectores de radiação.

Os elementos radioativos mais usados para **datação** são:

Urânio-238

É usado para a datação de **matérias inorgânicas**. O **Urânio-238** desintegra-se formando **Chumbo-206**. Com isto, basta medir a relação Chumbo/Urânio, sabendo que demora $4,5 \times 10^9$ anos para esta relação ser igual a 1, para determinar a idade do objeto em questão. Ou seja, sabendo-se que o **Urânio-238** tem meia-vida (tempo médio para que metade dos átomos radioativos de Urânio sofra decaimento) de $4,5 \times 10^9$ anos.

Carbono-14

É usado para a datação de **substâncias orgânicas**. O **Carbono-14** é formado na atmosfera devido à radiação que vem do universo e é

absorvido pelas plantas na absorção de CO₂. Assume-se, então, que a relação de **Carbono-14 (instável)** para **Carbono-12 (estável)** mantém-se a mesma enquanto o espécime está vivo. Após a morte do organismo, o **Carbono-14** desintegra-se à **Nitrogênio-14** (estável). Com isto, basta medir a relação **Carbono-14/Carbono-12**, sabendo-se que a meia-vida do Carbono-14 é de cerca de **5.600 anos**, para saber a idade do item analisado.

Linha do Tempo

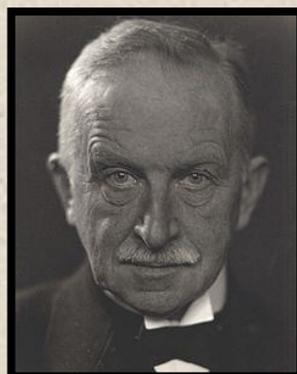
A História da Terra normalmente é dividida pela escala de tempo geológica. Outra classificação utilizada em **Paleoclimatologia** é a **Classificação de Blytt-Sernander**.

A classificação geológica é baseada em eventos de importância **geológica** (surgimento de determinadas formações de relevo ou de determinado tipo de rochas) e **paleontológica** (extinções em massa ou surgimento de novas espécies).

A **Classificação de Blytt-Sernander** foi elaborada pelos botânicos dinamarqueses Axel Gudbrand Blytt e Johan Ruttger Sernander. É baseada no acúmulo de matéria sedimentar em plantas. Utilizando datação radiométrica (com Carbono 14), determinou-se a divisão dos eventos na Terra.



Alex Gudbrand Blytt

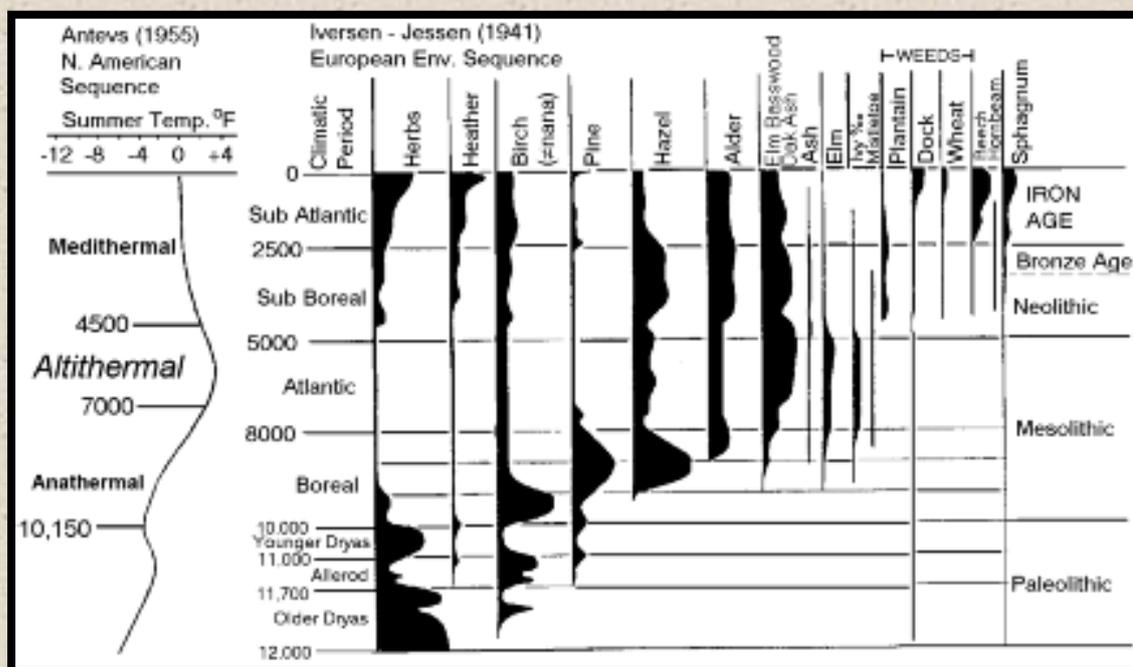


Johan Ruttger Sernander

Esta classificação foi confirmada cientificamente com os estudos das **Zonas de Pólen**, que são uma forma de datação utilizando resíduos de pólen de diferentes espécies vegetais, principalmente do final do **Pleistoceno** e início do **Holoceno**.

	PERÍODO AMBIENTAL	IDADE (¹⁴ C)		CLIMA
	SUBATLANTICO	0-2500	(úmido)	(Frio)
PÓS-	SUBBOREAL	2500-5000	(seco)	(Quente)
GLACIAL	ATLANTICO	5000-8000	(úmido)	(Mais Quente)
	BOREAL	8000-10,000	(seco)	(Quente)

	DRYAS RECENTE	10,000-11,000		(Frio)
GLACIAL	ALLEROD	11,000-11,700		(Frio)
TARDIO	DRYAS MAIS ANTIGO	11,700-12,000		(Frio)



Sequência Interglacial (Holoceno)

Estes estudos foram conduzidos pelo biólogo sueco **Ernst Jacob Lennart von Post**, que analisou diferentes espécies de plantas destes períodos, e concluiu que de acordo com a diversidade das espécies, a

distribuição destas e as características de cada uma, um tipo de clima característico se mostrava existente. O estudo de **von Post** foi capaz de ratificar a divisão de **Blytt-Sernander**, que mostrava variações entre períodos quentes e frios, alternadamente.



Ernst Jacob Lennart von Post

História da atmosfera da Terra

A **atmosfera da Terra** primitiva era composta por hidrogênio, vapor de água, metano e amoníaco, e havia grande ocorrência de tempestades com descargas elétricas, devido às erupções vulcânicas, com grande incidência de raios ultravioleta vindos do Sol.

Com o aparecimento de formas de vida, a **atmosfera** foi se modificando. A partir do aparecimento dos organismos autótrofos fotossintetizantes, esta composição atmosférica passou a conter oxigênio e foi decisiva para o desenvolvimento de novas formas de vida. Mais especificamente, alguns milhões de anos após o aparecimento das **cianobactérias**, quando já havia oxigênio suficiente para que os recém-surgidos organismos aeróbicos se aproveitassem da energia que ele fornecia, num processo que libertava mais do que nos processos anaeróbicos.



Atmosfera primitiva da Terra

Clima Pré-Cambriano

O **Pré-cambriano** é um dos períodos mais remotos do nosso planeta. Existem poucas evidências desta época para um estudo aprofundado sobre o assunto.

Entre os três **isótopos do Carbono**: (Carbono-12, Carbono-13 e Carbono-14), que se diferenciam pela variação na quantidade de neutrons nos seus núcleos, os organismos aquáticos da época (algas unicelulares fotossintetizantes e bactérias) utilizavam o Carbono-12 para o processo de fotossíntese, sendo o Carbono-13, mais pesado, mortal para esses seres vivos.

Houve variações bruscas na concentração de **Carbono-13**, e isso causou um aumento da mortalidade nos oceanos primitivos (“*Oceanos Mortos*”).

Com uma população decrescente de organismos fotossintetizantes para libertar gás carbônico na atmosfera, atenuou-se o efeito estufa e, por conseguinte, a temperatura média do planeta foi diminuindo rapidamente até chegar ao que se conhece por "**Planeta Bola de Neve**" ou "***Snowball Earth***".

As Eras do Gelo

As **eras do gelo** são períodos cíclicos que são caracterizados por uma queda acentuada na temperatura média do planeta. Este abaixamento da temperatura permite a expansão das geleiras até latitudes mais baixas. Tais períodos ocorrem em intervalos de aproximadamente 40 a 100 mil anos.

Sabe-se que variações na quantidade de energia solar ocorrem ao longo do tempo causam perturbações no clima terrestre, podendo gerar uma "**Era do Gelo**", ou não.

Além disto, os "**Ciclos de Milankovich**", a composição atmosférica daquele período, os movimentos tectônicos, que alteram a distribuição espacial dos continentes e dos oceanos, o que afeta a circulação atmosférica e a quantidade de calor absorvido pelo planeta, alterações na órbita do sistema Terra-Lua, impacto de meteoros e erupções vulcânicas são as principais causas das **eras do gelo**.

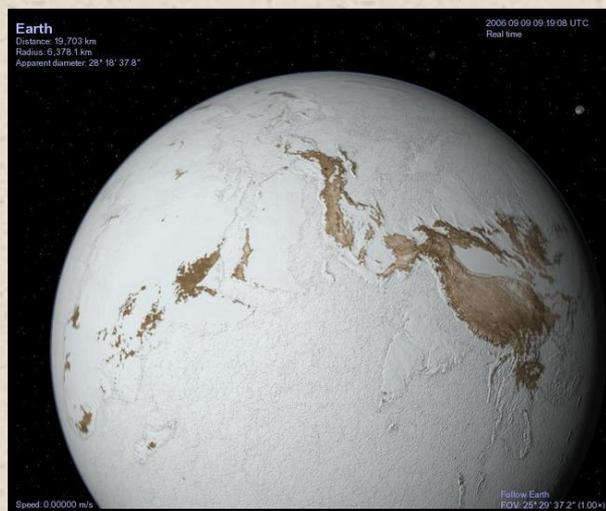
Evidências sobre a existência de tais eras vêm em forma de rochas e os detritos (morenas, que são sedimentos especificamente originados devido ao derretimento de geleiras) em locais que atualmente não possuem gelo. Análise de sedimentos depositados em geleiras e em oceanos também são evidências fortes.

Eventos Notáveis

Períodos Climáticos

Há de 50 milhões de anos atrás, a Terra não tinha **Eras Glaciais** regulares, mas, quando ocorriam, tendiam a ser colossais. Um resfriamento substancial ocorreu há cerca de **2,2 bilhões de anos**, seguido de um ocorrido há **1 bilhão de anos** ou mais de calor. Depois houve outra **era glacial** ainda maior que a primeira - tão grande que alguns cientistas de hoje se referem à época em que ocorreu como **Criogeniano** ou superasumo glacial. A condição é mais popularmente conhecida como "**Terra Bola de Neve**".

A "**Terra Bola de Neve**" foi uma era do gelo de grandes proporções, ocorrida no período há 750 e 580 milhões de anos atrás.

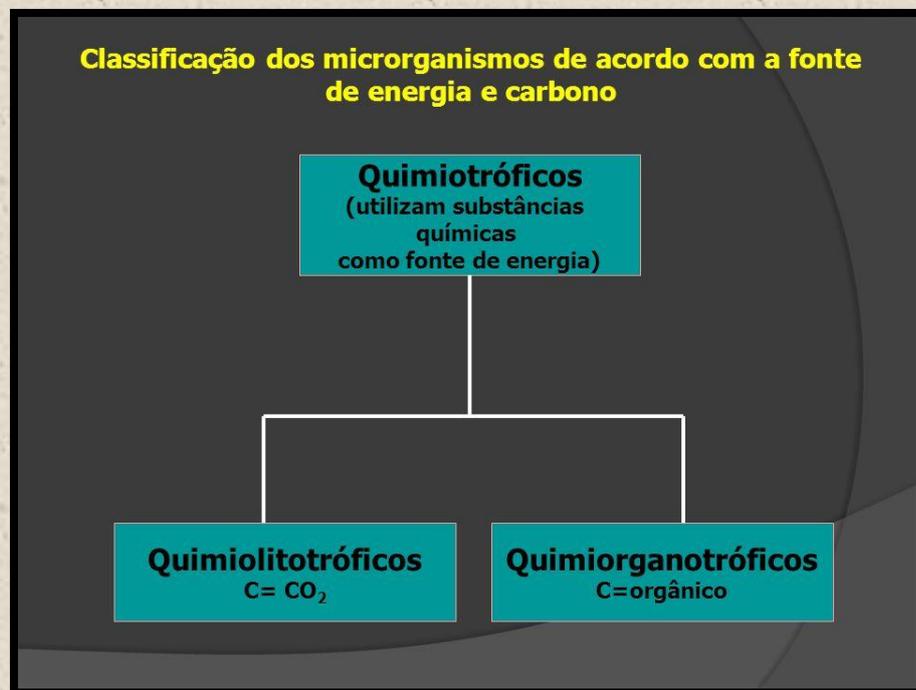


Terra Bola de Neve

"**Bola de Neve**", porém, não exprimem bem o rigor assassino das condições. Segundo a teoria, devido a uma queda na radiação solar em cerca de 6% e à redução na produção (ou a retenção) de gases estufa, a Terra perdeu a capacidade de reter o seu calor. Na altura, tornou-se numa espécie de Antártida gigantesca. As temperaturas baixaram até **45°C**. Toda a superfície do planeta pode ter se congelado, com o gelo

do oceano chegando a uma espessura de oitocentos metros em latitudes maiores e de dezenas de metros nos trópicos.

É importante realçar que ainda assim havia vida nesta época. Alguns **organismos anaeróbicos** conseguiram sobreviver, mas também alguns organismos em regiões profundas no oceano. Debaixo da camada de gelo, utilizando energia geotérmica, seres denominados **Quimiolitotróficos** utilizavam minerais como fonte de energia para realizar seu metabolismo.



Há um problema grave nisto: os dados geológicos indicam gelo por toda parte, inclusive ao redor do Equador, enquanto os dados biológicos indicam com a mesma firmeza que deve ter havido água exposta em algum sítio. Antes de mais, as **cianobactérias** sobreviveram à experiência, e elas realizam a fotossíntese. Para isso, precisavam de luz solar, e quem vive nos países frios sabe que o gelo rapidamente se torna opaco, e, após alguns metros, bloqueia toda a luz. Duas possibilidades surgiram:

1. Um pouco de água oceânica permaneceu exposta (talvez em virtude de algum tipo de aquecimento localizado num ponto quente);
2. O gelo pode ter sido formado de maneira a permanecer translúcido - uma condição que ocorre às vezes na natureza.

Outra evidência forte é a concentração de **Oxigênio** durante aquele período. Atualmente a concentração deste gás é cerca de 20 vezes menor do que na época da "**Snowball Earth**"; isto porque a combinação do Oxigênio com o Carbono forma CO₂, sendo este gás pouco comum nessa época, já que o carbono abundante era um isótopo mais pesado (Carbono-13), incapaz de formá-lo.

A razão pela qual a **Terra aqueceu**, novamente, a atividade vulcânica. Os vulcões elevaram-se acima da superfície soterrada e bombearam para o exterior, enormes quantidades de calor e gases que derreteram as neves e restauraram a atmosfera, uma vez que um planeta gélido deveria refletir tanto o calor que permaneceria congelado para sempre.

Holoceno

O **Período Holocênico**, pela classificação geológica, foi um período de extremo **aquecimento** na Terra. Foi descoberto que no Inverno, a temperatura no pólo Norte pode ter atingido 9°C. A explicação para isso é baseada na inclinação recorde do eixo da Terra (24°) e na proximidade maior do planeta com o sol. Foi o período em que o planeta recebeu uma quantidade maior de radiação solar do que a média do restante do período, principalmente no Hemisfério Norte. Foi também um período de maior atividade da **Zona de Convergência Intertropical** (ITCZ) devido à maior quantidade de radiação,

consequentemente, maior quantidade de calor. Isto alterou significativamente o regime de circulação planetária, causando o que ficou conhecido como "**A África Úmida**", uma alteração no regime de monções na África que causou um aumento muito grande na precipitação neste continente.

O Dryas Recente

Dos eventos datados por **Blytt** e **Sernander**, este foi um caso peculiar, onde o clima na Terra se **resfriou** principalmente no Hemisfério Norte. Foi um rápido retorno à Era glacial após a Oscilação de Allerød, onde houve ligeira deglaciação. Evidências sugerem que a temperatura média nesta época chegou a -5 °C. A causa mais provável foi um evento de alteração na circulação oceânica no Atlântico Norte, que causou um quase cessamento da circulação termohalina (que ocorre de acordo com a densidade do fluido). Isso cessou as trocas de calor entre o oceano e o continente, o que causou um desequilíbrio no balanço térmico da região. Este nome vem de vestígios da espécie vegetal **Dryas octapæta** típica de climas frios, que foi achada em sedimentos datados daquela época.

A Pequena Idade do Gelo

Durante os **séculos XIII a XVIII** houve um evento curioso nas latitudes médias. A temperatura média do planeta chegou a 1°C neste período. Um enfraquecimento na **atividade solar** e um aumento da **atividade vulcânica** foram às causas apontadas para este fenômeno. Ciclos de fraca atividade solar durante este período foram notados por diversos observadores. Para se ter uma ideia, durante o período de 1645 a 1715, o Sol só apareceu 50 vezes, enquanto o normal seria de 40 a 50 mil para aquelas latitudes.

Período Quente Medieval

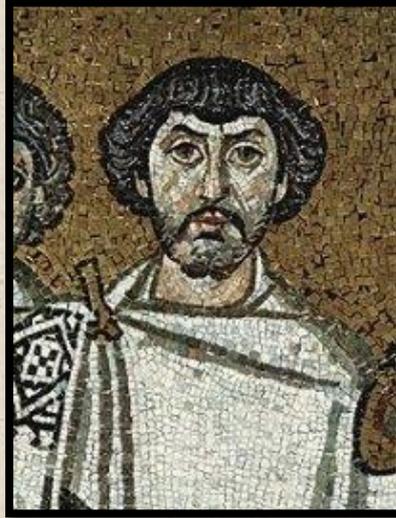
O período do **século X ao XIV** foi um período atipicamente **quente** para a Europa. Este aumento na temperatura foi o resultado de uma mudança na circulação local devido à alteração na salinidade do oceano Atlântico Norte. Este período foi confirmado através de observações geológicas na Islândia que comprovaram que neste período não havia gelo. Além disso, os Vikings tiraram proveito deste período em que os mares nórdicos não estavam congelados e conquistaram várias terras na região.

O colapso da Mesopotâmia(aproximadamente 2000a.C.)

O Império Mesopotâmio foi um dos mais prósperos entre os anos de 3000 a.C. a 1500 a.C. sob o governo da dinastia **Akkad**. Durante o governo de **Sargon de Akkad**, por volta de 1130 a.C., começou o declínio deste império, graças ao clima. Os Mesopotâmios foram os primeiros a desenvolver uma agricultura de irrigação, por viverem em um ambiente árido (atualmente o Oriente Médio). Os rios Tigre e Eufrates são alimentados pelo regime de ventos e mantinham um bom nível para a irrigação. Porém, conforme os anos passavam, o nível dos rios foi diminuindo, causando perdas nas colheitas e uma migração em massa da população para regiões mais ao sul, o que levou ao **fim do império**. Evidências geológicas e medições com instrumentação moderna apontam que o nível destes rios diminuiu em mais de 50% quando as águas do Nordeste do Oceano Atlântico encontram-se mais frias, alterando o padrão de circulação local. E foi o que de fato ocorreu naquela época.

Anos 535 e 536 d.C

"As trevas tomaram conta dos céus. O Sol não nos contemplava com sua beleza vital! Parecia que estava constantemente em um eclipse! Seus raios estavam corrompidos!" (Procópio, nobre historiador Bizantino, ano 536 d.C.).



Procópio de Cesareia

A frase de **Procópio de Cesareia** ilustra bem o que ocorreu naqueles anos:

- Baixas temperaturas, até mesmo neve durante o verão.
- Nuvens muito escuras, poucas horas de insolação.
- Relatos de escuridão em horários próximos ao meio dia.
- Enchentes em locais que eram predominantemente secos.

Tais mudanças ocorreram por causa do **choque de um meteorito** com a Terra e uma **erupção vulcânica** ocorridas no ano de 535. As partículas lançadas no ar, tanto pelo meteorito quanto pelo vulcão, causaram um bloqueio para a radiação solar incidente, que ficou presa na alta atmosfera e foi refletida de volta para o espaço.

O ano sem verão

Um evento similar ao dos anos 535 e 536 ocorreu em **1816**, quando **3 vulcões** (um na Indonésia, um em St. Vincent, Caribe, e outro nas Filipinas) entraram em erupção num espaço de tempo menor que 3 anos. Relatos de racionamento de alimentos, destruição de colheitas e uma crise econômica gerada pelo "**ano sem verão**" foram feitos nas mais diversas partes do mundo. Um efeito curioso foi que neste ano, devido ao racionamento de comida e ao nível alto de poluição no ar, o alemão **Karl Dreis** teve a ideia de inventar um meio de transporte que não usasse cavalos como força motriz. Daí, a necessidade sendo a mãe das invenções, ele inventou o **Dreisine** (ou velocípede), que foi a base das modernas motocicletas e bicicletas.



Karl Dreis



Dreisine (velocípede)

Extinções em massa

Extinção do Permiano-Triássico

A extinção do **Permiano-Triássico** ou "**extinção Permo-Triássica**" foi uma extinção em massa que ocorreu no final do Paleozoico há cerca de 251 milhões de anos. Foi o evento de extinção mais severo já ocorrido no planeta Terra, resultando na **morte** de

aproximadamente **95%** de todas as espécies da época. A extinção provocou uma mudança drástica em todas as faunas e marca a fronteira entre o Permiano e o Triássico.



Fóssil de Drepanosaurus do Triássico

A teoria mais aceita pela comunidade científica atualmente, diz que um tipo de **erupção vulcânica** gigantesca aconteceu no território da Sibéria, que libertou grandes quantidades de dióxido de carbono, aumentando o efeito estufa em 5 graus extras na temperatura da Terra. E por consequência disso, ocorreu a sublimação de uma grande quantidade de **metano congelado** no fundo dos oceanos. A libertação deste metano para a atmosfera causou o aumento em mais 5 graus a temperatura do efeito estufa, somando 10 graus extras à temperatura do mundo. E com isso os únicos lugares onde a vida poderia sobreviver seriam próximos aos Polos geográficos da Terra. Para os biólogos esta explicação é mais plausível, pois esta mudança rápida de temperatura não poderia ser acompanhada pelo processo evolucionário de adaptação.

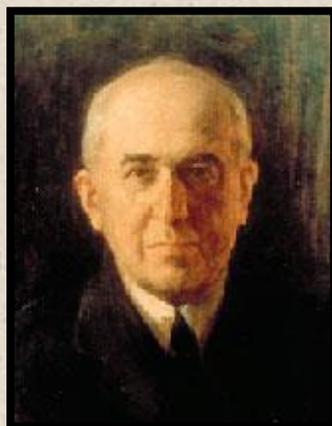
Paleoceno - Eoceno

Outro evento de extinção em massa ocorreu na intersecção entre os períodos **Paleoceno e Eoceno**. Foi um período extremamente quente devido ao excesso de **gás metano**, um gás que é formado em cristais de gelo que se formam no fundo dos oceanos, derivado do Carbono-12, enquanto a terra se aquecia em um período interglacial. Este gás é um dos "**gases estufa**", sendo que seu "**poder de estufa**" é 23 vezes maior que o do gás carbônico. Diversas espécies marinhas morreram devido ao aumento da temperatura da água do mar, bem como ao aumento da salinidade, devido à reação deste gás com componentes presentes na água do mar. As evidências mais concretas são as grandes concentrações de Carbono-12 nas amostras de animais, vegetais e minerais fossilizados da época.

Causas das mudanças climáticas

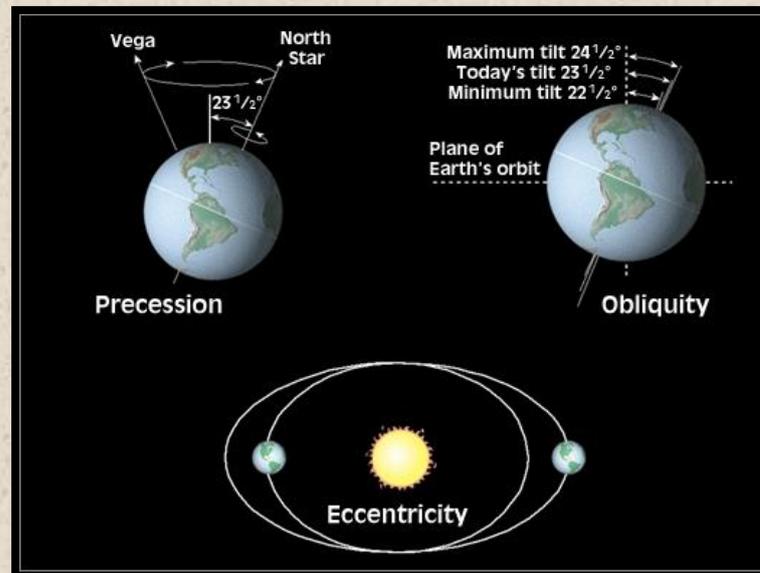
Ciclos de Milankovich

O físico e matemático sérvio **Milutin Milankovich** observou que o movimento de **precessão**, a **inclinação do eixo terrestre** e a **excentricidade da órbita terrestre** variam ciclicamente ao longo do tempo.



Milutin Milankovich

Estas variações explicam alguns dos eventos climáticos, como foi mostrado, pois provoca uma mudança na quantidade de radiação recebida por um determinado Hemisfério no verão e no inverno.



Ciclos de Atividade Solar

O Sol passa por variações em sua atividade, ou seja, em suas emissões de radiação. Estes ciclos ocorrem em aproximadamente **11 anos** e podem assumir valores máximos ou mínimos, causando várias alterações no clima.

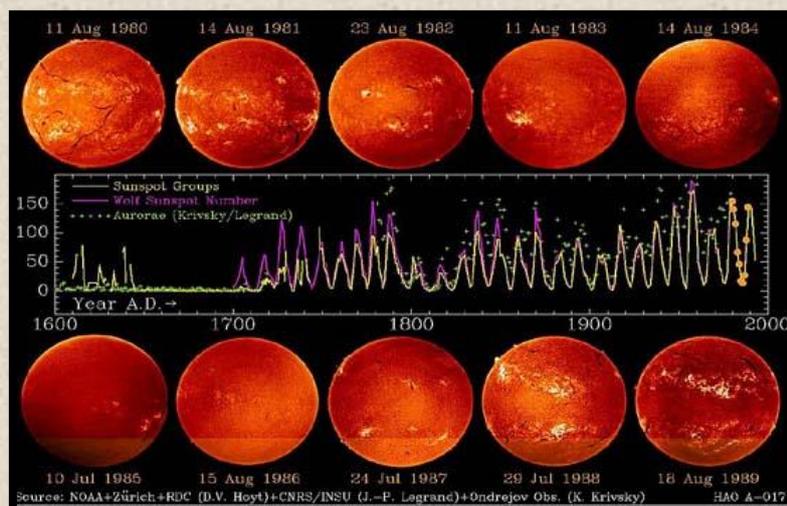


Diagrama da evolução dos Ciclos solares desde 1.600 (centro). As imagens do topo e de baixo representam aspectos do disco solar em diferentes épocas ao longo de um ciclo: de 1980 a 1989. (Fonte: <http://www.hao.ucar.edu:80/public>).

Variações magnéticas

O **paleomagnetismo** é o estudo das variações do campo magnético da Terra ao longo dos anos. Os eventos de variação magnética ocorrem em **ciclos não regulares**, podendo sua intensidade variar desde efeitos apenas mensuráveis a inversões na orientação do campo. As **inversões magnéticas** ocorrem devido à "**resposta**" do núcleo da Terra (condutor, formado de Ferro e Níquel) ao efeito magnético das emissões solares (de alta energia). Esta "**resposta**" tenta reproduzir o campo gerado pela radiação solar e apresenta diversas irregularidades. Durante os eventos de inversão, podem ocorrer mudanças climáticas acentuadas devido à variação da localização dos Polos, que é por onde grande parte das emissões solares penetram. Estas mudanças, normalmente, são devido ao aquecimento diferenciado das regiões que estão sob o efeito das emissões.

Aquecimento Global

O **aquecimento global** é o processo em que ocorre aumento significativo na temperatura. Este aumento causa desde tempestades mais severas e frequentes a tufões e furacões altamente destrutivos. Atualmente, tem se notado um **aumento na temperatura média** do planeta de cerca de 0,7°C nos últimos 140 anos. Este aquecimento é causado, principalmente pelo **efeito estufa**, que vem sendo, cada vez mais, intensificado por atividades humanas, e pelo buraco na camada de Ozônio.

Colisão de meteoros e erupções vulcânicas

Os **meteoros** são rochas compostas de minerais e gelo que orbitam a nossa galáxia. Estas rochas, quando atraídas pelo campo gravitacional da Terra, podem entrar na atmosfera. Uma grande parte destas pedras é destruída graças à própria atmosfera, já que o atrito com esta gera um aquecimento próximo a 5000 °C e desintegra as rochas. Porém algumas rochas maiores conseguem atingir a superfície e o impacto é tão violento que uma nuvem de metais e poeira se forma na atmosfera, impedindo a entrada de radiação solar.

De forma análoga, os **vulcões**, que se formam nas zonas de falhas das placas tectônicas, lançam magma (metais fundidos da Astenosfera) e junto, poeira, cinzas e partículas densas de fuligem, também ocasionando o bloqueio dos **raios solares**, efeito chamado de **Escurecimento global**.

Aplicações da Paleoclimatologia

A **Paleoclimatologia** é uma ciência fundamental para o estudo do **clima presente** e para a elaboração de previsões futuras já que seus estudos permitem avaliar o clima de uma forma cíclica (em alguns casos), permitindo assim verificar quais efeitos são de um período natural do clima e o que foi causado pelo homem e a entender melhor estas mudanças. Além disso, a **Paleoclimatologia** tem uma aplicação no ramo da **Paleontologia**, pois seus estudos aplicados a fósseis animais e vegetais ajudam a determinar as características destes animais (hábitos, alimentação, etc.), além do estudo de civilizações antigas.

Referências

1. Salgado-Labouriau, M. L. 1994. História Ecológica da Terra. 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher.
2. Stevens, *The change in the water*, p. 10
3. Mc Guire, *A guide to the end of the world*, p. 69
4. *Valley News* (do *Washington Post*), "The Snowball Theory", 19 de junho de 2000, p. C-1
5. Bryson, B. *Breve história de quase tudo*, ps. 434 e 435
6. Transcrição do documentário "Snowball Earth", da série *Horizon* da BBC, transmitido originalmente em 22 de fevereiro de 2001, p.7